РУКОВОДСТВО

КЪ

ФИЗИКѢ

СОСТАВЛЕННОЕ ПО ПОРУЧЕНІЮ

МИНИСТЕРСТВА НАРОДНАГО ПРОСВѢЩЕНІЯ

ДЛЯ

РУССКИХЪ ГИМНАЗІЙ

Э. Ленцомъ

Академикомъ Императорской Академіи Наукъ и Профессоромъ Физики при Императорскомъ С. П. Б. Университетѣ.

Изданіе второе исправленное и дополненное.

Цѣна въ кор. пер. 1 р. 13 к. сер.

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

Въ Типографіи Императорской Академіи Наукъ.

1842.

СОДЕРЖАНІЕ.

Номера, поставленные въ оглавленіи впереди, означаютъ вопросы предлагаемые на экзаменѣ для вступленія въ Университетъ.

ВВЕДЕНІЕ. 1

ПЕРВАЯ ЧАСТЬ ФИЗИКИ

О

ВѢСОМЫХЪ.

		Стр.	§
ПЕРВОЕ ОТДѢЛЕНІЕ. О свойствахъ тѣлъ.			
1.	ГЛАВА I. Объ общихъ свойствахъ тѣлъ.	5	4
2.	ГЛАВА II. Объ отличительныхъ свойствахъ тѣлъ.		
	Отличительныя свойства физическія.	16	13
	Отличительныя свойства химическія.	19	15
ВТОРОЕ ОТДѢЛЕНІЕ. О твердыхъ тѣлахъ.			
3.	ГЛАВА I. Сложеніе и разложеніе силъ .	34	25
4.	ГЛАВА II. О центрѣ тяжести	51	29

		Стр.	§
5.	ГЛАВА III. О простыхъ машинахъ . . Рычагъ, блокъ, воротъ, зубчатыя колеса, наклонная плоскость, клинъ, винтъ, дѣлительныя машины.	62	36
	ГЛАВА IV. О дѣйствіи внутреннихъ силъ на твердыя тѣла . . .	101	56
6.	О сцѣпленіи	102	57
—	Объ упругости	111	61
7.	О дѣйствіи тяжести на движеніе твердыхъ тѣлъ	115	63
	Свободное паденіе тѣлъ, движеніе брошенныхъ тѣлъ, маятникъ, центральное движеніе.		
8.	ГЛАВА V. Объ ударѣ тѣлъ не упругихъ и упругихъ	147	78
	ТРЕТІЕ ОТДѢЛЕНІЕ. О капельножидкихъ лахъ (Гидростатика).		
9.	ГЛАВА I. О равновѣсіи капельножидкихъ тѣлъ	156	83
10.	ГЛАВА II. О равновѣсіи твердыхъ тѣлъ погружаемыхъ въ жидкости	170	90
11.	ГЛАВА III. О явленіяхъ прилипанія . .	186	99
—	ГЛАВА IV. О движеніи капельныхъ жидкостей	190	101
	ЧЕТВЕРТОЕ ОТДѢЛЕНІЕ. Объ упругихъ жидкихъ тѣлахъ и въ особенности объ атмосферномъ воздухѣ.		
12.	ГЛАВА I. О тяжести воздуха и о барометрѣ	198	105

		Стр.	§
13.	ГЛАВА II. Объ упругости воздуха и о воздушномъ насосѣ . . .	209	109
14.	ГЛАВА III. Приборы, теорія которыхъ основывается на тяжести и упругости воздуха . . Насосы, Маріатова трубка, Сифонъ, Ливеръ, Аэростаты.	223	116
15.	ГЛАВА IV. О движеніи упругихъ жидкостей	234	123
—	ГЛАВА V. О сопротивленіи движенія .	237	124
ПЯТОЕ ОТДѢЛЕНІЕ. О звукѣ.			
16.	ГЛАВА I. О происхожденіи и распространеніи звука	242	126
—	ГЛАВА II. О музыкальныхъ тонахъ . .	248	129
—	ГЛАВА III. Объ отраженіи звука . . .	251	133

ВТОРАЯ ЧАСТЬ ФИЗИКИ

О

НЕВѢСОМЫХЪ.

		Стр.	§
ОТДѢЛЕНІЕ ПЕРВОЕ. О свѣтѣ,			
17.	**ГЛАВА I. О прямолинѣйномъ распространеніи свѣта**	263	134
18.	**ГЛАВА II. Объ отраженіи свѣта (Катоптрика)**	271	138
—	**О плоскихъ зеркалахъ** . .	272	139
19.	**О сферическихъ зеркалахъ** .	275	142
	ГЛАВА III. О преломленіи свѣта (Діоптрика)	289	148
20.	**О преломленіи свѣта въ сферическихъ стеклахъ** . .	305	154
21.	**ГЛАВА IV. О разложеніи свѣта на цвѣты (о Хроматизмѣ)**	321	161
22.	**ГЛАВА V. О строеніи глаза и о зрѣніи**	340	169
	ГЛАВА VI. Объ оптическихъ инструментахъ.		
—	**О простомъ микроскопѣ** . .	353	174
—	**Объ очкахъ**	356	175
23.	**Діоптрическіе телескопы: Астрономическій, земной, Галилеевъ**	357	177
24.	**Катоптрическіе телескопы: Гершелевъ, Ньютоновъ, Грегоріанскій**	366	182

		Стр.	§
25.	Сложный микроскопъ . . .	371	186
—	Солнечный микроскопъ . .	373	187
—	Камера обскура (Дагеротипъ), клара, и люцида . . .	376	189
26.	ГЛАВА VII. Объ остальныхъ явленіяхъ свѣта. О цвѣтахъ тонкихъ пластинокъ, уклоненіе свѣта, двойное преломленіе и поляризація, теоріи свѣта.	379	190
27.	ГЛАВА VIII. Объ оптическихъ явленіяхъ въ нашей атмосферѣ: Голубой цвѣтъ неба, радуга, круги около солнца и луны, ложныя солнца, сѣверное сіяніе . . .	392	19
	ОТДѢЛЕНІЕ ВТОРОЕ. О теплородѣ.		
28.	ГЛАВА I. Расширеніе тѣлъ отъ теплоты	397	198
—	ГЛАВА II. О теплопроводности тѣлъ .	419	205
29.	ГЛАВА III. О перемѣнѣ, производимой теплотою въ состояніи тѣлъ и о скрытномъ теплородѣ	423	206
30.	ГЛАВА IV. Объ удѣльномъ теплородѣ и о теплоемкости	429	209
31.	ГЛАВА V. О парахъ	433	210
32.	ГЛАВА VI. О лучистомъ теплородѣ . .	459	216
—	ГЛАВА VII. Объ источникахъ теплоты .	457	219
33.	ГЛАВА VIII. О явленіяхъ въ нашей атмосферѣ, зависящихъ отъ теплоты	461	230

этому весьма рѣдко можно видѣть Филолога или Юриста въ числѣ слушателей Физики; съ другой стороны теперь болѣе и болѣе считается потребностію общаго образованія, быть въ состояніи понимать по крайней мѣрѣ важнѣйшія явленія природы, имѣющія столь значительное вліяніе на наше бытіе и наше благосостояніе. Эту именно потребность я имѣлъ въ виду при составленіи Руководства и она опредѣляетъ точку зрѣнія, съ которой должно обсуживать планъ моей книги.

Такимъ образомъ здѣсь не умѣстно было бы спорить о томъ, принадлежитъ ли Руководству собственной Физики изложеніе первыхъ началъ Статики и Механики и примѣненіе ихъ къ простымъ машинамъ, или даже краткое изложеніе основныхъ явленій Химіи; если разсмотримъ съ одной стороны необходимость имѣть нѣкоторыя познанія объ этихъ явленіяхъ, часто встрѣчающихся въ общежитіи, и съ другой стороны обратимъ вниманіе на то, что эти познанія менѣе имѣютъ связи съ какою нибудь другою наукою, преподаваемою въ Гимназіяхъ, нежели съ Физикою, то безъ сомнѣнія согласимся, что объясненіе понятій о такихъ предметахъ должно найти для себя мѣсто въ часы преподаванія Физики. По этой

же причинѣ необходимо было заимствовать нѣкоторыя статьи изъ Метеорологіи и Физической Географіи.

Время, опредѣленное для преподаванія Физики въ Гимназіяхъ, не позволяло мнѣ входить во всѣ подробности каждаго предмета, или упомянуть о всѣхъ предметахъ входящихъ въ составъ Физики. Въ каждомъ изъ двухъ высшихъ классовъ назначены два урока въ недѣлю (каждый по $1\frac{1}{2}$ часа), при чемъ курсъ продолжается одинъ годъ. Сообразно съ этимъ Руководство раздѣлено на 2 части, изъ которыхъ первая, разсматривающая *Вѣсомыя*, должна быть преподаваема въ предпослѣднемъ, вторая, занимающаяся такъ называемыми *Невѣсомыми*, въ послѣднемъ или высшемъ классѣ.

Что касается до изложенія, то главною цѣлью моею была ясность понятій; если легко можно было того достигнуть однимъ разсужденіемъ, то я избиралъ эту форму; если простое математическое изложеніе предмета вело *скорѣе* и *вѣрнѣе* къ цѣли, то я не отвергалъ и такого способа. Ученики обоихъ высшихъ классовъ знакомы съ низшею Алгеброю, Геометріею и Тригонометріею. Въ изученіи этихъ наукъ они пріобрѣли для себя

новое орудіе къ скорѣйшему и совершеннѣйшему уразумѣнію Физическихъ истинъ: для чего же не пользоваться при удобномъ случаѣ этимъ орудіемъ? Мнѣ кажется весьма приличнымъ, по окончаніи преподаванія чистo математическихъ наукъ, тотчасъ давать ученикамъ примѣры, посредствомъ которыхъ они могли бы удачно упражняться въ приложеніи пріобрѣтенныхъ познаній и ясно видѣть ихъ пользу. Для математическаго изложенія особенно способны начала Статики, Механики и Оптики: по этому я употреблялъ здѣсь преимущественно математическіе пріемы.

Во второмъ изданіи частію измѣнено изложеніе нѣкоторыхъ статей, частію прибавлены другія, въ которыхъ въ новѣйшее время сдѣланы важныя усовершенствованія и вездѣ поправлено изложеніе въ отношеніи къ Русскому языку, при чемъ я весьма обязанъ помощи товарища моего при здѣшнемъ Университетѣ, Профессору Алексѣю Николаевичу Савичу.

С. Петербургъ.
1 Мая 1842 года.

ВВЕДЕНІЕ.

§ 1.

Естественныя науки разсматриваютъ произведенія природы и явленія въ ней происходящія. Онѣ:

I. Имѣютъ предметомъ внутреннія и внѣшнія свойства естественныхъ произведеній, еще неизмѣненныхъ рукою человѣка, соединяютъ въ одинъ классъ предметы имѣющіе наибольшее сходство между собою и такимъ образомъ приводятъ ихъ въ систему; по этому онѣ называются *описательными* естественными науками и раздѣляются на Зоологію, Ботанику и Минералогію, смотря потому, описываютъ ли онѣ животныхъ, или растенія, или тѣла неорудныя (минералы).

II. Или занимаются изслѣдованіемъ дѣйствія тѣлъ одного на другое. Въ послѣднемъ отношеніи опять различаются 4 главныя науки:

1. *Астрономія* занимается объясненіемъ законовъ движенія свѣтилъ и всего того, что изъ наблюденій можно заключить о свойствахъ этихъ тѣлъ и ихъ взаимныхъ дѣйствіяхъ.

2. *Физика* разсматриваетъ тѣ явленія въ вещественномъ мірѣ, въ которыхъ внутреннія свойства тѣлъ не перемѣняются, но измѣняется только или положеніе тѣлъ, или положеніе частицъ одного того же тѣла. Напримѣръ къ физическимъ принадлежатъ слѣдующія явленія: когда брошенное тѣло падаетъ на землю, — когда частицы воды отъ дѣйствія теплоты силятся отдалиться одна отъ другой, такъ что онѣ являются въ видѣ паровъ и производятъ сильнѣйшее давленіе, — когда двѣ магнитныя стрѣлки притягиваются или отталкиваются одна другою, — когда посредствомъ соединенія различнаго рода стеколъ малые предметы кажутся увеличенными или отдаленные приближенными въ микроскопахъ или телескопахъ.

3. *Химія* напротивъ разсматриваетъ тѣ явленія, въ которыхъ тѣла дѣйствующія другъ на друга, совершенно измѣняются, такъ что по окончаніи дѣйствія мы получаемъ тѣло совершенно не похожее по свойствамъ своимъ на прежнее тѣло. Такъ напримѣръ химическое явленіе происходитъ тогда, когда кусокъ дерева отъ горѣнія измѣняется въ уголь, — когда кусокъ мѣлу отъ крѣпкой царской водки налитой на него разлагается съ сильнымъ шипѣніемъ и мы вмѣсто мѣлу получаемъ жидкость, содержащую только одну изъ составныхъ частей тѣла — известь, между тѣмъ какъ другая составная часть его — углекислота, которая была причиною шипѣнія, улетаетъ въ воздухъ, и т. д. Наконецъ.

4. *Физіологія* объясняетъ различные жизненные процессы, каковы: пищевареніе, дыханіе, кровообращеніе и проч., прилагая къ этимъ явленіямъ законы Химіи и Физики.

§ 2.

Въ этой книгѣ мы будемъ исключительно заниматься Физикою, заимствуя изъ Химіи только тѣ главныя понятія, безъ которыхъ физическія явленія не могутъ быть понятны.

По общепринятому употребленію мы раздѣлимъ Физику на двѣ части. Въ первой разсмотримъ явленія зависящія отъ свойствъ самыхъ тѣлъ, во второй тѣ изъ нихъ, которыхъ основаніемъ служатъ особенные дѣйствователи природы называемые невѣсомыми, потому что они при дѣйствіи своемъ не увеличиваютъ вѣса тѣлъ. Изъ нихъ до сихъ поръ извѣстны только слѣдующіе: свѣтъ, теплота, магнетизмъ и электричество.

ПЕРВАЯ ЧАСТЬ

ФИЗИКИ-

О ВѢСОМЫХЪ

ПЕРВОЕ ОТДѢЛЕНІЕ.

О СВОЙСТВАХЪ ТѢЛЪ.

§ 3.

Физическія явленія необходимо зависятъ отъ свойствъ тѣлъ, и потому мы должны прежде всего разсмотрѣть эти свойства. Одни изъ нихъ принадлежатъ всѣмъ тѣламъ безъ исключенія — это *общія* свойства; другія принадлежатъ только нѣкоторому извѣстному классу тѣлъ и поэтому составляютъ *отличительныя* ихъ свойства. Мы прежде разсмотримъ первыя, и потомъ послѣднія.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

ОБЪ ОБЩИХЪ СВОЙСТВАХЪ ТѢЛЪ.

§ 4.

Эти свойства тоже различны между собою: одни соединяются неразлучно съ самымъ понятіемъ о веществѣ; другія же, хотя всегда находятся въ немъ, но онѣ не таковы, чтобы намъ не возможно было представить себѣ тѣла, неимѣющаго этихъ свойствъ.

Къ необходимымъ свойствамъ вещества принадлежатъ: *протяженіе* и *непроницаемость*. Въ самомъ дѣлѣ мы не можемъ вообразить себѣ ни одного тѣла, которое бы незанимало извѣстнаго пространства и слѣдовательно не

было бы протяженно, хотя бы пространство это было очень мало. Но мы можемъ представить себѣ нѣчто занимающее пространство не зависимо отъ вещества его наполняющаго, напримѣръ геометрическія тѣла. Итакъ полное понятіе о тѣлѣ физическомъ предполагаетъ необходимо нѣчто занимающее пространство и притомъ не позволяющее другому тѣлу существовать въ одно и тоже время въ одномъ и томъ же мѣстѣ. Это свойство тѣлъ мы называемъ непроницаемостію. Разсмотримъ подробнѣе то и другое.

§ 5.

Въ *протяженіи* мы различаемъ три измѣренія, которыя мы называемъ или: длиною, шириною и толщиною или: высотою, длиною и шириною, либо другими именами утвержденными обыкновеніемъ: мы считаемъ эти измѣренія перпендикулярными другъ къ другу. Если мы хотимъ опредѣлить какое нибудь измѣреніе, то беремъ линію извѣстной длины за единицу и ищемъ, сколько разъ она, или доли ея, содержатся въ данномъ измѣреніи. Для мѣры длины въ различныхъ Государствахъ приняты различныя единицы. Въ Россіи принятъ Англійскій футъ, котораго по возможности точнѣйшій образецъ приготовленъ въ 1836 году и хранится на монетномъ дворѣ въ С. Петербургѣ. По Высочайшему Императорскому Указу онъ долженъ быть принятъ за нормальный Русскій футъ даже и тогда, когда бы въ слѣдствіе новыхъ сравненій нашли, что онъ еще немного разнится отъ Англійскаго. — 7 Русскихъ футовъ составляютъ сажень; третья часть его называется аршиномъ и обыкновенно раздѣляется на 16 вершковъ. Русскій футъ, какъ и Англійскій, раздѣляется на 12 равныхъ частей, называемыхъ дюймами; каждый дюймъ опять раздѣленъ на 10 частей, именуемыхъ линіями. Въ общежитіи раздѣляютъ дюймъ также на 8 частей; 500 саженъ или 3500 футовъ составляютъ версту.

Во Франціи приняты двѣ мѣры: 1) Парижскій футъ (pied du roi) содержащій 12 дюймовъ; каждый дюймъ раздѣленъ на 12 линій; 6 футовъ составляютъ тоазъ (Toise); 2) Метръ (Mètre) или $\frac{1}{10000000}$ четверти меридіана. Онъ содержитъ 10 десиметровъ; каждый десиметръ 10 сантиметровъ; каждый сантиметръ 10 миллиметровъ.

Въ другихъ Государствахъ по большой части футъ также принятъ за единицу, но длина его почти въ каждой землѣ различна отъ длины въ другихъ земляхъ. Въ ученыхъ книгахъ обыкновенно употребляютъ или одну изъ двухъ мѣръ Французскихъ или Англійскій футъ. Слѣдующая таблица показываетъ приблизительное сравненіе этихъ единицъ:

	Русскій ф.	Парижской ф.	Метръ.
1 Русской футъ =	1	$\frac{15}{16}$	$\frac{7}{23}$
1 Парижской ф. =	$\frac{16}{15}$	1	$\frac{12}{37}$
1 Метръ =	$\frac{23}{7}$	$\frac{37}{12}$	1

Въ этомъ сочиненіи мы будемъ употреблять Русской футъ, кромѣ тѣхъ случаевъ, когда наименована будетъ другая мѣра.

По этому и поверхности мы будемъ измѣрять квадратными Русскими футами, а объемы кубическими футами.

§ 6.

Непроницаемость матеріи въ твердыхъ тѣлахъ не требуетъ доказательствъ; мы не можемъ положить твердаго тѣла на то мѣсто, гдѣ ужъ находится другое твердое, не вытѣснивъ послѣдняго. Когда станемъ бить молотомъ въ

кусокъ дерева, то увидимъ что частицы дерева отодвигаются въ сторону, и только по этой причинѣ клинъ входитъ въ дерево. Твердыя тѣла погружаются въ жидкости только потому, что ими вытѣсняются удободвижимыя частицы жидкостей изъ своихъ мѣстъ; это очень просто доказывается тѣмъ, что, когда погрузимъ твердое тѣло въ сосудъ наполненный водою до краевъ, то вода течетъ черезъ края. Непроницаемость воздуха, которая могла бы съ перваго взгляду показаться сомнительною, доказывается слѣдующимъ опытомъ: возмемъ стеклянный сосудъ значительной вышины ABCD (фиг. 1) и нальемъ въ него воды до высоты FS; потомъ закроемъ пальцемъ верхній конецъ K трубки KL, и нижнимъ открытымъ концемъ L погрузимъ ее въ воду, какъ показано въ фигурѣ, тогда вода въ трубкѣ будетъ стоять ниже нежели въ сосудѣ, потому что содержащійся въ KM воздухъ не уступаетъ своего мѣста. Что въ этомъ именно состоитъ причина явленія видно изъ того, что, когда отнимемъ отъ верхняго конца палецъ и дадимъ воздуху свободный выходъ изъ трубки, то вода мгновенно поднимается въ ней до высоты M′ равной высотѣ FS въ сосудѣ. Чтобы въ продолженіе опыта лучше можно было видѣть поверхность M, кладутъ на нее кусокъ пропки, или другое плавающее на водѣ тѣло.

§ 7.

На этомъ столь простомъ опытѣ, основано устройство прибора, который въ большомъ видѣ ужъ принесъ существенную пользу, именно устройство водолазнаго колокола. Онъ состоитъ изъ металлическаго колокола ABC (фиг. 2) или изъ четыреугольнаго ящика, въ которомъ можетъ помѣститься человѣкъ и который открытымъ концемъ BC опускается въ воду посредствомъ веревки FA; водолазъ сидитъ на доскѣ DE. Въ бокахъ колокола находятся отверстія закрытыя толстыми стеклами для

того, чтобъ приходилъ свѣтъ. Непроницаемость воздуха заключеннаго въ колоколѣ не позволяетъ водѣ подняться далѣе высоты MN, такъ что водолазъ находится внѣ воды и можетъ дышать воздухомъ содержащимся въ колоколѣ. Водолазный колоколъ преимущественно служитъ для того, чтобы доставать жемчужныя раковины приросшія къ камнямъ лежащимъ на днѣ моря. Для этого водолазъ, какъ скоро увидитъ раковину, оставляетъ свое мѣсто, срываетъ ее съ камня и потомъ опять садится на доску DE; такимъ образомъ онъ можетъ оставаться подъ водою до тѣхъ поръ, пока воздухъ, заключенный въ колоколѣ, не сдѣлается отъ дыханія работника неспособнымъ для дальнѣйшаго дыханія. Тогда посредствомъ веревки, которой конецъ у него въ рукахъ, онъ даетъ знать, чтобы его вытянули изъ воды. Для отвращенія порчи воздуха, прикрѣпляется при нѣкоторыхъ приборахъ сего рода къ верхней части колокола гибкая, непроницаемая водою трубка, чрезъ которую посредствомъ сгустительнаго насоса можно возобновлять воздухъ въ колоколѣ.

§ 8.

Кромѣ этихъ двухъ общихъ свойствъ мы замѣчаемъ въ тѣлахъ и такія, которыя хотя не входятъ необходимо въ понятіе о тѣлѣ, но встрѣчаются во всѣхъ веществахъ. Эти свойства суть слѣдующія: *скважность*, *дѣлимость*, *инерція*, *притяженіе* и, какъ слѣдствіе притяженія, *тяжесть*.

Подъ именемъ *скважности* разумѣется то общее свойство, по которому вещество тѣла или *матерія* несовершенно наполняетъ пространство, занимаемое тѣломъ, но оставляетъ между частицами его пустые промежутки называемые скважинами или порами. Доказательствомъ скважности служатъ слѣдующія явленія: можно пропустить ртуть чрезъ дерево; изъ воды освобождаются пузыри

воздуха черезъ кипяченіе, и т. д. Итакъ мы представляемъ себѣ, что матерія тѣла составлена изъ непроницаемыхъ частицъ, между которыми находятся пустые промежутки. Обыкновенно въ опытной Физикѣ предполагаютъ, что матерія состоитъ изъ отдѣльныхъ непроницаемыхъ частицъ или атомовъ, которые не находятся въ прикосновеніи другъ съ другомъ, но удерживаются въ извѣстномъ отдаленіи силами притягательною и отталкивательною, о которыхъ послѣ мы будемъ говорить подробнѣе.

Если въ помощь къ притягательной силѣ присоединимъ еще внѣшнее давленіе, то атомы будутъ приближаться одинъ къ другому и тѣло займетъ меньшее пространство; если же напротивъ вмѣстѣ съ отталкивательною силою будетъ дѣйствовать на тѣло внѣшняя растягивающая сила, то атомы отдалятся одинъ отъ другаго и тѣло займетъ большее пространство. Итакъ *сжимаемость* и *разширяемость* матеріи суть свойства зависящія отъ скважности, и если по атомистической системѣ всѣ тѣла состоятъ изъ атомовъ и скважинъ, которыми они отдѣляются, то расширяемость и сжимаемость должны принадлежать къ общимъ свойствамъ матеріи, что въ самомъ дѣлѣ доказывается и на опытѣ.

§ 9.

Дѣлимость матеріи не требуетъ дальнѣйшихъ доказательствъ. Математически матерія дѣлима до безконечности, но въ атомистическомъ ученіи принято, что простые атомы физически недѣлимы и что слѣдовательно дѣленіе состоитъ только въ томъ, что извѣстное количество атомовъ отдѣляется отъ остальныхъ такъ далеко, что они перестаютъ дѣйствовать другъ на друга и слѣдовательно связь ихъ уничтожается.

На самомъ дѣлѣ можно продолжать дѣленіе очень далеко, однако никому не удалось при дѣленіи достигнуть до того,

чтобы наконецъ какую нибудь частицу можно было считать за атомъ. Примѣръ чрезвычайной дѣлимости представляетъ листовое золото, которое можно сдѣлать столь тонкимъ, что одинъ червонецъ даетъ 2000 квадратныхъ дюймовъ. Посредствомъ особеннаго прибора можно вытянуть платину въ проволоку толщиною $\frac{1}{30000}$ дюйма. Одна доля кармина примѣтнымъ образомъ окрашиваетъ полведра воды. Мускусъ наполняетъ своимъ запахомъ цѣлыя комнаты, нисколько не теряя своего вѣсу, хотя онъ дѣйствуетъ на нервы нашего обонянія только тѣмъ, что тончайшія частицы его растворяются въ воздухѣ. Вѣроятно что наибольшее дѣленіе имѣетъ мѣсто преимущественно въ царствѣ органическомъ. Въ одной каплѣ воды можно посредствомъ микроскопа открыть множество такъ называемыхъ наливочныхъ животныхъ; каждое изъ нихъ движется, слѣдовательно имѣетъ нервы и сосуды для своего питанія; въ сосудахъ обращается жидкость какъ въ нашемъ тѣлѣ кровь, и эта жидкость необходимо состоитъ изъ частицъ. Здѣсь воображеніе оставляетъ насъ и мы не можемъ больше преслѣдовать дѣленія.

Что касается до дѣленія нашихъ маштабовъ, то мы посредствомъ особенныхъ машинъ можемъ раздѣлить дюймъ на 10000 частей, которыя, если смотрѣть на нихъ въ микроскопѣ, кажутся ясными и правильными, хотя для простаго глаза онѣ кажутся какъ шлифованная, но неполированная поверхность.

Обыкновенно непосредственное дѣленіе не простираютъ такъ далеко, но производятъ мельчайшее дѣленіе посредствомъ такъ называемаго *коніуса*. Представимъ себѣ маштабъ AB (фиг. 3) раздѣленный на линіи и положимъ, что при какомъ нибудь измѣреніи мы хотимъ означить и десятыя части линіи. Для этого возмемъ особенную линейку CD, отмѣтимъ на ней растояніе въ 9

линій и раздѣлимъ это растояніе на 10 равныхъ частей. У нижней черты дѣленія напишемъ 0, у верхней 10. Эта маленькая линейка называется *нонiусомъ*. Очевидно, что каждая часть его будетъ одною десятою короче части маштаба, ибо длина 9 линій на маштабѣ раздѣлена на 9, но на нонiусѣ на 10 частей. Если мы теперь хотимъ измѣрить какую нибудь длину данную, то возмемъ ее циркулемъ; потомъ одну ножку его поставимъ на 0 маштаба и положимъ, что другая ножка его M упадетъ между 16 и 17 линiею маштаба, такъ что измѣряемая длина заключаетъ 16 линiи и еще дробь линiи. Чтобы узнать точнѣе, какъ велика эта дробь, приложимъ нонiусъ къ маштабу такъ, чтобы 0 его упалъ на томъ мѣстѣ, гдѣ находится ножка M. Если бы часть, которою измѣряемая длина болѣе 16 линiи, была $\frac{1'''}{10}$, то черта 1 нонiуса упала бы на продолженiи 17-той линiи маштаба, потому что 1 часть нонiуса именно $\frac{1}{10}$ короче части маштаба; если бы оная часть была $\frac{2'''}{10}$, то черта 2 нонiуса совпадала бы съ чертою 18 маштаба и т. д. Въ нашемъ чертежѣ растояніе это $\frac{4}{10}$ длиннѣе 16 линiи, слѣд. черта 4 нонiуса совпадаетъ съ чертою маштаба.

Вообще мы имѣемъ правило: когда приложимъ нонiусъ къ маштабу, такъ чтобы 0 его совпадалъ съ точкою, которой растояніе отъ 0 маштаба хотимъ узнать, то мы прежде должны считать цѣлыя части на маштабѣ (въ нашемъ примѣрѣ 16), потомъ смотрѣть, какая черта нонiуса совпадаетъ съ чертою маштаба (у насъ 4), число стоящее при этой чертѣ нонiуса даетъ десятыя части.

Совершенно подобнымъ образомъ мы получимъ сотыя части дѣленiя маштаба, если 99 частей его на нонiусѣ

раздѣлимъ на 100 частей и т. д. Но чѣмъ меньше эти части, тѣмъ труднѣе бываетъ опредѣлить, какая черта нонiуса совпадаетъ съ чертою маштаба. Если мы 59 частей маштаба раздѣлимъ на 60 частей, то мы получимъ одну шестидесятую часть маштаба. Такимъ образомъ раздѣляютъ градусы круга на минуты: по тогда и нонiусъ также долженъ быть дугообразный, для того чтобъ можно было приложить его къ раздѣленному кругу.

§ 10.

Инерцiя (самонедѣятельность) есть такое свойство, по которому: 1) если тѣло находится въ покоѣ, то останется въ покоѣ до тѣхъ поръ, пока какою нибудь силою невыведено будетъ изъ него; 2) когда же оно приведено въ движенiе, то оно не перемѣнитъ этого движенiя, но продолжаетъ его по прямой линiи, пока не станетъ дѣйствовать на него какая нибудь сила. Шаръ катится по плоскости, хотя сила руки, сообщившая ему толчекъ, ужъ перестала дѣйствовать и мы по причинамъ, которыя въ послѣдствiи изъяснимъ, можемъ сказать съ увѣренностiю, что шаръ катился бы въ этомъ направленiи до безконечности, еслибы движенiю его не представились препятсвiя, какъ то: неровность плоскости, треніе, сопротивленiе воздуха и т. д. Теченiе планетъ также зависитъ частiю отъ упорства сохранить то движенiе, которое сообщено было имъ при сотворенiи мiра, частiю отъ другой силы непрерывно дѣйствующей на нихъ, и извѣстной подъ именемъ центростремительной. Отъ недѣятельности зависитъ и то, что мы падаемъ въ то время, какъ скоро идущая лодка толкается о берегъ; также если для утвержденiя топора на рукояткѣ мы ударяемъ противнымъ концемъ ея объ полъ и проч.—

§ 11.

Притяженiе есть также общее свойство матерiи, но мы обыкновенно называемъ его силою, потому что оно

часто бываетъ непосредственною причиною движенія. Оно состоитъ въ слѣдующемъ:

Два тѣла, въ какомъ бы разстояніи они не находились одно отъ другаго, имѣютъ стремленіе взаимно приближаться и въ слѣдствіе сего стремленія въ самомъ дѣлѣ приближаются, если никакая посторонняя сила не противодѣйствуетъ движенію ихъ.

Притягательная сила, оказываемая небесными тѣлами другъ на друга, называется *тяготѣніемъ*; притяженіе, оказываемое частями земнаго шара на тѣла, находящіяся на его поверхности, называется *тяжестію*; притяженіе, оказывающееся при соприкосновеніи частицъ твердыхъ тѣлъ между собою, называется *сцѣпленіемъ*, жидкостей съ твердыми тѣлами *прилипаніемъ*.

На земной поверхности значительное вліяніе на явленія имѣетъ тяжесть, или притяженіе тѣлъ землею. Доказательствомъ этого служитъ паденіе тѣлъ, ни чѣмъ не поддерживаемыхъ. Направленіе паденія тѣлъ всего лучше опредѣляется помощію отвѣса, т. е. нити, на которой виситъ тяжелое тѣло; это направленіе называется *вертикальнымъ* или отвѣснымъ, а плоскость перпендикулярная къ сему направленію, имѣетъ названіе *горизонтальной* плоскости. Если препятствовать чѣмъ нибудь паденію тѣла, напр. держать его въ рукѣ, то стремленіе тѣла къ паденію производитъ нѣкоторое давленіе на руку; такое давленіе мы называемъ *вѣсомъ* тѣла. Такъ какъ каждый атомъ имѣетъ одинакое стремленіе къ паденію, то вѣсъ долженъ быть пропорціоналенъ числу атомовъ, или, какъ обыкновенно говорятъ, *массѣ* тѣла.

§ 12.

Опредѣлять вѣсъ различныхъ тѣлъ значитъ принять за единицу извѣстный вѣсъ и узнать, сколько такихъ единицъ или частей единицы содержится въ искомомъ вѣсѣ.

Въ различныхъ Государствахъ принимаются за единицу различныя мѣры. Въ Россіи единицею вѣса принятъ фунтъ, котораго нормальный образецъ хранится въ С. Петербургскомъ монетномъ дворѣ. Онъ дѣлится на 96 золотниковъ и каждый золотникъ на 96 долей; 40 фунтовъ составляютъ пудъ. Во Франціи единицею вѣса избранъ кубическій сантиметръ чистой воды, при температурѣ 3°,2 нашего термометра, извѣстнаго подъ именемъ Реомюрова; эта единица называется грамомъ. Онъ раздѣляется на 10 десиграмовъ, десиграмъ на 10 сантиграмовъ и сантиграмъ на 10 миллиграмовъ. 1000 граммовъ составляютъ килограмъ.

Въ прочихъ Государствахъ единица вѣса обыкновенно называется фунтомъ; но онъ въ каждомъ Государствѣ имѣетъ различную величину. Впередъ мы будемъ употреблять только Русскій фунтъ и его части; но въ ученыхъ книгахъ почти исключительно слѣдуютъ счисленію граммовъ и уже по нему вычислены многія таблицы. Отношеніе граммовъ къ Россіскому вѣсу можно видѣть въ слѣдующей таблицѣ:

1. Килограмъ	$= 2\frac{3}{7}$ Рус. фунта.	1 Рус. фунтъ	$= \frac{7}{17}$ кологр.
1. Грамъ	$= 22\frac{1}{2}$ долямъ.	1 Золотникъ	$= 4\frac{1}{4}$ грама.
1. Миллиграм	$= \frac{9}{400}$ доли.	1 Долл	$= 44\frac{1}{2}$ миллиг.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

ОБЪ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХЪ СВОЙСТВАХЪ ТѢЛЪ.

§ 13.

Свойства, которыя мы до сихъ поръ разсматривали, принадлежатъ всѣмъ тѣламъ безъ исключенія; теперь мы разсмотримъ такія, которыми тѣла отличаются однѣ отъ другихъ. Онѣ могутъ быть раздѣлены на физическія и химическія.

А. *Отличительныя свойства Физическія.*

Сюда относятся прежде всего такія свойства, по которымъ тѣла раздѣляются на твердыя, жидкія и газообразныя (воздухообразныя).

Твердымъ называется тѣло, котораго частицы такъ крѣпко соединены между собою сцѣпленіемъ, что требуется значительная сила для того, чтобъ отдѣлить ихъ другъ отъ друга. Примѣромъ могутъ служить: дерево, камни, металлы и проч.

Жидкимъ называется тѣло, котораго частицы могутъ быть малѣйшею силою передвинуты съ мѣста на мѣсто. Такое перемѣщеніе можетъ произойти даже отъ собственной тяжести частицъ; по этому жидкія тѣла не имѣютъ собственной постоянной формы и должны быть содержимы въ сосудахъ. Сюда относятся вода, масла, спиртъ, ртуть и друг. При всемъ томъ частицы жидкихъ тѣлъ имѣютъ взаимное притяженіе; это слѣдуетъ изъ того, что, если погрузить стеклянную палочку въ воду или масло, и потомъ вынуть ее, то на концѣ ея остается

капля, значительной величины, которая свободно виситъ на ней, не упадая внизъ. Здѣсь нижнія частички капли очевидно держатся притяженіемъ верхнихъ.

Газообразныя или воздухообразныя тѣла суть равнымъ образомъ тѣла жидкія; ибо ихъ частицы могутъ быть весьма легко перемѣщаемы; по сверхъ того онѣ имѣютъ еще стремленіе отталкиваться взаимно, такъ что нужно внѣшнее давленіе или другая сила для того, чтобъ удерживать ихъ въ соединеніи. Посему тѣла эти не могутъ быть сохраняемы въ открытыхъ сосудахъ, подобно жидкостямъ, но должны быть запираемы со всѣхъ сторонъ, наприм. въ стеклянныхъ шарахъ, пузыряхъ и проч. Примѣръ газообразныхъ тѣлъ всего лучше представляетъ намъ воздухъ. Если наполнить воздухомъ пузырь и крѣпко завязавши его положить въ безвоздушное пространство, которое можно произвести помощію ниже описаннаго воздушнаго насоса, то воздухъ заключенный въ пузырѣ, въ слѣдствіе взаимнаго оттолкновенія частицъ, разширяется во всѣ стороны и пузырь лопаетъ. Это мы подробнѣе увидимъ въ послѣдствіи.

§ 14

Другимъ отличительнымъ свойствомъ тѣлъ служитъ ихъ различная плотность. Мы уже выше замѣтили, что плотность тѣлъ по системѣ атомистической опредѣляется суммою матеріальныхъ частицъ, заключающихся въ извѣстномъ пространствѣ, и что слѣдовательно по причинѣ равнаго вѣса частицъ, плотность тѣлъ пропорціональна вѣсу при равномъ объемѣ. Возьмемъ опредѣленный объемъ, напримѣръ кубическій дюймъ воды и гранита, и средствами, которыя вскорѣ будутъ показаны, найдемъ вѣсъ куб. дюйма того и другаго тѣла; получимъ:

Вѣсъ куб. дюйма воды равенъ 3,84 золотника
—— гранита . . . . . 10,37 . . . . .

Плотности тѣлъ пропорціональны этимъ числамъ и если принять за единицу какую либо одну изъ этихъ плотностей, то можно сравнивать съ нею всѣ прочія. Этою единицею согласились принимать плотность чистой воды. Посему плотность, напримѣръ, гранита найдется изъ пропорціи:

$$1 : x = 3{,}84 : 10{,}37$$

откуда получится $x = 2{,}70$. Итакъ 2,70 будетъ отношеніе плотности гранита къ плотности воды; такимъ образомъ выражаемую плотность называютъ *удѣльнымъ вѣсомъ*.

Обратно по удѣльному вѣсу гранита легко вычслить вѣсъ какого нибудь даннаго объема гранита, если только знаемъ абсолютный вѣсъ извѣстнаго объема воды. Положимъ наприм. что требуется опредѣлить вѣсъ Александровской колонны, которая состоитъ вся изъ цѣльнаго камня; она имѣетъ 4 фута длины и 14 футовъ въ діаметрѣ. Стереометрія даетъ намъ объемъ колонны $= 7^2 \times 3{,}14 \times 84 = 1\ 924\frac{1}{4}$ кубическихъ футовъ. Вѣсъ кубическаго фута воды найдется, когда мы вѣсъ кубическаго дюйма помножимъ на число кубическихъ дюймовъ, содержащихся въ одномъ кубическомъ футѣ, т. е. на 1728 и такимъ образомъ вѣсъ кубическаго фута воды будетъ $=$ 69,12 фунта. Еслибъ гранитъ имѣлъ такую же плотность, какъ и вода, то вѣсъ колонны заключалъ бы въ себѣ $69{,}12 \times 129241\frac{1}{4} = 893324{,}2$ фунтовъ $=$ 22333,1 пудовъ. Но какъ гранитъ тяжелѣе воды въ 2,7 раза, то мы должны найденный вѣсъ умножить на это число, и тогда получимъ вѣсъ цѣлой колонны, если отбросить дробь, $=$ 60299,4 пуда.

B. *Отличительныя свойства химическія.*

§ 15.

Химія научаетъ насъ, что тѣла, по внутреннему составу своихъ частей, весьма различны между собою; она показываетъ, что большая часть тѣлъ состоитъ изъ другихъ тѣлъ совершенно отъ нихъ отличныхъ, но что также есть и такія тѣла, которыя, по крайней мѣрѣ до сихъ поръ, никакими средствами не могли быть разложены на дальнѣйшія составныя части, а потому признаются за *простыя*. Мы здѣсь разсмотримъ подробнѣе нѣкоторые изъ результатовъ найденныхъ химіею, потому что безъ нихъ въ послѣдствіи мы не будемъ въ состояніи понимать многаго.

Атмосферный воздухъ, въ которомъ мы живемъ и которымъ дышемъ, не принадлежитъ къ простымъ тѣламъ. Въ этомъ можно удостовѣриться слѣдующимъ образомъ: возмемъ кусочекъ пропки и положимъ на него немного фосфору — тѣла принадлежащаго къ числу доселѣ неразложенныхъ, (его держать во всякой Аптекѣ) — и положимъ пропку съ находящимся на ней фосфоромъ на поверхность воды, на которой они будутъ плавать; потомъ возьмемъ стеклянную трубку, запаянную съ одного конца и опустимъ ее открытымъ концемъ на поверхность воды, какъ это показано въ фигурѣ 4, гдѣ CD представляетъ поверхность воды, AB трубку, K′ пропку, *пр* фосфоръ. Нетрудно поставить трубку такъ, чтобы въ ней вода стояла на одинаковой высотѣ съ высотою воды въ сосудѣ. Оставимъ этотъ приборъ до слѣдующаго дня, не дотрогиваясь до него; на другой день увидимъ, что вода и плавающая на ней пропка будутъ стоять выше, нежели вода внѣ трубки, именно на высотѣ, показанной линіею K′. Въ слѣдствіе непроницаемости вещества это можетъ случиться только тогда, когда часть воздуха въ трубкѣ AB уйдетъ

вонъ. Оставимъ этотъ приборъ еще на одни сутки; по прошествіи ихъ мы не найдемъ никакой перемѣны въ воздухѣ, оставшемся въ трубкѣ; тоже будетъ и на третій день. Изъ этаго опыта явно слѣдуетъ, что по прошествіи сутокъ, оставшійся въ АК воздухъ долженъ быть отличенъ отъ того, который изчезъ по прошествіи первыхъ сутокъ, и что слѣд. атмосферный воздухъ состоитъ изъ двухъ различныхъ газовъ; одинъ изъ нихъ исчезаетъ отъ дѣйствія фосфора, а другой не подверженъ его вліянію. Въ Химіи этотъ и подобные ему опыты произведены со всевозможнымъ стараніемъ и разсмотрѣніемъ всѣхъ обстоятельствъ, которыя могутъ имѣть вліяніе на это явленіе, но которыя мы здѣсь не можемъ изложить подробнѣе. Такимъ образомъ нашли, что воздухъ по объему содержитъ 21 часть газа, изчезающаго отъ дѣйствія фосфора, который называется *кислородомъ*, и 79 частей остающагося газа, не подверженнаго вліянію фосфора; газъ этотъ названъ *азотомъ*. Сіи газы имѣютъ свойства совершенно различныя. Если въ склянку, наполненную азотомъ, опустимъ горящую деревянную спичку, то она мгновенно гаснетъ; если посадимъ въ эту склянку какое нибудь животное, то оно умираетъ. Если напротивъ опустимъ горящую спичку въ сосудъ, наполненный кислородомъ, то она горитъ здѣсь болѣе яркимъ пламенемъ, нежели въ воздухѣ, и едва тлѣющая спичка тотчасъ загорается; если опустимъ въ кислородъ стальную пружину, къ концу которой прикрѣпленъ кусочекъ тлѣющаго труту, то даже стальная пружина будетъ горѣть, разбрасывая яркія искры; животное въ кислородѣ не умираетъ. Слѣд. кислородъ имѣетъ свойство поддерживать дыханіе и горѣніе, и если тѣла горятъ, и животныя дышатъ въ атмосферномъ воздухѣ, то это зависитъ только отъ 21 процента кислорода, находящагося въ немъ, тогда какъ азотъ совершенно при этихъ явленіяхъ не дѣйствуетъ. При горѣніи кислородъ изчезаетъ и Химія показываетъ, что

это зависитъ отъ того, что онъ соединяется съ горящимъ тѣломъ и изъ газообразнаго состоянія переходитъ въ твердое или жидкое. При дыханіи онъ соединяется съ веществомъ, содержащимся въ крови и называемымъ *углеродомъ;* въ этомъ соединеніи, называемомъ *углекислотою*, онъ остается газомъ, который смѣшанъ съ выдыхаемымъ воздухомъ и неспособенъ для дыханія.

Углеродъ самъ по себѣ находится въ природѣ въ твердомъ состояніи; онъ таковъ въ обыкновенномъ древесномъ углѣ, и въ другомъ тѣлѣ, по видимому весьма отличномъ отъ угля, именно въ алмазѣ. Если въ одномъ состояніи онъ черенъ и тусклъ, а въ другомъ совершенно прозраченъ, то это зависитъ только отъ расположенія малѣйшихъ частицъ его или атомовъ, а не отъ химическаго различія. Когда въ сосудъ наполненный кислородомъ положимъ алмазъ и зажжемъ его посредствомъ сильнаго зажигательнаго стекла, то онъ сгараетъ безъ остатка и, соединяясь съ кислородомъ, образуетъ углекислоту, тотъ самый газъ, который мы получимъ, если вмѣсто алмаза сожигаемъ кусокъ угля и о которомъ мы говорили, когда упоминали о дыханіи. Таже углекислота въ видѣ пузырьковъ отдѣляется и изъ пѣнящихся напитковъ, напр. изъ шампанскаго, и изъ кислыхъ минеральныхъ водъ напр. изъ Нарзана и Зельтерской воды. — Итакъ кромѣ фосфора мы узнали еще три простые тѣла, которые часто намъ будутъ встрѣчаться: кислородъ, азотъ и углеродъ.

§ 16.

Другое простое тѣло заключается въ водѣ и потому называется *водородомъ*. Вода состоитъ изъ водорода и кислорода, а по этому, какъ и воздухъ, не принадлежитъ къ стихіямъ, къ которымъ по незнанію ее прежде причисляли. Если станемъ кипятить воду и пары ее пропустимъ чрезъ раскаленную желѣзную трубку, въ которой кромѣ

того находится разскаленная желѣзная проволока, то изъ другаго конца трубки не будутъ выходить пары, но водородный газъ. Если конецъ желѣзной трубки, черезъ которую проходятъ пары, погрузимъ въ воду, то газъ будетъ выходить въ видѣ пузырей; и когда къ одному изъ этихъ пузырей приблизимъ пламя свѣчи, тогда увидимъ что выходящій изъ него газъ горитъ съ небольшимъ трескомъ. Итакъ водородъ отличается отъ другихъ газовъ своею горючестію. Обыкновенно приготовляютъ его другимъ способомъ: для этого наливаютъ купороснаго масла, растворенаго водою, на желѣзные или цинковые опилки. Если будемъ это производить въ склянкѣ (фиг. 5) закрытой пробкою B, черезъ которую проходитъ тонкая стеклянная трубка CD и подождемъ немного (около 10 минутъ), пока содержащійся въ склянкѣ воздухъ не будетъ вытѣсненъ освобождающимся водородомъ, то мы можемъ зажечь газъ, выходящій изъ трубки CD; онъ будетъ горѣть слабымъ синеватымъ пламенемъ до тѣхъ поръ, пока будетъ оставаться газъ. Если въ закрытомъ стеклянномъ шарѣ, наполненномъ кислородомъ, зажжемъ водородъ, проходящій въ шаръ черезъ трубку, то онъ будетъ горѣть, какъ въ воздухѣ и отъ двухъ газовъ будетъ образовываться вода. Если оба газа прежде взвѣсимъ и потомъ взвѣсимъ воду, образовавшуюся изъ нихъ, то найдемъ, что вѣсъ воды равенъ суммѣ вѣса обоихъ газовъ.

Такимъ образомъ въ Химіи несомнѣнно доказывается, что вода есть соединеніе этихъ двухъ газовъ и притомъ такого роду, что два объема водорода соединяются съ однимъ объемомъ кислорода. Если въ такой пропорціи смѣшаемъ эти два газа, то мы получимъ только смѣсь газовъ, а не воду; но если этой смѣси коснется пламя или искра, то они мгновенно соединятся съ сильнымъ взрывомъ, такъ что, если бы эта смѣсь была зажжена въ стеклянномъ шарѣ, то онъ былъ бы разбитъ въ мелкіе куски.

Такая смѣсь, изъ двухъ объемомъ водорода и одного кислорода, называется по этой причинѣ *гремучимъ газомъ*. По этой особенной причинѣ, при освобожденіи водорода въ склянкѣ нужно для зажиганія подождать немного, пока невыйдетъ изъ нее весь атмосферный воздухъ, а иначе освобождающійся водородъ образуетъ съ кислородомъ атмосфернаго воздуха гремучій газъ и когда мы станемъ зажигать газъ выходящій изъ трубки, то склянка легко лопнетъ и повредитъ присудствующимъ при этомъ опытѣ; по этой же причинѣ при составленіи воды должно въ кислородъ впускать водородъ только мало помалу и зажигать его немедленно для того, чтобъ онъ собравшись въ большемъ количествѣ не сдѣлалъ вреда.

§ 17.

Четыре описанные нами простые тѣла, между которыми три принадлежатъ къ газамъ, именно: кислородъ, водородъ и азотъ, и четвертое углеродъ къ твердымъ тѣламъ, весьма часто встрѣчаются въ природѣ. Они соединяются во первыхъ между собою по два; мы уже знаемъ нѣкоторыя изъ этихъ соединеній. Прежде нежели станемъ разсматривать подробно еще другія изъ нихъ, часто встрѣчающіяся въ общежитіи, мы должны сказать нѣсколько словъ объ образѣ химическаго соединенія вообще. Если два тѣла соединяются химически, то это происходитъ такъ, что опредѣленное количество одного тѣла соединяется съ опредѣленнымъ количествомъ другаго, и если одного тѣла прибавимъ болѣе, нежели сколько нужно для химическаго соединенія, то эта лишняя часть остается не соединенною. Если наприм. въ двухъ кубическихъ футахъ кислорода сожжено два кубическихъ фута водорода, то уничтожается одинъ только кубическій футъ кислорода и составляетъ съ двумя кубическими футами водорода воду, какъ мы видѣли выше, а другой кубическій футъ кислорода остается

несоединеннымъ. Если опредѣлимъ отношеніе составныхъ частей по вѣсу, то найдемъ, что одна часть водорода требуетъ 8,013 кислорода. Впрочемъ при этомъ мы не говоримъ, что кислородъ только въ этой пропорціи соединяется съ водородомъ; мы только утверждаемъ, что эти два газа должны соединяться въ этой пропорціи для составленія воды. Въ самомъ дѣлѣ кислородъ составляетъ съ водородомъ другое соединеніе, не встрѣчающееся въ общежитіи, называемое въ Химіи перекисью водорода, и имѣющее свойства совершенно отличныя отъ свойства воды. Между тѣмъ и это соединеніе происходитъ въ совершенно опредѣленной пропорціи, именно такъ, что по вѣсу на одну часть водорода идетъ 16,026 частей кислорода. Если сравнимъ это количество кислорода, съ количествомъ потребнымъ для образованія воды, которое по вышеприведенному равно 8,013, то увидимъ, что это послѣднее количество составляетъ половину перваго. Подобное обстоятельство всегда имѣетъ мѣсто въ химическихъ соединеніяхъ; какъ скоро два тѣла соединяются между собою во многихъ пропорціяхъ, то количество тѣла B, соединяющагося съ однимъ и тѣмъ же по вѣсу количествомъ тѣла A, для составленія различныхъ продуктовъ, всегда находится въ совершенно простыхъ пропорціяхъ: или какъ 1 : 2 или 2 : 3, или 3 : 4. Такою опредѣленною пропорціею отличаются собственно химическія соединенія отъ простыхъ смѣсей или растворовъ. Такъ напр. вода и вино соединяются во всѣхъ возможныхъ пропорціяхъ, но отъ этаго соединенія не происходитъ новое тѣло, совершенно отличное отъ содержащихся составныхъ частей, какъ напр. отлична вода отъ водорода и кислорода; напротивъ мы можемъ въ этой смѣси даже однимъ вкусомъ узнать, изъ чего она состоитъ. Къ смѣсямъ принадлежитъ и атмосферный воздухъ. Также растворъ соли въ водѣ не есть совершенно химическое соединеніе и мы можемъ удобно различать составныя части смѣси; здѣсь однакожъ то

различіе, что хотя вода растворяетъ какое угодно количество соли, но только до извѣстнаго предѣла; когда въ водѣ растворилось количество соотвѣтствующее этому предѣлу, то больше ни одна часть не растворится, и тогда говоримъ, что растворъ насыщенъ солью.

§ 18.

Разсмотрѣвши кратко образъ химическихъ соединеній, мы опять обращаемся къ нѣкоторымъ изъ двойныхъ соединеній, происходящимъ изъ 4 простыхъ тѣлъ нами описанныхъ и чаще другихъ встрѣчающихся.

Мы уже видѣли, что атмосферный воздухъ собственно не есть химическое соединеніе кислорода съ азотомъ, но простая смѣсь. Мы знаемъ и 4 настоящія химическія соединенія кислорода съ азотомъ, изъ которыхъ особенно одно важно, именно *азотная* или *селитряная кислота*, которая растворена водою продается въ аптекахъ подъ именемъ *крѣпкой водки*. Дѣйствіе ея на тѣла очень сильно; она растворяетъ почти всѣ металлы кромѣ золота и платины, разлагаетъ всѣ органическія вещества; по этому, если она прольется на платье, то производитъ дыры; кожа отъ нея желтѣетъ.

Водородъ соединяется также съ азотомъ и составляетъ *амміакъ* — вещество отличающееся острымъ и проницательнымъ запахомъ (и потому онъ употребляется въ случаѣ обмороковъ).

Водородный газъ составляетъ съ углеродомъ значительное количество соединеній; изъ нихъ мы упомянемъ только объ *углеродистомъ двухводородномъ газѣ*, потому что это тотъ самый газъ, который при нашемъ газоосвѣщеніи горитъ блестящимъ яркимъ пламенемъ. Для сей цѣли онъ добывается черезъ сожиганіе горючихъ тѣлъ напр. дерева, каменнаго угля, жирныхъ веществъ, въ закрытыхъ желѣзныхъ сосудахъ, подвергаемыхъ сильному жару; освобож-

дающійся при этомъ газъ проводится трубкою въ газометръ, который состоитъ изъ желѣзнаго ящика, погруженнаго открытою стороною въ воду. Изъ этого ящика проводится газъ въ тѣ мѣста, гдѣ онъ нуженъ для освѣщенія и при выходѣ изъ трубъ зажигается.

§ 19.

Кромѣ двойныхъ соединеній, встрѣчаются въ природѣ безчисленное множество тройныхъ и четверныхъ соединеній изъ описанныхъ 4 веществъ. Такимъ образомъ всѣ произведенія растительнаго царства, съ не большимъ исключеніемъ, суть соединенія кислорода, водорода и углерода; произведенія царства животныхъ кромѣ того обыкновенно содержатъ еще азотъ. Если кусокъ дерева, которое также составлено изъ кислорода, водорода и углерода, подвергнемъ сильному жару, и притомъ дадимъ мѣсто свободному притоку атмосфернаго воздуха, то оно наконецъ начнетъ горѣть; при этомъ связь составныхъ частей уничтожится и образуются новыя соединенія. Часть углерода соединится съ водородомъ и составитъ углеводородный газъ, который по легкости своей подымается вверхъ и какъ скоро приходитъ въ прикосновеніе съ атмосфернымъ воздухомъ загорается и образуетъ то, что называется *пламенемъ*. Отъ горѣнія жаръ поддерживается и способствуетъ къ дальнѣйшему разложенію дерева. И такъ пламя есть собственно горящая оболочка углеводороднаго газа, безпрестанно отдѣляющагося отъ дерева. При этомъ сгараетъ также часть водороднаго газа, но только съ кислородомъ находящимся въ деревѣ, и производитъ внизу синеватую часть пламени. Такимъ же образомъ горятъ обыковенныя сальныя и восковыя свѣчи. Изъ этаго видно, что свѣтъ газоваго освѣщенія есть ничто иное, какъ свѣтъ нашихъ обыкновенныхъ сальныхъ свѣчей (особенно если газъ при-

готовленъ изъ сала) и все различіе состоитъ только въ томъ, что въ обыкновенныхъ свѣчахъ газъ горитъ въ то время, и на томъ мѣстѣ, гдѣ онъ освобождается, а въ газоосвѣщеніи процессъ освобожденія газа отдѣленъ отъ процесса горѣнія и газъ проходитъ черезъ трубы, пока онъ придетъ въ прикосновеніе съ воздухомъ и будетъ зажженъ.

§ 20.

Кромѣ четырехъ простыхъ тѣлъ, о которыхъ мы до сихъ поръ говорили, находятся еще нѣкоторыя именно: фосфоръ, сѣра, селенъ, хлоръ, бромъ, іодъ, фторъ, кремній и наконецъ 42 металла.

Фосфоръ получается изъ костей и другихъ животныхъ веществъ; онъ мягокъ, какъ воскъ, такъ что его можно рѣзать; на воздухѣ дымится и загорается очень легко, стоитъ только нагрѣть его до 28° по термометру Реомюра; въ темнотѣ свѣтится; это есть другой образъ горѣнія, при которомъ онъ также соединяется съ кислородомъ, но медленно. Этимъ медленнымъ соединеніемъ воспользовались мы при опытѣ (§ 15), показывающимъ составъ воздуха. Свѣченіе фосфора всего лучше показать можно, если растворить фосфоръ въ маслѣ, отъ чего составляется родъ помады; ею намазываютъ тѣ части, которыя хотятъ сдѣлать свѣтящимися. При горѣніи фосфоръ образуетъ съ кислородомъ соединеніе извѣстное подъ именемъ фосфористой кислоты.

Сѣра встрѣчается въ природѣ самородная, напр. въ кратерахъ вулкановъ. Она плавится при температурѣ, которая нѣсколькими градусами выше температуры кипящей воды; если нагрѣвать ее еще больше, то она превращается въ бурую тягучую массу, которая будучи вылита въ воду, медленно твердѣетъ и потому употребляется для дѣланія отпечатковъ монетъ или моделей. Сѣра составляетъ

съ кислородомъ нѣсколько соединеній, изъ которыхъ два больше прочихъ встрѣчаются, именно: *Сѣрнистая кислота*, образующаяся при горѣніи сѣры, и производящая при этомъ острый запахъ, и *Сѣрная кислота*, которая въ общежитіи извѣстна подъ именемъ купороснаго масла и есть одна изъ самыхъ крѣпкихъ кислотъ. Она жадно соединяется съ водою и изъ воздуха притягиваетъ къ себѣ влажность, при чѣмъ смѣсь сильно нагрѣвается. При смѣшеніи этой кислоты съ водою нужно вливать кислоту въ воду, а не наоборотъ воду въ кислоту, потому что въ послѣднемъ случаѣ первыя влившіяся капли воды такъ сильно нагрѣваются, что онѣ тотчасъ обращаются въ пары и выбрасываютъ кислоту. Сѣрная кислота сильно дѣйствуетъ на всѣ тѣла; она растворяетъ многіе металлы, но для этаго она должна быть соединена съ водою; она обугливаетъ растительныя вещества, т. е. измѣняетъ ихъ такъ, что другія составныя части освобождаются и остается одинъ уголь. Сѣра также и съ водородомъ составляетъ соединенія, между которыми особенно замѣчательна *сѣрнисто-водородная* кислота; она отличается весьма противнымъ запахомъ, который свойственъ протухлымъ яйцамъ. Если ее вдыхать, то она дѣйствуетъ какъ сильный ядъ; полированныя металлы отъ дѣйствія ея теряютъ свой блескъ.

Хлоръ есть желтый газъ, имѣющій особенный, крѣпкій запахъ. Такъ какъ онъ разрушаетъ растительныя цвѣта, то его употребляютъ, въ смѣшеніи съ водою, для бѣленія матеріи; для этаго спрыскиваютъ матерію хлористою водою. Онъ уничтожаетъ такъ называемыя *міасмы*, т. е. для здоровья вредныя, газообразныя, находящіяся въ воздухѣ вещества; потому онъ употребляется въ госпиталяхъ для очищенія воздуха и въ карантинахъ для окуриванія людей и вещей во время заразительныхъ болѣзней, напр. во время чумы. Для окуриванія онъ употребляется въ видѣ хлористой извести, т. е. въ соединеніи съ извѣстью, или

въ видѣ хлористой воды. Хлоръ соединяется со всѣми простыми веществами; мы упомянемъ здѣсь только о *хлористоводородной* кислотѣ, которая послѣ сѣрной и азотной есть одна изъ сильнѣйшихъ кислотъ. Въ соединеніи съ металломъ натріемъ хлоръ составляетъ поваренную соль, изъ которой онъ и добывается; для этаго смѣшиваютъ ее съ минераломъ, называемымъ марганцомъ и съ сѣрною кислотою и смѣсь нагрѣваютъ.

Остальныя не металлическія простыя вещества такъ рѣдко попадаются въ природѣ и столь мало имѣютъ вліянія на явленія, встрѣчающіяся въ общежитіи, что мы здѣсь можемъ со всѣмъ не говорить объ нихъ. Обратимся теперь ко второму классу простыхъ тѣлъ, къ *металламъ*.

§ 21.

Общія свойства *металловъ* состоятъ въ томъ, что они плавки, непрозрачны и самые плотные изъ всѣхъ тѣлъ встрѣчающихся въ природѣ. Кромѣ того отъ полировки они получаютъ свойственный имъ блескъ, который и называется металлическимъ блескомъ. Плавкость ихъ весьма различна. Ртуть уже при 32° ниже точки замерзанія плавится, и слѣд. при температурѣ комнаты всегда находится въ жидкомъ состояніи, между тѣмъ, какъ платина расплавляется только при сильнѣйшихъ градусахъ тепла и то въ небольшомъ количествѣ. Нѣкоторые изъ металловъ прежде нежели они расплавятся, дѣлаются такъ мягки, что ихъ можно посредствомъ сильнаго давленія или ударовъ молотка соединить въ одну массу, таковы напр. платина и желѣзо; это дѣйствіе называется кованіемъ или навариваніемъ.

Непрозрачность есть свойство, принадлежащее всѣмъ металламъ; впрочемъ золото, одинъ изъ плотнѣйшихъ металловъ, дѣлается просвѣчивающимъ, если значительно уменьшаютъ толщину его, какъ это видно въ листовомъ

золотѣ. Если наклеить листовое золото на стеклянную пластинку и держать его противъ свѣта, то сквозь него пройдетъ зеленый цвѣтъ; измѣненіе бѣлаго цвѣта въ зеленой доказываетъ что свѣтъ проходитъ не черезъ разрывы или дыры въ золотѣ. Къ плотнѣйшимъ металламъ принадлежатъ иридій (въ 23 раза плотнѣе воды), платина, золото, свинецъ; къ легчайшимъ: кали, который легче воды, натрій и проч. Эти легчайшіе металлы никогда не находятся въ природѣ одни, но въ соединеніи съ кислородомъ, и тогда они составляютъ такъ называемые щелочи, напр. кали (или поташъ), сода и проч.

Всѣ металлы соединяюся съ кислородомъ и составляютъ окислы (ржавчина есть ничто иное какъ окиселъ); большая часть металловъ доставляютъ нѣсколько окисловъ, въ которыхъ количество кислорода, какъ мы и прежде замѣтили, находится въ опредѣленныхъ и простыхъ отношеніяхъ. Иные изъ металловъ окисляются и при обыкновенной температурѣ, напр. калій; другіе при высокой напр. цинкъ, желѣзо; а иные только въ сильнѣйшемъ жару напр. золото. Если окисленіе при высокой температурѣ происходитъ мгновенно, то при этомъ освобождаются свѣтъ и теплота и металлы сгараютъ, напр. стальная пружина въ кислородѣ. Впрочемъ горѣніемъ называютъ также и медленное окисленіе (ржавчину), напр. окисленіе желѣза въ водѣ. Кислоты, напр. азотная кислота, скоро окисляютъ большую часть упомянутыхъ здѣсь металловъ и потомъ растворяютъ ихъ, кромѣ золота и платины; эти два металла растворяются только въ смѣси изъ азотной и хлористоводородной китлоты или въ такъ называемой Царской водкѣ. Металлы также легко соединяются съ сѣрою, какъ съ кислородомъ и составляютъ сѣрнистые металлы. Одно изъ замѣчательнѣйшихъ таковыхъ соединеній есть колчеданъ по своему цвѣту и блеску похожій на золото, и потому не свѣдущими людьми часто

принимается за золото. Металлы соединяются также и съ другими простыми не металлическими тѣлами, напр. съ хлоромъ, іодомъ и проч., но эти соединенія для цѣли нашего руководства не важны.

Металлы соединяются между собою; эти соединенія, образующіяся не въ такихъ опредѣленныхъ пропорціяхъ, какія нужны собственно для химическихъ соединеній, называются *сплавами*. Примѣрами таковыхъ сплавовъ служитъ желтая мѣдь или латунъ, которая есть сплавъ мѣди и цинка, также бронза, артиллерискій металлъ и проч. При подобныхъ соединеніяхъ металлы часто измѣняются замѣчательнымъ образомъ въ ихъ свойствахъ. Если въ соединеніе металловъ входитъ ртуть, то смѣсь называется *амальгамою*.

Въ природѣ рѣдко встрѣчаются металлы самородные, но бываютъ соединены съ кислородомъ, съ сѣрою, съ углекислотою, съ мышьякомъ; тогда они называются рудами. Такъ они лежатъ въ горнокаменныхъ породахъ въ видѣ гнѣздъ или жилъ, далеко простирающихся, часто также располагаюся въ пластахъ, и не рѣдко въ рѣкахъ или въ прежде бывшихъ бассейнахъ рѣкъ въ смѣшеніи съ пескомъ; такъ напр. на Уралѣ золото и платина добываюся изъ песковъ посредствомъ промыванія. Металлы въ чистомъ видѣ добываются изъ рудъ различными химическими процессами, большею частію помощію сильнаго жара.

Металлическіе окислы, т. е. соединенія металловъ съ кислородомъ, соединяются съ кислотами, которыя суть тоже соединенія простыхъ тѣлъ съ кислородомъ; въ такомъ случаѣ окиселъ, въ отношеніи къ кислотѣ, называется основаніемъ соединенія, а самое соединеніе *солью*. Такъ напр. сѣрная кислота соединяется съ окисломъ металла кальція, т. е. съ извѣстью, и составляетъ соль называемую

сѣрнокислою извѣстью, которая въ общежитіи извѣстна подъ именемъ гипса.

Названіе солей принадлежитъ также двойнымъ соединеніямъ, состоящимъ изъ хлора и одного металла; мы уже приводили въ примѣръ поваренную соль, которая есть соединеніе хлора съ металломъ натріемъ и въ ученыхъ книгахъ по этому называется хлористымъ натріемъ.

§ 22.

При соединеніи кислотъ съ основаніями или окислами замѣчается столь отличительное свойство собственно химическихъ соединеній, что не излишне будетъ разсмотрѣть подробнѣе этотъ процессъ. Кислоты имѣютъ то особенное свойство, что онѣ окрашиваютъ синія органическія вещества въ красный цвѣтъ; по этому если окрасимъ бумагу такимъ синимъ цвѣтомъ, погрузивши ее въ лакмусовый растворъ, и вырѣжемъ изъ этой бумаги узкія полоски, то посредствомъ ихъ удобно можно узнать, находится ли свободная кислота въ какой нибудь жидкости; ибо въ случаѣ присутствія кислоты, погружаемая бумажка дѣлается красною.

Многіе металлическіе окислы, а именно растворяющіяся въ водѣ такъ называемыя щелочи, имѣютъ весьма большое къ кислотамъ *сродство* т. е. стремленіе съ ними соединяться; они окрашиваютъ желтый цвѣтъ растительныхъ произведеній, именно желтый цвѣтъ имбиря, въ бурый, такъ что черезъ погруженіе бумажки, окрашенной растворомъ имбиря, мы можемъ открыть присутствіе свободной щелочи въ жидкости, подобно какъ чрезъ погруженіе лакмусовой бумажки въ жидкость узнаемъ присутствіе кислоты. Если возмемъ стеклянный сосудъ съ водою и вольемъ въ него немного кислоты напр. сѣрной, то погруженная лакмусомъ окрашенная бумажка тотчасъ покажетъ присутствіе ея въ жидкости, но окрашенная растворомъ имбиря не

перемѣнится. Если будемъ по каплѣ прибавлять щелочи напр. кали, то замѣтимъ, что цвѣтъ лакмусовой бумажки менѣе и менѣе измѣняется, а окрашенной имбиремъ остается желтымъ, пока наконецъ дойдемъ до такого количества прибавляемой щелочи, при которомъ ни лакмусовая, ни имбирная бумажка не измѣняются; если послѣ этаго прибавимъ еще одну каплю щелочи, то хотя лакмусовая бумажка остается не измѣняемою, однако смѣсь дѣйствуетъ на имбирную и показываетъ присутствіе свободной щелочи. Изъ этихъ опытовъ мы должны заключить слѣдующее: если будемъ по каплѣ вливать щелочь въ кислоту, то свойство этой послѣдней болѣе и болѣе будетъ ослабляемо, пока наконецъ при извѣстномъ отношеніи количествъ той и другой жидкости, смѣсь не будетъ имѣть свойствъ ни кислоты ни щелочи и происходитъ новое тѣло, совершенно отличное, отъ составляющихъ его,—*средняя соль*. По этому въ средней соли нельзя замѣтить признаковъ ни щелочи ни кислоты, которыя могутъ быть опять раздѣлены, но только посредствомъ третьяго тѣла, имѣющаго къ одному изъ нихъ большее химическое сродство, нежели какое онѣ имѣютъ между собою; такъ напр. мы уже видѣли, что въ мѣлу, углекислота соединена съ извѣстью; если нальемъ на мѣлъ нѣсколько капель сѣрной кислоты, то она, имѣя сродство съ извѣстью большее, нежели углекислота, соединится съ нею, чрезъ что составится гипсъ, а углекислота освободится въ видѣ газа. Такимъ образомъ мѣлъ разложится.

Всѣ химическія разложенія происходятъ подобнымъ образомъ; всегда одно тѣло отдѣляетъ изъ нѣкотораго соединенія другое потому, что оно само соединяется съ одною изъ составныхъ частей соединенія.

ВТОРОЕ ОТДѢЛЕНІЕ.

О ТВЕРДЫХЪ ТѢЛАХЪ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

СЛОЖЕНІЕ И РАЗЛОЖЕНІЕ СИЛЪ.

§. 23.

Всякая причина, измѣняющая покой или движеніе тѣла или обнаруживающая стремленіе къ такому измѣненію, называется *силою*. — Если силы приводятъ тѣла въ движеніе, то *скоростію* называется пространство, пробѣгаемое тѣломъ въ единицу времени, для которой обыкновенно принимаютъ одну секунду. Силы представляются въ механикѣ линіями, которыхъ направленіе означаетъ направленіе, по которому сила стремится произвести движеніе и которыхъ длина, выраженная въ какихъ либо опредѣленныхъ единицахъ, измѣряетъ величину или напряженіе силы; такъ напр. (фиг. 8) AC и BC представляютъ двѣ силы, дѣйствующія на точку C по направленіямъ AC и BC изъ которыхъ AC = 3, а BC = 4, полагая ab = 1, такъ что если бы сперва дѣйствовала одна сила AC и потомъ сила BC, то производимая силою скорость AC относилась бы къ скорости производимой силою BC такъ, какъ 3 : 4.

Силы дѣйствуютъ на тѣла либо *мгновенно*, какъ напр. толчекъ или ударъ, либо *непрерывно*, какъ напр. лошадь, двигающая телѣгу, или пары въ паровозахъ и въ пароходахъ. Непрерывно дѣйствующія силы можно разсматривать какъ непрерывно повторяющіяся мгновенныя силы; по этому мы начнемъ изслѣдовать дѣйствія мгновенныхъ силъ, а потомъ уже примѣнимъ найденные для нихъ законы и къ непрерывнымъ силамъ.

Если какая нибудь мгновенная сила дѣйствуетъ на твердое, совершенно *свободное* тѣло (т. е. на тѣло, не удерживаемое никакими другими силами или препятствіями), то она по необходимости непосредственно дѣйствуетъ только на нѣкоторыя части тѣла; эти части первыя начинаютъ двигаться, и потомъ уже, послѣ чрезвычайно впрочемъ короткаго промежутка времени, движеніе сообщается къ крѣпко съ ними соединеннымъ другимъ частямъ твердаго тѣла. Но не смотря на такое быстрое сообщеніе движенія всѣмъ частямъ тѣла, все таки можетъ случиться, чтобы при сообщеніи весьма большой скорости первымъ непосредственно ударяемымъ частицамъ, онѣ удаляются изъ предѣла притяженія окружающихъ частицъ прежде, нежели успѣютъ сообщить имъ свое движеніе; въ такомъ случаѣ подвергнутыя удару частицы *отрываются*, между тѣмъ какъ прочія остаются на своихъ мѣстахъ.

Этимъ объясняются многія явленія, которыя съ перваго взгляда кажутся странными. Пуля, спущенная изъ ружья дѣлаетъ круглое отверстіе въ тонкой доскѣ или даже въ стеклянной плиткѣ, не сдвигая съ мѣста всей доски или плитки, хотя бы онѣ могли имѣть движенія. — Если положимъ на отверстіе стакана игральную карту и на нее какую нибудь не большую монету, то мы можемъ быстрымъ ударомъ сбить въ сторону карту, а монета не будетъ участвовать въ семъ движеніи и упадетъ въ стаканъ и т. д.

Но мы не будемъ принимать теперь въ разсужденіе этого дѣйствія, и представимъ себѣ какую нибудь мгновенную силу, дѣйствующую на твердое тѣло такъ, что послѣдовавшее отъ ея дѣйствія движеніе можетъ сообщиться прочимъ частицамъ; въ такомъ случаѣ все тѣло, по нашему предположенію совершенно свободное, приводится въ движеніе и очевидно скорость этого движенія будетъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше число матеріальныхъ частицъ, которымъ оно сообщается. По этому, если хотимъ измѣрять силу по произведенному дѣйствію, то это дѣйствіе должно измѣряться *произведеніемъ сообщаемой скорости* каждой частицы на число этихъ частицъ или на *массу тѣла*, такъ что, если сообщаемую скорость означимъ буквою v, а массу буквою m, то сила измѣряется произведеніемъ mv. Это произведеніе въ механикѣ называется *количествомъ движенія* и служитъ для измѣренія *мгновенныхъ силъ*. Если же массы, на которыя дѣйствуютъ силы, равны, т. е. $m = m'$, то силы измѣряются просто сообщаемыми скоростями.

Мы уже видѣли, что масса тѣлъ, для одного и того же мѣста на поверхности земли, можетъ быть измѣряема *вѣсомъ* этихъ тѣлъ $= P$, и такъ количество движенія въ этомъ случаѣ также измѣряется произведеніемъ Pv. — По этому, если одна сила сообщаетъ тѣлу, вѣсомъ въ 4 пуда, скорость 3 футовъ въ секунду, а другая тѣлу, вѣсомъ въ 6 пудовъ, скорость 2 фута, то первая сила относится ко второй такъ, какъ $4 \times 3 : 6 \times 1 = 12 : 6 = 2 : 1$ и если бы захотѣли эти силы представить линіями, то первую должно принимать вдвое длиннѣе второй По причинѣ инерціи вещества движеніе, сообщаемое тѣлу отъ дѣйствія мгновенной силы, есть *равномѣрное*, съ постоянною скоростію, и совершается по *прямой линіи*. потому, что нѣтъ никакой причины, которая заставила бы совершенно свободное тѣло отклоняться болѣе въ одну нежели

въ другую сторону. Изъ равномѣрности движенія тѣла слѣдуетъ, что пробѣгаемыя пространства пропорціональны временамъ; по этому если скорость тѣла или пространство пройденное въ одну секунду означимъ чрезъ v, то пространство пройденное во время t, также выраженное въ секундахъ, изобразится формулою

$$e = vt.$$

Если напр. скорость тѣла $= 3$ фут. и мы хотимъ знать пространство пройденное въ $8\frac{1}{2}$ секундахъ, то получимъ

$$e = 3 \times 8\frac{1}{2} = 25\frac{1}{2} \text{ футамъ.}$$

§ 24.

Если двѣ мгновенныя силы P и Q дѣйствуютъ въ одно время на тоже самое тѣло, такъ что первая, если бы она одна дѣйствовала, сообщила бы ему скорость v', вторая же скорость v'', то мѣсто на которомъ тѣло находится въ самомъ дѣлѣ при окончаніи какого либо времени t, будетъ тоже самое, на которомъ тѣло находилось бы если оно сперва двигалось бы отъ одной силы P со скоростію v въ теченіи времени t, а потомъ уже отъ силы Q со скоростію v'' въ то же самое время t; но при совокупномъ дѣйствіи силъ P и Q тѣло прійдетъ къ этому мѣсту вдвое скорѣе, и другимъ путемъ, который впрочемъ не трудно опредѣлить. Въ самомъ дѣлѣ точно такъ, какъ мы опредѣлили мѣсто пребыванія тѣла послѣ времени t при совокупномъ дѣйствіи силъ P и Q, опредѣляя ее изъ отдѣльныхъ дѣйствій P и Q, — совершенно подобнымъ образомъ мы можемъ это дѣлать для времени $\frac{1}{2}$ t, $\frac{1}{4}$ t и т. д для каждаго момента; очевидно что рядъ этихъ мѣстъ, опредѣленныхъ какъ можно въ большемъ числѣ, опредѣляетъ *направленіе движенія тѣлъ* при совокупномъ дѣйствіи обѣихъ силъ.

Мы будемъ изслѣдовать движеніе отъ совокупнаго дѣйствія 2 мгновенныхъ силъ, въ трехъ главныхъ случаяхъ:

1. Положимъ что обѣ силы P и Q дѣйствуютъ на тѣло въ одной и тойже точкѣ C (фиг. 6), по одному и тому же направленію AC, и въ одну и ту же сторону отъ C къ A; одна сила P сообщала бы тѣлу во время t такую скорость, что оно находилось бы послѣ времени t на растояніи AC, а одна сила Q такую, что оно находилось бы въ растояніи BC; если сперва дѣйствуетъ P, а потомъ Q, каждая въ теченіи времени t, то тѣло находилось бы очевидно на разстояніи AC + BC отъ C; по предъидущему на этомъ самомъ мѣстѣ будетъ и тѣло отъ совокупнаго дѣйствія P и Q во время t. Совершенно подобнымъ образомъ можно показать что тѣло во время $\frac{1}{2}$ t будетъ на растояніи $\frac{1}{2}$ (AC + BC), во время $\frac{1}{4}$ t на растояніи $\frac{1}{4}$ (AC + BC) и т. д. Изъ этого мы заключимъ, что движеніе тѣла будетъ совершенно тоже самое, какъ будто на мѣсто двухъ силъ P и Q дѣйствовала на ее одна сила $R = P + Q$. Такая сила R въ отношеніи къ P и Q называется *равнодѣйствующею*, а P и Q въ отношеніи R называются *составляющими*. Можно первую замѣнить послѣдними или обратно, механическій результатъ будетъ всегда тотъ же самый. Итакъ мы получаемъ слѣдующее правило: *Если двѣ мгновенныя силы дѣйствуютъ въ одну и туже сторону и по одному и тому же направленію, то равнодѣйствующая равна суммѣ ихъ, дѣйствуетъ по тому же направленію, и въ туже сторону, въ которую дѣйствуютъ составляющія.*

2. Если обѣ силы P и Q дѣйствуютъ на туже самую точку C (фиг. 7) тѣла по тому же самому направленію, но въ противныя стороны, напр. P отъ C къ A, Q отъ C къ B и со скоростями, представляемыми линіями CA и CB, то при отдѣльномъ дѣйствіи ихъ тѣло находилось бы во

время t отъ дѣйствія силы P въ точкѣ A, а потомъ достигло бы въ тоже самое время t отъ Q отъ A къ B′ (если AB′ = CB); въ этомъ самомъ мѣстѣ B′ будетъ тѣло и отъ совокупнаго дѣйствія P и Q по окончаніи времени t. Совершенно подобнымъ образомъ можно показать, что оно во время $\frac{1}{2}$ t находится на срединѣ между C и B′, во время $\frac{1}{2}$ t на $\frac{1}{4}$ CB′, считая отъ C, и т. д., такъ что тѣло движется съ равномѣрною скоростію CB′ = AC — BC отъ C въ сторону большой силы Q. Такую же скорость сообщили бы ему силы R = Q — P, слѣдовательно R будетъ равнодѣйствующая двухъ составляющихъ силъ P и Q. — Итакъ въ этомъ случаѣ мы получаемъ правило: *Если двѣ силы прямо противодѣйствуютъ другъ другу, то равнодѣйствующая равна разности ихъ и дѣйствуетъ по направленію и въ сторону наибольшей изъ нихъ.*

3. Если обѣ силы P и Q дѣйствуютъ подъ какимъ нибудь угломъ ACB (фиг. 8) на одну и туже точку C тѣла, такъ что тѣло отъ отдѣльнаго дѣйствія силы P проходило бы, въ теченіе времени t, пространство CA отъ C къ A, а отъ Q въ тоже время пространство CB отъ C къ B, то эти линіи AC и BC пропорціональны скоростямъ, сообщаемымъ тѣлу силами P и Q и по этому могутъ представлять величины силъ P и Q. Если бы силы дѣйствовали одна послѣ другой, напр. сперва P, а потомъ Q, то тѣло отъ первой силы находилось бы во время t въ A, а потомъ отъ второй послѣ новаго времени t въ D (если AD = CB); и такъ по общему нашему правилу отъ совокупнаго дѣйствія P и Q тѣло послѣ времени t будетъ въ D. — Послѣ времени $\frac{1}{2}$ t тѣло находилось бы, какъ можно совершенно подобнымъ образомъ найти, въ D′, которую точку мы получимъ, возьмемъ если CA′ = $\frac{1}{2}$ CA и A′D′ = CB′ = $\frac{1}{2}$ CB; и легко доказать что D′ будетъ на половинѣ линіи CD. — Такимъ же образомъ можно показать, что во время $\frac{1}{2}$ t тѣло будетъ въ D‴, такъ что CD‴ = $\frac{1}{4}$ CD; во

время $\frac{3}{4}$ t въ D//, такъ что D// $= \frac{3}{4}$ CD и т. д. По этому движеніе тѣла будетъ равномѣрное по діагонали CD параллелограма ABCD и совершенно такое, какое произвело бы одна сила равнодѣйствующая R, представляемая по величинѣ и по направленію линіею CD. — Итакъ мы получаемъ слѣдующее правило: *Если двѣ силы* P и Q *дѣйствуютъ на точку подъ какимъ либо угломъ, то мы получимъ равнодѣйствующую, если означимъ направленія силъ линіями, по этимъ линіямъ возьмемъ длины пропорціональныя силамъ, и потомъ на этихъ двухъ линіяхъ построемъ параллелограмъ; діагональ этого параллелограма представляетъ направленіе и величину равнодѣйствующей въ отношеніи къ составляющимъ.*

Этотъ законъ, извѣстный подъ названіемъ *параллелограма силъ* служитъ основаніемъ всей Механики и доказывается въ теоретической Механикѣ со всею строгостію.

§ 25.

Въ предъидущемъ мы опредѣлили равнодѣйствующую двухъ составляющихъ *мгновенныхъ* силъ, но не трудно показать, что тѣже самыя правила справедливы и для *непрерывныхъ* силъ. Въ самомъ дѣлѣ положимъ напр. что на C (фиг. 8) дѣйствуютъ 2 непрерывныя силы P и Q, первая по направленію CA, а другая по направленію CB; положимъ что CA и CB представляютъ относительныя величины этихъ силъ. Мы уже выше упомянули, что можемъ себѣ представить непрерывную силу какъ составленную изъ ряда мгновенныхъ равныхъ силъ, дѣйствующихъ по одному и томуже направленію и въ туже самую сторону съ непрерывною силою и повторяющихся въ весьма малые промежутки времени. Положимъ что мгновенныя элементарныя силы, составляющія P будутъ: p, p′; p″ и проч., а составляющія Q будутъ q, q′, q″ и проч.; такъ какъ p и q, или въ нашей фигурѣ Ca, Cb дѣйствуютъ въ одно

мгновеніе, то можно по предъидущему опредѣлить равнодѣйствующую r или Od по правилу параллелограма силъ; такимъ же образомъ можно соединить $p^{/}$ и $q^{/}$ въ одну равнодѣйствующую $r^{/}$, $p^{//}$ и $q^{//}$ въ равнодѣйствующую $r^{//}$ и т. д. Но всѣ силы p, $p^{/}$, $p^{//}$ и проч, такъ какъ и q, $q^{/}$, $q^{//}$ и проч. между собою равны по направленію и по величинѣ, слѣдовательно и всѣ r, $r^{/}$, $r^{//}$ будутъ равны и направлены какъ r; изъ нихъ составляется непрерывно дѣйствующая сила R, которая и будетъ равнодѣйствующею силъ P и Q. Равнодѣйствующая R будетъ имѣть общее направленіе всѣхъ r, $r^{/}$, $r^{//}$, или на фигурѣ направленія Cd, которое тоже самое какъ CD т. е. какъ направленіе діогонали параллелограма ABCD построеннаго на линіяхъ CA и CB; величина же R составлена изъ столько r, сколько p составляетъ P или сколько q составляетъ Q; но очевидно что діогональ CD содержитъ столько разъ Cd или r, сколько P содержитъ p, и такъ діагональ CD представляетъ равнодѣйствующую R и по направленію и по величинѣ.

Совершенно подобнымъ образомъ, и еще легче, можно доказать это для непрерывныхъ силъ, дѣйствующихъ по томуже направленію и въ туже сторону на тѣло, равнодѣйствующая равна суммѣ этихъ силъ,— а если составляющія дѣйствуютъ въ противныя стороны, то она равна разности ихъ. Въ первомъ случаѣ направленіе равнодѣйствующей тоже самое какъ и направленіе составляющихъ; а во второмъ оно совпадаетъ съ направленіемъ большей силы.

Посредствомъ параллелограма силъ можно вмѣсто двухъ силъ, дѣйствующихъ на одну точку, найти одну такую, которая произведетъ совершенно одинаковое дѣйствіе, и наоборотъ, одну силу, движущую тѣло въ извѣстномъ направленіи, можно замѣнить двумя, тремя и болѣе силами, которыя на точку окажутъ тоже дѣйствіе. Лучше всего это можно видѣть изъ примѣровъ.

Положимъ, что два человѣка тянутъ тяжесть Q за одну точку C, по направленію AC и BC (фиг. 9); одинъ, находящійся въ B, самъ по себѣ можетъ тянуть со скоростію 3 футовъ, другой въ точкѣ A, со скоростію 4 футовъ; спрашивается въ какомъ направленіи и съ какою скоростію будетъ двигаться тяжесть Q отъ дѣйствія обѣихъ силъ вмѣстѣ? Для рѣшенія этой задачи отложимъ по направленіямъ AC и BC двѣ линіи относящіяся какъ 4 : 3 и построимъ параллелограмъ ABCD; линія CD будетъ показывать направленіе и величину искомой силы; итакъ по нашей фигурѣ тяжесть будетъ двигаться по направленію CD со скоростію $6\frac{1}{2}$ футовъ въ секунду.

Рѣшимъ еще слѣдующую задачу: гребецъ хочетъ переправить свою лодку черезъ рѣку отъ A къ B (фиг. 10); положимъ, что въ стоячей водѣ онъ можетъ гнать свою лодку со скоростію 3 футовъ въ одну секунду и что отъ дѣйствія теченія рѣки лодка проходила бы въ одну секунду 2 фута по направленію показанному стрѣлкою; еслибы гребецъ гналъ свою лодку прямо по направленію отъ A къ B, то вода снесла бы его и онъ причалилъ бы ниже B; слѣд. онъ долженъ направить лодку выше; тогда вода можетъ снести его внизъ, такъ что онъ причалитъ прямо къ B. Спрашивается по какому направленію вверхъ по теченію рѣки онъ долженъ править своею лодку, чтобъ достигнуть до B? Положимъ, что лодка находится въ точкѣ D; отъ теченія воды она шла бы по направленію DF со скоростію 2 футовъ; изобразимъ эту силу линіею DF. Если раздѣлимъ ее въ G на двѣ части, то сила гребца выразится трекратною линіею DG; спрашивается по какому направленію должна дѣйствовать эта сила 3DG для того, чтобъ отъ дѣйствія ея и силы DF лодка шла по направленію DB. Измѣримъ линію 3DG циркулемъ, одну изъ ножекъ его поставимъ въ F и найдемъ, на какую точку линіи DB упадетъ другая ножка его; положимъ,

что въ точку C; проведемъ линію FC и составимъ параллелограмъ DFCK; линія DK будетъ искомое направленіе. Въ самомъ дѣлѣ вмѣсто обѣихъ силъ DK и DF можно бы было употребить силу DC, дѣйствующую по діагонали и могущую пригнать лодку къ назначенной точкѣ; линія DC выражаетъ вмѣстѣ и скорость движенія лодки, которая, по нашей фигурѣ, равна почти $2\frac{1}{4}$ футамъ въ секунду.

Посредствомъ вычисленія можно гораздо точиѣе, нежели построеніемъ, разлагать силы, если только употребимъ нѣкоторыя весьма простыя предложенія изъ тригонометріи. Пусть напр. $DC = r$ будетъ равнодѣйствующая силъ CA и CB, которыя для краткости мы означимъ относительно буквами p и q (фиг. 9); пусть α и β будутъ углы составляемые этими силами съ направленіемъ равнодѣйствующей; $\alpha + \beta$ или уголъ заключающійся между p и q пусть будетъ равенъ γ; тогда въ треугольникѣ DAC, въ которомъ $AD = BC = q$, мы по правилу тригономегріи имѣемъ:

$$AC : AD : DC = \sin ADC : \sin ACD : \sin DAC.$$

или какъ $\sin \gamma = \sin DAC$, то

$$(I)\quad p : q : r = \sin \beta : \sin \alpha : \sin \gamma$$

Кромѣ того $DC^2 = AD^2 + AC^2 - 2AD.AC.\cos DAC$, или, такъ какъ $\cos DAC = -\cos \gamma$

$$(II)\quad r^2 = p^2 + q^2 + 2pq.\,\mathrm{Cos}\,\gamma.$$

Эти двѣ формулы даютъ намъ средство рѣшать всѣ подобныя задачи.

Въ нашемъ первомъ примѣрѣ, рѣшенномъ геометрически, уголъ $\gamma = BCA$ данъ; предположимъ, что силы $p = AC$ и $q = BC$ составляютъ между собою уголъ 45^0, какъ это видно и по фигурѣ; q была $= 3$, $p = 4$; слѣд. по формулѣ (II) для величины равнодѣйствующей получимъ:

$$r = \sqrt{9 + 16 + 24.\,\mathrm{Cos}\,45^0} = 6{,}5$$

направленіе же ея найдемъ изъ пропорціи (I), когда опредѣлимъ уголъ β

$$p : r = \sin \beta : \sin \gamma$$

или $3 : 6{,}5 = \sin \beta : \sin 45$

откуда получимъ $\beta = 19^0 \,,, 3'$

Во второй задачѣ $KDC = DCF = x$, гдѣ посредствомъ x опредѣляется искомое направленіе лодки. Мы прямо имѣемъ въ треугольникѣ DFC:

$$\text{Sin } x = \frac{FD}{FC} = \frac{2}{3}; \text{ слѣд. } x = 41^0 \,,, 40'$$

Подъ этимъ угломъ гребецъ долженъ направлять лодку, чтобы приплыть къ B; скорость движенія будетъ:

$$FC . \cos x = 3 . \cos . 41^0 \,,, 49' = 2{,}236 \text{ фут.}$$

§ 26.

Мы до сихъ поръ видѣли, что двѣ силы, дѣйствующія на одну точку твердаго тѣла, могутъ быть замѣнены одною, которая произведетъ совершенно тоже дѣйствіе. Теперь разсмотримъ нельзя ли намъ и двѣ параллельныя силы, дѣйствующія на двѣ точки тѣла напр. AC и BD (фиг. 11) замѣнить одною, которая произведетъ тоже дѣйствіе. Это мы можемъ легко сдѣлать, основываясь на законѣ параллелограма силъ, если еще прибавимъ къ нему одно предложеніе, состоящее въ слѣдующемъ:

Точка приложенія силы можетъ быть перемѣщена въ какую нибудь точку направленія ея, причемъ дѣйствіе нисколько неизмѣняется, если только всѣ точки принадлежатъ одному и томуже тѣлу и слѣд. находятся въ неизмѣняемомъ другъ отъ друга разстояніи. Легко можно удостовѣриться въ справедливости этого предложенія. Въ самомъ дѣлѣ все равно, дѣйствуетъ ли сила DB на точку B или на точку B′; если напр. она сообщаетъ

толчекъ точкѣ B/, то она дѣйствуетъ одинаково и на точку B, посредствомъ всѣхъ точекъ, лежащихъ между B и B/ и составляющихъ линію BB/. Такъ напр. если мы тянемъ коляску за горизонтальное дышло, то все равно, за какую бы точку дышла мы ни тянули, мы должны употребить туже самую силу. Допустивши это предложеніе мы легко можемъ рѣшить нашу задачу, именно найти равнодѣйствующую двухъ параллельныхъ силъ, точку приложенія ея и направленіе.

Пусть A и B будутъ точки приложенія силъ P и Q, относящихся между собою, какъ AM относится къ BN (фиг. 12). Соединимъ A и B линіею AB и по направленію ея заставимъ дѣйствовать двѣ новыя равныя силы p, изъ которыхъ одна CA сообщаетъ толчекъ отъ A къ B, а другая BD отъ B къ A. Такъ какъ эти двѣ силы равны и дѣйствуютъ совершенно противоположно на концахъ не гибкой и неразтяжимой линіи AB, то онѣ уничтожаютъ другъ друга, и несмотря на эти двѣ новыя силы, мы не получимъ никакой перемѣны въ движеніи обѣихъ точекъ A и B (и слѣд. въ движеніи всего тѣла), которое происходитъ отъ однѣхъ силъ P и Q. Силы CA и AM можемъ построеніемъ параллелограма CAMF сложить въ одну силу, которой направленіе и величина будутъ выражены линіею AF; такимъ образомъ можемъ замѣнить и силы BN и BD одною BG, и такъ какъ 4 силы, изъ которыхъ произошли AF и AG, дѣйствуютъ также, какъ P и Q, то AF и BG, какъ равнодѣйствующія, будутъ дѣйствовать также, какъ P и Q. Если продолжимъ FA и GB до пересѣченія ихъ въ K, то мы можемъ перемѣстить точку приложенія силы FA изъ A въ K и также точку приложенія силы BG въ K, предполагая что K принадлежитъ вмѣстѣ съ A и B томуже твердому тѣлу. Такимъ образомъ мы имѣемъ двѣ силы F/K = FA и G/K = GB, которыя дѣйствуютъ также какъ P и Q. Изъ K проведемъ линію

KL параллельную направленію силъ P и Q, и C′D′ параллельную линіи AB, и разложимъ KF′ на двѣ силы, дѣйствующія по этимъ послѣднимъ линіямъ; мы получимъ KC′ и KP′; подобнымъ же образомъ изъ силы KG′, по разложеніи получимъ двѣ силы KD′ и KQ′. Очевидно, что будетъ $KP' = AM = P$ и $KC' = CA = p$, потому что отъ этихъ силъ произошла сила AF, дѣйствующая по этому направленію; подобнымъ образомъ будетъ $KQ' = Q$ и $KD' = BD = p$; обѣ силы p совершенно противоположны и слѣдовательно уничтожаютъ другъ друга и остаются силы KP′ и KQ′ (равныя силамъ P и Q), которыя также дѣйствуютъ, какъ первоначальныя P и Q. Но такъ какъ эти двѣ силы дѣйствуютъ на одну и туже точку въ одномъ и томъ же направленіи, то равнодѣйсвующая ихъ есть $R = P + Q$ и дѣйствуетъ по направленію KL; слѣд. это есть равнодѣйствующая обѣихъ параллельныхъ силъ P и Q, которую мы хотѣли опредѣлить; она дѣйствуетъ по направленію KL на какую нибудь точку этой линіи; для этого мы можемъ взять точку L, въ которой направленіе этой силы пересѣкаетъ линію AB. Такимъ образомъ мы имѣемъ вмѣсто двухъ параллельныхъ силъ P и Q одну равнодѣйствующую R, которая равна ихъ суммѣ, параллельна имъ и которая точку приложенія имѣетъ въ L.

Изъ подобія треугольниковъ KF′P′ и KAL слѣдуетъ:

$$KP' : P'F' = KL : LA$$

$$\text{или } P : p = KL : LA$$

$$\text{оттуда: } P \cdot LA = p \cdot KL.$$

Также изъ подобія треугольниковъ KQ′G′ и KLB слѣдуетъ:

$$KQ' : Q'G' = KL : LB$$

$$\text{т. е. } Q : p = KL : LB$$

$$\text{откуда } Q \cdot LB = p \cdot KL$$

соединяя полученныя равенства мы будемъ имѣть:

$$P \,.\, LA = Q \,.\, LB$$

или $$P : Q = LB : LA$$

т. е. *если двѣ параллельныя силы* P и Q *будутъ дѣйствовать на дѣлъ точкѣ какого нибудь тѣла, то для опредѣленія равнодѣйствующей должно соединить обѣ точки прямою линіею и раздѣлить ее въ обратномъ отношеніи силъ, такъ чтобы большая часть была на сторонѣ меньшей силы, тогда точка дѣленія будетъ точкою приложенія равнодѣйствующей, направленіе которой будетъ параллельно направленію силъ* P и Q, *а величина равна суммѣ обѣихъ силъ.*

§ 27.

По этому правилу можно рѣшить различныя задачи. Положимъ, что два носильщика должны нести на плечахъ какую нибудь тяжесть, повѣшенную на шестѣ (фиг. 13). Пусть точка A лежитъ на плечѣ одного носильщика, а точка B на плечѣ другаго. Положимъ, что оба носильщика различнаго отъ природы сложенія, такъ что одинъ A можетъ съ такою же легкостію нести 2 пуда, съ какою другой B 1 пудъ. Спрашивается, гдѣ должно повѣсить тяжесть, для того, чтобъ A относительно столько же былъ обремененъ какъ B? Пусть эта точка будетъ C; слѣд. нужно опредѣлить разстояніе $CA = x$. Изъ нашей теоремы мы знаемъ, что если вся длина шеста будетъ $AB = a$ то получимъ

$$AC : CB = 1 : 2$$

т. е. $$x : a - x = 1 : 2$$

откуда получимъ $$2x = a - x$$

или $$x = \frac{1}{3} a$$

т. е. тяжесть должна быть подвинута къ сильнѣйшему носильщику, такъ чтобы AC относилось къ BC, какъ сила слабѣйшаго къ силѣ крѣпчайшаго.

Покажемъ еще другой примѣръ разложенія параллельныхъ силъ: опредѣлимъ давленіе, которое производится на каждую ножку треножнаго стола тяжестію лежащею на немъ (фиг. 14). Пусть ABC представляетъ доску стола, къ которой ножки прикрѣплены въ точкахъ A, B, C. Пусть въ точкѣ P лежитъ тяжесть въ 10 пудовъ; спрашивается какую часть этой тяжести должна поддерживать каждая ножка порознь? Проведемъ отъ A черезъ P линію AD; здѣсь тяжесть можно принимать за равнодѣйствующую двухъ силъ, изъ которыхъ одна p дѣйствуетъ на A, а другая q на D; тогда по нашей теоремѣ получимъ:

$$\frac{p}{q} = \frac{2}{1} \text{ и } p + q = 10$$

если будетъ, какъ видно въ нашей фигурѣ,

$$PD : AP = 2 : 1.$$

Изъ этихъ двухъ уравненій мы можемъ опредѣлить p и q и найдемъ

$$p = 6\frac{2}{3}; \; q = 3\frac{1}{3}.$$

Такимъ образомъ мы находимъ, что вмѣсто десятипудовой тяжести, дѣйствующей на точку P, съ такою же силою будутъ дѣйствовать двѣ, одна въ $6\frac{2}{3}$ пуда на A, а другая въ $3\frac{1}{3}$ пуда на D. Давленіе на точку D раздѣляется опять на двѣ точки B и C въ отношеніи DC : BD, слѣд. по нашей фигурѣ въ отношеніи 5 : 1, такъ что на B дѣйствуетъ $\frac{5}{6}\,q$, на C $\frac{1}{6}\,q$; или поелику $q = 3\frac{1}{3} = \frac{10}{3}$, то мы получимъ слѣдующія давленія:

на B . . . . . $\frac{3}{4} \cdot \frac{10}{1} = 2\frac{1}{2}$ пуда
на C . . . . . $\frac{1}{4} \cdot \frac{10}{1} = \frac{5}{8}$ пуда
на A . . . . . $6\frac{2}{3} = 6\frac{2}{3}$ пуда.

Очевидно, что сумма всѣхъ трехъ давленій должна быть равна всей тяжести и въ самомъ дѣлѣ она = 10.

Изъ послѣдняго примѣра мы уже знаемъ, какъ разложить одну силу въ 10 пудовъ на три другія, изъ которыхъ одна дѣйствуетъ на A, другая на B, третья на C. Подобнымъ образомъ всегда поступаютъ при разложеніи и при сложеніи болѣе нежели двухъ силъ или параллельныхъ или дѣйствующихъ на одну точку. Для сложенія напр. силъ A, B, C, D сперва находятъ равнодѣйствующую R_1 двухъ силъ A и B, потомъ равнодѣйствующую R_2 силы R_1 и какой нибудь изъ остальныхъ напр. C; потомъ равнодѣйствующую R_3 силы R_2 и послѣдней силы D. Опредѣленная такимъ образомъ послѣдняя изъ равнодѣйствующихъ R_3 будетъ равнодѣйствующею всѣхъ силъ A, B, C, D.

§ 28.

До сихъ поръ мы полагали, что обѣ параллельныя силы которыхъ равнодѣйствующую мы нашли, направляются въ одну сторону. Но какая будетъ равнодѣйствующая, когда одна параллельная сила P дѣйствуетъ по направленію AP (фиг. 15), а другая Q по противному направленію BQ? Къ рѣшенію этаго вопроса мы можемъ достигнуть слѣдующимъ простымъ способомъ: основываясь на предъидущемъ мы можемъ разложить большую силу Q на двѣ P′ и R параллельно ей дѣйствующія по направленію AP′ и DR изъ нихъ P′ = P, если возьмемъ R = Q — P и точку приложенія на линіи AB въ такомъ разстояніи, чтобъ существовало отношеніе P′ : R = BD : AB.

Такимъ образомъ получимъ вмѣсто двухъ прежнихъ силъ три новыя P, P′ и R, которыя производятъ совершенно тоже дѣйствіе: изъ нихъ силы P и P′, какъ равныя и противоположныя одна другою взаимно уничтожаются, и слѣд. остается только одна R, дѣйствующая также, какъ двѣ прежнія противуположныя P и Q, такъ что R выражаетъ направленіе и величину равнодѣйствующей. По предъидущему мы имѣемъ

$$P : R = BD : AB$$

Слѣд. $$P + R : P = BD + AB : BD.$$

т. е. $$Q : P = AD : BD.$$

Слѣд. и здѣсь мы имѣемъ прежнее правило: точка приложенія равнодѣйствующей силы должна быть взята такъ, чтобъ разстоянія ея отъ точекъ приложенія первоначальныхъ силъ находились въ обратномъ отношеніи этихъ силъ; только здѣсь нужно брать точку приложенія не между силами P и Q, но внѣ ихъ, на сторонѣ большей силы. Величина равнодѣйствующей равна разности обѣихъ силъ P и Q, а направленіе ея параллельно направленію прежнихъ силъ.

Изъ этого непосредственно слѣдуетъ, что двѣ равныя и параллельныя, но противоположныя силы не могутъ быть замѣнены одною равнодѣйствующею, ибо хотя и выходитъ равнодѣйствующая $Q - P = 0$, но точка ея приложенія находится въ безконечномъ растояніи, и въ самомъ дѣлѣ тѣло не останется въ покоѣ, но старается прійдти въ вращательное движеніе.

При сложеніи параллельныхъ силъ, дѣйствуютъ ли онѣ по одному направленію, или по противоположному, мы находили точку приложенія равнодѣйствующей и величину ея совершенно независимо отъ направленія силъ. Напр. мы опредѣлили величину равнодѣйствующей (фиг. 16) R двухъ силъ P и Q и точку ея приложенія только изъ

одного отношенія этихъ силъ, и очевидно, что мы нашли бы туже точку приложенія и туже величину $CR' = CR$, если бы разсматривали вмѣсто силы P равную ей P', а вмѣсто силы Q равную ей Q'; перемѣнилось бы только направленіе равнодѣйствующей вмѣстѣ съ измѣненіемъ направленія слагающихъ. Итакъ если слагающія силы всѣ вмѣстѣ будутъ обращаться по одному направленію около своихъ точекъ приложенія, такъ чтобъ онѣ оставались всегда параллельны между собою, то и равнодѣйствующая будетъ съ ними обращаться въ туже сторону, удерживая туже величину и туже точку приложенія; слѣд. точка приложенія равнодѣйствующей однѣхъ и тѣхъ же слагающихъ, дѣйствующихъ параллельно, есть совершенно опредѣленная точка, которую называютъ *центромъ силъ*.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

О ЦЕНТРѢ ТЯЖЕСТИ.

§ 29.

Законы, выведенные нами для разложенія и сложенія параллельныхъ силъ, имѣютъ столь существенное примѣненіе къ дѣйствію силы тяжести на тѣла, что мы хотимъ вслѣдъ за этимъ подробно разсмотрѣть это дѣйствіе. Мы прежде уже видѣли, что тяжесть есть общее, хотя не необходимое свойство тѣлъ, не принадлежащее только нѣкоторымъ дѣйствователямъ природы, называемымъ по этому не вѣсомыми; кромѣ ихъ всѣ тѣла тяжелы т. е. онѣ притягиваются землею и притомъ такъ, что каждый атомъ тѣла притягивается каждымъ атомомъ земли: притяженіе

двухъ какихъ угодно атомовъ, какого бы химическаго состава они ни были, на равномъ разстояніи равно, и уменьшается въ обратномъ отношеніи квадратовъ разстоянія. Пусть ABDF (фиг. 17) представляетъ земной шаръ, C центръ его, M какую нибудь матеріальную точку; возмемъ частицу земнаго шара m, которая притягиваетъ къ себѣ частицу M по направленію mM. Легко можно видѣть, что по другую сторону центра земли должна находиться другая точка m', которая находится отъ M въ томъ же разстояніи и для которой уголъ CMm' = CMm; также видно, что тогда равнодѣйствующая обѣихъ притягательныхъ силъ m и m' должна совпадать съ линіею MC. Тоже можно сказать о какой угодно другой точкѣ n; также и для ея находится частица n', такъ что равнодѣйствующая притяженій этихъ двухъ частицъ идетъ по направленію MC. Относя это разсужденіе ко всѣмъ частицамъ находящимся въ полушаріи BAF, для которыхъ, — если предположить, что земля есть однородное тѣло, — всегда можно найти соотвѣтствующія частицы въ полушаріи BDF, мы выводимъ заключеніе, что притяженія всѣхъ частицъ земнаго шара должны имѣть равнодѣйствующую, которой направленіе проходитъ чрезъ центръ земли; итакъ всякая матеріальная точка M, находящаяся внѣ земнаго шара притягивается землею по направленію къ ея центру; слѣд. если она не имѣетъ опоры, то она будетъ приближаться къ землѣ по этому направленію, т. е. она будетъ падать. Направленіе къ центру земли называется *отвѣснымъ направленіемъ*. Считая по этому направленію, часть тѣла ближайшая къ землѣ называется нижнею, часть отдаленная отъ земли верхнею. Итакъ если человѣкъ на 4 мѣстахъ земной поверхности находится въ отвѣсномъ положеніи AB, A$'$B$'$, A$''$B$''$, A$'''$B$'''$ (фиг. 18, то A, A$'$, A$''$, A$'''$, будутъ нижнія точки—его ноги; B, B$''$, B$'''$, верхнія точки — его голова, и вездѣ тѣло будетъ падать по направленію отъ B къ A; по

этому вопросъ, почему наши антиподы не упадутъ съ земли, — не имѣетъ никакого смысла.

Изъ положенія отвѣсныхъ направленій видно, что въ двухъ какихъ нибудь точкахъ земной поверхности направленія тяжести не могутъ быть параллельны, но если точки A и D (фиг. 19), въ которыхъ находятся двѣ матеріальныя частицы, лежатъ не въ далекомъ другъ отъ друга разстояніи, напр. на нѣсколько футовъ, то легко можно видѣть, что уголъ ACD, составленный двумя отвѣсными направленіями AC и DC, такъ малъ, что AC и DC можно считать за параллельныя линіи. Въ самомъ дѣлѣ предположимъ, что горизонтальное разстояніе этихъ точекъ есть 100 футовъ и что онѣ находятся на самой поверхности земли. Радіусъ земли r можно приблизительно принять равнымъ 20000000 футамъ. Означимъ уголъ ACD чрезъ x; окружность земли $= 2\pi r$, слѣд. на большемъ кругѣ земной поверхности величина одной секунды будетъ $\frac{2\pi r}{360.60.60} = \frac{\pi r}{648000}$. Отсюда находимъ пропорцію

$$1'' : x = \frac{\pi r}{648000} : 100$$

Слѣд. $$x = \frac{64800000}{\pi r} = \frac{64800000}{62800000}$$ т. е. почти $= 1''$

Итакъ для двухъ точекъ, отстоящихъ на 100 футовъ одна отъ другой, уголъ ACD былъ бы равенъ почти $1''$. Но эта величина угла такъ мала, что она можетъ быть наблюдаема только посредствомъ самыхъ лучшихъ и большихъ астрономическихъ инструментовъ, и то только посредствомъ нонiуса. Кромѣ того тѣла на земной поверхности обыкновенно бываютъ меньшаго размѣра, нежели 100 футовъ, посему безъ чувствительной ошибки можно допустить, что *на всѣ частицы одного и тогоже тѣла тяжесть дѣйствуетъ по параллельному направленію.*

§ 30.

Итакъ въ тѣлѣ тяжесть дѣйствуетъ на каждую изъ точекъ *m*, *n*, *o*, тѣла MN (фиг. 20) по параллелънымъ и отвѣснымъ направленіямъ *mp*, *nq*, *or* и проч. Но мы видѣли, что для всякаго числа параллельныхъ и дѣйствующихъ въ одну сторону силъ, можно найти равнодѣйствующую, которой направленіе параллельно направленію слагающихъ и величина которой равна ихъ суммѣ, слѣд. и здѣсь мы можемъ найти равнодѣйствующую, которой точка приложенія пусть лежитъ въ M, и которая будетъ равна суммѣ слагающихъ. Но сумма всѣхъ слагающихъ вмѣстѣ т. е. дѣйствія тяжести на всѣ частицы тѣла, составляетъ то, что мы называемъ *вѣсомъ* тѣла; итакъ равнодѣйствующая по величинѣ своей равна вѣсу тѣла. Если теперь въ точкѣ приложенія равнодѣйствующей употребимъ какую нибудь силу равную вѣсу тѣла, и противоположно тяжести дѣйствующую снизу вверхъ, то она произведетъ равновѣсіе и тѣло не будетъ двигаться, хотя бы другія точки небыли подперты. Это имѣло бы мѣсто также тогда, когда бы тѣло обращено было около точки M, потому что тогда всѣ направленія силъ измѣнялись бы одинаково, слѣд. по предъидущему точка приложенія и величина равнодѣйствующей остались бы тѣже. Эта точка приложенія равнодѣйствующей называется *центромъ тяжести* тѣла. Слѣд. отличительное его свойство состоитъ въ томъ, что если какая нибудь сила препятствуетъ центру тяжести двигаться, то и все тѣло остается въ покоѣ и притомъ во всякомъ положеніи. Итакъ если P будетъ центръ тяжести тѣла ABCD (фиг. 21) и если удержать паденіе его какою нибудь силою PM, то тѣло останется въ покоѣ. Если обратимъ тѣло около точки P, такъ чтобы оно приняло положеніе A′B′C′D′, то и въ этомъ положеніи оно останется въ покоѣ; тоже будетъ во всякомъ другомъ положеніи.

§ 31.

При опредѣленіи равновѣсія тѣлъ весьма важная задача состоитъ въ нахожденіи центра тяжести. Его находятъ или геометрическимъ или практическимъ способомъ. Если тѣло однородно т. е. если оно наполняетъ занимаемое имъ пространство однообразно, такъ что въ одномъ и томъ же объемѣ заключается одно и тоже число атомовъ; также если плотность его измѣняется по извѣстнымъ, опредѣленнымъ законамъ и фигура его будетъ правильная т. е. шаръ, эллипсоидъ, параллепипедъ и проч.: то можно употребить первый точнѣйшій способъ. Еслиже видъ тѣла неправильный и плотность въ различныхъ частяхъ его будетъ различна, или даже вовсе неизвѣстна, то нужно прибѣгнуть къ практическому способу.

Такъ напр. легко можно доказать геометрическимъ образомъ, что центръ тяжести однороднаго шара долженъ находиться въ центрѣ его, потому что для частицы a (фиг. 22), которая находится по одну сторону центра C и которую сила ag тянетъ внизъ, можно всегда по другую сторону центра C найти другую частицу b, на которую дѣйствуетъ равная сила bg, и которая съ частицею a симметрически расположена относительно центра C, такъ что равнодѣйствующая обѣихъ силъ проходитъ черезъ центръ; такъ какъ всѣ частицы, соединенныя такимъ образомъ по парно, даютъ равнодѣйствующую, проходящую черезъ центръ, то и равнодѣйствующая всѣхъ силъ также будетъ имѣть точку приложенія въ центрѣ шара, и слѣд. центръ тяжести шара совпадаетъ съ геометрическимъ центромъ его. Подобнымъ же образомъ можно доказать, что центръ тяжести C′ цилиндра лежитъ на срединѣ его оси ab (фиг. 23), центръ тяжести прямого параллепипеда также на срединѣ его оси, центръ тяжести эллипсоида въ центрѣ его и т. д.

Въ нѣкоторыхъ тѣлахъ центръ тяжести лежитъ внѣ массы ихъ, напр. въ пустомъ шарѣ, въ кольцѣ, въ пустомъ цилиндрѣ и т. д. Для другихъ правильныхъ тѣлъ центръ тяжести находятъ посредствомъ интегральнаго исчисленія; оно показываетъ, что центръ тяжести равностороннаго треугольника лежитъ на $\frac{1}{3}$ высоты считая отъ его основанія; центръ тяжести прямаго конуса лежитъ на $\frac{3}{4}$ оси, считая отъ вершины его и проч.

Если тѣло состоитъ изъ частей различной плотности, и если мы знаемъ центръ тяжести каждой части отдѣльно, то мы можемъ легко найти центръ тяжести всего тѣла. Пусть напр. (фиг. 24) тѣло ABFD состоитъ изъ двухъ частей ABD и BFD; первая часть пусть будетъ изъ дерева а другая изъ свинцу, такъ что вѣсъ части ABD $=$ 1 фунту, вѣсъ свинцовой части $=$ 15 ф. Положимъ, что какимъ нибудь способомъ найдено, что деревянная часть имѣетъ центръ тяжести въ C, а свинцовая въ E. Очевидно, что центромъ тяжести всего тѣла будетъ точка приложенія равнодѣйствующей двухъ силъ, изъ которыхъ одна $=$ 1 отвѣсно дѣйствуетъ на C, другая $=$ 15 на E. Но изъ предъидущаго извѣстно, что эту точку мы можемъ найти раздѣливъ линію CE на 16 частей и взявши на ней такія части, чтобъ было SC : SE $=$ 15 : 1; слѣд. S будетъ общій центръ тяжести всего тѣла. По этому, если извѣстно положеніе центра тяжести двухъ частей тѣла, то мы найдемъ общій центръ тяжести обѣихъ частей, если соединимъ данные центры прямою линіею и потомъ на ней возьмемъ искомую точку, такъ чтобъ она находилась во столько разъ ближе къ центру тяжести одной части, во сколько разъ эта часть тяжелѣе другой. Если мы имѣемъ болѣе двухъ разнородныхъ частей въ одномъ тѣлѣ и знаемъ положеніе центра тяжести каждой части порознь, то мы прежде находимъ центръ тяжести общій двумъ частямъ, потомъ ищемъ центръ тяжести принадлежащій найденному центру и

центру третьей части и т. д. Черезъ эти соединенія послѣдній найденный центръ тяжести будетъ искомый центръ всего тѣла.

§ 32.

Мы выше видѣли, что познаніе центра тяжести важно въ томъ отношеніи, что только эту точку нужно подпереть для того, чтобы дать опору самому тѣлу во всякомъ его положеніи. Однако въ большей части случаевъ невозможно дать опору самому центру тяжести, потому что онъ находится въ самой массѣ тѣла. Но легко можно видѣть, что центръ тяжести также будетъ имѣть опору, если подопремъ какую нибудь точку тѣла, находящуюся внизу или вверху центра тяжести на одной съ нимъ отвѣсной линіи. Пусть напр. требуется подпереть конусъ DBE (фиг. 25 A) такъ чтобы онъ не упалъ; пусть центръ тяжести его будетъ въ C. Если, повѣсивъ конусъ на нити, будемъ держать его въ такомъ положеніи, чтобъ C находился отвѣсно подъ B, то мы знаемъ изъ предъидущаго, что точка приложенія силы, которая держитъ нить AB, можетъ быть перемѣщена въ какую угодно точку тѣла, находящуюся на продолженіи направленія AB, отъ чего дѣйствіе силы не измѣнится и будетъ все равно, какъ бы самый центръ тяжести былъ подпертымъ, слѣд. конусъ и тогда останется въ покоѣ, когда точка B будетъ держаться нитью; совершенно тоже мы можемъ сказать въ томъ случаѣ, когда конусъ наоборотъ будетъ поставленъ на своей вершинѣ (фиг. 25 B); если точка B имѣетъ точку опоры отвѣсно подъ точкою C, то и C будетъ подпертъ, а съ нимъ вмѣстѣ и весь конусъ.

Но всякой изъ опыта знаетъ, что между двумя помянутыми способами подпоры находится существенное различіе. Въ первомъ случаѣ конусъ самъ собою приходитъ въ положеніе равновѣсія, когда его выводятъ изъ этого

положенія; напротивъ въ послѣднемъ случаѣ, когда конусъ стоитъ на своей вершинѣ, онъ опрокидывается, какъ скоро хотя не много будетъ выведенъ изъ этого положенія. Такъ какъ никогда нельзя найти въ практикѣ точнымъ образомъ положеніе равновѣсія и притомъ, еслибы и удалось это, то малѣйшее потрясеніе, малѣйшее движеніе воздуха опять вывело бы его изъ этого положенія, посему можно легко видѣть, что конусу совершенно нельзя стоять во второмъ случаѣ равновѣсія долѣе одного мгновенія. Первое равновѣсіе называется *устойчивымъ*, второе *неустойчивымъ;* въ практикѣ употребительно только первое. Теоретически легко можно видѣть причину, по которой получается устойчивое равновѣсіе, когда точка опоры центра тяжести находится выше этого центра, а неустойчивое тогда, когда точка опоры его лежитъ ниже. Въ самомъ дѣлѣ пусть C (фиг. 26 A); будетъ центръ тяжести какого нибудь тѣла и пусть это тѣло будетъ повѣшено на нити AC; потомъ выведемъ C изъ положенія равновѣсія въ D и предоставимъ его самому себѣ; тяжесть будетъ дѣйствовать на него по направленію DG если линія DG представляетъ величину силы тяжести, то мы можемъ разложить ее на двѣ силы перпендикулярныя одна къ другой DF и DK; одна изъ нихъ DF дѣйствуетъ по направленію нити AD, слѣд. только тянетъ ее; напротивъ другая DK производитъ движеніе центра тяжести; слѣд. онъ опятъ приближается къ первоначальному положенію и послѣ нѣсколькихъ колебаній въ ту и другую сторону, какъ мы увидимъ это послѣ, приходитъ наконецъ въ первоначальное положеніе и остается въ покоѣ.

Если же центръ тяжести C подпирается снизу въ A (фиг. 26, B) посредствомъ прута AC, и если мы выведемъ его изъ этого положенія въ D, то на него будетъ дѣйствовать сила тяжести DG, которую мы разложимъ на двѣ перпендикулярныя одна къ другой; DF уничтожается сопро-

тивленіемъ прута, но DK болѣе и болѣе выводитъ центръ тяжести изъ положенія равновѣсія, такъ что онъ самъ собою не можетъ опять прійдти въ то положеніе; въ этомъ и состоитъ неустойчив_е равновѣсіе.

§ 33.

Впрочемъ есть возможность подперѣть центръ тяжести снизу и между тѣмъ получить, покрайнѣй мѣрѣ до извѣстнаго предѣла, устойчивое равновѣсіе; это бываетъ въ томъ случаѣ, когда подпирается не только точка, лежащая прямо подъ центромъ тяжести, но и поверхность окружающая эту точку. Пусть напр. тѣло AHB (фиг. 27) лежитъ на плоскомъ основаніи AB; пусть центръ тяжести находится въ C. Тѣло останется въ покоѣ, потому что оно подперто въ M ниже C. Если тѣло выведено будетъ изъ этого положенія и будетъ обращаться около точки B, то подобное разложеніе силы Dg на DF и DK покажетъ, что сила DK, отъ которой только зависитъ движеніе, опять заставитъ точку D прійти въ свое первоначальное положеніе C. Слѣдовательно равновѣсіе будетъ устойчивое до тѣхъ поръ, пока C не будетъ выведено изъ своего положенія далѣе положенія N; за этимъ предѣломъ мы очевидно имѣемъ случай паденія тѣла въ противоположную сторону. Итакъ мы видимъ, что здѣсь имѣетъ мѣсто устойчивое равновѣсіе, хотя центръ тяжести подпирается снизу, потому что точка B, около которой обращается тѣло, при перемѣщеніи центра тяжести не совпадаетъ съ точкою M, лежащею прямо подъ точкою опоры.

Уголъ, составляющій предѣлъ устойчиваго равновѣсія, есть уголъ, на который центръ тяжести можетъ быть выведенъ изъ своего положенія, не допуская тѣла опрокидываться; онъ въ нашемъ случаѣ былъ CBN. Этотъ уголъ будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ ниже лежитъ C и чѣмъ длиннѣе

МВ. Слѣд. тѣло тѣмъ тверже стоитъ на какой нибудь поверхности или на многихъ точкахъ лежащихъ не на одной прямой, чѣмъ больше эта поверхность въ отношеніи къ высотѣ центра тяжести надъ основаніемъ. По этому повозка, при одинаковыхъ впрочемъ обстоятельствахъ, тѣмъ меньше будетъ подвержена паденію на покатомъ мѣстѣ, чѣмъ ниже лежитъ центръ тяжести, т. е. чѣмъ ниже лежитъ на ней грузъ и чѣмъ больше другъ отъ друга разстояніе обоихъ заднихъ и обоихъ переднихъ колесъ. Въ этомъ состоитъ причина, почему къ нижнимъ частямъ высокихъ предметовъ, стоящихъ на малыхъ основаніяхъ, прикрѣпляются свинцовыя плитки; ибо большая плотность свинца въ отношеніи къ другимъ тѣламъ производитъ то, что центръ тяжести весьма понижается и слѣд. равновѣсіе дѣлается гораздо устойчивѣе.

Другой родъ устойчиваго равновѣсія, не смотря на то, что центръ тяжести подпирается снизу, представляетъ сегментъ шара, лежащій внизъ выпуклою поверхностію, напр. часовое стекло ABD, (фиг. 28) которое остается въ равновѣсіи, когда точка подпоры A находится прямо подъ центромъ тяжести C. Если его вывести изъ этаго положенія напр. въ положеніе D′A′B′, то легко видно, что центръ тяжести C′, находящійся отъ D′ въ сторонѣ своего первоначальнаго положенія, опять будетъ возвращаться въ это положеніе. Еслибъ центръ тяжести лежалъ гораздо выше напр. въ F и при измѣненіи своего положенія передвинулся бы въ F′, то тогда тѣло опрокинулось бы, пришедши въ положеніе противоположное прежнему. Итакъ высокій цилиндръ съ полушарообразнымъ основаніемъ BADG (фиг. 29) можетъ быть тотчасъ выведенъ изъ равновѣсія въ такое положеніе, въ которомъ онъ опрокидывается, если его центръ тяжести лежитъ высоко въ F. Если же центръ тяжести цилиндра будетъ находиться низко отъ того, что верхняя часть будетъ напр. изъ пробочнаго дерева, нижняя же ABD

состоитъ изъ свинца, отъ котораго центръ тяжести перемѣстится въ F', то такой цилиндръ даже изъ лежачаго положенія прійдетъ въ положеніе равновѣсія BADG. Теперь если сдѣлать цилиндръ такъ чтобъ не было замѣтно, что нижняя часть состоитъ изъ свинца, а верхняя изъ пропки, то для глазъ очень страннымъ покажется, что онъ поднимается самъ собою. На этомъ основано дѣланіе дѣтскихъ игрушекъ, въ которыхъ вмѣсто верхней части цилиндра употребляется изъ пропки человѣческая фигура, которая сама собою подымается на свои ноги, прикрѣпленныя къ свинцовому полушарію, какъ скоро кладутъ ее на столъ въ горизонтальномъ положеніи.

§ 34.

Основываясь на предъидущемъ легко можно опредѣлить практическимъ способомъ въ какомъ нибудь тѣлѣ положеніе центра тяжести. Тѣло привѣшивается на нить; потомъ на поверхности его означается двумя точками то направленіе, въ которомъ продолженіе отвѣсной нити пересѣкаетъ тѣло. Послѣ этого привѣшиваютъ тѣло за другую точку и опять означаютъ точками продолженіе нити. Эти двѣ линіи должны пересѣкаться во внутренности тѣла въ одной точкѣ, которая и будетъ центръ тяжести, потому что центръ тяжести находится на той и другой линіи вмѣстѣ, а двѣ линіи пересѣкаются въ одной только точкѣ.

§ 35.

Изъ теоріи центра тяжести объясняются многія явленія часто встрѣчающіяся: напр. почему наклоняются впередъ, когда несутъ большія тяжести, почему напротивъ толстыя особы выгибаются назадъ и т. д.; это дѣлается всегда для того, чтобы привести центръ тяжести въ средину пространства между ногами. Если основаніе, на которомъ мы стоимъ, очень мало, какъ напр. канаты на которыхъ

танцуютъ, то отъ малѣйшаго перемѣщенія центра тяжести нашего тѣла нарушается не устойчивое равновѣсіе; въ такихъ случаяхъ для вспомоществованія движенія тѣла употребляютъ тяжелые шесты, помощію которыхъ стараются перемѣщать центръ тяжести тѣла на сторону противоположную той, въ которую падаютъ. Это дѣлатся такъ, что большую половину шеста двигаютъ въ эту сторону.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

О ПРОСТЫХЪ МАШИНАХЪ.

§ 36.

До сихъ поръ мы разсматривали непосредственное дѣйствіе внѣшнихъ силъ на твердыя тѣла; теперь мы приложимъ тѣже разсужденія къ случаю, въ которомъ дѣйствіе силъ сообщается тому тѣлу, которое мы хотимъ подвинуть, посредствомъ другихъ твердыхъ тѣлъ. Твердыя тѣла, употребляемыя для этого называются *машинами*, изъ которыхъ простѣйшія мы разсмотримъ подробнѣе.

О рычагѣ.

§ 37.

Рычагомъ, въ смыслѣ математическомъ, называется негибкая линія, соединяющая 3 точки; на одну изъ этихъ точекъ A (фиг. 30) дѣйствуетъ сила, на другую B тѣло, которое должно привести въ движеніе и которое обыкновенно называется *сопротивленіемъ*; третья точка C неподвижна, такъ что рычагъ можетъ только около ея вращаться, сама же она остается на одномъ мѣстѣ; эта

точка называется *точкою опоры*. Обыкновенно сопротивленіе есть какая нибудь масса Q, которая своею тяжестію тянетъ внизъ одинъ конецъ рычага въ вертикальномъ направленіи. Если въ этомъ случаѣ рычагъ находится въ горизонтальномъ направленіи, то дѣйствіе повѣшенной тяжести перпендикулярно къ рычагу; если же тяжесть Q, которую нужно поднять, находится на рычагѣ AB негоризонтальномъ (фиг. 30 B) то она дѣйствуетъ на него подъ угломъ CBQ. Тяжестъ Q мы можемъ замѣнить какою нибудь другою силою, дѣйствующею на точку B по направленію BQ; буде новая сила такъ велика, что она дѣйствуя снизу вверхъ въ состояніи держать тяжесть Q, то очевидно, что дѣйствіе ея на рычагъ будетъ равно дѣйствію тяжести Q. По этому мы разсмотримъ слѣдующую общую задачу: на конечную точку B (фиг. 31) какого нибудь рычага дѣйствуетъ сила BQ подъ угломъ $CBQ = \beta$; спрашивется какое произойдетъ движеніе, если на другую конечную точку A дѣйствуетъ другая сила P подъ угломъ $CAP = \alpha P$ Для рѣшенія нашей задачи замѣтимъ, что сила P, дѣйствующая по направленію AP, стремится привести рычагъ въ вращательное движеніе совершенно противоположное тому, которое происходитъ отъ дѣйствія другой силы Q, направляющейся на линію BQ. По этому, если обѣ силы будутъ дѣйствовать вмѣстѣ, то возьметъ перевѣсъ или первая сила P или вторая Q, или дѣйствіе обѣихъ уничтожится и небудетъ никакого движенія. Этотъ послѣдній случай равновѣсія особенно важенъ; ибо, если знаемъ въ какомъ случаѣ силы находятся въ равновѣсіи, то въ случаѣ неравновѣсія легко будетъ опредѣлить, произойдетъ ли движеніе на сторону силы P или на сторону Q; именно: если сила P дѣйствуетъ въ отношеніи болѣе ей благопріятномъ, нежели сколько нужно для равновѣсія, то движеніе послѣдуетъ въ ея сторону; въ противномъ же случаѣ перевѣсъ будетъ на сторонѣ Q.

Итакъ наша задача перемѣняется въ слѣдующую:

Двѣ силы P *и* Q *дѣйствуютъ на концы прямолинейнаго рычага* AB (*фиг.* 31) *подъ углами* α *и* β, *спрашивается, при какихъ условіяхъ онѣ будутъ находиться въ равновѣсіи?*

Рѣшеніе этой задачи будетъ очень легко, если мы къ ней приложимъ правило параллелограма силъ. Въ самомъ дѣлѣ выразимъ величину силъ P и Q линіями AP и BQ и представимъ себѣ, что эти линіи суть діагонали параллелограмовъ ApPM и BqQH; въ такомъ случаѣ мы знаемъ, что силу AP можно замѣнить двумя Ap и AM, а силу BQ силами Bq и BN, черезъ это не измѣняется дѣйствіе силъ P и Q. Но сила AM дѣйствуетъ прямо на точку C, которую мы считаемъ за неподвижную; также дѣйствуетъ и BN съ другой стороны; эти силы производятъ гнетеніе точки опоры C и слѣд. дѣйствіе уничтожается сопротивленіемъ этой точки; остается только одно дѣйствіе двухъ силъ Ap и Bq, которыя для краткости мы означимъ буквами P′ и Q′; онѣ выражаютъ вліяніе той части силъ P и Q которой дѣйствіе на рычагѣ остается замѣтнымъ. Но очевидно, что мы имѣемъ:

$$Ap = AP \,.\, sin\ \alpha \text{ и } Bq = BQ : sin\ \beta$$

или $$P' = P \,.\, sin\ \alpha \text{ и } Q' = Q \,.\, sin\ \beta.$$

Слѣд. задача наша сводится на рѣшеніе вопроса, въ какомъ случаѣ параллельныя силы P′ и Q′ будутъ находиться въ равновѣсіи.

Но по предъидущему мы можемъ для двухъ параллельныхъ силъ найти одну равнодѣйствующую, которая произведетъ тоже дѣйствіе, какое производили обѣ силы вмѣстѣ и которая по величинѣ равна ихъ суммѣ; точка приложенія ея опредѣлится тогда, когда мы раздѣлимъ разстояніе между точками приложенія обѣихъ силъ P′ и Q′ въ обратномъ отношеніи этихъ силъ. Съ другой

стороны очевидно, что одна сила всегда приведетъ рычагъ въ движеніе, кромѣ того случая, когда она будетъ дѣйствовать на неподвижную точку C; итакъ мы должны заключить, что равновѣсіе между силами P′ и Q′ будетъ имѣть мѣсто только тогда, когда равнодѣйствующая ихъ будетъ проходить черезъ точку C т. е. когда точка опоры имѣетъ такое положеніе что:

$$P' : Q' = CB : CA$$

или $P \,.\, \sin\, a : Q \,.\, \sin\, \beta = CB : CA$

Если для краткости положимъ $CB = b$ и $CA = a$, то черезъ умноженіе крайнихъ и среднихъ членовъ пропорціи получимъ:

$$a \,.\, P \,.\, \sin\, \alpha = b \,.\, Q \,.\, \sin\, \beta$$

Опустивъ изъ точки опоры C перпендикуляры Cm и Cn на направленія силъ AP и BQ получимъ:

$Cm = AC \,.\, \sin\, \alpha = a \sin\, \alpha$ и $Cn = CB \,.\, \sin\, \beta = b \sin\, \beta$

Слѣд. $Cm \,.\, P = a \,.\, P \,.\, \sin\, \alpha$ и $Cn \,.\, Q = b \,.\, Q \,.\, \sin\, \beta$.

Итакъ вмѣсто условнаго уравненія равновѣсія:

$$a \,.\, P \,.\, \sin\, \alpha = b \,.\, Q \,.\, \sin\, \beta$$

имѣемъ совершенно равнозначущее уравненіе

$$Cm \,.\, P = Cn \,.\, Q$$

или если Cm означимъ черезъ p, а Cn черезъ q то для условнаго уравненія равновѣсія мы имѣемъ:

$$P \,.\, p = Q \,.\, q.$$

Линіи p и q или Cm и Cn показываютъ разстоянія силъ отъ точки опоры C; произведенія силъ на ихъ разстоянія отъ точки опоры (т. е. $P.p$ и $Q.q$) называются *моментами силъ*; итакъ изъ предъидущаго мы выводимъ для равновѣсія рычага слѣд. предложеніе:

Двѣ силы находятся въ равновѣсіи на рычагѣ тогда, когда моменты ихъ равны и когда онѣ заставляютъ рычагъ вращаться въ противоположныхъ направленіяхъ; легко

можно видѣть, что это условіе необходимо, ибо если бы сила Q дѣйствовала не отъ B къ Q, но обратно отъ Q къ B, то каждая сила стремилась бы поворотить рычагъ въ одну и туже сторону и не было бы ни какой противоположности, а слѣд и никакой возможности равновѣсія.

Если рычагъ не прямолинейный, а ломаный, какъ напр. ACB′, то можно точку приложенія силы Q перенести изъ B′ въ B, не измѣняя ни въ чемъ дѣйствія ея; слѣдоват. моментъ силы Q въ ломаномъ рычагѣ будетъ также, какъ и въ прямолинейномъ $= Q \cdot q$; по этому выведенное нами правило равенства моментовъ имѣетъ мѣсто и для ломаного рычага.

§ 58.

До сихъ поръ мы предполагали, что точка опоры рычага лежитъ между точками приложенія обѣихъ силъ, такой рычагъ называется *рычагомъ перваго рода*; но часто точки приложенія силъ находятся по одну сторону точки опоры C (фиг. 32); одна сила Q тянетъ отъ B къ Q, другая P отъ A къ P. Такой рычагъ называется *рычагомъ втораго рода*. Спрашивается, какъ найти въ этомъ случаѣ условія равновѣсія?

Для рѣшенія этого вопроса и здѣсь мы бы могли подобнымъ образомъ поступить, какъ поступили для рычага перваго рода, но мы скорѣе достигнемъ своей цѣли слѣдующимъ образомъ:

Представимъ себѣ, что рычагъ AC продолженъ по другую сторону C до точки D такъ, что $CD = CB$; потомъ на точку D заставимъ дѣйствовѣть двѣ силы Q′ и Q″ прямо противоположныя, изъ которыхъ каждея равна и параллельна Q; такъ какъ дѣйствіе ихъ противоположно одно другому, то точка D а слѣд. и рычагъ не будетъ двигаться отъ дѣйствія однихъ этихъ двухъ силъ, а потому 4 силы

P, Q, Q Q// дѣйствуютъ точно также, какъ двѣ силы P и Q. Силы Q и Q/ уравновѣшиваются, потому что онѣ дѣйствуютъ какъ на рычагѣ перваго рода, на которомъ моменты равны, ибо легко видѣть, что изъ равенства CB = CD слѣдуетъ равенство перпендикуляровъ Cq и Cq' или q и q', а оттуда равенство моментовъ $Q.q = Q'.q$. Итакъ мы не измѣнимъ дѣйствія четырехъ силъ, если опустимъ силы Q и Q'; по этому остальныя силы P и Q// будутъ дѣйствовать какъ первоначальныя силы P и Q, но онѣ дѣйствуютъ на рычагѣ перваго рода; слѣд. мы получимъ равновѣсіе, какъ скоро моменты ихъ будутъ равны т. е. когда будетъ

$$P . p = Q'' . q'$$

но такъ какъ $Q'' = Q$ и $q' = q$, то равновѣсіе будетъ имѣть мѣсто, когда для первоначальныхъ силъ P и Q будетъ

$$P . p = Q . q$$

Слѣд. для рычага втораго рода мы имѣемъ совершенно такойже законъ, какой выведенъ для рычага перваго рода; всегда для полученія равновѣсія нужно, чтобъ моменты были равны.

Изъ этого общаго закона выводятся правила для частныхъ случаевъ, какъ простыя слѣдствія.

Пусть AB (фиг. 33) будетъ рычагъ горизонтальный, C точка опоры, и на точки A и B дѣйствуютъ силы P и Q по отвѣсному направленію; въ этомъ случаѣ разстоянія направленія силъ отъ точки опоры измѣряются линіями CA и CB т. е. плечами самаго рычага a и b, слѣд. мы будемъ имѣть

$$P . a = Q . b.$$

или пропорцію $$P : Q = q : a$$

т. е. для равновѣсія силы должны находиться въ обратномъ отношеніи плечей рычаговъ. Итакъ если плечо CA будетъ въ 2 раза длиннѣе плеча CB, то сила P должна быть вдвое менѣе силы Q.

Этотъ законъ имѣетъ мѣсто также тогда, когда направленія силъ только параллельны, хотя и не перпендикулярны къ AB. Въ самомъ дѣлѣ для этого случая мы имѣемъ (фиг. 34)

$$P \cdot p = Q \cdot q$$

$$\text{или } P : Q = q : p = Cq : Cp.$$

но легко видѣть что $Cq : Cp = CB : CA$

слѣд. $P : Q = CB : CA.$

Итакъ если силы, дѣйствующія на A и B будутъ какія нибуть тяжести, которыхъ направленія всегда параллельны т. е. перпендикулярны къ поверхности земли, то это отношеніе всегда остается справедливымъ, находится ли рычагъ въ горизонтальномъ положеніи (фиг. 33) или стоитъ такъ, какъ показано въ фигурѣ, (фиг. 34), потому что AP и BQ всегда остаются параллельными.

Если оба плеча CA и CB рычага равны, то равновѣсіе можетъ имѣть мѣсто только тогда, когда параллельныя силы P и Q будутъ равны, потому что только въ этомъ случаѣ мы получимъ равные моменты.

Употребленіе рычаговъ въ общежитіи весьма многоразлично, только нужно замѣтить что въ практикѣ мы не можемъ употреблять такихъ рычаговъ, которые мы до сихъ поръ разсматривали, и которые называются *математическими*; мы должны употреблять всегда рычаги *физическіе*. Для математическаго рычага принимается математическая линія, составляющая плеча рычага, тогда какъ въ природѣ мы должны употреблять не сгибаемые шесты, которыхъ тяжесть тоже дѣйствуетъ какъ сила. На это нужно обращать вниманіе въ слѣдующемъ.

§ 39.

Первое употребленіе рычага мы видимъ въ вѣсахъ, которыхъ находятся три рода: обыкновенные вѣсы, Римскіе вѣсы и безмѣнъ.

Обыкновенные вѣсы больше всѣхъ употребляются, какъ въ общежитіи, такъ въ особенности въ ученыхъ изслѣдованіяхъ, потому что они даютъ самые безошибочные и точные результаты; по этой причинѣ мы теперь опишемъ ихъ, въ такомъ видѣ, какъ они употребляются въ совершеннѣйшемъ состояніи; черезъ это намъ легко будетъ понять устройство обыкновенныхъ торговыхъ вѣсовъ. Хорошіе вѣсы состоятъ во первыхъ изъ коромысла т. е. металлическаго шеста ADBE (фиг. 35) который въ серединѣ DE толще, а къ концамъ становится постепенно тоньше и тоньше, потому что рычагъ въ серединѣ долженъ представлять больше твердости, нежели на концахъ. Въ точкѣ C, въ самой серединѣ, чрезъ коромысло проходитъ ножъ т. е. стальная трехсторонняя призма, обращенная острымъ ребромъ внизъ; на концахъ коромысла въ точкахъ F и G находятся подобные и параллельные первому ножи, какъ показано въ приложенной фигурѣ, только въ обратномъ положеніи, такъ что острыя ихъ ребра обращены вверхъ; коромысло концами средняго ножа, выходящими изъ него, лежитъ на двухъ горизонтальныхъ поверхностяхъ *mn* изъ агата или халцедона или изъ другаго камня. Такимъ образомъ коромысло весьма легко двигается на остріѣ C, такъ что C служитъ точкою опоры рычагу AB. На острія F и G опираются шлифованныя цилиндрическія поверхности, сдѣланныя изъ стали, изъ агата или халцедона, которыя на крючкахъ H и K держатъ чашки L и M; на одну изъ нихъ кладется взвѣшиваемое тѣло, на другую кладутся гири. Наконецъ въ серединѣ находится показатель или стрѣлка EN, которая движется вмѣстѣ съ коромысломъ передъ дугою, раздѣленною на градусы, и показываетъ его положеніе. Если хотятъ взвѣсить какое нибудь тѣло, то кладутъ его на одну изъ чашекъ, а на другую постепенно прибавляютъ гири до тѣхъ поръ, пока вѣсы не будутъ поклоняться ни въ ту ни въ другую сторону т. е. пока стрѣлка не будетъ показывать на 0;

тогда положенныя на чашку гири покажутъ вѣсъ тѣла, если только вѣсы вѣрны. Первое условіе вѣрности вѣсовъ состоитъ въ томъ, чтобъ три острія совершенно между собою были параллельны, горизонтальны и лежали въ одной плоскости FCG, и чтобъ разстояніе FC было равно CG. Тогда если чашки FL и GM совершенно равны и на нихъ лежатъ равныя гири P и Q и если мы еще не принимаемъ въ разсужденіе вѣса коромысла, то мы получимъ двѣ равныя отвѣсныя, слѣд. параллельныя, силы, которыя въ равныхъ отъ опора разстояніяхъ дѣйствуютъ на математическій рычагъ FCG; слѣд. будетъ

$$P \cdot FC = Q \cdot GC.$$

Тогда вѣсы будутъ въ равновѣсіи; но они останутся въ равновѣсіи также и во всякомъ наклонномъ положеніи, какъ мы видѣли выше, слѣд. въ такихъ вѣсахъ равновѣсіе будетъ означено не положеніемъ стрѣлки, но тѣмъ, что коромысло, въ какомъ угодно положеніи, остается въ покоѣ. Но совсѣмъ другое будетъ, если примемъ въ разсужденіе и коромысло. Если оно сдѣлано такъ, что одна его половина CA съ такою же силою тянетъ внизъ, какъ другая половина CB въ другой стороны, то при горизонтальномъ положеніи его, равновѣсіе будетъ имѣть мѣсто какъ прежде, и слѣд. если стрѣлка стоитъ при 0, то, не смотря на тяжесть коромысла, взвѣшиваніе будетъ вѣрно. Если коромысло не находится въ горизонтальномъ положеніи, то, вообще говоря, равновѣсіе не будетъ имѣть мѣста. Когда, при горизонтальномъ положеніи коромысла, плечо CA столько же вѣситъ, какъ и CB, то центръ тяжести всего коромысла по предъидущему долженъ лежать на вертикальной линіи, проведенной черезъ C; при этомъ могутъ быть три случая: центръ тяжести будетъ лежать или въ точкѣ опоры C (фиг. 36), или ниже этой точки въ p, или выше въ q. Если онъ лежитъ въ точкѣ C, то

коромысло само по себѣ остается въ равновѣсіи во всякомъ положеніи; и поелику по нашему предположенію тоже самое имѣемъ мѣсто и въ то время, когда на коромыслѣ висятъ чашки и на нихъ кладутъ равныя тяжести, то въ этомъ случаѣ тяжести сіи дѣйствуютъ точно такъ, какъ на математическомъ рычагѣ съ равными плечами. Если центръ тяжести лежитъ въ *q* выше C, то коромысло, при горизонтальномъ положеніи, будетъ находиться въ равновѣсіи; но какъ скоро оно не много измѣнитъ это положеніе, то должно будетъ совершенно перевернуться, ибо тогда мы имѣемъ случай неустойчиваго равновѣсія. Это въ практикѣ было бы весьма не удобно.

Если же центръ тяжести коромысла лежитъ на отвѣсной линіи въ точкѣ *p* ниже C, то вѣсы при горизонтальномъ положеніи коромысла, съ равными тяжестями на чашкахъ, будутъ находиться въ равновѣсіи, потому что коромысло само по себѣ находится въ равновѣсіи и двѣ равныя тяжести на равныхъ плечахъ вѣсовъ также уравновѣшиваются. Если тогда вывесть вѣсы изъ горизонтальнаго положенія, то центръ тяжести опять пріидетъ въ первоначальное положеніе и, послѣ нѣсколькихъ колебаній въ ту и другую сторону, получимъ горизонтальное положеніе. Въ этомъ состоитъ удобство вѣсовъ въ практикѣ и потому въ вѣсахъ центръ тяжести коромысла всегда находится ниже точки опоры.

§ 40.

Если тяжесть на одной чашкѣ будетъ не много больше, нежели на другой, то при послѣднемъ положеніи центра тяжести вѣсы также придутъ въ равновѣсіе, но тогда коромысло не будетъ въ горизонтальномъ положеніи и стрѣлка не будетъ на 0. Это легко можно видѣть изъ слѣдующаго: пусть ACB (фиг. 37) будетъ линія соединяющая три острія вѣсовъ A, C, B; пусть AC = CB и

предположимъ, что равныя тяжести P и Q привѣшены съ обѣихъ сторонъ на точкнхъ A и B посредствомъ описаннаго устройства; пусть центръ тяжести коромысла нахорится въ q, въ одной отвѣсной линіи съ точкою C. Изъ самаго понятія о центрѣ тяжести слѣдуетъ, что коромысло дѣйствуетъ такъ, какъ будто бы вся масса его сосредоточена была въ q и дѣйствіе всего прибора будетъ таково, какъ бы на математической рычагъ AB отвѣсно дѣйствовали двѣ равныя силы P и Q, и третья M равная тяжести коромысла дѣйствовала по отвѣсному направленію внизъ въ точкѣ q. Слѣд. въ этомъ положеніи по предъидущему вѣсы будутъ въ равновѣсіи. Но если, не измѣняя Q, прибавимъ къ P небольшую тяжесть p, то тяжестію p равновѣсіе будетъ нарушено и сторона A будетъ понижаться. Если она понизится на уголъ $ACA' = \alpha$, то линія Cq также повернется къ Cq' и уголъ qcq' будетъ $= \alpha$; итакъ масса M, которую мы представляемъ сосредоточенною въ q', будетъ тянуть вѣсы въ сторону противоположную той, въ которую тянетъ ихъ тяжесть p и отъ момента обѣихъ силъ будетъ зависѣть движеніе въ сторону одной или другой силы т. е. пониженіе плеча CA или повышеніе его. Очевидно, что моментъ силы p есть $p.cb$, и моментъ тяжести $M = M.ck$; если оба эти момента равны, то вѣсы будутъ въ равновѣсіи. Если положимъ, что длина рычага $CA = CB = b$ а разстояніе центра тяжести отъ точки опоры $Cq = a$, то очевидно будетъ $Cb = b.\ \mathrm{Cos}\ \alpha$ и $Ck = a.\ \mathrm{sin}\ \alpha$.

Слѣд. въ случаѣ равновѣсія мы имѣемъ:

$$p\,.\,b\,.\,\mathrm{Cos}\,.\,\alpha = q\,.\,a\,.\,\mathrm{Sin}\,.\,\alpha.$$

откуда получимъ $\dfrac{p\,.\,b}{q\,.\,a} = \mathrm{tang}\,.\,\alpha.$

Такъ какъ величина tang α возрастаетъ отъ 0 до ∞, тогда какъ уголъ α увеличивается отъ 0 до 90; то

всегда можно найти уголъ, котораго тангенсъ будетъ равенъ величинѣ $\frac{p.b}{q.a}$, необходимо заключающейся между 0 и ∞, слѣд. и равновѣсіе всегда будетъ имѣть мѣсто. Далѣе видно, что уголъ α, для одной и той же прибавочной тяжести p, бываетъ всегда тѣмъ больше, чѣмъ меньше a т. е. чѣмъ ближе къ точкѣ опоры находится центръ тяжести. Слѣд. вѣсы, для одной и той же прибавочной тяжести, тѣмъ больше будутъ склоняться въ сторону, т. е. они будутъ тѣмъ чувствительнѣе, чѣмъ ближе къ точкѣ опоры будетъ находиться центръ тяжести коромысла.

Для однихъ и тѣхъ же вѣсовъ величина $\frac{b}{q.a}$ остается постоянною величиною, которую для краткости мы означимъ буквою c, и мы получаемъ.

$$cp = \text{tang } \alpha.$$

Слѣд. уголъ α будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше будетъ p; по этому при равновѣсіи коромысло тѣмъ больше будетъ отклоняться въ сторону, и показатель будетъ означать чѣмъ большее число градусовъ, чѣмъ больше p.

Если вмѣсто p положимъ на сторонѣ A другую прибавочную тяжесть p^l, то получимъ другой уголъ равновѣсія α^l и очевидно будемъ имѣть:

$$cp : cp^l = \text{tang}.\alpha : \text{taug } \alpha^l.$$

или $$p : p^l = \text{tang}.\alpha : \text{tang } \alpha^l.$$

Если углы α и α^l очень малы, то мы знаемъ изъ тригонометріи, что тангенсы такихъ малыхъ угловъ пропорціональны самимъ угламъ, слѣд. для малыхъ угловъ мы получимъ:

$$p : p^l = \alpha : \alpha^l$$

т. е. прибавочныя тяжести пропорціональны угламъ отклоненія. Итакъ если бы посредствомъ опытовъ найдено

было, что напр. одна доля заставляетъ стрѣлку EN отклониться на 1^0, то мы знаемъ, что отъ двухъ долей стрѣлка отклонилась бы на 2^0, отъ трехъ 3^0 и т. д.

По этому мы можемъ сокращать дѣйствіе взвѣшиванія, не уменьшая точности его; именно если при взвѣшиваніи вѣсы находятся близко отъ горизонтальнаго равновѣсія, то не нужно прибавлять небольшія гирьки для достиженія совершенной горизонтальности; скорѣе можно достигнуть цѣли взвѣшиванія — считая число градусовъ, означенныхъ стрѣлкою, и потомъ по предъидущему переводя градусы на вѣсъ.

Обыкновенные торговые вѣсы не съ такою точностію устроены, какъ тотчасъ описанные, слѣд. не такъ вѣрны; однако теорія устройства ихъ остается таже самая. Въ нихъ нѣтъ раздѣленій на градусы; по этому въ нихъ нужно прибавлять или отнимать гири до рѣхъ поръ, пока показатель ихъ (или стрѣлка вѣсовъ) придетъ въ вертикальное положеніе, въ которомъ онъ долженъ быть для горизонтальнаго равновѣсія.

§ 41.

Для вѣрности вѣсовъ по предъидущему необходимо, что бы было (фиг. 35) разстояніе $FC = CG$; если этого нѣтъ, но напр. $FC > CG$ и тяжесть P, положенная на чашку L, уравновѣшивается тяжестію Q на чашкѣ M, то мы получимъ

$$P \,.\, FC = Q \,.\, GC$$

но такъ какъ

$$\underline{FC > GC}$$

то будетъ

$$C < Q.$$

Такимъ образомъ можно бы было подумать, что на чашкахъ находятся равныя тяжести, между тѣмъ какъ онѣ могутъ быть очень различны. Если бы купецъ употреблялъ такіе вѣсы и на чашкѣ M положилъ напр. 1 фунтъ а на другой L товаръ, то товаръ проданный купцемъ за 1 фунтъ, вѣсилъ бы въ самомъ дѣлѣ меньше одного фунта. Однако

есть очень простое средство удостовѣриться въ вѣрности вѣсовъ; нужно только послѣ перваго взвѣшиванія положить товаръ на чашку M, а гири на чашку L. Если вѣсы вѣрны, то равновѣсіе вновь имѣетъ мѣсто, если же нѣтъ, то моментъ гиръ будетъ болѣе момента товару, потому что большая тяжесть дѣйствуетъ на длиннѣйшее плечо рычага; слѣд. не будетъ равновѣсія. Этотъ способъ переложенія есть обыкновенное средство узнавать вѣрность вѣсовъ.

Мы обязаны Бордѣ (Borda) способомъ производить точное взвѣшиваніе, даже посредствомъ невѣрныхъ вѣсовъ; способъ этотъ называется *способомъ двойнаго взвѣшиванія.* На одну изъ чашекъ напр. L кладутъ взвѣшиваемое тѣло, а на другую M такое количество какого нибудь вещества, напр. сухаго песку, отъ котораго вѣсы пришли бы въ равновѣсіе; потомъ снимаютъ взвѣшиваемое тѣло съ чашки L (нетрогая песокъ на чашкѣ M), а вмѣсто него кадутъ гири до тѣхъ поръ, пока вѣсы опять придутъ въ равновѣсіе. Сумма положенныхъ на чашкѣ гирекъ есть искомый вѣсъ тѣла. Легко можно видѣть, что этотъ результатъ не зависитъ отъ вѣрности вѣсовъ, потому что при этомъ взвѣшиваніи тѣло и гири дѣйствуютъ на одно и тоже плечо вѣсовъ и уравновѣшиваютъ одинъ и тотъ же моментъ на другой сторонѣ.

Итакъ если въ ученыхъ изслѣдованіяхъ мы хотимъ употребить способъ Борды, то для вѣрности довольно, если вѣсы будутъ чувствительны т, е. если стрѣлка вѣсовъ, отъ прибавленія весьма малой тяжести, отклоняется на значительный уголъ. Изъ опыта опредѣлено, что вѣсы можно считать чувствительными, если, при положеніи на каждую чашку одного фунта, они даютъ еще значительное отклоненіе стрѣлки, при прибавленіи $\frac{1}{100}$ долей на одну только чашку. Чувствительность вѣсовъ зависитъ, какъ мы уже видѣли, частію отъ того, что центръ тяжести коромысл

лежитъ близко къ точкѣ опоры, частію же отъ того, что коромысло легко обращается около точки опоры. Вотъ причина для чего въ вѣсахъ употребляется призма, которой острое ребро лежитъ на плоскости сдѣланной изъ твердаго камня. Но какъ острое ребро, безпрестанно давящее на твердую поверхность, могло бы скоро притупиться, то для избѣжанія этого точнѣйшіе вѣсы дѣлаются такъ, что коромысло ихъ посредствомъ, особеннаго устройства поднимается съ подставокъ въ то время, когда ихъ не употребляютъ.

§ 42.

Римскіе вѣсы (фиг. 38) состоятъ изъ неравноплечнаго рычага AB, котораго точка опоры находится въ C; за точку D вѣсы держатся въ рукѣ или привѣшиваются на гвоздѣ. Короткій конецъ A обыкновенно толстъ, на немъ виситъ крючекъ A, а на крючкѣ чашка; тяжесть P, напр. 1 фунтъ, можетъ быть повѣшена въ какой угодно точкѣ длиннаго плеча. Если устроить вѣсы такъ, чтобы одно плечо CB безъ тяжести P уравновѣшивало толстое плечо A вмѣстѣ съ крючкомъ и съ чашкою и потомъ положить на чашку тяжесть Q вѣсомъ въ 1 ф., то P до тѣхъ поръ должно будетъ подвигать, пока разстояніе его отъ C будетъ равно разстоянію крючка A отъ C. Если на чашку Q положимъ 2 ф. то P будетъ на растояніи вдвое большемъ отъ C, потому что только въ этомъ случаѣ моменты равны между собою; для трехъ фунтовъ разстояніе должо быть втрое больше и проч. Итакъ если на всѣхъ точкахъ, на которыхъ тяжесть P уравновѣшивается сперва 1 ф. потомъ 2 ф. потомъ 3 ф. и проч. поставимъ числа 1, 2, 3 и проч. то при взвѣшиваніи эти числа тотчасъ покажутъ намъ вѣсъ товара, положеннаго на Q, если напередъ опредѣлимъ, на какой точкѣ нужно поставить P, чтобы вѣсы пришли въ равновѣсіе. Такіе вѣсы имѣютъ то преимущество, что въ

нихъ не нужны гири, но они уступаютъ обыкновеннымъ вѣсамъ въ точности; по этому употребленіе ихъ очень полезно въ торговлѣ, особенно для большихъ тяжестей, но не въ ученыхъ изысканіяхъ.

Безмѣнъ есть также не равноплечій рычагъ, но отличается отъ Римскихъ вѣсовъ тѣмъ, что въ немъ передвигается не тяжесть, но точка опоры. На цилиндрическомъ шестѣ AB (фиг. 39) въ точкѣ A виситъ крючекъ, на который вѣшается взвѣшиваемый товаръ, а къ точкѣ B прикрѣпляется тяжесть Q. Точку опоры составляетъ шнурокъ CD, который берется въ руки и передвигается по длинѣ шеста до тѣхъ поръ, пока повѣшенный на крючкѣ товаръ P и тяжесть Q придутъ въ равновѣсіе. Чѣмъ тяжелѣе P, тѣмъ ближе C должно быть подвинуто къ A. Мѣдные гвозди вбитые въ шестъ числомъ своимъ показываютъ число фунтовъ. Точки, въ которыхъ должны быть вбиты гвоздики для 1, 2, 3 и проч. фунтовъ, находятъ механически, употребляя предварительно, вмѣсто товару, тяжести вѣсомъ въ 1, 2, 3 и проч. фунтовъ и передвигая шнурокъ взадъ и впередъ до тѣхъ поръ пока не будетъ равновѣсія; на той точкѣ, гдѣ въ этомъ случаѣ стоитъ C, вбиваютъ гвоздики; безмѣнъ у насъ весьма употребителенъ, но онъ въ сравненіи съ другими вѣсами даетъ результаты менѣе вѣрные.

§ 43.

Кромѣ употребленія при взвѣшиваніяхъ, рычагъ служитъ также въ весьма многихъ случаяхъ, обыкновенно для сбереженія силы. Примѣръ этаго мы видимъ въ поднятіи большихъ тяжестей посредствомъ шестовъ, которые однимъ концомъ подкладываются подъ тяжесть; въ употребленіи щипцевъ, ножницъ, веселъ и пр. Даже движеніе нашихъ членовъ, рукъ и ногъ производится по законамъ рычага.

На примѣръ, если мы хотимъ вытянутою рукою поднять со стола тяжесть, то часть руки, называемая предплечіемъ обращается на своемъ плечномъ суставѣ C (фиг. 40); мускулъ предплечія влечетъ ее въ срединѣ предплечія въ A и тяжесть оказываетъ давленіе на кисть руки B. Такъ

какъ $CA : CB = 1 : 4$

то наши мускулы должны оказывать силу въ 4 раза большую сопротивленія.

Изъ этого видно, что цѣль такого устройства руки не есть сбереженіе силы, но выигрышъ скорости движенія. Въ самомъ дѣлѣ нужно поднять A только на 1 дюймъ для того, чтобы поднять тяжесть на 4 дюйма. Это ведетъ насъ ко второму употребленію рычага, которое мы часто замѣчаемъ въ машинахъ т. е. къ увеличенію скорости малаго движенія. Въ этомъ случаѣ сила должна дѣйствовать на меньшее плечо, а сопротивленіе на большое. Рычагъ BC обращается около точки C, сила P дѣйствуетъ на A (фиг. 41), тяжесть Q на B. Если предположимъ что

$$CB = 4CA,$$

то P должно быть $= 4Q$. Итакъ если P будетъ больше $4Q$, то послѣдуетъ движеніе въ направленіи этой силы. Предположимъ что въ этомъ движеніи A въ одну секунду проходитъ изъ A въ A'; B въ тоже время пройдетъ дугу BB'. Теперь легко можно видѣть что концентрическія дуги $BB' : AA' = BC : AC$ или по прежнему предположенію $BB' = 4AA'$. Изъ этаго простаго разсужденія видно, что если мы въ точкѣ A должны употребить силу, которая больше въ 4 раза, то за то движеніе, сообщенное тяжести въ B, будетъ въ 4 раза больше и наоборотъ, если бы сила P дѣйствовала въ точкѣ B, а тяжесть въ точкѣ A, то для равновѣсія P моглабъ быть въ 4 раза меньше Q, но за то въ случаѣ не равновѣсія сила P двигалась бы въ 4 раза больше нежели Q. Итакъ для рычага мы имѣемъ

весьма важный законъ, который имѣетъ мѣсто и во всѣхъ другихъ машинахъ; онъ состоитъ въ томъ, *что если при движеніи машинъ выигрывается сила, то столько же теряется скорости и наоборотъ, если выигрывается скорость, то столько же теряется силы*, такъ что произведеніе скорости движенія v на приводимую въ движеніе массу m, или mv, остается при данной силѣ постоянною величиною, не зависящею отъ расположенія употребляемой машины. Выгода машинъ по этому состоитъ только въ томъ, что мы можемъ посредствомъ ихъ по произволу перемѣнять отношеніе множителей въ произведеніи $m \cdot v$ — Если требуется напр. поднять весьма большую тяжесть, то обыкновенно не обращаемъ вниманія на то, сдѣлаемъ ли мы это въ минуту или въ 20 минутъ, итакъ мы заставимъ дѣйствовать силу на длинномъ плечѣ рычага; если же мы хотимъ ускорить движеніе и не заботимся о силѣ, то мы заставляемъ дѣйствовать силу на короткое плечо рычага, какъ это напр. происходитъ въ движеніи нашихъ рукъ, и какъ это часто требуется, именно когда нужно сдѣлать примѣтнымъ малое, едва для глазъ видимое, движеніе посредствомъ особеннаго устройства рычага. Такое устройство называется *чувствительнымъ рычагомъ*. Мы увидимъ, что отъ теплоты всѣ тѣла расширяются; предположимъ теперь, что хотимъ опредѣлить происходящее отъ нагрѣванія увеличеніе длины какого нибудь прута, которое такъ мало, что мы не можемъ его непосредственно замѣтить. Для этой цѣли мы можемъ поступить слѣд. образомъ: пусть MN (фиг. 42) будетъ прутъ, конецъ его M прикрѣпленъ къ неподвижной точкѣ опоры, между тѣмъ какъ конецъ N при разширеніи прута можетъ подвигаться впередъ. Конецъ N упирается въ маленькій цилиндръ B, который прикрѣпленъ перпендикулярно къ рычагу CA, такъ что бы CA было напр. въ 10 разъ длиннѣе CB. Если отъ нагрѣванія конецъ N

подвинется впередъ на $\frac{1}{100}$ дюйма, то B подвинется также на $\frac{1}{100}$ дюйма, но A на $\frac{1}{10}$ т. е. на величину, которую можно очень хорошо наблюдать, особенно тогда, когда конецъ A двигается на дугѣ FG, раздѣленной на равныя части.

Движеніе конца A можно еще увеличить другимъ ощутительнымъ рычагомъ, какъ показано въ фигурѣ (фиг. 43), гдѣ A дѣйствуетъ на второй рычагъ *ac* въ точкѣ *b*. Если *cb* въ 10 разъ меньше *ca*, то *a* опишетъ дугу въ 10 разъ большую, нежели A, слѣд. въ 100 разъ большую, нежели N. Итакъ въ нашемъ примѣрѣ при удлиненіи прута на $\frac{1}{100}$ дюйма, *a* подвинулось бы на цѣлый дюймъ. При послѣднемъ устройствѣ рычагъ называется *двойнымъ чувствительнымъ рычагомъ*.

О блокѣ.

§ 44.

Блокъ также есть машина, которой дѣйствіе можно основать на теоріи рычага. Блокъ бываетъ подвижный и неподвижный.

Неподвижный блокъ есть малой высоты широкій цилиндръ или кругъ, обращающійся на оси C и имѣющій на окружности своей жолобъ, въ которомъ лежитъ веревка (фиг. 44); одинъ конецъ ея тянется тяжестію Q, а другой силою P. Веревка плотно прилегаетъ къ части BA блока и не скользитъ на немъ отъ дѣйствія треніа. Если станемъ разсматривать эту машину въ положеніи, показанномъ фигурою и проведемъ линіи CA и CB, то вмѣсто треніа мы могли бы веревку укрѣпить другимъ образомъ въ точкѣ A и B, напр. прибивая ее къ блоку гвоздями; для перваго мгновенія дѣйствіе очевидно было бы тоже самое. Итакъ 2 силы P и Q дѣйствуютъ на ломаномъ рычагѣ БСА и

равновѣсіе будетъ имѣть мѣсто, если моментъ будутъ равны т. е. (такъ какъ AP будетъ перпендикулярна къ CA, и BO перпендикулярна къ CB) если

$$P \,.\, CA = Q \,.\, BC.$$

или (поелику $CA = BC$)

если $P = Q$.

Итакъ мы видимъ, что въ неподвижномъ блокѣ не выигрывается сила; онъ служитъ только къ измѣненію направленія силы, что часто бываетъ очень важно.

§ 45.

Совсѣмъ другое бываетъ на *подвижномъ блокѣ*. Онъ также состоитъ изъ не широкаго цилиндра, какъ и неподвижный; только веревка идетъ на немъ иначе. Одинъ конецъ ея прикрѣпленъ къ неподвижной точкѣ опоры M (фиг. 45), потомъ она обходитъ подвижной блокъ B, идетъ вверхъ параллельно прежнему направленію и обыкновенно наматывается на неподвижный блокъ N, а на концѣ ея дѣйствуетъ сила P. Неподвижный блокъ N не увеличиваетъ и не уменьшаетъ силы, но только даетъ веревкѣ удобнѣйшее направленіе.

Въ центрѣ блока B находится вилкообразная распорка, на которую опирается ось блока B; на нижней части этой распорки виситъ тяжесть Q. Изъ всего расположенія видно, что когда сила P поднимаетъ блокъ B, то онъ будетъ вертѣться около C; итакъ мы здѣсь имѣемъ рычагъ втораго рода, въ которомъ тяжесть дѣйствуетъ на B, сила на A, слѣд. для равновѣсія будемъ имѣть пропорцію:

$$P : Q = CB : CA = 1 : 2$$

т. е. сила для подвижнаго блока вдвое меньше тяжести. Впрочемъ этотъ законъ справедливъ только въ томъ случаѣ,

когда обѣ половины веревки, обходящей около блока, будутъ параллельны; если же онѣ непараллельны, то отношеніе силы къ тяжести болѣе и приборъ менѣе выгоденъ для сбереженія силы.

§ 46.

Часто соединяютъ вмѣстѣ нѣсколько неподвижныхъ блоковъ, какъ показано въ приложенной фигурѣ (фиг. 46); такое расположеніе блоковъ называется *полиспастомъ*. Концы веревокъ A, A′, A″ прикрѣплены къ крѣпкой перекладинѣ; другой конецъ B веревки AB прикрѣпленъ ко второму блоку C′; конецъ B′ къ третьему блоку C″ и такъ далѣе, наконецъ послѣдняя веревка A″ идетъ по послѣднему подвижному блоку C″ и обыкновенно около неподвижнаго блока D, посредствомъ котораго по произволу можно измѣнять направленіе силы P. Отношеніе силы P къ тяжести Q въ этомъ случаѣ легко можно опредѣлить. Въ самомъ дѣлѣ, ограничиваясь тремя блоками, представимъ себѣ, что на мѣстѣ втораго блока находится сила, которая тянетъ въ отвѣсномъ направленіи вверхъ, чтобы поднять тяжесть Q; изъ предъидущаго мы знаемъ, что она должна быть $= \frac{1}{2} Q$; слѣд. второй блокъ C′ долженъ поддерживать тяжесть $= \frac{1}{2} Q$. Конецъ B′ долженъ будетъ поддерживать половину тяжести висящей на C′; точно также и блокъ C″; слѣд. онъ поддерживаетъ $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} Q = \frac{1}{2^2} Q$.

Такимъ же образомъ P должно поддерживать половину тяжести висящей на C″, слѣд. $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2^2} Q = \frac{1}{2^3} Q$. Если бы мы имѣли еще больше подвижныхъ блоковъ и если предположимъ число ихъ $= n$, то мы нашли бы подобнымъ образомъ, что

$$P = \frac{1}{2^n} Q.$$

т. е. нужно 2 возвысить въ степень, показываемую числомъ блоковъ; если потомъ тяжесть раздѣлимъ на полученное такимъ образомъ число, то будемъ имѣть величину силы, требуемой для уравновѣшиванія тяжести. Если бы напр. у насъ было 5 блоковъ, то одинъ фунтъ при P могъ бы уравновѣсить 32 фунта при Q.

Другое отношеніе получается тогда, когда употребляютъ *полиспастъ* показанный въ (фиг. 47); въ немъ находится одинаковое число подвижныхъ и неподвижныхъ блоковъ. Неподвижные блоки суть A, B подвижные *a*, *b*. Изъ расположенія веревки видно, что дѣйствіе одного подвижнаго блока *a* должно быть тоже самое, какое происходитъ отъ другаго блока *b*, потому что одна и таже веревка въ тоже самое время натягивается силою P. Если бы былъ только одинъ подвижной блокъ, то бы сила P была $= \frac{1}{2} Q$; второй блокъ тоже даетъ $P = \frac{1}{2} Q$, слѣд. оба вмѣстѣ даютъ $\frac{1}{4} Q$. Если бы было 3 блока въ одной распоркѣ, то сбереженіе силы было бы въ 3 раза больше т. е. $P = \frac{1}{6} Q$ и т. д. слѣд. для n подвижныхъ блоковъ $P = \frac{1}{2n} . Q$, т. е. въ полиспастѣ такого рода для полученія силы, могущей уравновѣсить какую нибудь тяжесть, нужно раздѣлить тяжесть на удвоенное число подвижныхъ блоковъ; по этому для 5 блоковъ $P = \frac{1}{10} Q$ т. е. тяжесть вѣсомъ въ 1 фунтъ при P уравновѣсить 10 фунтовъ при Q.

Полиспастъ изображенный въ фигурѣ 48, дѣйствуетъ точно также, какъ здѣсь описанный; онъ весьма часто употребляется особенно при оснащиваніи кораблей.

Легко можно видѣть, что для подвижнаго блока найденный нами общій законъ (§ 43) остается совершенно вѣрнымъ т. е. сколько мы посредствомъ его сберегаемъ силы, столько же теряемъ скорости. Въ самомъ дѣлѣ, когда подвижной блокъ A (фиг. 49) дойдетъ до A', то отъ веревки часть $m'np' - mnp = 2mm'$ сматывается; въ

тоже время тянущая сила P подвигается на такое же разстояніе, тогда какъ тяжесть поднимается только на m^1m, слѣд. на пространство вдвое меньшее. Итакъ въ подвижномъ блокѣ намъ нужно употреблять только половину силы, но за то сила должна сдѣлать движеніе вдвое большее движенія сообщаемаго тяжести Q. Совершенно тоже оказывается и на полиспастѣ; всегда мы теряемъ въ скорости столько, сколько выигрываемъ въ силѣ.

О воротѣ.

§ 47.

Воротъ есть машина, объясненіе которой легко выводится изъ закона дѣйствія рычага. На цилиндрѣ, или валѣ B (фиг. 50 A) виситъ тяжесть Q, на одномъ его концѣ прикрѣплено колесо; оба они обращаются около одной оси CC¹; сила P дѣйствуетъ по направленію касательной къ колесу A. Очевидно, что все равно, въ какомъ бы мѣстѣ вала ни висѣла тяжесть Q. Посему мы можемъ предположить, что она дѣйствуетъ съ колесомъ въ одной плоскости, какъ показываетъ фигура 50. B; тогда очевидно, что моментъ тяжести будетъ $=$ Q . BC, а моментъ силы $=$ P . AC. Если означимъ радіусъ блока BC буквою r, а радіусъ AC буквою R то получимъ:

$$P \,.\, R = Q \,.\, r$$

или $$P : Q = r : R.$$

Итакъ если радіусъ вала въ 5 разъ меньше радіуса колеса, то можно на воротѣ силою равною 1 фунту, которая дѣйствуетъ на колесо, уравновѣсить тяжесть въ 5 фунтовъ дѣйствующую на валъ. Но легко можно видѣть, что тяжесть въ случаѣ движенія поднимется только на 1 футъ, тогда какъ сила пройдетъ пространство 5 футовъ, потому что окружность вала относится къ окружности колеса какъ 1 : 5, и оба они обращаются около одной и тойже оси; слѣд. и

здѣсь мы столько выигрываемъ въ силѣ, сколько теряемъ въ скорости. Воротъ обыкновенно употребляется для поднятія значительныхъ тяжестей, напр. для вытягиванія вѣдеръ изъ глубокаго колодца; для этого обыкновенно на окружности колеса въ направленіи радіуса придѣлываются рукоятки, посредствомъ которыхъ поднимающій вѣдра поворачиваетъ колесо. Для опредѣленія отношенія силы къ тяжести нужно въ этомъ случаѣ взять за радіусъ колеса разстояніе отъ центра его до средины руки приложенной къ рукояткѣ.

Собственно такъ называемая *рукоятка* есть машина, которая съ воротомъ много имѣетъ сходства, но на мѣсто колеса она имѣетъ только одинъ радіусъ (фиг. 51) AB, на которой дѣйствуетъ сила посредствомъ части AD, прикрѣпленной къ нему перпендикулярно; и здѣсь тяжесть относится къ силѣ, какъ радіусъ вала относится къ плечу рукоятки BA.

О зубчатыхъ колесахъ.

§ 48.

Дѣйствіе зубчатыхъ колесъ легко выводится изъ дѣйствія ворота. На окружность колеса A (фиг. 52) дѣйствуетъ сила P; къ одной и той же оси, около которой обращается A, придѣлывается другое меньшее колесо B, на окружности котораго находятся зубцы и между ними равные имъ промежутки; зубцами своими оно захватываетъ третье колесо A′. Съ этимъ послѣднимъ колесомъ, на одной съ нимъ оси, соединено колесо B′, на окружности котораго виситъ тяжесть Q.

Отношеніе силы P къ тяжести Q находится весьма просто слѣдующимъ образомъ: представимъ себѣ, что въ точкѣ D окружности колеса A′ противодѣйствуетъ сила *x* тяжести Q, дѣйствующей на колесо B′; по закону ворота

мы находимъ что, означая радіусы колесъ черезъ R/ и r/, для равновѣсія получимъ

$$x = \frac{r'}{R'} \cdot Q$$

Также представимъ себѣ, что другая сила y въ точкѣ D колеса B противодѣйствуетъ силѣ P. Пусть R и r будутъ радіусы колесъ A и B; тогда мы получимъ для равновѣсія

$$y = \frac{R}{r} \cdot P$$

Поелику обѣ эти силы дѣйствуютъ на одну точку D, общую обоимъ колесамъ и по противоположнымъ направленіямъ и какъ зубцы колеса B захватываютъ зубцы колеса A/, то равновѣсіе будетъ только тогда, когда $x = y$, т. е. когда

$$\frac{r'}{R'} \cdot Q = \frac{R}{r} \cdot P.$$

или когда $P : Q = r : r' : R . R'$

Малыя колеса, изъ которыхъ каждое находится на одной оси съ большимъ, называются *шестернями*, а большія собственно называются *зубчатыми колесами*. *Итакъ въ случаѣ равновѣсія отношеніе силъ* P и Q, *дѣйствующихъ на большое и малое колесо, равно отношенію произведеній, радіусовъ колесъ, къ произведенію радіусовъ шестерней.* Еслибъ въ нашемъ случаѣ колеса были равны и шестерни тоже, но радіусъ каждой шестерни былъ $\frac{1}{5}$ радіуса зубчатаго колеса, то мы получили бы:

$$P : Q = \frac{1}{25} : 1 = 1 : 25.$$

т. е. сила была бы въ 25 разъ менѣе тяжести.

Но съ другой стороны также видно, что точка на окружности A (слѣд. и сила P) проходитъ пространство въ 5 разъ большее пространства, проходимаго точкою на окружности шестерни B, а слѣд. и на окружности колеса

A/; точно такимъ же образомъ точка на окружности A/ проходитъ пространство въ 5 разъ большее того, которое проходится точкою на окружности шестерни B/, и слѣд. сила P проходитъ путь въ 25 разъ больше пути тяжести Q. Итакъ мы и здѣсь столько же теряемъ въ скорости, сколько выигрываемъ въ силѣ.

Можно бъ было сдѣлать такъ, что бы зубцы шестерни B/ захватывали зубцы третьяго колеса A″, къ которому прикрѣплена шестерня B″, точно такимъ же образомъ, какъ зубцы шестерни B захватываютъ зубцы колеса A/; шестерня B″ моглабъ захватывать четвертое колесо A‴, имѣющее шестерню B‴ и проч.; наконецъ на послѣдней шестернѣ B_n привѣшена была бъ тяжесть. Очевидно, что для равновѣсія мы имѣли бы

$$P : Q = r . r' . r'' \ldots . r_n : R . R' . R'' \ldots . R_n$$

напротивъ скорость уменьшилась бы въ обратномъ отношеніи.

Для того, чтобъ зубцы колеса втораго входили въ промежутки между зубками перваго, нужно что бъ они были равной величины, и очевидно, что число зубцевъ въ двухъ захватывающихся колесахъ будетъ пропорціонально окружностямъ слѣд. и радіусамъ. По этой причинѣ часто вмѣсто радіусовъ r, r', r'' ... R, R/, R″ ... употребляютъ n, n', n'' ... N, N/, N″ ..., которыя означаютъ число зубцевъ каждой шестерни и каждаго колеса.

§ 49.

Зубчатыя колеса часто употребляются въ большихъ и малыхъ машинахъ, напр. въ мѣльницахъ, часахъ и проч. Въ часахъ обращается вниманіе не на то, чтобъ сберечь силу, но чтобъ измѣнить скорость.

Если предположимъ, что въ часахъ находится колесо A (фиг. 53), которое отъ механическаго устроенія совершаетъ

полный оборотъ около своей оси въ 1 часъ, то стрѣлка CB, укрѣпленная на оси этаго колеса, также въ одинъ часъ совершила бы свой полный оборотъ, слѣд. эта стрѣлка показывала бы минуты. Требуется придѣлать къ часамъ такую стрѣлку EF, которая бы показывала часы и потому совершала бы полный оборотъ въ продолженіи 12 часовъ и слѣд. двигалась бы въ 12 разъ медленнѣе. Для этой цѣли на оси колеса A мы утверждаемъ шестерню C съ 8 зубцами; пусть зубцы его входятъ въ промежутки между зубцами другаго колеса D, имѣщаго 96 зубцевъ, или діаметръ въ 12 разъ большій; отъ этаго послѣднее колесо будетъ дѣлать полный оборотъ медленнѣе перваго въ 12 разъ, слѣд. оно обернется около своей оси одинъ только разъ, между тѣмъ какъ колесо A сдѣлаетъ 12 оборотовъ. Вмѣстѣ и стрѣлка EF, укрѣпленная на оси его въ E, оборотится въ продолженіи 12 часовъ только одинъ разъ; итакъ EF показывала бы часы, между тѣмъ какъ стрѣлка CB показывала бы минуты. Такимъ же образомъ сообщаются различныя скорости вращенія во всѣхъ механизмахъ подобныхъ механизму часовъ; изъ нихъ нѣкоторые гораздо сложнѣе, напр. такъ называемый *планетарій*, гдѣ посредствомъ поворачиванія рукоятки представляется движеніе всѣхъ планетъ вокругъ солнца.

О наклонной плоскости.

§ 50.

Всѣ машины, которыя мы до сихъ поръ разсматривали, могутъ быть приведены къ теоріи рычага; но наклонная плоскость основана на другихъ началахъ. Наклонная плоскость есть поверхность, которой вертикальный разрѣзъ представляется линіею AB (фиг. 54); она наклонена къ горизонту CB подъ угломъ ABC. Ежели на эту плоскость положимъ шаръ K, то отъ дѣйствія тяжести онъ будетъ

катиться внизъ вдоль AB; теперь спрашивается, какою силою параллельною скату наклонной плоскости, должно удержать шаръ, чтобъ онъ не катился внизъ, а оставался въ равновѣсіи?

Пусть линія KG представляетъ силу тяжести, отъ которой шаръ стремится упасть по отвѣсному направленію. KG можно разложить на двѣ силы, изъ которыхъ одна KM дѣйствуетъ параллельно направленію наклонной плоскости AB, другая KN перпендикулярно къ этой же плоскости. Послѣдняя уничтожится сопротивленіемъ плоскости; для удержанія же силы KM въ равновѣсіи очевидно противоположная ей сила должна быть одинаковой величины. Изъ равенства всѣхъ угловъ слѣдуетъ, что треугольники MGK и ABC подобны, а слѣд. мы получимъ пропорцію:

$$KG : KM = AB : AC.$$

Но AB называется длиною, AC высотою и CB основаніемъ наклонной плоскости и слѣд. мы получимъ слѣдующее предложеніе:

Для равновѣсія при наклонной плоскости, когда сила параллельна длинѣ плоскости, требуется, чтобы сила относилась къ тяжести или къ вѣсу тѣла, какъ относится высота наклонной плоскости къ ея длинѣ.

Изъ этого слѣдуетъ, что чѣмъ болѣе плоскость наклоняется къ горизонту, тѣмъ меньше должна быть сила; наконецъ, если наклонная плоскость будетъ горизонтальна, то высота ея будетъ 0; слѣд. въ этомъ случаѣ для равновѣсія ни какой не нужно силы, что впрочемъ и безъ того ясно.

Теперь мы разсмотримъ второй случай равновѣсія на наклонной плоскости, именно когда сила дѣйствуетъ по горизонтальному направленію KF (фиг. 55) или параллельно основанію. Въ этомъ случаѣ мы разложимъ силу тяжести,

опять на двѣ силы, изъ которыхъ одна KN перпендикулярна къ AB, другая противоположна силѣ KF и слѣд. параллельна основанію CB. Первая опять уничтожится сопротивленіемъ наклонной плоскости, другая KM должна быть равна сила KF и дѣйствовать по противоположному направленію, дабы произвесть равновѣсіе. Изъ подобія треугольниковъ ABC и MGK имѣемъ:

$$AM : KG = AC : BC$$

т. е. *сила относится къ тяжести, какъ высота наклонной плоскости къ основанію.* Слѣд. при этомъ направленіи сила должна быть больше, нежели въ первомъ случаѣ, въ которомъ она дѣйствуетъ параллельно длинѣ наклонной плоскости.

О клинѣ.

§ 51.

Самый простой примѣръ приложенія наклонной плоскости мы видимъ въ клинѣ, который употребляется для раскалыванія твердыхъ тѣлъ. Пусть MN (фиг. 56) будетъ твердая масса, напримѣръ деревянное полѣно: CBA клинъ, который отъ удара, сообщеннаго въ CB, долженъ входить въ полѣно, для того чтобы расколоть его. Очевидно, что частицы лежащія подлѣ клина, напримѣръ частицы F и G, при ударѣ должны двигаться по наклоннымъ поверхностямъ клина. Если проведемъ линію AK, такъ чтобъ уголъ CAB былъ раздѣленъ на двѣ равныя части, то каждая половина клина будетъ представлять наклоноую плоскость; сила дѣйствуетъ по направленію основной линіи KA; вмѣсто тяжести здѣсь дѣйствуетъ сила упругости, съ которою частицы F и G дерева стремятся опять близиться; она дѣйствуетъ точно также, какъ въ прежнемъ параграфѣ тяжесть, перпендикулярно къ основанію и слѣд. мы получимъ:

Сила : сопрот. = СК : КА для сопротивл. частицъ F
Сила : сопрот. = ВК : КА ..... G

Слѣд вся сила : сопрот. = СВ : КА т. е. какъ толщина клина относится къ его длинѣ. Итакъ если клинъ очень остръ, то достаточно малой силы, чтобъ расколоть полѣно.

О винтѣ.

§ 52.

Второе и безъ сомнѣнія важнѣйшее приложеніе наклонной плоскости мы имѣемъ въ винтѣ.

Представимъ себѣ, что наклонная плоскость ABC (фиг. 57) обвита около цилиндра MN, котораго окружность совершенно равна основанію CB плоскости; тогда длина AB плоскости будетъ предтавлять винтовую линію *adb*. Если обернемъ еще нѣсколько наклонныхъ плоскостей около цилиндра и представимъ себѣ, что вдоль получаемой отъ этой линіи, вырѣзанъ жолобокъ на цилиндрѣ, то получимъ *винтъ;* каждая отдѣльно обвитая около цилиндра наклонная плоскость составляетъ *витокъ* (spire), высота *ab* есть *ширина витка*. Если представимъ себѣ, что на внутреннихъ стѣнкахъ пустой трубки, которой діаметръ равенъ діаметру цилиндра, наклонная плоскость лежитъ точно также, какъ на цилиндрѣ и что вдоль улиткообразной линіи, произшедшей отъ этого, вырѣзаны возвышенія, то мы получимъ *гайку*. Очевидно, что вращеніемъ мы можемъ заставить винтъ входить въ гайку и одну наклонную плоскость двигаться по другой. Пусть напр. KL (фиг. 58) представляетъ гайку, MN винтъ, который посредствомъ головки AB обращается въ неподвижной гайкѣ; на концѣ M лежитъ тяжесть Q и поднимается вверхъ отъ обращенія винта, который приводится въ движеніе какою нибудь силою, дѣйствующею на его головку;

спрашивается: какъ велика должна быть сила для того, чтобъ она могла уравновѣсить тяжесть Q?

По самому виду происхожденію винтовой линіи очевидно, что на плоскости, обвитой около цилиндра, тяжесть дѣйствуетъ параллельно высотѣ плоскости, сила параллельно основанію, а движеніе происходитъ по направленію длины плоскости. Если представимъ себѣ сперва, что сила, отъ которой обращается винтъ, дѣйствуетъ не на головку его, но на окружность самаго винта, то, основываясь на второмъ случаѣ для наклонной плоскости, мы получимъ:

Сила: тяжести = высота: основанію наклонной плоскости.

По сему сила: тяжести = ширина витка: къ окружности винта.

Итакъ, чѣмъ меньше ширина витка, тѣмъ большую тяжесть можно поднять одною и тою же силою.

Если сила не дѣйствуетъ непосредственно на окружность винта, что обыкновенно не бываетъ, но на головку винта т. е на кругъ большаго діаметра, то мы имѣемъ случай ворота; и мы выиграемъ въ силѣ не только отъ дѣйствія винта но и ворота, именно въ сложной пропорціи ширины витка къ окружности винта, помноженной на отношеніе діаметра винта къ діаметру головки.

Если напр. ширина витка будетъ 0,1 дюйма, діаметръ его 0,5 дюйма, то окружность его будетъ 1,6 дюйма, слѣд. сила будетъ $\frac{1}{16}$ тяжести; если же сверхъ того она дѣйствуетъ на головку, имѣющую въ окружности 1,5 дюйма, которая слѣд. будетъ въ 3 раза больше окружности винта, то сила должна быть только $\frac{1}{48}$ тяжести.

И здѣсь подтверждается законъ выше замѣчаемый, что мы теряемъ въ скорости то, что выигрываемъ въ силѣ; ибо въ нашемъ послѣднемъ примѣрѣ, когда сила дѣйствуетъ на окружность самаго винта, то сила описываетъ кругъ

въ 1,6 дюйма, между тѣмъ какъ тяжесть подпимается на 0,1 дюйма и слѣд. скорость движенія тяжести въ 16 разъ меньше скорости движенія силы. Но если кромѣ того сила дѣйствуетъ на головку, которой діаметръ въ 3 раза больше діаметра винта, то сила должна двигаться въ 48 разъ скорѣе, нежели тяжесть.

§ 53.

На этомъ замедленномъ движеніи основывается одно изъ главнѣйшихъ употребленій винта; винтъ съ весьма мелкими витками называется *микрометрическимъ винтомъ*. Употребленіе микрометрическаго винта очень разнообразно; чтобы показать примѣръ, въ которомъ видна существенная польза его, мы обратимъ наше вниманіе на употребленіе его въ дѣлительныхъ машинахъ и изберемъ для сего преимущественно прямолинейное дѣленіе. Цѣль состоитъ въ томъ, чтобъ приготовить маштабъ, котораго части была бы совершенно равны и имѣли точную требуемую длину, напр. русскую линію, или миллиметръ, или какую угодно, но только извѣстную длину. Машины этого рода должны не только отмѣривать равныя части, но еще отмѣренныя нарѣзать на маштабъ, посему онѣ состоятъ изъ двухъ главныхъ механизмовъ, — изъ отмѣряющаго длину, и другаго, проводящаго черты для означенія отмѣренной длины. Такъ какъ послѣдній механизмъ, если посредствомъ его требуется съ точностію и съ удобностію достигнуть желаемой цѣли, довольно сложенъ и какъ мы хотимъ здѣсь преимущественно обратить вниманіе на употребленіе винта, который только въ первомъ механизмѣ составляетъ существенную часть, то мы упростимъ задачу, предполагая, что не требуется нарѣзывать линіи, но только карандашемъ ставить точки въ равномъ разстояніи другъ отъ друга. Этого мы можемъ достигнуть съ точностію употребляя механизмъ, который переднею частью представленъ въ A, а со стороны въ B (фиг. 59). Въ обѣихъ

фигурахъ одинаковыми буквами означены однѣ и тѣже части. PQP/Q/ представляетъ станокъ, на которомъ сверху находится доска CD, могущая скользить по металлическимъ линейкамъ R и R/. Къ доскѣ CD прикрѣплена металлическая часть *mn*, въ которую вдѣлана гайка. Сквозь гайку проходитъ микрометрическій винтъ BA, котораго головка имѣетъ въ A обводъ; окружность его раздѣлена на равныя части, напр. на 360°. Валикъ винта обращается своими цилиндрическими концами B и A въ двухъ цилиндрическихъ кольцахъ, которыхъ діаметръ равенъ діаметру концевъ. Слѣдовательно здѣсь валикъ неподвиженъ, но обращается около своей оси, между тѣмъ, какъ гайка *mn*, а съ нею и доска CD, при всякомъ оборотѣ винта подвигается впередъ на ширину витка; если винтъ обращается только на одну четверть своей окружности, то гайка подвинется впередъ на $\frac{1}{4}$ ширины витка; если оборотимъ винтъ только на $\frac{1}{360}$ часть окружности т. е. только на одинъ градусъ раздѣленнаго круга, который обращается вмѣстѣ съ валикомъ винта, то гайка подвинется впередъ только на $\frac{1}{360}$ часть ширины витка, а съ нею вмѣстѣ и доска CD. Такимъ образомъ видно, что доску можно съ точностію подвинуть впередъ на какую угодно малую величину, поворачивая головку винта на дѣленія, которыя можно весьма удобно наблюдать. Чтобъ имѣть возможность съ точностію обращать головку на извѣстное число градусовъ, для этаго на подставкѣ P укрѣплена стрѣлка Z, которой конецъ загнутъ, какъ показано въ фигурѣ и почти касается дѣленій круга. Теперь если предположимъ, что ширина витка равна напр. $\frac{1}{4}$ линіи, то полный оборотъ круга головки подвинетъ доску впередъ на $\frac{1'''}{4}$; слѣд. поворачиваніе на 1° подвинетъ доску на $\frac{1}{4.360} = \frac{1}{1440}$, т. е. на такую величину, которую можно видѣть только посред-

ствомъ сильнаго микроскопа. Если къ неподвижному станку PQ прикрѣплена мѣдная пружина LMK, въ которую къ концу K вдѣланъ заостренный карандашъ и если на доскѣ будетъ лежать маштабъ GF, который нужно раздѣлить, то придавляя пружину MK, такъ чтобъ заостренный конецъ карандаша касался маштаба, можно на немъ поставить точку. Если потомъ послѣ полнаго оборота или обращенія головки винта на 360^0 подвинемъ доску впередъ на $\frac{1}{4}$ линіи, и опять придавимъ карандашъ, то опять получимъ точку, которая отстоитъ отъ предъидущей на $\frac{1'''}{4}$; подвигая такимъ образомъ впередъ доску и ставя при каждомъ обращеніи головки на 360° точку на маштабѣ, мы получимъ рядъ точекъ отстоящихъ одна отъ другой на $\frac{1'''}{4}$. Если хотимъ произвесть другое дѣленіе, напр. какую нибудь опредѣленную длину уже поставленную па маштабѣ раздѣлить на 100 равныхъ частей, то для этаго укрѣпляется маштабъ на доскѣ CD, и подвигается впередъ посредствомъ винта до тѣхъ поръ, пока одинъ изъ концевъ маштаба будетъ находиться подъ самымъ концемъ карандаша; потомъ снова станемъ обращать винтъ до тѣхъ поръ, пока и другой конецъ будетъ лежать подъ остріемъ карандаша и замѣчаемъ число нужныхъ для этаго полныхъ оборотовъ и частей ихъ, если онѣ есть, въ градусахъ круга головки винта. Напр. если число нужныхъ полныхъ оборотовъ будетъ $=$ 80 и еще 40^0, которые нужно было сдѣлать для того, чтобъ маштабъ отъ одного конца раздѣляемой длины передвинулся до другаго, то нужно поступить слѣдующимъ образомъ: 80 полныхъ оборотовъ въ градусахъ круга составятъ $80 \times 360 = 28800$, къ этому еще присоединимъ 40. Слѣд. маштабъ подвинулся впередъ на 28840^0.

Если нужно раздѣлить эту длину на 100 равныхъ частей, то каждая часть очевидно должна быть $= \frac{28840^0}{100} = 288^0, 4$; и такъ начиная съ одного конца длины нужно обращать кругъ винтовой головки каждый разъ на $288^0, 4$ и потомъ придавлять карандашъ, тогда получится требуемое дѣленіе.

Если нужно сдѣлать дѣленіе маштаба на металлѣ, то части обыкновенно означаются маленькими чертами; тогда вмѣсто карандаша употребляютъ другой приборъ, въ которомъ острый ножъ придавляется къ маштабу нужною силою и потомъ, въ направленіи перпендикулярномъ къ длинѣ маштаба, двигается на такое разстояніе, какое нужно для длины черты. Эготъ приборъ остается совершенно неподвижнымъ при движеніи микрометрическаго винта. Кромѣ того придѣланъ къ нему еще особеннаго устройства механизмъ, служащій для того, чтобъ послѣ опредѣленнаго числа чертъ привести черту длиннѣе прочихъ, какъ это обыкновенно требуется въ маштабахъ послѣ каждыхъ пяти и десяти частей; отъ этаго тотъ, кто дѣлаетъ дѣленія, не имѣетъ нужды считать черты, такъ что вся работа состоитъ въ поворачиваніи винта на извѣстные градусы и въ маломъ движеніи рычага, который соединенъ съ механизмомъ, назначеннымъ для движенія ножа.

Такимъ образомъ способъ дѣленія доведенъ до величайшаго совершенства, которое очевидно зависитъ отъ точности винта.

§ 54

Кромѣ прямолинейнаго дѣленія требуется въ практикѣ еще дѣленіе круговъ, особенно для астрономическихъ инструментовъ; это дѣленіе производится часто посредствомъ микрометрическаго винта, а иногда по другому началу посредствомъ микроскопа. При употребленіи

перваго способа зубцы сдѣланные на кругѣ входятъ въ винтъ, какъ показано въ фигурѣ (фиг. 60) гдѣ A есть кругъ, который нужно поворачивать на весьма малыя равныя величины, и BC есть обращающійся винтъ. Зубцы круга совершенно входятъ въ ширину витка; винтъ вертится около своей оси въ неподвижныхъ подставкахъ B и C и при головкѣ своей имѣетъ раздѣленный кругъ CD. Легко видно, что при обращеніи винта зубцы круга будутъ подвигаться вдоль винтоваго валика, и слѣд. окружность круга при одномъ оборотѣ винта подвигается впередъ на ширину витка. Если прежде узнаемъ сколько разъ винтъ долженъ оборотиться для того, чтобъ кругъ сдѣлалъ полный оборотъ, то мы найдемъ, что винтъ долженъ совершить число оборотовъ равное $\frac{1}{360}$ этаго числа для того, чтобъ кругъ поворотился на 1^0; раздѣленный кругъ головки винтовой показываетъ дроби оборотовъ винта. Потомъ если на кругѣ укрѣпленъ неподвижный карандашъ или въ направленіи радіуса укрѣпленъ ножъ для проведенія чертъ, означающихъ дѣленія, то легко понять, какъ этимъ способомъ раздѣляютъ круги на какія угодно части.

Такое устройство, въ которомъ зубцы круга захватываются винтомъ, называется *безконечнымъ винтомъ* и употребляется не только при дѣленіи круговъ, но и во многихъ другихъ случаяхъ.

Кромѣ машинъ, которыя мы описывали, есть еще много другихъ, но онѣ суть токмо соединенія этихъ простыхъ машинъ; по этому ихъ легко можетъ понять тотъ, кто хорошо вникнулъ въ теорію сихъ послѣднихъ.

§ 55.

Въ заключеніе этой главы скажемъ еще нѣсколько словъ о дѣйствіи механическихъ силъ или разныхъ *двигателей* въ нашихъ машинахъ.

Цѣль употребленія механическихъ силъ для разныхъ потребностей практической жизни состоитъ всегда въ *приведеніи разныхъ массъ* въ движеніе. Такъ напр. параходы и паравозы передвигаютъ съ мѣста на мѣсто разныя тяжести, мельницы или поворачиваютъ тѣжелые камни одинъ надъ другимъ для измолотія между ними находящихся зернъ, или двигаютъ взадъ и впередъ большія пилы для разрѣзки бревенъ на доски, или дѣйствуютъ иначе.—Если одинъ изъ такихъ двигателей передвигаетъ какую либо массу при тѣхъ же обстоятельствахъ на двойное разстояніе, нежели другой, тогда говорятъ, что первый обнаруживаетъ двойную силу; если же пространство, черезъ которое двигается масса отъ перваго двигателя остается тѣмъ же самымъ, какъ при движеніи отъ втораго, но сама масса въ первомъ случаѣ 2 раза больше, то сила перваго двигателя будетъ также вдвое больше. По этому механическое дѣйствіе, или какъ говорятъ, *количество дѣйствія* какого либо двигателя измѣряется не одною массою приведенною въ движеніе и не однимъ пространствомъ черезъ которое она двигалась, но произведеніемъ движимой *массы на пространство, черезъ которое точка приложенія дѣйствующей силы подвинулась*, т. е. произведеніемъ M. E или P. E, если M масса, P вѣсъ и E пройденное точкою приложенія пространство.— За единицу количества дѣйствія употребляютъ у насъ въ Россіи количество дѣйствія необходимое для поднятія 1 пуда на 1 футъ, и называютъ ее: *пудофутомъ*. Такъ напр. говорятъ, что для поднятія 100 пудовъ на высоту 20 футовъ требуемое количество дѣйствія = 2000 п. ф. — Во Франціи служитъ единицею количества дѣйствія *килограммметръ* т е. количество дѣйствія, необходимое для поднятія 1 килограма на 1 метръ; въ Англіи употребляютъ фунтъ и футъ. Приблизительно 1 п. ф. = 5 к м. = 36 Англійск. единицамъ.

Произведенное дѣйствіе всегда бываетъ меньше количества дѣйствія, обнаруживаемаго двигателемъ, потому что при

употребленіи двигателя для какой либо цѣли всегда необходимо бываетъ еще преодолѣвать различныя сопротивленія, независящія отъ нашего произвола и всегда встрѣчающіяся при движеніяхъ, какъ напр. сопротивленіе воздуха, треніе, жесткость веревокъ, и пр. Такъ напр. при весьма простомъ дѣйствіи, при поднятіи большей тяжести посредствомъ неподвижнаго блока, значительная часть обнаруживаемаго количества дѣйствія употребляется на преодолѣніе треніи блока и жесткости веревки, другая часть потеряется отъ того что при дѣйствіи многихъ людей не каждый можетъ дѣйствовать совершенно по тому направленію, по которому надобно тянуть веревку и т. д.; а мы называемъ произведеннымъ дѣйствіемъ только то, которое намъ полезно, т. е. поднятіе тяжести.

Механическую силу разныхъ двигателей мы измѣряемъ по количеству дѣйствія, которое они могутъ производить въ теченіе даннаго времени. Въ практической Механикѣ сравниваютъ силу другихъ двигателей съ силою лошади; но такъ, какъ лошади обнаруживаютъ весьма различныя количества дѣйствія, смотря по ихъ тѣлесному сложенію, то для точности понятія воображаютъ себѣ въ Механикѣ какую то нормальную лошадь или какъ говорятъ, *паровую лошадь* (потому что преимущественно силы паровыхъ машинъ сравниваютъ съ такою лошадью) съ которою сравниваютъ количество дѣйствія другихъ двигателей. — Количество дѣйствія такой лошади принимаютъ равнымъ 15 пудофутамъ въ *секунду*. По этому, если говорятъ что сила такой то паровой машины равна 200 лошадямъ, то это значитъ, что количество дѣйствія ея = 15 × 200 = 3000 пудовъ, поднятыхъ въ одну секунду на одинъ футъ.

Силы другихъ двигателей по этому не трудно сравнивать съ силою лошади. Возьмемъ въ примѣръ опредѣленіе количества дѣйствія, обнаруживаемое теченіемъ воды въ рѣкѣ

текущей со скоростію 3 футовъ въ секунду, въ томъ мѣстѣ, гдѣ поперечный разрѣзъ русла рѣки = 600 квадратнымъ футамъ. Въ каждую секунду черезъ этотъ поперечный разрѣзъ протекаютъ 1800 кубическихъ футовъ воды, и считая вѣсъ кубическаго фута рѣчной воды круглымъ числомъ = $1\frac{3}{4}$ пуда, это составитъ $1800 \times 1\frac{3}{4} =$ 3150 пудовъ. Эта масса въ одну секунду проходитъ 3 фута, и такъ количество дѣйствія ея въ каждую секунду $= 3150 \times 3 = 9450$ пф., что составляетъ силу $\frac{9450}{15} = 630$ паровыхъ лошадей. Если мы могли бы пользоваться всѣмъ этимъ количествомъ дѣйствія для приведенія въ движеніе водяной мельницы, то она работала бы съ такою же силою; но при дѣйствительномъ приложеніи этой силы всегда значительная часть ея потеряется, такъ что произведенное дѣйствіе мельницы будетъ гораздо меньше. Цѣль практической механики именно состоитъ въ томъ, чтобы опредѣлить правила, по которымъ можно было бы перемѣнить какъ можно большую часть *количества дѣйствія* какого либо двигателя въ *произведенное дѣйствіе*, съ наименьшею потерею; уже изъ этого очевидно, что тотъ совершенно не знаетъ простыхъ основныхъ законовъ механики, кто хотѣлъ бы, посредствомъ одного измѣненія механизма какой либо машины, совершить произведенное дѣйствіе больше количества дѣйствія самаго двигателя. — Еще яснѣе это дѣлается изъ предъидущаго; мы тамъ говорили, что всѣ сложныя машины составлены изъ тѣхъ простыхъ, которыя мы прежде разсматривали; а при всѣхъ этихъ машинахъ мы доказали, что мы потеряемъ столько же въ скорости, сколько мы выиграемъ въ силѣ и по этому произведеніе силы на пространство, пробѣгаемое точкою приложенія силы, остается всегда постоянною величиною и одни множители этого произведенія измѣняются при измѣненіи устройства машины. Но именно

это произведеніе есть то, что мы назвали *количествомъ дѣйствія* и такъ одинъ механизмъ въ машинахъ никогда не можетъ увеличивать количество дѣйствія, или *силу* двигателя; напротивъ того треніе, жесткость веревокъ, несовершенство въ устройствѣ зубцовъ и пр. всегда значительно уменьшаютъ полезное дѣйствіе ихъ, и тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе сложны бываютъ механизмы. По этому *совершенство* машины зависитъ отъ того, чѣмъ болѣе при ней *произведенное дѣйствіе* приближается къ *количеству дѣйствія*. — Но машины весьма полезны въ томъ отношеніи, что онѣ служатъ для передачи движенія отъ самаго двигателя отдаленнымъ частямъ, или для измѣненія скорости движенія, или наконецъ для измѣненія направленія движенія.

Количество дѣйствія не зависитъ отъ мертвыхъ массъ, изъ которыхъ составлены наши машины, но отъ силъ самыхъ двигателей; а ихъ мы имѣемъ для движенія нашихъ машинъ только три: силу животныхъ, теплородъ и электричество. Подробнѣе мы увидимъ это въ послѣдствіи.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

О ДѢЙСТВІИ ВНУТРЕННИХЪ СИЛЪ НА ТВЕРДЫЯ ТѢЛА.

§ 56.

До сихъ поръ мы предполагали, что на твердыя тѣла дѣйствуютъ какія нибудь внѣшнія силы, какъ это бываетъ большею частію въ машинахъ. Но есть такія силы, какъ напр. тяжесть, которыя находятся въ частяхъ самыхъ тѣлъ и дѣйствуютъ на эти части. Слѣдствія такого дѣйствія представляетъ нѣчто весьма отличное отъ того, что

мы прежде разсматривали, потому что тѣло, приведенное въ движеніе какою нибудь внѣшнею силою, какъ скоро прекращается дѣйствіе ея, движется равномѣрно, если только другія силы не заставятъ его перемѣнить первоначальное движеніе или не уничтожатъ его совсѣмъ; но дѣйствіе внутреннихъ силъ продолжается во время самаго движенія; и такъ тѣло, — кромѣ прежнихъ впечатленій, которыя, если бы оставались одни, то производили бы равномѣрное движеніе, — будетъ еще подвержено всякое мгновеніе вліянію этой силы и получитъ движеніе не однообразное.

Изъ числа внутреннихъ силъ мы знаемъ только притяженіе и отталкиваніе частицъ; послѣднее приписывается дѣйствію теплоты, по этому мы займемся здѣсь только притяженіемъ. Мы уже сказали, что притяженіе оказываемое небесными тѣлами другъ на друга, называется *тяготѣніемъ*; притяженіе, производимое землею на тѣла, находящіяся на ней, *тяжестію*; притяженіе между двумя частицами, касающимися другъ друга, *сцѣпленіемъ*. Во всѣхъ этихъ случаяхъ дѣйствуетъ одна и таже сила, но она обнаруживается при различныхъ обстоятельствахъ и по этому требуетъ особенныхъ разсужденій въ этихъ трехъ отношеніяхъ.

О сцѣпленіи.

§ 57.

Если двѣ частицы стремятся сблизиться другъ къ другу до прикосновенія, то говорятъ, что онѣ взаимно притягиваются. Отъ этого притяженія происходитъ связь частицъ какого нибудь тѣла и отъ большей или меньшей притягательной силы въ отношеніи къ взаимному ихъ отталкиванію, производимому теплотою, зависитъ, какъ мы прежде видѣли,

состоянiе тѣлъ: твердое, жидкое или газообразное. Въ твердыхъ и жидкихъ тѣлахъ притяженiе и отталкиванiе находятся въ равновѣсiи, но различiе между ними такое, что частицы твердыхъ тѣлъ не съ одинаковою силою притягиваются со всѣхъ сторонъ; это легко можно себѣ представить допустивши, что малѣйшiя частицы, изъ которыхъ состоятъ тѣла, имѣютъ не шарообразный видъ. Если напр. (фиг. 61) онѣ имѣютъ видъ цилиндриковъ, какъ A, B и C, то центръ тяжести ихъ находится на срединѣ ихъ осей; слѣд. если онѣ приближаются одна къ другой, какъ B и A, то ихъ центры тяжести будутъ лежать ближе одинъ къ другому, нежели при положенiи A и C. Слѣд. B и A будутъ притягиваться сильнѣе, нежели C и A. Мы совершенно не знаемъ настоящаго вида атомовъ тѣлъ, однако мы должны его представить себѣ такъ, что они въ одномъ положенiи притягиваются сильнѣе, нежели въ другомъ.

На основанiи этого предположенiя таковыя частицы, если только онѣ могутъ передвигаться съ мѣста на мѣсто, должны прилегать одна къ другой такъ, какъ требуетъ наибольшее притяженiе, и группа ихъ при переходѣ въ твердое состояniе должна принять правильный видъ, который остается одинакимъ для однихъ и тѣхъ же атомовъ, т. е. для тѣлъ одинаковыхъ по химическому составу, но онъ вообще различенъ для тѣлъ, состоящихъ изъ разновидныхъ атомовъ. Дабы видѣть дѣйствительно ли это справедливо, растворимъ въ водѣ поваренную соль до насыщенiя и потомъ поставимъ растворъ въ теплое мѣсто; извѣстно, что вода, находясь на свободномъ воздухѣ, мало по малу пропадаетъ или испаряется, между тѣмъ какъ соль остается въ сосудѣ. Итакъ мы прежде имѣли растворъ, въ которомъ частицы соли были въ жидкомъ состоянiи и слѣд. свободно могли двигаться; а отъ испаренiя воды онѣ переходятъ въ твердое состояniе и мы въ самомъ дѣлѣ замѣтимъ, что оставшiяся частицы поварен-

ной соли приняли совершенно правильную форму, а именно состоять изъ явственныхъ правильныхъ кубовъ. Твердое тѣло, имѣющее отъ природы правильный видъ такого рода, называетея *кристалломъ*. Если бы вмѣсто раствор поваренной соли мы взяли растворъ селитры, то кристаллы не были бы кубическіе, но имѣли бы видъ призматическихъ столбиковъ. Изъ этого видимъ, что кристаллической видъ поваренной соли есть кубъ, а селитры призма. Итакъ кристаллизація даетъ намъ право, принимать выше приведенное предположеніе о свойствахъ малѣйшихъ частицъ матеріи, за правдоподобное, т. е. допускать, что ихъ различныя стороны притягиваются различно.

Видъ кристалловъ весьма многоразличенъ; однако всѣ онѣ могутъ быть приведены къ простымъ видамъ. Это производится слѣдующимъ образомъ: если станемъ прикладывать острый ножъ къ поверхности кристалла въ различныхъ направленіяхъ и потомъ ударять по ножу молоткомъ, то найдемъ нѣкоторыя направленія, въ которыхъ части кристалла могутъ откалываться такъ, что поверхность излома остается совершенно гладкою; если такимъ образомъ станемъ продолжать откалывать части кристалла, то наконецъ дойдемъ до простыхъ формъ, которыя называются *ядромъ* кристалла. — Всѣ твердыя неорганическія вещества могутъ получать видъ кристалла, когда онѣ въ спокойномъ состояніи переходятъ изъ жидкаго состоянія въ твердое, и этотъ видъ составляетъ одинъ изъ главныхъ отличительныхъ признаковъ минераловъ. Для образованія хорошихъ кристалловъ нужно, что бы тѣла мало по малу переходили изъ жидкаго состоянія въ твердое и что бы при этомъ растворъ находился въ совершенно невозмущаемомъ состояніи; только при этихъ условіяхъ частицы могутъ притти въ такое положеніе, которое потребно для наибольшаго притяженія.

§ 58.

Отъ силы сцѣпленія зависитъ твердость тѣлъ, и потому сила сцѣпленія опредѣляется твердостію. Такъ какъ твердость веществъ въ практикѣ составляетъ весьма важный предметъ, то давно уже старались опредѣлить ее посредствомъ точнѣйшихъ опытовъ. Здѣсь различаютъ твердость тѣлъ абсолютную и относительную.

Абсолютную твердость тѣлъ опредѣлимъ тогда, когда найдемъ, отъ какой тяжести какое нибудь тѣло разрывается. Изъ вещества, подвергаемаго опыту дѣлаютъ пруты опредѣленнаго поперечнаго разрѣза, ставятъ ихъ перпендикулярно, прикрѣпляютъ верхній конецъ, а къ другому привязываютъ тяжести большія и большія, пока наконецъ прутъ разорвется. Легко можно видѣть, что необходимая для этого тяжесть будетъ пропорціональна поперечному разрѣзу; ибо если разрываются два прута, изъ которыхъ одинъ имѣетъ въ поперечномъ разрѣзѣ 1 квадратный дюймъ, а другой 2 квадратныхъ дюйма, то въ первомъ случаѣ число отдѣляющихъ другъ отъ друга частицъ, соединенныхъ сцѣпленіемъ, вдвое меньше числа частицъ отдѣляющихся во второмъ случаѣ; слѣд. сила въ первомъ случаѣ будетъ въ два раза меньше силы употребляемой во второмъ случаѣ. Но законъ этотъ въ самыхъ опытахъ подтверждается только приблизительно, по той причинѣ, что пруты прежде разрыванія вытягиваются и дѣлаются тоньше въ томъ мѣстѣ, гдѣ они разрываются. По этому для вычисленія силы сцѣпленія нужно бы было взять въ разсужденіе разрѣзъ, который пруты имѣютъ въ то мгновеніе и въ томъ мѣстѣ, гдѣ они разрываются.

Что бы сравнить абсолютную твердость различныхъ тѣлъ, нужно употреблять пруты, имѣющіе одинаковые поперечные разрѣзы. Такимъ образомъ нашли, что желѣзный призматическій прутъ, имѣющій въ разрѣзѣ 1

квадратный дюймъ отъ тяжести вѣсовъ въ 1820 фунтовъ дѣлается длиннѣе на $\frac{1}{1400}$ своей длины, а отъ 6000 разрывается; напротивъ такой же дубовый прутъ разрывается отъ 26500, а сосновый отъ 18500.

§ 59.

Относительная твердость опредѣляется тогда, когда какой нибудь прутъ ломается, а не разрывается. Напр. на концы A и B (фиг. 62) прута AB, подпертаго въ C, станемъ класть какія нибудь тяжести до тѣхъ поръ, пока прутъ не переломится; сопротивленіе, которое противополагается прутомъ переломленію, называется относительною твердостію. При преломленіи частицы поперечнаго разрѣза DC отдѣляются одна отъ другой и для этого должно побѣдить сцѣпленіе ихъ. Обратимъ вниманіе на верхнюю точку D поперечнаго разрѣза, въ которой происходитъ изломъ. Если двѣ частицы прута, лежащія одна подлѣ другой въ D разрываются, то при этомъ одна половина DB будетъ обращаться около C, равно какъ и другая DA, но въ противную сторону. Слѣд. ломающая сила дѣйствуетъ на равныя плеча рычага BC и AC, а сопротивленіе, оказываемое этой силѣ сцѣпленіемъ, дѣйствуетъ на плечо рычага DC. Изъ этого слѣдуетъ во первыхъ, что если при тойже толщинѣ прутъ будетъ вдвое длиннѣе, то и дѣйствіе силы, производимое на плечо рычага, сдѣлается вдвое больше, слѣдовательно и сцѣпленіе окажетъ сопротивленіе этой силѣ вдвое меньшее, нежели прежде. Итакъ *относительная твердость обратно пропорціональна длинѣ прута или бревна.*

Если длина прута не измѣняется, но ширина его дѣлается вдвое больше, то очевидно, что въ этомъ случаѣ какъ будто два равные прута прежней ширины лежатъ одинъ возлѣ другаго; такъ какъ число частицъ, которыя должно разорвать, удвоивается, то и сила, употребляемая

для излома должна быть удвоена; изъ этого слѣдуетъ законъ: *относительная твердость пропорціональна ширинѣ прута.*

Наконецъ, если оставимъ длину и ширину бревна тѣмиже, а удвоимъ высоту его, то во первыхъ въ поперечномъ разрѣзѣ CDD′, (фиг. 63) число частицъ, которыхъ сцѣпленіе нужно преодолѣть, удвоится, слѣдовательно и сила должна быть удвоена. Но кромѣ того сцѣпленіе каждой частицы въ верхней половинѣ DD′ бревна дѣйствуетъ на плечо рычага, которое длиннѣе плеча, на которое дѣйствуетъ сцѣпленіе частицъ нижней половины; напр. верхняя частица D′ дѣйствуетъ на плечо D′C; верхняя же частица D нижней половины дѣйствуетъ на плечо DC, которое вдвое короче. По этому, если напр. на высотѣ DC находится 100 частицъ, равно отстоящихъ одна отъ другой, которыхъ сцѣпленіе должно преодолѣть, и если предположимъ на время, что при двойной высотѣ D′C также находится только 100 частицъ то изъ этихъ 100 частицъ напр. десятая будетъ находиться вдвое далѣе отъ C, нежели десятая на высотѣ DC, и по одной этой причинѣ тоже число частицъ бревна на двойной высотѣ окажетъ при изломѣ сопротивленіе вдвое большее. Но такъ какъ кромѣ того сопротивленіе удвоилось и отъ того, что число частицъ сдѣлалось вдвое больше, то оно вообще сдѣлалось въ четверо больше первоначальнаго. Если бы высота бревна была утроена, то подобными разсужденіями мы вывели бы, что сопротивленіе сдѣлалось бы въ девятеро больше и т. д.; слѣд. мы имѣемъ правило: *относительная твердость пропорціональна квадрату высоты прута или бревна.*

Итакъ если мы изъ опытовъ знаемъ относительную твердость P (выраженную въ фунтахъ) куба AB, котораго сторона равна одному футу (фиг. 64) и который подпертъ

въ срединѣ C, то относительная твердость P′ бревна, котораго длина есть l, высота h, ширина d, (всѣ эти величины выражены въ футахъ), будетъ:

$$P' = P \cdot \frac{dh^2}{l} \text{ фунтовъ.}$$

Если бревно подперто въ точкахъ A и B (фиг. 65) и въ срединѣ C дѣйствуетъ тяжестъ, то очевидно, что это будетъ относиться къ тому же случаю, который мы теперь разсмотрѣли, только направленіе всѣхъ силъ сдѣлалось совершенно противоположнымъ; ибо вмѣсто точекъ опоры въ A и B мы могли бы представить себѣ двѣ силы равныя давленію, производимому на нихъ, а на мѣсто силы въ C точку опоры. Слѣд. и въ этомъ случаѣ имѣютъ мѣсто наши три правила и формула, въ которой всѣ они заключаются. Изъ этого видно, что если мы имѣемъ четыреугольное (фиг. 66) бревно, котораго поперечный разрѣзъ ABCD не есть квадратъ, то гораздо выгоднѣе для твердости класть его на опоры меньшею стороною CD, такъ что бы большая сторона AC сдѣлалась высотою. Если напр. CD или $d = 1$, $h = 2$ фута, то наша формула для этого положенія, даетъ

$$P' = \frac{P \cdot 1 \cdot 4}{l} = 4\frac{P}{l}.$$

Если же положимъ его на оборотъ такъ, чтобы было $AC = d = 2$ и $CD = h = 1$, то получимъ:

$$P' = P \cdot \frac{2 \cdot 1}{l} = 2\frac{P}{l}.$$

Слѣд. въ послѣднемъ случаѣ относительная твердость была бы вдвое меньше, нежели въ первомъ. Изъ этого ясно видно, сколько выигрывается силы, когда доска, употребляемая для перенесенія тяжестей, кладется ребромъ, т. е. такъ, что поперечный разрѣзъ ея опирается на узкой сторонѣ, или что ширина доски дѣлается высотою ея.

Примѣняя высшее исчисленіе къ этой формулѣ можно рѣшать важныя задачи практическія. Напр. изъ цилиндрическаго бревна, котораго разрѣзъ представляетъ (фиг. 67) ABGCDF, требуется сдѣлать четыреугольный брусъ ABCD для поддержанія большихъ тяжестей, напр. для поддержанія потолка комнаты; какъ должно это сдѣлать, чтобы брусъ поддерживалъ наибольшую тяжесть? Лего видѣть можно, что для этого высота AC должна быть больше ширины DC; но если уменьшать DC болѣе и болѣе, то черезъ это, какъ видно изъ фигуры, мало выигрывается въ высотѣ, а много теряется въ ширинѣ; слѣд. наибольшее дѣйствіе будетъ при опредѣленной толщинѣ DC. Вычисленіе показываетъ, что если принять діаметръ бревна за единицу, то ширина DC должна быть равна 0,58, а высота AC = 0,82, чтобы дать наибольшую силу бревну.

§ 60.

Если сцѣпленіе есть причина твердости тѣлъ, то можно бы было спросить, почему, когда какое нибудь тѣло разломится и потомъ мы опять сложимъ вмѣстѣ поверхности излома, онѣ не такъ крѣпко сцѣпляются, какъ прежде, между тѣмъ какъ сила сцѣпленія частицъ всегда должна дѣйствовать; или почему двѣ совершенно плоскія полированныя стеклянныя плитки, положенныя одна на другую не держатся такъ крѣпко, какъ будто бы онѣ составляли одно тѣло. Но при не большомъ размышленіи легко можно уразумѣть причину этого. Когда твердое тѣло ломается, то предъ самымъ изломомъ частицы, находящіяся на мѣстѣ излома, насильственно отрываются одна отъ другой; при этомъ онѣ болѣе или менѣе перемѣняютъ свое относительное положеніе, такъ что при соединеніи поверхностей излома всѣ частицы, прежде касавшіяся одна другой, ни какъ не могутъ притти въ первоначальное соприкосновеніе, но только нѣкоторыя, вообще можно принять три

болѣе выдающіяся; слѣд. сцѣпленіе съ полною силою будетъ дѣйствовать только въ этихъ трехъ частицахъ, между тѣмъ какъ остальныя или совсѣмъ не будутъ дѣйствовать другъ на друга или по крайней мѣрѣ весьма слабо по причинѣ большаго отдаленія одной отъ другой. Тоже самое имѣетъ мѣсто и при прикосновеніи стеклянныхъ поверхностей, даже весьма тщательно отшлифованныхъ. Поверхности, которыя кажутся совершенно равными, въ сравненіи съ тонкостію атомовъ, представляются шероховатыми поверхностями; это мы даже видимъ, если станемъ разсматривать такую поверхность въ сильный увеличивающій микроскопъ. Итакъ совершенно будутъ соприкасаться только три точки поверхности, другія же будутъ находиться въ замѣтномъ, хотя весьма маломъ другъ отъ друга разстояніи. Эти разстоянія будутъ тѣмъ меньше, чѣмъ лучше и ровнѣе шлифованы поверхности. Но мы въ самомъ дѣлѣ находимъ, что такія поверхности пристаютъ одна къ другой съ значительною силою и по этому должны заключить, что не только три точки пришедшія въ надлежащее соприкосновеніе притягиваются силою сцѣпленія, но также и остальныя частицы, которыя хотя не находятся совершенно въ первоначальномъ соприкосновеніи, однако весьма близко лежатъ другъ отъ друга; только съ увеличеніемъ разстоянія сила сцѣпленія быстро уменьшается.

Если отторгнутыя одна отъ другой половины A и B, или двѣ плоскія поверхности, сложимъ вмѣстѣ и между ними положимъ слой какой нибудь жидкости, то она въ слѣдствіе удобоподвижности частицъ войдетъ въ промежутки находящіеся между тѣлами, и если жидкость такого свойства, что она послѣ нѣкотораго времени твердѣетъ, то мы получимъ твердый слой, который совершенно вмѣщенъ на обѣихъ сторонахъ въ неровности обѣихъ тѣлъ A и B, и слѣд. сцѣпленіе между слоемъ и тѣломъ A, также между слоемъ и тѣломъ B, начнетъ дѣйствовать во всей силѣ, а

посредствомъ этого тѣла A и B крѣпко будутъ удерживаться другъ другомъ. На этомъ основано спаиваніе металловъ, клееніе, подведеніе зеркальныхъ стеколъ и т. д. Напр. при спаиваніи тонкой слой легкоплавнаго металла впускается между двумя металлами, плавящимися при гораздо высшей температурѣ; когда металлы охладятся въ этомъ положеніи, то спаивающій слой дѣлается твердымъ и спаиваемые металлы крѣпко сцѣпляются. Такимъ образомъ спаиваютъ латунь оловомъ, серебро такъ называемымъ паяльнымъ серебромъ т. е. смѣсью, состоящею изъ серебра и мѣди и проч. Какой припой брать, это зависитъ отъ температуры, которой хотятъ подвергнуть спаиваемый сосудъ; если она выше температуры плавленія олова, то оловянной припой разошелся бы и слѣд. нужно взять припой болѣе трудноплавкой.

Объ упругости.

§ 61.

Сцѣпленіе дѣйствуетъ, какъ мы видѣли, не только при самомъ соприкосновеніи, но также и въ нѣкоторыхъ болѣе или менѣе близкихъ къ нему предѣлахъ. По этой причинѣ мы можемъ нѣсколько измѣнить разстояніе частицъ, не разрушая взаимной ихъ связи. Мы можемъ по этому скрутить или погнуть какое нибудь тѣло и можемъ сдавить его нѣсколько; а это доказываетъ, что соприкосновеніе не есть самое меньшее разстояніе частицъ другъ отъ друга, но только, по принятому нами въ началѣ понятію о составѣ тѣлъ, оно есть такое отдаленіе ихъ, при которомъ притяженіе и отталкиваніе частицъ или атомовъ находятся въ равновѣсіи. Здѣсь оказывается различіе въ явленіяхъ тѣлъ твердыхъ; нѣкоторыя изъ нихъ послѣ такого растягиванія, сгибанія или сдавливанія сами собою принимаютъ перво-

начальный свой видъ, какъ скоро перестаютъ дѣйствовать на нихъ силы, — другія же остаются въ томъ положеніи, въ какое онѣ приведены внѣшними силами. Примѣромъ перваго разряда тѣлъ служитъ стальная пружина, примѣромъ втораго свинцовый прутъ; первыя называются *упругими*, послѣднія *неупругими*.

Упругость въ различныхъ тѣлахъ имѣетъ различныя степени; между стальною пружиною и свинцовымъ прутомъ заключаются остальныя тѣла, напр. дерево, серебро, латунъ, которыхъ упругость бываетъ весьма различна и нѣтъ ни одного тѣла, которое бы было совершенно неупруго, даже и самый свинецъ. Напротивъ посредсвомъ опытовъ найдено, что для каждаго тѣла существуютъ извѣстные предѣлы перемѣщенія частицъ, въ которыхъ оно имѣетъ совершенную упругость; но внѣ этихъ предѣловъ частицы не возвращаются опять къ первоначальному положенію. Для такъ называемыхъ упругихъ тѣлъ эти предѣлы больше, а для тѣлъ неупругихъ меньше, въ этомъ и состоитъ ихъ отличіе. — Если напр. возьмемъ стальную пружину и мѣдную пластинку одинаковаго размѣра и укрѣпимъ ихъ однимъ концемъ въ какой нибудь неизмѣняемой точкѣ опоры A (фиг. 68), и потомъ взявши за конецъ B погнемъ ихъ въ одну сторону, то пластинки придутъ въ положеніе AB′. Потомъ если пустимъ концы ихъ, то онѣ отскакиваютъ и приходятъ опять въ первоначальное положеніе, если только при сгибаніи мы не перешли черезъ предѣлы упругости; если станемъ сгибать ихъ болѣе и болѣе, то мы дойдемъ до того что, хотя стальная пружина все еще будетъ отскакивать назадъ, но мѣдная уже не со всѣмъ приходитъ въ первоначальное положеніе AB, но останавливается въ положеніи AB″; тогда сгибаніе перешло черезъ предѣлъ упругости мѣди. Если будемъ болѣе и болѣе сгибать стальную пружину, то наконецъ дойдемъ и до предѣла упругости стали и она не

совершенно принимаетъ первоначальный видъ. При такихъ опытахъ оказывается еще другая разность между *упругими* тѣлами, состоящая въ томъ, что нѣкоторыя изъ нихъ ломаются прежде, нежели достигнутъ до предѣловъ упругости, напр. стекло, крѣпко закаленная сталь и проч.; они называются *хрупкими тѣлами.*

Такъ какъ эти свойства зависятъ отъ взаимнаго дѣйствія малѣйшихъ частицъ другъ на друга, которыя не подлежатъ непосредственному нашему наблюденію, то мы до сихъ поръ объ этомъ ничего незнаемъ удовлетворительнаго. Мы можемъ разсматривать только внѣшнія явленія или результаты причинъ, которыя сами принадлежатъ къ загадочнымъ предметамъ Физики. Такъ напр. мы можемъ измѣнить упругость тѣлъ, нисколько не нарушая химическаго ихъ состава. Лучшій примѣръ для этого представляетъ сталь. Сталь образуется изъ желѣза черезъ соединеніе его съ небольшимъ количествомъ углерода. Если накалить сталь и потомъ дать ей медленно охладиться на воздухѣ, то она въ отношеніи къ упругости не будетъ отличаться отъ мягкаго желѣза. Если же раскаленную сталь мгновенно охладимъ, погружая ее въ холодную воду, то она получитъ совсѣмъ другія свойства; въ первомъ случаѣ ее можно обработывать и сгибать, какъ мягкое желѣзо, во второмъ же она дѣлается хрупкою и столь твердою, что даже чертитъ стекло, и никакая пила на нее не дѣйствуетъ. Такая сталь называется *закаленною.* Въ томъ и другомъ состояніи она не годится для обыкновеннаго употребленія, какъ напр. на долота, ножницы и т. д.; для этого нужно привести ее въ среднее состояніе, въ которомъ она хотя не совсѣмъ тверда, но за то не хрупка, можетъ гнуться и по причинѣ упругости опять принимать первоначальный видъ. До этого достигаютъ вторичнымъ дѣйствіемъ, называемымъ *отвариваніемъ.* Оно состоитъ въ томъ, что сильно закаленную сталь на желѣзномъ листѣ нагрѣваютъ

и дают ей медленно охладиться. Чѣмъ выше температура вторичнаго нагрѣванія, тѣмъ мягче опять дѣлается сталь, и если это нагрѣваніе доводится до каленія, то сталь опять дѣлается также мягкою, какъ желѣзо. При этомъ вторичномъ нагрѣваніи сталь показываетъ замѣчательное явленіе, состоящее въ томъ, что поверхность ея принимаетъ различные цвѣты, помѣрѣ того какъ нагрѣваніе бываетъ сильно или слабо. Сперва она принимаетъ желтый соломенный цвѣтъ, потомъ по порядку золотожелтый, пурпуровый, синій, фіолетовый, наконецъ краснокалильный; этими цвѣтами пользуются при опредѣленіи твердости стали. Послѣ совершенно закаленной стали самая твердая есть та, которая получила соломенножелтый цвѣтъ; изъ нее дѣлаются инструменты, употребляемые при металлическихъ работахъ. Меньшей твердости есть та сталь, которая принимала цвѣтъ золотожелтый, пурпуровый и еще мягче синій; эта послѣдняя обыкновенно употребляется для пружинъ. На этомъ свойствѣ закаливанія и отариванія стали основывается многоразличное употребленіе ея; она обдѣлывается тогда, когда она еще совершенно мягка и закаливается только тогда, когда она уже получила желаемый видъ.

§ 62.

На упругости стали основываются многіе приборы, изъ которыхъ мы подробнѣе разсмотримъ *ресорные вѣсы* или *динамометръ*. Динамометръ состоитъ изъ эллиптической стальной пружины CD (фиг. 69), которая должна имѣть какъ можно большую упругость. Къ ней прикрѣплены два кольца въ A и B. Теперь если возмемся за A и B, и станемъ тянуть въ противоположныя стороны, то эти кольца будутъ тѣмъ болѣе одталяться другъ отъ друга или пружина будетъ тѣмъ круглѣе, чѣмъ болѣе будетъ сила, употребляемая для растягиванія. Если дадимъ прибору

такое устройство, въ которомъ отдаленіе другъ отъ друга колецъ A и B точно показывалось бы градусами, то градусы будутъ служить мѣрою упругости. Это устройство въ нѣкоторыхъ динамометрахъ состоитъ изъ блока F крѣпко соединеннаго съ частію A и изъ штифта KL, который прикрѣпленъ къ нижней половинѣ B при точкѣ K и посредствомъ упругости сильно трется о блокъ F. Если A отдаляется отъ B, то отъ тренія объ штифтъ KL блокъ вертится, а съ нимъ вмѣстѣ и прикрѣпленная къ нему длинная стрѣлка FG, которой конецъ двигается по градусной дугѣ, раздѣленной такъ, что каждый градусъ соотвѣтсвуетъ какой нибудь единицѣ силы тянущей, напр. одному фунту. Самое дѣленіе дѣлается посредствомъ опытовъ; для этого динамометръ привѣшивается посретствомъ кольца A, а къ B прицѣпляютъ постепенно 1, 2, 3.... фунта и при каждомъ разѣ замѣчаютъ положеніе стрѣлки. Этотъ приборъ имѣетъ разнообразныя устройства, но всегда основанныя на однѣхъ и тѣхъ же началахъ; онъ служитъ для измѣренія силъ. Если напр. прикрѣпить динамометръ кольцомъ A къ оси коляски и къ B впрячь лошадь, то динамометръ своею стрѣлкою покажетъ силу, употребленную лошадью. Динамометръ употребляется и для взвѣшиванія, только въ тѣхъ случаяхъ, въ которыхъ не требуется большой точности.

О ДѢЙСТВІИ ТЯЖЕСТИ НА ДВИЖЕНІЕ ТВЕРДЫХЪ ТѢЛЪ.

Свободное паденіе тѣлъ.

§ 63.

Притяженіе, оказываемое землею на тѣла, находящіяся на ея поверхности, называется *тяжестію*. Мы уже видѣли, какъ тяжесть дѣйствуетъ на тѣла, имѣющія подпору, слѣд.

находящіяся въ покоѣ и какимъ образомъ покой или движеніе тѣла совершенно зависитъ отъ положенія точки опоры относительно центра тяжести. Но что бываетъ когда тѣло не имѣетъ подпоры? Очевидно, что оно, слѣдуя притягательной силѣ земли, упадетъ къ той точкѣ, въ которой всю тяжесть земли можно представить какъ бы сосредоточенною; эта точка, какъ мы уже видѣли, есть центръ земли. Итакъ всякое тѣло не подпертое падаетъ отвѣсно къ центру земли; ежедневный опытъ подтверждаетъ эту истину. Теперь раждается вопросъ: по какому закону свободно падающее тѣло приближается къ землѣ? Если напр. оно проходитъ въ одну секунду извѣстное пространство, напр. 16 футовъ, то сколько пройдетъ оно въ 2, 3 и т. д. секунды? Легко можно видѣть, что движеніе свободно падающаго тѣла совершенно будетъ отлично отъ равномѣрнаго движенія, о которомъ мы выше говорили, и въ которомъ проходимыя пространства пропорціональны временамъ. Если напр. толчкомъ руки покатимъ шаръ по плоскости, то мы знаемъ, что если для движенія нѣтъ никакихъ препятствій (какъ напр. неровность плоскости, сопротивленіе воздуха), то онъ по силѣ инерціи всегда будетъ катиться впередъ съ одинаковою скоростію, такъ что если онъ проходитъ 5 футовъ въ 1 секунду, то въ 100 секундъ пройдетъ 500, въ 1000 секундъ 5000 футовъ и т. д.; если же тѣло падаетъ, то въ немъ есть внутренняя сила, которая влечетъ его къ землѣ, и она дѣйствуетъ на него не только въ началѣ движенія, какъ въ предъидущемъ примѣрѣ дѣйствовала рука на катящійся шаръ, но оказываетъ безпрестанно свое вліяніе и во время самаго паденія; изъ чего легко можно видѣть, что движеніе падающаго тѣла становится скорѣе и скорѣе. Въ этомъ состоитъ различіе дѣйствія внутреннихъ силъ, которыя заключаются въ самыхъ движущихся тѣлахъ, отъ дѣйствія внѣшнихъ силъ. Какою нибудь

внѣшнею силою всегда производится *равномѣрное движеніе;* внутреннею же силою производидся движеніе *ускорительное,* или если она дѣйствуетъ противоположно другой силѣ, *укоснительное.*

§ 64.

Ускорительное движеніе какого нибудь падающаго тѣла можно объяснить себѣ слѣдующимъ образомъ: положимъ, что матеріальная частица при своемъ паденіи въ продолженіи одной секунды прошла извѣстное пространство. Если (фиг. 70) изобразимъ время одной секунды линіею AB, то мы можемъ представить себѣ это продолженіе времени раздѣленнымъ на весьма малые равные періоды, которые мы изобразимъ линіями Am, mn, no, op и проч.; предположимъ напр. 1000000 такихъ частей, такъ что Am, mn, и проч. надобно представить себѣ гораздо меньшими, нежели въ фигурѣ. Допустивши весьма малые промежутки времени мы весьма значительно приблизимся къ истинѣ, если предположимъ, что въ продолженіи столь малыхъ періодовъ времени, каковы Am, mn, и проч. скорость тѣлъ не измѣняется примѣтнымъ образомъ и при этомъ предположеніи тѣмъ ближе подойдемъ къ истинѣ, чѣмъ меньше будутъ принимаемы эти частицы времени. Итакъ въ этомъ случаѣ можно себѣ представить, что дѣйствіе тяжести обнаруживается только въ самыя мгновенія m, o, n, p и проч., между тѣмъ какъ промежутки между двумя мгновеніями A и m, m и n, n и o и проч., никакая сила не дѣйствуетъ на тѣло: по этому скорость тѣла въ продолженіи перваго мгновенія времени Am будетъ весьма малая величина; мы также изобразимъ ее линіею mm', но для отличія ея отъ линіи изображающей время, мы поставимъ ее перпендикулярно къ Am. По нашему предположенію въ самое мгновеніе m дѣйствуетъ на тѣло новый толчекъ силы и слѣд. скорость его сдѣлается больше, напр. mm';

съ этою новою скоростію тѣло будетъ двигаться въ продолженіи малаго времени *mm*, по окончаніи котораго опять дѣйствуетъ новый толчекъ тяжести и скорость его увеличится до *nn'*; съ этою новою скоростію тѣло будетъ двигаться въ продолженіи времени *no* и т. д. Если представимъ себѣ эти элементы времени безконечно малыми, то безъ сомнѣнія мы получимъ настоящее понатіе о томъ, что происходитъ съ тѣломъ во время его паденія.

Теперь раждается вопросъ, *равны ли или неравны* толчки, сообщаемые падающему тѣлу по прошествіи равныхъ весьма малыхъ промежутковъ времени, или, что все равно, паданіе тѣлъ, *есть ли движеніе равномѣрно или неравномѣрно ускорительное?* — Если притяженіе земли во всѣ элементы времени, начиная отъ A до B, равно велико, то и толчки сообщаемые въ каждое мгновеніе будутъ равносильны и движеніе будетъ равномѣрно ускорительное. Но мы уже знаемъ, что притяженіе возрастаетъ въ обратномъ отношеніи квадратовъ разстоянія тѣлъ отъ центра земли, въ которомъ мы можемъ представить себѣ какъ бы сосредоточенною равнодѣйствующую притяженія всѣхъ частицъ земли. Итакъ въ строгомъ смыслѣ свободное паденіе тѣлъ есть движеніе неравномѣрно ускорительное; но если тѣло падаетъ съ высоты не весьма большой, простирающейся напр. только на нѣсколько сотъ футовъ, то приращеніе силы тяжести такъ мало, что ее можно считать равномѣрною во всѣхъ точкахъ пространства, проходимаго тѣломъ. Предположимъ напр. что тѣло падаетъ съ высоты 100 футовъ, такъ что если DAF (фиг. 71) представляетъ поверхность земли и тѣло будетъ падать отъ B къ A то будетъ BA = 100 фут. Радіусъ земной содержитъ 20000000 футовъ, слѣд. мы получимъ:

Сила тяжести въ точкѣ B: къ силѣ тяжести въ A = $AC^2 : BC^2 = (20000000)^2 : (20000100)^2$ т. е. на поверхности

земли сила почти на $\frac{1}{100000}$ долю больше силы на высотѣ 100 футовъ; но обыкновенно высота, съ которой падаютъ тѣла бываетъ не больше 100 футовъ и по этому можно допустить, что сила тяжести во всѣхъ точкахъ паденія одинакова и что въ слѣдствіе сего движеніе тѣлъ при свободномъ паденіи есть движеніе равномѣрно ускорительное.

§ 65.

Съ этимъ предположеніемъ обратимся опять къ нашему разсужденію, пусть AB (фиг. 72) выражаетъ время, которое употребляется тѣломъ на то, чтобъ отъ точки начала паденія достигнуть до земной поверхности. Опять раздѣлимъ это время на части равныя и весьма малыя *Am*, *mn*, *no*, *op* и проч. и представимъ себѣ, что послѣ каждаго изъ этихъ малыхъ періодовъ времени тяжесть сообщаетъ тѣлу одинаковые равные толчки, но что въ продолженіи этихъ періодовъ тѣло движется съ тою же равномѣрною скоростію, которую оно получаетъ въ началѣ самаго періода. Если скорость, которую тѣло пріобрѣло отъ дѣйствія тяжести въ первое мгновеніе, будетъ выражена чрезъ *Aa*, то въ продолженіи времени *Am* тѣло будетъ двигаться равномѣрно. По этому пространство, пройденное въ этотъ періодъ времени, получится, какъ мы уже видѣли (§ 23), если умножимъ время на скорость; слѣд. оно выразится произведеніемъ $Aa \times Am$, т. е. прямоугольникомъ $Aam'm$. Въ началѣ втораго періода тѣло опять получаетъ толчекъ равный первому; скорость, пріобрѣтенная отъ этого тѣломъ равна будетъ прежней скорости *Aa* или mm', сложенной со второю равною ей $m''m'$ и слѣд. пространство пройденное во второй періодъ времени *mn* опять будетъ равно $mm'' \times mn$ или равно прямоугольнику $mm''nn'$. Въ третій моментъ *n* на тѣло опять дѣйствуетъ такой же

толчекъ, который увеличитъ пріобрѣтенную въ предъидущихъ моментахъ скорость количествомъ $n'n''$, такъ что отъ этого пространство пройденное въ третій моментъ выразится прямоугольникомъ $nn''o'o$. Подобнымъ образомъ въ слѣдующіе моменты op, pq, и пр. будутъ пройдены пространства, которыя выразятся прямоугольниками $oo''p'p$, $pp''q'q$, и проч. Теперь если AC изображаетъ секунду, то пространство въ продолженіи ея пройденное будетъ выражено фигурою DCA$am'm''n'n''o'o''$ . . . . Если вмѣсто десяти періодовъ, какъ показано въ фигурѣ, представимъ себѣ 100, 1000, 100000 и еще больше, то легко увидимъ, что высоты небольшихъ прямоугольниковъ будутъ болѣе и болѣе уменьшаться и черезъ это ломаная линія A$am'm''n'n''$ будетъ приближаться къ прямой AD и при безконечномъ числѣ промежутковъ времени должна совпадать съ нею. Но чѣмъ больше будемъ представлять себѣ промежутковъ въ продолженіи первой секунды или что все равно, чѣмъ больше будемъ воображать себѣ толчковъ, слѣдующихъ одинъ за другимъ, тѣмъ больше мы будемъ приближаться къ тому что происходитъ въ природѣ и совершенно приблизимся, если допустимъ безконечное множество такихъ промежутковъ; итакъ въ случаѣ свободнаго паденія тѣлъ мы можемъ себѣ представить, что все пространство, проходимое въ первую секунду, точно выражается треугольникомъ ACD, между тѣмъ какъ линія CD выражаетъ скорость, пріобрѣтенную въ концѣ первой секунды. Во вторую секунду, которую мы можемъ изобразить линіею CB ($=$AC), если бы тяжесть вдругъ перестала дѣйствовать въ концѣ первой секунды, тѣло двигалось бы по силѣ инерціи съ равномѣрною скоростію CD, слѣд. прошло бы пространство CD $\times$ CB; итакъ этотъ путь выражался бы прямоугольникомъ CDBF. Но тяжесть не перестаетъ дѣйствовать на тѣло и въ продолженіи 2 секунды будетъ ускорять его движеніе, какъ въ первую

секунду, такъ что пространство пройденное отъ ускоренія будетъ совершенно тоже самое, которое пройдено тѣломъ въ первую секунду; слѣд. оно будетъ выражено треугольникомъ DFG = ACD и все пространство, пройденное тѣломъ въ слѣдствіе инерціи и ускоренія вмѣстѣ выразится трапеціею CBGD; слѣд. оно будетъ въ 3 раза больше пространства пройденнаго въ первую секунду, а скорость BG пріобрѣтенная въ концѣ второй секунды, будетъ вдвое больше скорости въ концѣ первой секунды. Такимъ же образомъ можно продолжать разсужденіе; въ продолженіе 3 секунды со скоростію BG тѣло по одиой силѣ инерціи пройдетъ пространство, которое выразится прямоугольникомъ = 4ACD, ускореніе прибавляетъ къ этому пространству еще ACD, слѣд. все пространство пройденное въ 3 секунду будетъ = 5ACD. Такимъ же образомъ въ 4 секунду 7ACD и т. д.

Соединя вмѣстѣ ресультаты, полученные изъ представленныхъ выше разсужденій, получимъ

Скорость, пріобр. въ 1 сек. = 1CD пройд. гростр. = 1ACD
. . . . . 2..... 2CD 3ACD
. . . . . 3..... 3CD 5ACD
. . . . . 4..... 4CD ..... 7ACD.
Слѣдоват. вообще въ *n*..... *n*CA ..... (2*n* — 1) ACD

т. е. *скорости пропорціональны временамъ*, а *пространства* пройденныя въ каждую секунду относятся какъ ряд *нечетныхъ чиселъ*. Если же будемъ считать всѣ пространства съ самаго начала, то получимъ чрезъ сложеніе выше приведенныхъ пространствъ:

По прошес. 1 сек. тѣло проходитъ простр. 1ACD = 1ACD
2-хъ секундъ..... (1 + 3) ACD = 4ACD
3-хъ ..... (1 + 3 + 5) ACD = 9ACD
4-хъ ..... (1 + 3 + 5 + 7) ACD = 16ACD
Вообще въ *n*... (1 + 2 + 3 + 7 + .. 2*n* — 1) ACD = *n*²ACD.

Изъ этого слѣдуютъ общіе законы для свободнаго паденія тѣлъ:

1) *Пріобрѣтенныя скорости относятся какъ времена,*

2) *Пространства, пройденныя съ самаго начала паденія, относятся какъ квадраты временъ.*

По этому если скорость, пріобрѣтенная въ первую секунду, извѣстна $= g$, то скорость c и пройденное пространство e по прошествіи t секундъ могутъ быть опредѣлены посредствомъ уравненій:

$$c = gt \text{ и } e = \frac{gt^2}{2}.$$

Для опредѣленія g мы знаемъ, что если $AC = 1$, то $CD = g$, а $\triangle ACD = \frac{g}{2}$; т. е. *скорость пріобрѣтенная въ первую секунду равна двойному пространству, пройденному падающимъ тѣломъ въ первую секунду.* Изъ опытовъ нашли (мы скоро увидимъ какимъ образомъ), что тѣло въ первую секунду проходитъ почти 16,1 футовъ; слѣд. нашъ треугольникъ $ACD = 16{,}1$ по этому $g = 32{,}2$ фут. т. е. въ концѣ первой секунды тѣло пріобрѣтаетъ такую скорость, съ которою оно безъ ускоренія тяжести, во вторую секунду прошло бы 32,2 фута.

§ 66.

Теперь мы объяснимъ двѣ вышеприведенныя формулы нѣкоторыми примѣрами.

Задача 1. Пусть съ высоты башни падаетъ камень и мы замѣтили на часахъ, показывающихъ секунды, то время, которое нужно для того, чтобы камень съ самой верхней точки упалъ на землю; положимъ, что это время $= 4$ секундамъ. Какъ высока была башня?

По нашей формулѣ мы имѣемъ $e = \frac{gt^2}{2}$; здѣсь время $t = 4$ секунд. и g по предъидущему $= 32{,}2$.

Слѣд. искомая высота башни будетъ:

$$e = \frac{32{,}2 \times 4^2}{2} = 257{,}6 \text{ футамъ.}$$

Задача 2. Тѣло падаетъ съ высоты 100 футовъ; узнать, какую скорость оно пріобрѣтетъ?

Зтѣсь дано e, нужно найти c. Если изъ втораго уравненія $e = \frac{gt^2}{2}$ опредѣлимъ t, то найдемъ $t = \sqrt{\frac{2e}{g}}$ и потомъ подставляя величину, найденную для t, въ первое уравненіе, получимъ:

$$c = g.\sqrt{\frac{2e}{g}} = \sqrt{2eg.}$$

и такъ какъ въ нашемъ примѣрѣ $e = 100$ футамъ, то получимъ:

$$c = \sqrt{2.100.32{,}2} = 80{,}5.$$

т. е. скорость тѣла послѣ того, какъ оно упало съ высоты 100 фут., будетъ такъ велика, что тѣло безъ дальнѣйшаго дѣйствія тяжести, а только по силѣ иерціи, будетъ проходить въ каждую секунду 80,5 футовъ.

Опытомъ доказано, что каждая матеріальная частица падаетъ съ одинаковою скоростію, какъ бы ни было различно химическое свойство оной. Изъ этого слѣдуетъ, что всякое тѣло падаетъ также съ одинаковою скоростію, какъ бы великъ ни былъ вѣсъ его; потому что если въ одномъ тѣлѣ матеріальныхъ частицъ во 100 разъ больше, нежели въ другомъ, то на каждую изъ нихъ будетъ дѣйствовать одинаковая сила, слѣд. на 100 частицъ будетъ дѣйствовать сила во 100 разъ большая. Итакъ пухъ и червонецъ должны бы падать съ одинаковою скоростію; однакожъ въ природѣ происходитъ иначе. Но это можно изъяснить, обративъ вниманіе на то, что падающее тѣло движется не въ пустомъ пространствѣ, но въ воздухѣ, т. е. въ средѣ, которая при движеніи всегда должна быть вытѣсняема изъ своего мѣста, что мы до сихъ поръ не принимали въ расчетъ;

слѣдовательно часть силы тяжести должна быть употреблена для этого и движеніе падающаго тѣла должно быть медленнѣе, нежели когда бы не было этого сопротивленія. Это дѣйствіе называютъ *сопротивленіемъ средины*, въ которой происходитъ движеніе; вліяніе этого сопротивленія на движеніе весьма важно. Оно бываетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше поверхность, которою тѣло ударяется объ воздухъ; а какъ объемъ тѣла при одномъ и томъ же вѣсѣ бываетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ меньше его плотность, то и поверхность въ легкихъ тѣлахъ будетъ при равномъ вѣсѣ больше нежели въ тяжелыхъ, а слѣд. и сопротивленіе воздуха будетъ также болѣе. Сопротивленіе увеличивается еще въ томъ случаѣ, когда мы много увеличиваемъ поверхность какого нибудь тѣла относительно его массы, какъ напр. если заставимъ падать тѣло имѣющее внутри пустоту или тѣло весьма плоское, листъ бумаги, перо и проч.; въ этомъ состоитъ причина, почему въ нашемъ вышеприведенномъ примѣрѣ пухъ медленнѣе падаетъ нежели червонецъ; сопротивленіе воздуха дѣйствуетъ на пухъ несравненно сильнѣе, нежели на кусокъ металла. Что дѣйсвительно въ этомъ состоитъ причина явленія, доказываютъ тѣмъ, что заставляютъ тѣла падать въ пространствѣ, не содержащемъ воздуха; въ послѣдствіи мы увидимъ, какъ можно это сдѣлать при помощи воздушнаго насоса.

§ 67.

Нельзя на самомъ дѣлѣ производить опытовъ надъ тѣлами свободно падающими, потому что это движеніе столь быстро, что нельзя съ удобностію его наблюдать. По сему для повѣрки на опытѣ законовъ движенія, найденныхъ теоретически, употребляютъ машину, называемую по имени изобрѣтателя, *Атвудовою машиною*. На неподвижномъ блокѣ C (фиг. 73), весьма легко обращающемся

на своей оси, лежитъ нить, къ концамъ которой привѣшены двѣ равныя гирьки A и B. Поелику онѣ равны, то онѣ будутъ оставаться въ равновѣсіи въ какомъ угодно положеніи; но если на одну гирьку B положимъ металлическую пластинку DE, то эта сторона сдѣлается тяжелѣе, и слѣд. она будетъ упадать съ равномѣрно ускорительнымъ движеніемъ. Но при этомъ движеніи и гирьки A и B будутъ приведены въ движеніе, а слѣд. скорость будетъ гораздо менѣе, нежели когда бы пластинка DE падала одна. Въ самомъ дѣлѣ если вѣсъ пластинки DE $= p$, а вѣсъ гирекъ A и B будетъ P, то суммою этихъ вѣсовъ выразится число матеріальныхъ частицъ въ тѣлахъ DE, A и B Слѣд. дѣйствіе, производимое тяжестію на p, должно привести въ движеніе массы $p + 2P$. Итакъ если толчки, сообщаемые тяжестію каждой отдѣльно падающей матеріальной частицѣ выразимъ чрезъ g (т. е. чрезъ такое пространство, которое будетъ по силѣ инерціи проходить частица свободно падающая по прошествіи первой секунды съ пріобрѣтѣнною скоростію), то теперь дѣйствіе тяжести уменьшится въ отношеніи $p : p + 2P$, слѣд. должно быть $= \frac{p}{p+2P} \times g$ или g'. Но g по предъидущему равно 32,2 фут., посему легко вычислить соотвѣтственную величину въ Атвутовой машинѣ. Пусть напр. вѣсъ A и B или величина P будетъ $= 2\frac{1}{2}$ фунт., прибавочная тяжесть $p = \frac{1}{3}$ фунт., тогда $g' = \frac{1/3}{1/3+5} \times 32 = 2$ фут. приблиз. т. е. въ Атвудовой машинѣ по прошествіи первой секунды падающія тѣла пріобрѣтаютъ такую скорость, которая сама по себѣ могла бы заставить тѣло проходить во вторую секунду 2 фут.; но такъ какъ мы знаемъ, что пространство проходимое въ первую секунду составляетъ половину окончательной скорости, то слѣдуетъ, что въ Атвудовой машинѣ тѣло въ одну секунду пройдетъ 1 футъ. Такую величину

легко можно наблюдать и она въ 16 разъ меньше всего пространства, проходимаго въ одну секунду свободно падающимъ тѣломъ. Теперь, что бы посредствомъ Атвудовой машины доказать законы паденія тѣлъ, поступаютъ слѣдующимъ образомъ:

1. Доказать, что пространства проходимыя съ самаго начала паденія пропорціональны квадратамъ временъ. Для этого поднимаютъ тяжесть B безъ DE до тѣхъ поръ, пока нижній край ея будетъ стоять противъ 0, означеннаго на маштабѣ, находящемся близъ машины, а металлическую пластину G ставятъ на 1 футъ, на томъ же маштабѣ. Если выше принятое отношеніе для P и p дѣйствительно имѣетъ мѣсто, то тяжесть B, когда положимъ на нее пластинку DE, должна по прошествіи одной секунды удариться о поверхность G. Когда убѣдились въ этомъ, то поставимъ G на 4 фута, означенные на маштабѣ и поднимемъ опять B до 0, тогда найдемъ, что эта тяжесть точно пройдетъ это пространство по прошествіи двухъ секундъ. Если поставимъ G на 5 футовъ, то найдемъ, что время употребляемое для того чтобы B достигнуло отъ 0 до 5 равно $\sqrt{5} = 2{,}2''$, сообразно съ нашею формулою $e = \frac{gt^2}{2}$ въ которой, какъ мы тотчасъ видѣли, $g = 2$.

2. Если хотимъ повѣрить формулу $v = \sqrt{2ge}$, въ которой для принятыхъ нами величинъ p и P нужно вставить $g = 2$, а $v = 2\sqrt{e}$, — то опять поставимъ B на 0, потомъ передвинемъ кольцо F напр. на 1 футъ, а G на 3 фута. Тогда тяжесть B пройдетъ вмѣстѣ съ пластинкою DE пространство отъ 0 до 1 въ одну секунду; здѣсь гирька B пройдетъ свободно черезъ кольцо F, но DE останется на кольцѣ и слѣд. B пойдетъ дальше безъ ускоренія съ одною пріобрѣтенною скоростію; мы увидимъ, что она пройдетъ 2 фута въ одну секунду. Если бы мы

поставили кольцо на 3 фута, то нашли бы изъ формулы что $v = \sqrt{12} = 3,5$ и если бы дощечка G поставлена была на этомъ разстоянiи отъ кольца, то это пространство опять было бы пройдено въ одну секунду.

При всѣхъ этихъ опытахъ съ Атвудовою машиною предполагается, что при движенiи, кромѣ тяжести, не дѣйствуетъ никакая сила; но собственно говоря этого не бываетъ. Во первыхъ и здѣсь дѣйствуетъ сопротивленiе воздуха, но вліяніе его въ этомъ случаѣ меньше, нежели при свободномъ паденiи тѣлъ, потому что здѣсь движенiе гораздо медленнѣе, а извѣстно, что сопротивленiе воздуха увеличивается пропорціонально квадратамъ скоростей. Другое препятствiе движенiю находится въ *трении блока* объ его ось; для преодоленiя его употребляется часть силы тяжести. Можно дѣйствительно убѣдиться въ существованiи тренiя, если приведя въ равновѣсiе A и B, положимъ напр. на B одну долю; при этомъ B не понизится, что должно бы было случиться отъ малѣйшей прибавочной тяжести. Чтобы уменьшить треніе какъ возможно больше, для сего обыкновенно кладутъ ось блока не непосредственно на твердую подставку, но между колесами подобными блокамъ, какъ видно въ фигурѣ, которые при обращенiи блока C сами обращаются, такъ что ось C не скользитъ на подставкѣ, но вертится вмѣстѣ съ нею.

Наконецъ для того, чтобы съ точностiю можно было наблюдать время отъ начала движенiя тяжести B до того, когда она ударится о дощечку G, при Атвудовой машинѣ устанавливается маятникъ, который бьетъ секунды, и съ которымъ иногда соединенъ бываетъ часовой механизмъ; впрочемъ и безъ послѣдняго не трудно по движенiю маятника съ достаточною точностiю опредѣлить время.

§ 68.

Изъ всего сказаннаго слѣдуетъ, что *законы движенiя* на Атвудовой машинѣ суть тѣже, какiе и въ свободномъ

паденіи, только одна скорость или величина g можетъ быть по произволу измѣнена измѣненіемъ отношенія p къ P. Такое уменьшеніе скорости мы можемъ получить еще простѣйшимъ способомъ, не давая тѣлу, напр. шару, падать свободно, но заставляя его катиться по наклонной плоскости. Въ самомъ дѣлѣ пусть K будетъ шаръ на наклонной плоскости AB (фиг. 54); тяжесть дѣйствуетъ на центръ тяжести шара по вертикальному направленію KG; если составимъ параллелограмъ KMGN, гдѣ KM параллельно AB, KN перпендикулярно къ AB, то мы можемъ замѣнить тяжесть KG двумя силами KM и KN, которыя производятъ тоже дѣйствіе. Изъ нихъ KN, дѣйствующая перпендикулярно къ неподвижной плоскости AB, уничтожается сопротивленіемъ этой послѣдней и остается только KM, отъ которой движется тѣло. Но изъ подобія треугольниковъ KGM и ABC имѣемъ:

$$AB : AC = KG : KM$$

откуда: $$KM = \frac{KG \cdot AC}{AB}$$

или если длину плоскости AB назовемъ l, и высоту ея $AC = h$

$$KM = g\frac{h}{l}.$$

Изъ этого слѣдуетъ, что сила KM, способствующая движенію тѣла, можетъ быть сдѣлана меньше g въ какомъ угодно отношеніи, уменьшая высоту h наклонной плоскости въ отношеніи къ длинѣ l, т. е. приближая наклонную плоскость къ горизонтальности. Если плоскость будетъ совершенно горизонтальна, то будетъ $h = 0$, а слѣд. $KM = 0$ т. е. шаръ не будетъ падать, какъ это разумѣется само собою. Итакъ съ наклонною плоскостію, какъ уже сказано, можно было дѣлать тѣже опѣты, которые обыкновенно производятся на Атвудовой машинѣ, но предпочитаютъ послѣднюю потому, что измѣреніе проходимаго пространства удобнѣе.

О движеніи брошенныхъ тѣлъ.

§ 69.

Мы видѣли какимъ законамъ слѣдуетъ движеніе свободно падающаго тѣла; теперь мы перейдемъ къ изслѣдованію законовъ, по которымъ происходитъ движеніе брошенныхъ тѣлъ, когда кромѣ тяжести дѣйствуетъ еще сила верженія Мы начнемъ съ простѣйшаго случая, когда тѣло вертикально бросается снизу вверхъ. Здѣсь дѣйствуетъ сила верженія и сила тяжести противоположно одна другой. Итакъ предположимъ, что бросаютъ тѣло, напр. шаръ, снизу вверхъ съ такою силою, что шаръ, если бъ не дѣйствовала на него тяжесть, проходилъ бы въ секунду пространство c; поелику сила верженія есть внѣшняя сила, дѣйствующая на тѣло мгновенно, то по этому тѣло безъ тяжести и во вторую секунду прошло бы c, въ третью тоже c, и т. д Напротивъ дѣйствіе силы тяжести на шаръ таково, что онъ пріобрѣлъ бы въ первую секунду скорость g, во вторую скорость $2g$, въ t секунду tg, по направленію, противоположному первому. Итакъ дѣйствительная скорость, пріобрѣтенная въ t секундъ при одновременномъ дѣйствіи обѣихъ силъ, будетъ равна разности обѣихъ скоростей т. е.

$$c - gt.$$

По этому если эта величина равна 0, то тѣло не будетъ болѣе двигаться т. е. тогда сила тяжести совершенно уничтожитъ скорость произведенную бросаніемъ; тѣло на высотѣ наибольшей, которой оно достигло, на одно мгновеніе останется въ покоѣ и потомъ станетъ падать внизъ отъ продолжающагося дѣйствія силы тяжести. Если хотимъ узнать черезъ сколько секундъ тѣло будетъ на самой большой высотѣ, то нужно только изъ условнаго уравненія:

$$c - gt = o$$

опредѣлить t; такимъ образомъ найдемъ

$$t = \frac{c}{g}$$

Еслибъ напр. скорость c была 2400 футовъ, — это почти составляетъ скорость 24 фунтоваго пушечнаго ядра при выходѣ его изъ жерла пушки, — то это ядро поднималось бы вверхъ въ $\frac{2400}{32,2}$ секунды т. е. въ 75 секундъ или $1\frac{1}{4}$ минуты, еслибъ сопротивленіе воздуха значительно не уменьшало этаго времени, и потомъ начало бы упадать внизъ.

Въ продолженіе этаго времени t, тѣло безъ дѣйствія тяжести прошло бы пространство ct, а отъ дѣйствія тяжести $\frac{gt^2}{2}$, какъ мы видѣли выше (§ 46), по противоположному направленію, слѣд. пространство пройденное въ самомъ дѣлѣ будетъ

$$e = ct - \frac{gt^2}{2.}$$

или, если вмѣсто t поставимъ его величину $\frac{c}{g}$,

$$e = \frac{1}{2} \cdot \frac{c^2}{g.}$$

такова высота, до которой оно достигаетъ; слѣд. въ нашемъ примѣрѣ пушечное ядро, еслибъ не противодѣйствовало ему вліяніе воздуха, достигло бы до высоты 90000 футовъ т. е. на 26 верстъ; потомъ оно начало бы упадать и при ударѣ о землю имѣло бы скорость $v = \sqrt{2ge}$. Поставляя вмѣсто e его величину $\frac{1}{2} \cdot \frac{c^2}{g}$ найдемъ что $v = c$ т. е. ядро опять пріобрѣтетъ туже самую скорость, какую оно имѣло при самомъ выстрѣлѣ. Время, которое употребляется имъ для того, чтобы воротиться назадъ, мы найдемъ изъ уравненія даннаго для свободнаго паденія $v = gt$; и посему

$$t = \frac{v}{g} = \frac{c}{g}$$

т. е. время это будетъ равно тому, которое мы нашли для восхожденія ядра вверхъ. Такимъ образомъ выводится слѣдующее правило для тѣлъ брошенныхъ вверхъ вертикально: *Вертикально брошенное тѣло употребляетъ для поднятія до самой большой высоты столько времени, сколько оно употребило бы при паденіи отъ дѣйствія одной тяжести съ этой самой высоты на землю и когда оно упадетъ, то скорость при этомъ пріобрѣтенная будетъ точно такое, съ которою тѣло было брошено.*

§ 70.

Если тѣло брошено по косвенному направленію какою нибудь внѣшнею силою, заставляющею его проходить въ секунду пространство c, то пусть CN будетъ направленіе верженія (фиг. 74), CP поверхность земли. Еслибъ тяжесть не дѣйствовала, то тѣло въ первую секунду прошло бы пространство Cn, во вторую пространство nn', въ третью пространство $n'n''$ и проч. Но тяжесть заставляетъ его въ первую секунду пройти пространство nm по отвѣсному направленію къ земной поверхности; слѣд. тѣло послѣ первой секунды будетъ не въ n, но въ m; во вторую секунду тѣло упало бы пройдя пространство $n'm' = 4nm$, слъд оно будетъ не въ n', но въ m'; подобнымъ образомъ послѣ третьей секунды оно будетъ не въ n'', но ниже пространствомъ $n''m'' = 9nm$ и наконецъ послѣ четвертой секунды не въ N но въ P. Но какъ паденіе внизъ происходитъ не въ самыя мгновенія n, n', n'', N, но непрерывно продолжается, то и движеніе происходитъ не по ломаной линіи $Cmm'm''P$, но по кривой проходящей чрезъ эти точки. Механика научаетъ, что эта кривая линія есть парабола; она показываетъ, какъ можно найти наибольшую высоту верженія $m'B$ равно какъ и наибольшую дальность полета. Но эта кривая линія весьма измѣняется отъ сопротивленія воздуха, такъ что двѣ вѣтви ея Cm' и $m'P$ не

одинаковую имѣютъ кривизну; нисходящая больше приближается къ отвѣсной линіи, нежели восходящая (фиг. 75). Принадлежащія сюда задачи имѣютъ значительное приложеніе въ Артиллеріи, особено при бросаніи бомбъ; полная теорія этаго составляетъ особенную науку, *Баллистику*.

О маятникѣ.

§ 71.

Маятникъ есть прямой не гибкой прутъ, который однимъ концомъ A укрѣпленъ такъ, что можетъ обращаться около этой точки, между тѣмъ какъ на концѣ B находится тяжесть. Если прутъ AB (фиг. 76) есть математическая линія, не имѣющая никакого вѣсу, то маятникъ называется математическимъ или простымъ; онъ называется *физическимъ* маятникомъ, если линія AB есть прутъ, имѣющій собственную тяжесть. Въ природѣ находимъ только физическіе маятники, а къ математическому только можемъ приблизиться уменьшеніемъ вѣса прута въ отношеніи къ тяжести B. Но для изслѣдованія законовъ движенія маятника разсматриваютъ прежде математической маятникъ и потомъ приводятъ движеніе физическаго маятника къ математическому.

Итакъ пусть AB будетъ математическій маятникъ; если онъ находится въ равновѣсіи, то онъ приметъ отвѣсное положеніе, потому что въ этомъ случаѣ центръ тяжести B находится прямо подъ точкою опоры A. Если изъ этого положенія равновѣсія выведемъ его въ положеніе AB′ такъ, что онъ съ первоначальнымъ положеніемъ будетъ составлять уголъ α, и предоставимъ его самому себѣ, то онъ не можетъ пребывать въ этомъ положеніи, тяжесть опять приведетъ его въ положеніе равновѣсія. Въ самомъ дѣлѣ, пусть B′C будетъ напряженіе и величина силы тяжести; если составимъ параллелограммъ B′FCD, въ

которомъ B/F находится на продолженіи AB/, а DB/ перпендикулярно къ этому направленію, мы можемъ силу B/C замѣнить двумя силами B/F и B/D, дѣйствующими также какъ и B/C. Но B/F не будетъ имѣть никакого дѣйствія на движеніе маятника, потому что она уничтожается сопротивленіемъ неподвижной точки A, слѣд. остается только сила B/D, приводящая точку B/ въ положеніе равновѣсія B. Такъ какъ уголъ DCB/ $= \alpha$ то, если g выражаетъ силу тяжести B/C, получимъ

$$B/D = g. \sin. \alpha.$$

Теперь если представимъ себѣ. что время движенія маятника отъ B/ къ B раздѣлено на весьма малыя части, точно также какъ при свободномъ паденіи тѣлъ, то движеніе маятника можно будетъ принять за слѣдствіе малыхъ толчковъ, которые повторяются послѣ каждаго малаго промежутка времени и изъ которыхъ каждый можетъ быть выраженъ чрезъ $g \sin \alpha$; такъ какъ α и $\sin \alpha$ становятся меньше и меньше, то толчки будутъ слабѣе и слабѣе; а изъ этого видно, что хотя движеніе маятника будетъ ускорительное, однако не равномѣрно ускорительное, какъ движеніе свободно падающихъ тѣлъ.

Когда частица B/ придетъ въ B, то отъ совокупности толчковъ, болѣе и болѣе ослабѣвающихъ, она пріобрѣтетъ въ этой точкѣ извѣстную скорость c; слѣд. по закону инерціи она будетъ двигаться съ пріобрѣтенною скоростію отъ B къ B″; но при этомъ тяжесть дѣйствуетъ по направленію противному движенію и если представимъ себѣ опять рядъ весьма малыхъ промежутковъ времени, то въ каждое мгновеніе движеніе отъ B будетъ ослабляемо толчками противоположными ему, и какъ каждый изъ этихъ толчковъ имѣетъ на сторонѣ BB/ соотвѣтствующій ему толчекъ, отъ котораго происходило движеніе, то очевидно что движеніе прекратится тогда, когда сумма толчковъ остана-

вливающихъ движеніе равна будетъ суммѣ произведшихъ оное т. е. когда уголъ $B''AB = B'AB = \alpha$; изъ чего слѣдуетъ, что маятникъ на другой сторонѣ BB'' поднимается на такую же высоту, до которой онъ поднятъ былъ на сторонѣ BB'. Когда маятникъ изъ B'' пріидетъ въ B, то онъ опять поднимется къ B' и такимъ образомъ видно, что такой маятникъ будетъ совершать рядъ равныхъ колебаній отъ B' къ B'' и обратно. Движеніе по дугѣ $B'BB''$ называется *колебаніемъ* или *качаніемъ*, а самая дуга *величиною размаха*.

§ 72.

Таково было бы движеніе математическаго маятника вообще. Теперь раждается вопросъ: какъ велико время колебанія такого маятника? Только высшій Анализъ можетъ дать отвѣтъ на этотъ вопросъ. Онъ показываетъ, что если колебанія маятника будутъ велики, то для большихъ колебаній нужно немного большее времени, нежели для меньшихъ, но если колебанія малы, напр. не больше 5^0, то въ этихъ предѣлахъ всѣ колебанія совершаются въ одно время, будетъ ли величина размаха 1^0, $1\frac{1}{2}$ и т. д. до 5^0.

Въ этомъ случаѣ время одного колебанія выражается формулою

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

гдѣ T означаетъ это время, π отношеніе окружности къ діаметру т. е. 3, 14..., l длину маятника AB, g паденіе тяжести т. е. то пространство, которое въ слѣдствіе скорости, пріобрѣтенной въ первую секунду, проходится свободно падающимъ тѣломъ въ одну секунду; мы прежде нашли, что эта величина = около 32,2 фут.

Если мы имѣемъ два маятника, которыхъ длина есть l, l', а T и T' означаютъ времена нужныя для одного колебанія, то получимъ

$$T : T' = \pi\sqrt{\frac{l}{g}} : \pi\sqrt{\frac{l'}{g}} \text{ или } = \sqrt{l} : \sqrt{l'}$$

т. е. *времена колебанія двухъ простыхъ маятниковъ относятся какъ корни квадратные изъ ихъ длины.*

Изъ наблюденій извѣстно, что въ Петербургѣ длина простаго маятника, который одно колебаніе совершаетъ въ одну секунду и по этому называется *секундным маятникомъ*, содержитъ почти 39,17 дюйма; слѣд. длина маятника, совершающаго одно колебаніе въ полсекунду, найдется изъ пропорціи:

$$1 : \tfrac{1}{2} = \sqrt{39,17} : \sqrt{x}$$
$$\text{или } 1 : \tfrac{1}{4} = 39,17 : x$$
$$\text{Слѣд. } x = \frac{39,17}{4} = 9,79 \text{ дюймовъ.}$$

Мы вскорѣ увидимъ, что длины секундныхъ маятниковъ не вездѣ одинаковы, потому что напряженіе тяжести въ различныхъ мѣстахъ различно; наша формула даетъ весьма простое средство для опредѣленія сего напряженія тяжести. Въ самомъ дѣлѣ, если напр. знаемъ изъ опытовъ, что длина сукуднаго маятника въ какомъ нибудь мѣстѣ есть l, то изъ формулы

$$1 = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

найдемъ $g = \pi^2 l$.

Взявши длину секуднаго маятника въ Петербургѣ $= 39,17$, мы получимъ для напряженія тяжести въ Петербургѣ

$$g = (3,14)^2 39,17 = 389,2 \text{ дюйма} = 32,2 \text{ фут.}$$

которая величина намъ уже извѣстна изъ предъидущаго.

§ 73.

Время одного колебанія маятника можно опредѣлять съ большою точностію, посему это есть лучшее средство для опредѣленія напряженія или тяжести — величины весьма важной въ Механикѣ. Но какъ мы можемъ только

дѣлать наблюденія надъ физическимъ маятникомъ, а всѣ выведенные нами законы относятся къ математическому, то мы должны знать, какимъ образомъ, опредѣливши точными опытами время колебанія физическаго маятника, можно потомъ найти длину математическаго, который бы колебался съ одинаковою скоростію.

Пусть AB (фиг. 77) представляетъ физическій маятникъ, A точку прикрѣпленія, B вѣсъ его. Вообразимъ себѣ въ этомъ маятникѣ двѣ матеріальныя частицы m и m'; поелику онѣ соединены съ точкою A, то каждая изъ нихъ сама по себѣ представитъ математическій маятникъ и колебанія ихъ будутъ совершаться въ такія времена, которыя относятся какъ $\sqrt{Am} : \sqrt{Am'}$. Чѣмъ ближе къ точкѣ прикрѣпленія возьмемъ эти частицы, тѣмъ скорѣе онѣ будутъ колебаться. Но какъ всѣ частицы принадлежатъ къ одному и тому же твердому тѣлу и слѣд. могутъ двигаться только вмѣстѣ, то ясно видно, что движеніе верхнихъ частицъ отъ дѣйствія нижнихъ будетъ замедляться противо того, когда бы онѣ были не сосдинены между собою; такимъ же образомъ движеніе нижнихъ будетъ ускорено верхними и дѣйствительное продолженіе одного колебанія будетъ среднее между временемъ, которое бы употребили верхнія частицы сами по себѣ и между тѣмъ временемъ, которое бы нужно было для колебанія нижнихъ не въ соединеніи съ верхними.

Изъ этого явствуетъ, что между точкою прикрѣпленія и самою отдаленною частицею маятника въ самой массѣ его находится такая частица, которая если бы колебалась независимо отъ другихъ, то употребляла бы для своего качанія точно тоже самое время, которое употребляетъ весь маятникъ. Слѣд. разстояніе этой точки отъ точки прикрѣпленія есть длина того математическаго маятника, который совершаетъ колебанія въ тоже самое время, какое нужно для колебанія физическаго маятника Высшая мате-

матика даетъ способъ опредѣлять положеніе этой точки и научаетъ какимъ образомъ мы можемъ по предъидущему найти g изъ наблюденій надъ физическимъ маятникомъ. При колебаніи физическаго маятника размахи его мало по малу становятся меньше и меньше. Это зависитъ отъ двухъ причинъ; первая состоитъ въ сопротивленіи представляемомъ движенію маятника воздухомъ, въ которомъ по необходимости должно дѣлать наблюденія; вторая состоитъ въ треніи, которое происходитъ въ точкѣ прикрѣпленія. Первое вліяніе стараются уменьшить, давая тяжелому тѣлу видъ чечевицы. Фигура I (фиг. 78) представляетъ продольный разрѣзъ, сдѣланный перпендикулярно плоскости, въ которой качается маятникъ, фигура II продольный разрѣзъ, сдѣланный въ этой же самой плоскости. Чечевица разсѣкаетъ воздухъ легче своими острыми краями. Второе сопротивленіе движенію т. е. треніе въ точкѣ прикрѣпленія удачно уменьшается тѣмъ, что маятникъ привѣшивается посредствомъ стальной призмы, поперечно прикрѣпленной къ стержню его перпендикулярно къ плоскости колебанія; эта призма, острымъ ребромъ внизъ, лежитъ на агатовой плоскости, какъ показано въ фигурѣ. При такомъ устройствѣ не трудно достигнуть до того, что маятникъ, выведенный изъ вертикальнаго положенія на 10°, по прошествіи 4 часовъ будетъ еще совершать колебанія, которыя ясно можно наблюдать.

§ 74

Одно изъ важнѣйшихъ приложеній маятника есть точное измѣреніе времени; снарядъ употребляемый для этого называется стѣнными часами. Мы получимъ довольно ясное понятіе объ этомъ изъ того, что слѣдуетъ: представимъ себѣ (фиг. 79) зубчатое колесо MN, которое вмѣстѣ съ валикомъ можетъ обращаться около оси C На валикъ намотанъ шнурокъ, на концѣ котораго виситъ

гиря P; отъ паденія этой гири P колесо MN начинаетъ обращаться со скоростію возрастающею до тѣхъ поръ, пока шнурокъ совершенно не размотается. Но если позади колеса виситъ маятникъ AB, и на верхнемъ концѣ его утвержденъ посредствомъ горизонтальнаго штифтика крючекъ KAD, находящійся въ плоскости зубчатаго колеса и захватывающій концами своими K и D зубцы его, то гиря не можетъ падать въ то время, когда маятникъ находится въ покоѣ, потому что конецъ K крючка препятствуетъ обращенію колеса. Когда же маятникъ будетъ двигаться отъ B къ B′, то зубецъ 1 сдѣлается свободнымъ, гиря будетъ понижаться, а колесо будетъ вертѣться до тѣхъ поръ, пока зубецъ 11 не будетъ удержанъ концемъ D крючька: послѣ этого маятникъ пойдетъ къ B″, отъ этого конецъ D поднимается, зубецъ 11 дѣлается свободнымъ, гиря опять станетъ падать до тѣхъ поръ, пока зубецъ 30 не будетъ удержанъ концомъ K крючька. Отъ возвращенія маятника назадъ опять колесо будетъ вертѣться какъ въ началѣ и т. д; изъ этого видно, что когда маятникъ сдѣлаетъ два колебанія, колесо повернется только на одинъ зубецъ въ два устуна. Итакъ если колесо имѣетъ 30 зубцовъ, то оно послѣ 60 колебаній маятника обернется одинъ разъ, и если маятникъ такъ длиненъ, что онъ совершаетъ одно колебаніе въ одну секунду, то прикрѣпленная на оси колеса стрѣлка будетъ показывать секунды. Посредствомъ соединенія другихъ зубчатыхъ колесъ съ колесомъ MN, основываясь на томъ, что сказано въ § 49, не трудно заставить другое колесо обращаться только на $\frac{1}{60}$ часть въ то время, когда колесо MN сдѣлаетъ одинъ оборотъ. Стрѣлка, прикрѣпленная на оси этого колеса, будетъ показывать минуты, и наконецъ еще другое колесо, сообщающееся надлежащимъ образомъ съ минутнымъ колесомъ, будетъ показывать часы. Такимъ образомъ составляются часы. Описанное нами устройство, въ которомъ движеніе

маятника управляетъ силу тяжести P, называется Эшапеманъ (Echappement); оно бываетъ различнаго вида; то, которое мы описали, называется крючкомъ Граама (Graham). Легко можно видѣть, что отъ паденія гири зубецъ колеса ударится объ конецъ крючка съ нѣкоторою силою; отъ сего маленькаго толчка движеніе маятника дѣлается сильнѣе, нежели безъ него, итакъ маятникъ можетъ совершать равныя качанія, тогда какъ онъ безъ этаго толчка, какъ мы уже видѣли, отъ сопротивленія воздуха дѣлаетъ колебанія безпрестанно меньшія и меньшія и наконецъ останавливается. Изъ сего видно что гиря въ часахъ должна быть такого вѣса, что бы она всякій разъ столько ускоряла движеніе маятника, сколько онъ теряетъ съ своей стороны въ скорости отъ сопротивленія воздуха и тренія.

Въ карманныхъ часахъ употребляется точно такой же механизмъ, только въ нихъ тяжесть замѣняется упругостію стальныхъ пружинъ. Вмѣсто гири колесо приводится въ движеніе спиральною пружиною натягиваемою при заведеніи часовъ, и вмѣсто маятника другая спиральная пружинка заставляетъ вертѣться туда и сюда колесо, которое посредствомъ механизма, соотвѣтствующаго Граамову крючьку, позволяетъ главной спиральной пружинѣ двигать принадлежащее къ ней колесо всегда только на одинъ зубецъ и съ одинаковою скоростію.

Изъ механизма часовъ видно, что ходъ ихъ т. е. скорость, съ которою колесо передвигается всегда на одинъ зубецъ, совершенно зависитъ отъ длины математическаго маятника, соотвѣтствующаго физическому. Итакъ по вышесказанному въ Петербургѣ длина математическаго маятника для секундныхъ часовъ должна быть $= 39{,}17$ рус. дюйма, а для полусекундныхъ $= 9{,}79$. Равномѣрный ходъ часовъ существенно зависитъ отъ того, что бы маятникъ всегда оставался при одной длинѣ; но такъ какъ извѣстно, что

всѣ тѣла при возвышеніи температуры нѣсколько удлиняются, то всякой маятникъ, нагрѣваясь больше, дѣлается длиннѣе и слѣд. колебанія его становятся медленнѣе, а охлаждаясь становится короче и слѣд. колебанія будутъ скорѣе и потому часы при теплой погодѣ отстаютъ, при холодной же идутъ въ передъ. Этому недостатку помогаютъ особеннымъ родомъ маятника, который называется *вознаградительнымъ*, устройство котораго мы опишемъ послѣ, когда будемъ говорить о дѣйствіи теплоты.

О центробѣжной силѣ вообще и о силахъ центральныхъ.

§ 75.

Мы уже видѣли, что если мысленно удалимъ всѣ препятствія, то тѣло, получившее движеніе отъ мгновеннаго и только однажды на него совершившагося дѣйствія посторонной силы, будетъ всегда продолжать это движеніе по одному направленію съ одинакою скоростію. Но ежели движущееся тѣло подлежитъ безпрестанно повторяющемуся дѣйствію силы, которой самое направленіе измѣняется по нѣкоторому опредѣленному закону, тогда происходитъ криволинейное движеніе, и поелику тѣло въ слѣдствіе своей инерціи непрерывно силится удержать равномѣрное и прямолинейное движеніе, то оно должно оказывать сопротивленіе тѣмъ причинамъ, которыя заставляютъ тѣло двигаться по кривой. Такое сопротивленіе зависитъ отъ движимой массы и скорости движенія; изслѣдованіе его во многихъ случаяхъ очень важно. Сопротивленіе это разсматриваемое по направленію перпендикулярному къ касательной, выражающей въ каждое мгновеніе направленіе движенія и взятое въ самой плоскости движенія, есть то, что называютъ въ механикѣ *центробѣжною силою*, которая посему существуетъ при всякомъ криволинейномъ движеніи, и

получила это имя отъ того, что въ прежнія времена, когда Механика была мало усовершенствована, разсматривали ее только въ круговомъ движеніи, въ которомъ центробѣжная сила направляется по продолженному радіусу и стремится удалить тѣло отъ центра круга Здѣсь не мѣсто изслѣдовать свойствъ центробѣжной силы во всей обширности, и мы ограничимся разсмотрѣніемъ ея въ нѣкоторыхъ важнѣйшихъ обстоятельствахъ, составляющихъ предметъ теоріи центральныхъ силъ.

Положимъ, что тѣло получившее впечатлѣніе къ равномѣрному движенію по прямой, подвергается еще сверхъ того непрерывному вліянію силы, постоянно устремляющейся къ нѣкоторой постоянной точкѣ (центру силы); тогда вообще будетъ происходить нѣкоторое криволинейное движеніе, кромѣ того только особеннаго случая, когда направленіе первоначальнаго движенія совпадаетъ съ прямою, по которой дѣйствуетъ непрерывная сила. Простѣйшій примѣръ такого движенія представляетъ намъ быстрое круговое движеніе тѣла, привязаннаго къ одному концу неразтяжимой веревки, которой другой конецъ укрѣпленъ неподвижно; неразтяжимость веревки будетъ тогда замѣнять непрерывно дѣйствующую силу, устремляющуюся къ центру круга.

Пусть будетъ нѣкоторое тѣло A (фиг. 80) привязано къ нити AC укрѣпленной въ C, и пусть оно въ слѣдствіе сообщеннаго ему движенія и неразтяжимости нити описываетъ окружность ABF. Въ каждое мгновеніе времени тѣло A будетъ стремиться итти по прямой линіи, касательной къ кругу, по которой бы оно и пошло, еслибъ не было удерживаемо нитью; но вмѣсто того, чтобъ слѣдовать по касательной AA′, оно принуждено будетъ двигаться по дугѣ круга AB. Во время такого движенія нить удерживающая тѣло, должна по длинѣ своей натягиваться,

и напряженіе это будетъ представлять *центробѣжную силу;* ежели приложимъ къ тѣлу силу равную напряженію нити и постоянно направляющуюся къ центру, тогда можно нить болѣе не разсматривать и принимать тѣло, какъ бы оно было свободное и подлежало только дѣйствію приложенныхъ къ нему силъ. Поелику вездѣ силы и обстоятельства движенія совершенно одинаковы, то круговое движеніе будетъ равномѣрное. Пусть AB представляетъ весьма малую дугу круга, описываемую въ очень короткой промежутокъ времени, напр. въ одну тысячную долю секунды, которую здѣсь принимаемъ за малѣйшую единицу времени; тогда дуга AB будетъ такъ мала, что безъ чувствительной ошибки можно положить ее совпадающею съ хордою AB. На линіи AB, какъ діогонали, построимъ параллелограмъ, котораго одна сторона AD лежитъ на радіусѣ AC, а другая на касательной AA′; тогда дѣйствительная скорость движенія AB замѣнится двумя другими AD и AA′; первая изъ нихъ будетъ выражать дѣйствіе *центростремительной* силы; т. е. такой, которая приближаетъ тѣло къ центру, которая въ разсматриваемомъ нами случаѣ равна по величинѣ своей и противуположна по направленію силѣ центробѣжной, удаляющей тѣло отъ центра; обѣ эти силы вообще называются *центральными силами.* Изъ Геометріи знаемъ, что

$$AD : AB = AB : AF$$

назвавши радіусъ круга AC черезъ r, AB или дѣйствительную скорость по кругу черезъ v, центральную силу AD черезъ f, изъ предьидущей пропорціи получимъ:

$$f : v = v : 2r \text{ или } f = \frac{v^2}{2r}.$$

Ежели будетъ другое тѣло обращаться по кругу радіуса $= r'$, съ равномѣрною скоростію $= v'$, то для него центробѣжная сила будетъ $f' = \frac{v'^2}{2r'}$; отсюда выходитъ:

$$f : f' = \frac{v^2}{2r} : \frac{v'^2}{2r'} \text{ или } f : f' = \frac{v^2}{r} : \frac{v'^2}{r'},$$

т. е. *центробѣжныя силы содержатся между собою какъ квадраты скоростей, раздѣленные на радіусы описываемыхъ тѣлами круговъ.* Посему когда радіусы круговъ равны, то центробѣжныя силы относятся между собою какъ квадраты скоростей; если же эти скорости равны, а круги различные, тогда центроб. силы находятся въ обратномъ содержаніи радіусовъ описываемыхъ круговъ.

Пусть одно тѣло описываетъ кругъ радіуса r во время t, а другое тѣло кругъ радіуса r' во время t'; тогда $v = \frac{2\pi r}{t}$ и $v' = \frac{2\pi r'}{t'}$, гдѣ π есть отношеніе окружности къ діаметру, и будетъ $\frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 . r}{t^2}$; $\frac{v'^2}{r'} = \frac{4\pi^2 . r'}{t'^2}$ и

$$f : f' = \frac{r}{t^2} : \frac{r'}{t'^2}$$

если $t = t'$, то $f : f' = r : r'$, т. е. если времена полныхъ обращеній равны, то *центробѣжныя силы пропорціональны радіусамъ описываемыхъ тѣлами круговъ.* Законы центробѣжной силы объясняются на машинѣ называемой *центробѣжною.*

§ 76.

Любопытный примѣръ такого роду движенія представляетъ намъ движеніе земли около ея оси. Пусть NESA (фиг. 81) представляетъ шаръ земной, вращающійся около оси NS и пусть будетъ ABED его экваторъ; отъ быстраго вращательнаго движенія каждая частица экватора напр. A подвергается дѣйствію центробѣжной силы, стремящейся удалить A отъ центра C, такъ что эта сила должна дѣйствовать по направленію отъ C къ A, совершенно противуположному тяжести. Точка A′ ближайшая къ полюсу описываетъ кругъ меньшаго радіуса A′C′, нежели радіусъ

AC экватора; а потому центробѣжная сила въ A′ будетъ менѣе центробѣжной силы при экваторѣ въ отношеніи A′C′: AC, или Cos α : 1, гдѣ α = ACA′ = географической широтѣ мѣста. Здѣсь центробѣжная сила дѣйствуетъ по GA′ отъ A′ къ G; пусть GA′ ея величина; разложивъ ее на двѣ сили: одну по направленію KA′, перпендикулярно къ направленію тяжести, которая отъ дѣйствія этой силы не увеличивается и не уменьшается, а другую по продолженію радіуса шара CA′; замѣтивъ, что GA′F = ACA′ = α, эта послѣдняя сила будетъ FA′ = GA′. Cos α; но ежели назовемъ центробѣжную силу подъ экваторомъ черезъ F, то GA′ = F . Cos α, и слѣд. FA′ = F . Cos^2 α будетъ представлять уменьшеніе силы тяжести, зависящее отъ вращенія земли и соотвѣтствующее широтѣ = α. Въ послѣдствіи увидимъ, что тяжесть уменьшается по мѣрѣ приближенія къ экватору еще отъ другихъ причинъ.

§ 77.

Другое весьма важное приложеніе теоріи центральныхъ силъ состоитъ въ объясненіи движенія планетъ и кометъ около солнца, луны около земли и спутниковъ около ихъ планетъ. Изъ физической астрономіи извѣстно, что небесныя тѣла тяготятъ другъ къ другу, и Ньютонъ открылъ, что тяготѣніе это состоитъ во взаимныхъ притяженіяхъ тѣлъ прямо пропорціональныхъ массѣ тѣлъ и обратно квадрату разстоянія; въ слѣдствіе такого притяженія описываютъ планеты около солнца эллипсисы близкіе къ кругу, въ одномъ фокусѣ которыхъ находится солнце Здѣсь мы можемъ только дать общее понятіе о движеніи планетъ; полная теорія этого движенія принадлежитъ физической астрономіи, наукѣ весьма высокой и трудной.

Пусть S (фиг. 81) представляетъ солнце, E землю или другую какую нибудь планету; солнце по огромности свей (его масса въ 355000 болѣе массы земли) притягиваетъ

къ себѣ землю несравненно сильнѣе нежели оно ею притягивается; но разстояніе, на которое онѣ другъ къ другу приближатся и относительное движеніе земли будутъ совершенно одинаковы, если вообразимъ себѣ, что солнце остается въ покоѣ и притягиваетъ землю съ силою равною суммѣ притяженій земли къ солнцу и солнца къ землѣ. Если бы земля при началѣ міра не получила никакого впечатлѣнія къ движенію, то она упала бы на солнце; но если при сотвореніи своемъ она получила толчекъ, въ слѣдствіе котораго она пошла бы по прямой линіи съ равномѣрною скоростію, когдабъ на нее не дѣйствовало притяженіе солнца,—тогда дѣйствительное движеніе земли E будетъ происходить отъ двухъ причинъ: 1-е, отъ первоначальной скорости, которую пусть изображаетъ линія EE′ (фиг. 80) и 2-е, отъ притяженія къ солнцу S; величина этаго притяженія пусть будетъ линія EM. Тогда земля должна будетъ итти по діогонали EF параллелограма построеннаго на линіяхъ EM и EE′; если бы послѣ весьма короткаго времени вдругъ уничтожилось притяженіе къ солнцу, то земля начала бы равномѣрно двигаться по линіи FF′ на продолженіи діогонали EF; но можно себѣ представить, что когда достигнетъ земля въ F, то на нее опять дѣйствуетъ притяженіе къ солнцу, которое изображается на чертежѣ линіею FN; но она имѣетъ уже движеніе, которое представляемъ линіею FF′, и потому земля опять должна будетъ оставить направленіе по FF′ и взять другое по діогонали FG параллелограма, составленаго на линіяхъ FN и FF′. Такимъ образомъ можно разсуждать далѣе, и уменьшая промежутки времени, въ которые повторяются дѣйствія солнечнаго притяженія, болѣе и болѣе, легко заключить, что земля будетъ описывать около солнца вогнутую къ нему кривую линію. Ежели бы первоначальная скорость и центростремительная сила, которая здѣсь есть притяженіе къ солнцу, были

между собою вездѣ перпендикулярны и отношеніе ихъ другъ къ другу нигдѣ не измѣнялось, то описываемая кривая была бы кругъ; но въ точности этаго при движеніи планетъ не существуетъ, и онѣ описываютъ въ самомъ дѣлѣ съ неравною скоростію эллипсисы, которыхъ размѣры зависятъ отъ первоначальнаго разстоянія планетъ отъ солнца и ихъ первоначальной скорости. Когда планета на своемъ эллипсисѣ бываетъ въ ближайшемъ отъ солнца разстояніи, тогда притяженіе ея къ солнцу будетъ сильнѣйшимъ; но въ тоже время возрастаетъ скорость планеты, а вмѣстѣ съ нею и центробѣжная сила; сія послѣдняя превозмогаетъ наконецъ тяготѣніе къ солнцу и планета начинаетъ отъ него удаляться. Тогда разстояніе отъ солнца безпрестанно возрастаетъ, дѣлая болѣе и болѣе тупые угли съ направленіемъ движенія планеты, и потому скорость движенія будетъ мало по малу замѣдляться, пока наконецъ въ отдаленнѣйшемъ отъ солнца разстояніи, эта скорость какъ и центробѣжная сила сдѣлаются наименьшими. Тогда направленіе движенія планеты становится перпендикулярнымъ къ разстоянію ея отъ солнца; тяготѣніе къ нему беретъ перевѣсъ и планета опять начинаетъ приближаться къ солнцу, описывая другую половину своего пути съ возрастающею скоростію, пока она не достигнетъ снова наименьшаго разстоянія отъ солнца. Такимъ образомъ движеніе планетъ будетъ непрерывно продолжаться вокругъ солнца, по однимъ и тѣмъ же неизмѣннымъ законамъ.

Кометы двигаются подобнымъ же образомъ; но только пути ихъ суть весьма разтяженные эллипсисы, близкіе къ параболамъ.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

ОБЪ УДАРѢ ТѢЛЪ НЕ УПРУГИХЪ И УПРУГИХЪ.

§ 78.

Когда одно тѣло *неупругое* при движеніи своемъ ударяется объ другое, то послѣднее также приводится первымъ въ движеніе. Представимъ себѣ два шара, изъ которыхъ одинъ A находится въ покоѣ, а другой B въ движеніи; послѣдній ударяется о покоющійся шаръ A, и притомъ такъ, что направленіе движенія центра одного шара проходитъ черезъ центръ другаго; тогда ударъ называется *центральнымъ*. Очевидно, что дѣйствіе ударяющаго шара будетъ зависѣть отъ двухъ обстоятельствъ, отъ массы его и отъ скорости его движенія. Если объ шаръ A въ одномъ случаѣ ударяется шаръ въ 1 фунтъ и въ другомъ случаѣ шаръ въ 10 ф., то въ послѣднемъ случаѣ дѣйствіе будетъ въ 10 разъ больше, потому что каждая частица двигающейси массы дѣйствуетъ одинакоьымъ образомъ. Если же ударяющій шаръ въ одномъ случаѣ имѣетъ скорость въ 10 разъ большую нежели въ другомъ, то и скорость покоющагося шара послѣ удара въ первомъ случаѣ будетъ въ 10 разъ больше скорости во второмъ. Когда же шаръ въ 10 разъ большій будетъ имѣть скорость въ 10 разъ большую, то очевидно, что дѣйствіе его будетъ въ 100 разъ больше дѣйствія другаго шара. По этому мы говоримъ, что если m означаетъ массу и c скорость ударяющагося шара, то дѣйствіе его изобразится произведеніемъ $m.c$, которое называется *количествомъ движенія*.

Теперь, чтобъ получить результатъ удара одного шара объ другой, мы разсмотримъ болѣе общій случай т. е.

предположимъ, что шаръ А передъ ударомъ не находится въ покоѣ, но также движется и притомъ или по одному направленію съ В, (слѣдовательно въ этомъ случаѣ В долженъ догнать шаръ А, чтобъ произвесть ударъ) или въ направленіи совершенно противоположномъ; но въ томъ и другомъ случаѣ мы допустимъ, что ударъ будетъ центральный. Въ первомъ случаѣ шары, послѣ того какъ В догонитъ А, будутъ двигаться вмѣстѣ съ одинаковою скоростію. Чтобы найти эту скорость, назовемъ ее x; массу ударяющаго шара В означимъ черезъ m, скорость его черезъ c; массу ударяемаго шара А черезъ m' а скорость черезъ c'; сумма количествъ движенія обоихъ шаровъ будетъ $mc + m'c'$; послѣ удара они движутся дальше съ общею скоростію x, слѣд. количество движенія обоихъ будетъ выражепъ черезъ $(m+m')\,x$, которое должно быть равно суммѣ количествъ обоихъ передъ ударомъ т. е.

$$(m + m')\,x = mc + m'c'.$$

Откуда получимъ: $$x = \frac{mc + m'c'}{m + m'} \quad \ldots\ldots\ldots (A)$$

Если напр. масса шара В была 20 ф., скорость его 3 фута въ одну секунду, масса шара А 30 ф., а скорость 1 футъ въ секунду, то А скоро будетъ настигнуть и тогда оба шара будутъ имѣть общую скорость:

$$x = \frac{20.3 + 30.1}{20 + 30} = \frac{90}{50} = 1\,\frac{4}{5}$$ фута въ секунду.

Если бы шаръ А прежде удара находился въ покоѣ, то мы въ нашей формулѣ (А) должны положить скорость $c = 0$ и въ этомъ случаѣ мы получимъ:

$$x = \frac{m \cdot c}{m + m'}$$

Въ предъидущемъ примѣрѣ м нашли бы

$$x = \frac{20\ 3}{20 + 30} = \frac{60}{50} = 1\,\frac{1}{5}$$ въ одну секунду.

Если бы движеніе обоихъ шаровъ было противоположное, то мы должны бы были вычесть одно количество движенія изъ другаго, остатокъ былъ бы количество движенія обоихъ шаровъ и по предъидущему мы получили бы:

$$(m + m')\ x = mc - m'c'$$

$$x = \frac{mc - m'c'}{m + m'}.$$

Этотъ результатъ мы могли бы получить непосредственно изъ прежней формулы (A), принявши c' за отрицательную величину, что мы по справедливости могли бы сдѣлать, потому что движеніе этого шара совершенно противоположно движенію другаго, принятому нами за величину положительную.

§ 79.

Найденные нами законы удара имѣютъ приложеніе въ практикѣ; напр. они могутъ быть употреблены для точнаго опредѣленія весьма большой скорости, напр. той, съ которою пуля или ядро выходитъ изъ жерла огнестрѣльнаго оружія — изъ ружья или изъ пушки. Положимъ что изъ пушки пускаютъ ядро однофунтовое въ подвижную массу вѣсомъ въ 1000 фунтовъ; пусть скорость пущеннаго ядра будетъ x, скорость пріобрѣтенная большею массою отъ удара брошеннаго ядра $= 2$ фут.; по нашей формулѣ мы будемъ имѣть

$$2 = \frac{x \cdot 1}{1000 + 1}$$

откуда находимъ $x = 2002$

Итакъ для опредѣленія скорости ядра требуется только съ точностію измѣрить скорость большой массы, которую мы приняли $= 2$ футамъ; а для этого нѣкоторые предполагали повѣсить большую массу подобно маятнику и судить о скорости по углу, на который отклоняется этотъ маятникъ отъ удара, сообщеннаго пушечнымъ ядромъ. Подобнымъ

образомъ нашли, что пушечное ядро въ одну секунду проходитъ отъ 1800 до 2400 фут.; такъ велика скорость по крайнѣй мѣрѣ во время самаго выстрѣла.

§ 80.

Если ударяются другъ о друга *два шара упругіе*, то послѣдуютъ совсѣмъ другія явленія, нежели какъ при ударѣ неупругихъ шаровъ, потому что въ первомъ случаѣ входитъ новая сила: *упругость*. Намъ извѣстно, (§ 61) что упругія тѣла отъ дѣйствія наружныхъ силъ перемѣняютъ видъ свой, но что они тотчасъ возобновляютъ прежній видъ, какъ скоро перестаютъ дѣйствовать наружныя силы.

Начнемъ разсматривать явленіе удара упругихъ тѣлъ съ общаго случая, именно предположимъ что оба ударяющіеся шара A и B двигаются въ туже сторону отъ A къ B, но A скорѣе B, такъ что A наконецъ долженъ догнать B. Тогда отъ удара шаровъ оба они должны перемѣнить видъ свой, при CD (фиг. 83) частицы шаровъ будутъ сжиматься, такъ что въ моментѣ наибольшаго сжатія шары примутъ видъ, показанный въ нашей фигурѣ. При окончаніи сжатія шары, если бы не были упругіе, двигались бы впередъ съ общею скоростію $\kappa = \frac{mc + m'c'}{m + m'}$; но теперь начинается дѣйствіе упругости, каждый шаръ принимаетъ опять первоначальный видъ свой и точно съ такою силою, которая употребилась для сжатія его. Но сжатіе шара A совершилось отъ того, что скорость его c перемѣнилась въ κ, слѣдовательно отъ потери скорости $c - \kappa$, сжатіе же шара B отъ того, что скорость его c' перемѣнилась въ κ, слѣдовательно отъ выигрыша скорости $\kappa - c'$; — слѣдовательно и обратно скорость, сообщаемая шару A отъ силы упругости при возобновленіи первоначальнаго вида будетъ $c - \kappa$, а для шара B она будетъ $\kappa - c'$. Кромѣ того очевидно, что первая скорость сообщается

шару A въ сторону противную первоначальному движенію его, а шару B въ туже самую сторону; и такъ послѣ удара будутъ:

скорость шара A $= \kappa - (c - \kappa) = 2\kappa - c$

. . . . . B $= \kappa' + (\kappa - c') = 2\kappa - c'$

если на мѣсто скорости κ ставимъ равную ей величину $\frac{mc + m'c'}{m + m'}$, то получимъ

скорость A $= 2\frac{mc + m'c'}{m + m'} - c = \frac{2m'c' + c(m - m')}{m + m'}$

. . . . . B $= 2\frac{mc + m'c'}{m + m'} - c' = \frac{2mc + c'(m' - m)}{m + m'}$

Разсмотримъ эту общую форму въ частныхъ случаяхъ:

1. Положимъ что массы обоихъ шаровъ равны, а шаръ B находится передъ ударомъ въ покоѣ. Въ этомъ случаѣ будутъ $m = m'$, $c' = o$ и мы получимъ:

скорость A послѣ удара $= o$

. . . . . B . . . . . $= c$

т. е. въ этомъ случаѣ ударяющій шаръ A передаетъ свою скорость ударяемому шару, а самъ остается въ покоѣ. — Если два равные упругіе шара B и C (фиг. 84) лежатъ одинъ подлѣ другаго и если ударяется объ нихъ третій равный имъ упругій шаръ A въ направленіи ABC, то A остается въ покоѣ и передаетъ свою скорость B, а B тотчасъ ударяется о C, остается въ покоѣ и побуждаетъ C двигаться въ передъ съ своею скоростію. Еслибъ цѣлый рядъ равныхъ упругихъ шаровъ находились въ прикосновеніи и имѣлибы центры на одной прямой линіи, и если бы о первый изъ нихъ ударился такой же упругій шаръ и въ направленіи тойже прямой линіи, то всѣ шары остались.бы въ покоѣ и только послѣдній двигался бы впередъ со скоростію ударяющаго шара. Легко можно сдѣлать опытъ для этого на бильардѣ посредствомъ бильардныхъ шаровъ изъ

слоновой кости, которые могутъ почитаться совершенно упругими. Вообще бильярдная игра основана на ударѣ упругихъ шаровъ. Но обыкновенно доказывается это на машинѣ Гравезанда, собственно назначенной для этой цѣли. Въ ней на деревянномъ станкѣ MN (фиг. 85) привѣшено на нитяхъ много равныхъ шаровъ изъ слоновой кости A, B, C, E, такъ что центры ихъ лежатъ на одной прямой. Если шаръ A выведемъ изъ вертикальнаго положенія на уголъ AFG и потомъ оставимъ его, чтобъ онъ ударился въ B, то B, C, D остаются въ покоѣ, а только E будетъ двигаться поднимаясь на уголъ EHK равный углу AFG. Этимъ доказывается, какъ мы знаемъ изъ движенія маятника, что скорость, съ которою началъ двигаться E равна той, съ которою шаръ A ударяется въ B.

2. Если бы 2 равные шара A и B двигались одинъ противъ другаго, то въ нашей общей формулѣ $m = m'$, а c' получитъ отрицательный знакъ; по этому послѣ удара будутъ:

скоротъ шара $A = -c'$

. . . . . $B = +c$

т. е. оба шара будутъ отскакивать назадъ, каждый со скоростію и по направленію первоначальнаго движенія другаго.

3. Если шаръ B въ покоѣ, а масса ударяющая шара A не равна массѣ ударяемаго, то будетъ послѣ удара:

$$\text{скорость шара } A = c\,\frac{m - m'}{m + m'}$$

$$\text{. . . . . } B = c\,\frac{2m}{m + m'};$$

изъ этого видно, что если $m > m'$, т. е. масса ударяющаго шара больше массы ударяемаго, то A будетъ продолжать свое движеніе по первоначальному направленію своему и скорость, сообщаемая B, будетъ больше скорости A, ибо

$2m > m + m'$; — если же $m < m'$ то $m - m'$ отрицательно и шаръ А будетъ отскакивать назадъ; скорость ударяемаго шара В въ этомъ случаѣ будетъ меньше первоначальной скорости А, ибо $2m < m + m'$.

Напр. А $=$ 2 фунт. ударяется о В $=$ 1 фунту со скоростію 3 футовъ; послѣ удара скорость А $= 3 \cdot \frac{2-1}{2+1} = 1$, скорость В $= 3 \cdot \frac{2 \cdot 2}{2+1} = 4$ и оба пойдутъ въ сторону движенія А. Но если А $=$ 1 футу, а В $=$ 2 футу, то послѣ удара скорость А $= 3 \cdot \frac{1-2}{1+2} = -1$, а скорость В $= \frac{2 \cdot 1}{2+1} \cdot 3 = 2$ ф. и А пойдетъ въ противную сторону, нежели передъ ударомъ, а скорость В меньше скорости А предъ ударомъ.

§ 81.

Если ударъ не будетъ центральной, то вообще направленіе движенія будетъ составлять какой нибудь уголъ съ первоначальнымъ движеніемъ. Мы не станемъ подробно разсматривать каждый случай порознь, но займемся только однимъ, именно тѣмъ, въ которомъ упругій шаръ ударяется въ плоскость подъ острымъ угломъ. Пусть А (фиг. 86) будетъ такой шаръ, двигающійся къ твердой доскѣ MN со скоростію, которую мы выразимъ линіею ВС. Линія СР есть перпендикуляръ къ MN. Представимъ себѣ, что въ то мгновеніе, когда шаръ доходитъ до С и когда скорость давитъ его противъ доски соотвѣтствующею ей силою, скорость или давящая его сила ВС разложена на FC и DC. Мы знаемъ что давленіе производимое силами DC и FC будетъ равно давленію производимому силою ВС. Но давленіе DC совершенно уничтожается сопротивленіемъ доски, и когда шаръ отъ этого давленія будетъ сжатъ и потомъ отъ дѣйствія упругости съ

такою же силою станетъ возвращаться къ первоначальному виду, то появляется сила отталкивающая шаръ отъ доски въ направленіи отъ C къ D, равная силѣ CD. Между тѣмъ сила FC не претерпѣла ни какого ослабленія, потому что она совершенно не дѣйствуетъ противъ доски. И такъ послѣ удара мы имѣемъ двѣ силы, дѣйствующія на шаръ, одну $CF' = FC$, а другую CD; онѣ могутъ быть сложены въ одну равнодѣйствующую CB'. Но такъ какъ прямоугольникъ $CDB'F'$ равенъ прямоугольнику BFCD, а слѣд. и половины ихъ т. е. треугольники BCD и DCB', то слѣдуетъ, что уголъ $BCD = B'CD$. Изъ этого мы видимъ, что, когда упругій шаръ бываетъ брошенъ противъ твердой стѣны подъ острымъ угломъ, то онъ отскакиваетъ отъ ней подъ тѣмъ же угломъ въ противоположную сторону.

§ 82

Изложенные нами законы удара упругихъ тѣлъ часто имѣютъ приложеніе въ практикѣ. Между прочимъ по нимъ объясняется одно явленіе, которое безъ нихъ могло бы казаться загадочнымъ. Извѣстно, что въ каменоломняхъ употребляютъ для взрывовъ порохъ; для этого сверлятъ въ массѣ дыру, засыпаютъ въ нее извѣстное количество пороху и тщательно забиваютъ клиномъ отверстіе, проводя чрезъ него трубку, въ которую вкладывается фитиль для зажиганія пороха. Нѣкто Іессопъ показалъ, что это тщательное забиваніе отверстія отнюдь не необходимо, но что совершенно можно достигнуть этой цѣли не употребляя клина, но засыпая отверстіе сухимъ пескомъ. При воспламененіи пороха песокъ не выбрасывается, какъ этого можно было ожидать, но порохъ скорѣе пробиваетъ камень. Изъ упругости песчинокъ достаточно объясняется это странное явленіе. Мы видѣли прежде, что если въ рядъ равныхъ упругихъ шаровъ, лежащихъ другъ подлѣ друга, ударяется другой шаръ, то всѣ средніе шары оста-

ются въ покоѣ до послѣдняго, который движется впередъ со скоростію ударяющаго шара. Это явленіе имѣетъ мѣсто, какъ бы велика не была сила удара; и такъ мы здѣсь видимъ безконечно большое сопротивленіе, представляемое шариками свободно лежащими. Теперь представимъ ссбѣ, что песокъ составляетъ рядъ такихъ шариковъ, — предположеніе въ самомъ дѣлѣ по сущности вещества приличное; мгновенный ударъ пороха отброситъ только верхнія песчинки, между тѣмъ какъ нижнія останутся въ совершенномъ покоѣ и сила пороха преодолѣетъ сопротивленіе сцѣпленія частицъ камня прежде, нежели сопротивленіе упругихъ шариковъ.

ТРЕТЬЕ ОТДѢЛЕНІЕ.

О КАПЕЛЬНОЖИДКИХЪ ТѢЛАХЪ

(*Гидростатика*).

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

О РАВНОВѢСІИ КАПЕЛЬНОЖИДКИХЪ ТѢЛЪ.

§ 83.

Мы уже видѣли прежде, что жидкія тѣла отличаются отъ твердыхъ тѣмъ, что частицы ихъ могутъ передвигаться съ мѣста на мѣсто отъ малѣйшей силы и даже отдѣлиться другъ отъ друга. Это свойство принадлежитъ такъ называемымъ капельнымъ и упругимъ жидкостямъ; но онѣ различаются между собою тѣмъ, что во первыхъ частицы не оказываютъ стремленія, ни отдаляться другъ отъ друга ни приближаться, но для того и другаго случая потребна нѣкоторая сила; напротивъ того упругія жидкости оказываютъ стремленіе отдалить частицы свои одну отъ другой какъ можно дальше и нужно употребить опредѣленную силу для того, чтобы удерживать ихъ въ извѣстномъ пространствѣ. Мы прежде станемъ заниматься капельно жидкими тѣлами.

Вообразимъ себѣ цилидръ A (фиг. 87) съ узкимъ отверстіемъ, въ которомъ посредствомъ стержня DC можетъ двигаться массивный цилиндъ C, такъ чтобы между стѣнками его не проходило воды, (такой массивный цилиндръ называется поршнемъ); если этотъ цилиндръ совершенно наполнимъ водою и потомъ станемъ давить поршень C, то частицы лежащія ближе всѣхъ отъ него будутъ давить на другія и каждая изъ нихъ стремиться втѣсниться между слѣдующими; отъ этого онѣ необходимо производятъ давленіе во всѣ стороны. Итакъ мы получимъ законъ, весьма удобно согласуемый съ понятіемъ удободвижимости жидкихъ частицъ, на которомъ основывается вся теорія равновѣсія капельножидкихъ тѣлъ, или вся Гидростатика; онъ именно состоитъ въ томъ, что: *Если на какую нибудь частицу жидкой массы производится давленіе, то оно распространяется съ равною силою на всѣ частицы жидкости вверхъ, внизъ и во всѣ стороны.*

Итакъ если закрытый со всѣхъ сторонъ сосудъ ABCD (фиг. 88) совершенно наполнить водою и въ мѣстахъ M, N, O, P, Q поставить поршни, которыхъ основанія вездѣ равны, то при давленіи производимомъ на одинъ изъ нихъ, напр. M, силою равною 10 ф., всѣ другіе поршни съ равною силою будутъ выдавлены наружу, такъ что на каждый изъ нихъ нужно произвести давленіе силою 10 ф., чтобы удержать ихъ отъ движенія; слѣд. на два поршня вмѣстѣ, напр. на N и O, нужно заставить дѣйствовать силу 20 ф., на три силу 30 ф. и т. д. Тоже самое должно было бы сдѣлать, если бы поверхность одного поршня была вдвое, второе и т. д. больше поверхности того поршня, на который произведено первоначальное давленіе. И такъ давленіе пропорціонально поверхности и слѣд. если чрезъ p означимъ давленіе производимое на единицу поверхности, напр. на 1 квадр. футъ, то для поверхности 10 квадр. фут. давленіе должно быть выражено чрезъ $10p$.

§ 84.

Представимъ себѣ теперь какое нибудь количество жидкости, которой частицы, какъ и во всякомъ другомъ тѣлѣ, взаимно притягиваются; предположимъ вопервыхъ, что на нихъ не дѣйствуетъ никакая другая сила. Въ этомъ случаѣ легко можно видѣть, что такая жидкая масса должна принять видъ шара для того, чтобы всѣ частицы находились въ равновѣсіи. Въ самомъ дѣлѣ представимъ себѣ массу ABC (фиг. 89) вирочемъ шарообразную, но въ которой частицы A были бы дальше отъ центра, нежели остальныя частицы поверхности напр. B. Мы выше уже видѣли, что когда шаръ притягиваетъ матеріальную частицу, то онъ дѣйствуетъ такъ, какъ будто бы равнодѣйствующая всѣхъ притягательныхъ силъ находилась въ центрѣ шара. Если теперь представимъ себѣ столбъ ADF, отдѣленный отъ остальной массы, также и столбъ BDF, такъ ттобы оба они имѣли одно общее основеніе DF, то мы получимъ съ одной стороны давленіе, производимое притяженіемъ къ центру, частицъ столба DAF, а съ другой давленіе, производимое столбомъ BDF, и такъ какъ каждый распространяетъ свое давленіе одинаково во всѣ стороны, то давленіе столба DBF на основаніе DF будетъ дѣйствовать противоположно столбу AFD; но какъ въ столбѣ AFD, по причинѣ большей вѣсоты, число притягиваемыхъ частицъ больше, то и давленіе его будетъ больше давленія отъ B, или съ какой нибудь другой стороны поверхности шара; слѣдовательно равновѣсіе не будетъ имѣть мѣста. Итакъ жидкость ABC, находящаяся одна въ пространствѣ и не подверженная притяженію какого нибудь посторонняго тѣла, приметъ совершенно шарообразную форму, дабы находиться въ равновѣсіи. Если же такой шаръ AFBD обращается около оси AB (фиг 90) то отъ этаго произойдетъ въ D и F центробѣжная сила, дѣйствующая противно

притяженію центра, притяженіе частицъ въ D и F будетъ уменьшена, а съ этимъ и давленіе ихъ, оказываемое ими на центръ, а давленіе частицъ A и B не измѣняются; слѣдовательно A и B должны приблизиться къ центру противъ частицъ D и F, такъ что шаръ при равновѣсіи приметъ видъ сфероида A/F/B/D/. Хотя высота жидкаго столба CF/ больше высоты столба CA/, однако большая высота будетъ вознаграждена меньшимъ притяженіемъ и давленіе столбовъ на основаніе C будетъ одно и тоже.

Показанные нами законы объясняютъ намъ образованіе вида земнаго шара. Мы знаемъ, что большая часть поверхности его занята моремъ; кромѣ того подробныя изслѣдованія состава земнаго черепа показали, что мы необходимо должны допустить, что вся земля первоначально была въ жидкомъ, именно въ расплавленномъ, состояніи. Притомъ она столько удалена отъ луны, солнца и другихъ планетъ, что притяженіе ихъ не можетъ имѣть значительнаго вліянія на форму ея, и такъ она приняла видъ шара; а отъ обращенія ея около своей оси, діаметръ въ направленіи оси A/B/ долженъ быть меньше діаметра D/F/ экватора. Измѣренія въ самомъ дѣлѣ показали, что земля не есть совершенный шаръ, но мало отличный отъ шара сфероидъ, въ которомъ полярная ось вращенія = 1715, а ось экватора = 1719 географическимъ милямъ. Поелику поверхность земли на экваторѣ отстоитъ отъ центра земли далѣе, нежели у полюсовъ, то тяжесть на экваторѣ должна быть меньше, нежели на полюсахъ. Итакъ есть это вторая причина, которая, вмѣстѣ съ центробѣжною силою (§ 76), дѣлаетъ тяжесть подъ экваторомъ менѣе тяжести у полюсовъ.

§ 85.

Мы выше сказали, что земля столь удалена отъ солнца и луны, что вліяніе ихъ на видъ земли

земли не значительно. Этого не льзя принимать во всей строгости, и по этому мы разсмотримъ подробнѣе, какимъ образомъ измѣняются явленія отъ дѣйствія посторонняго притягивающаго небеснаго тѣла на землю, которую мы представимъ себѣ во первыхъ еще какъ однообразно жидкую массу. Пусть ADBF (фиг. 91) будетъ земной шаръ, C центръ его, M центръ посторонняго притягивающаго небеснаго тѣла, напр. луны; въ этомъ центрѣ мы можемъ себѣ представить всю силу притягательную сосредоточенною. Какъ скоро M начнетъ дѣйствовать, то всѣ частицы земли будутъ притянуты къ M, но частица B сильнѣе частицы C, потому что B ближе находится къ M; по той же причинѣ C сильнѣе нежели A. Изъ этого легко можно видѣть, что шаръ долженъ перейти въ продолговатую фигуру BD′A′F′, такъ что обѣ точки B и A′ дальше будетъ отстоять отъ центра нежели D′ и F′. Если земля не состоитъ изъ равномѣрно жидкой массы, но имѣетъ твердое ядро, покрытое жидкимъ слоемъ BDAF, (фиг. 92) то и въ этомъ случаѣ въ ней будутъ имѣть мѣсто тѣже явленія, какъ и въ жидкой массѣ, только съ тѣмъ различіемъ что твердое ядро останется неизмѣненнымъ, потому что частицы его G, лежащія ближе къ M увлекаютъ съ собою дальнѣйшія частицы K и замѣдляются ими, такъ что все ядро получаетъ среднее движеніе, которое меньше движенія жидкихъ частицъ въ B, но больше нежели въ A. Еслибы нѣкоторыя части ядра поднялись выше поверхности жидкости, какъ G, то на нихъ видно бы было повышеніе воды въ A и B и пониженіе въ D и F. Количество этого повышенія и пониженія воды будетъ зависѣть отъ двухъ обстоятельствъ: 1) Отъ массы тѣла M, слѣд. отъ силы притяженія его и 2) отъ разстоянія этого тѣла. Чѣмъ ближе оно находится къ землѣ, тѣмъ сильнѣе будетъ подниматься и понижаться слой воды, потому что тѣмъ значительнѣе будетъ разность притяженій

производимыхъ тѣломъ M на A и B и по предъидущему только отъ этой разности зависитъ все явленіе. Если тѣло M находится въ весьма большемъ разстояніи, то разность отдаленія частицъ A и B отъ M будетъ не значительна, а слѣдовательно и разность притяженій, а по этому и самое явленіе будетъ очень слабо. Въ отношеніи изслѣдованнаго нами явленія на земной шаръ производятъ замѣтное дѣйствіе только два небесныхъ тѣла, именно солнце и луна; первое дѣйствуетъ, не смотря на большое разстояніе, въ слѣдствіе своей огромной массы, а послѣдняя, не смотря на малую массу свою, въ слѣдствіе не значительнаго разстоянія отъ земли (*).

Если принять въ разсужденіе объ величины выражаемыя въ числахъ, то найдется, что луна въ $2\frac{1}{2}$ раза дѣйствуетъ сильнѣе солнца. Самое явленіе, происходящее отъ этого на землѣ, извѣстно подъ именемъ *прилива* и *отлива*; изъ вышесказаннаго слѣдуетъ, что оно преимущественно зависитъ отъ положенія луны относительно земли. Когда луна проходитъ черезъ меридіанъ или достигаетъ наибольшей высоты надъ горизонтомъ, то вода должна подняться выше береговъ т. е. въ этомъ мѣстѣ бываетъ приливъ; тоже самое должно происходить и у нашихъ антиподовъ. Напротивъ, когда луна будетъ находиться въ самомъ горизонтѣ, то должно произойти пониженіе воды или отливъ. По причинѣ обращенія земли и собственнаго движенія, луна для достиженія самой большей высоты надъ горизонтомъ требуетъ, отъ одного дня до другаго ближайшаго, 24 час. и 50 минутъ, посему въ

(*) Масса солнца въ 355000 больше массы земли, а масса луны въ 88 разъ меньше. Среднее разстояніе солнца отъ земли = 20666800 геогр. миль, среднее разстояніе луны = 52000 геогр. миль, т. е. $\frac{1}{400}$ разстоянія солнца.

продолженіе этого періода два раза долженъ быть приливъ и два раза отливъ, приливъ тогда, когда луна находится на большей высотѣ у насъ или у нашихъ антиподовъ, отливъ, когда она находится въ горизонтѣ къ востоку отъ насъ или къ западу; и такъ если бы у насъ сего дня въ 12 часовъ въ полдень былъ самый высокій приливъ, то завтра онъ послѣдовалъ бы 50 минутами позже, послѣ завтра 1 часъ и 40 минутами позже и т. д.; не много больше нежели черезъ 6 часовъ послѣ прилива послѣдуетъ отливъ, потомъ опять приливъ, и опять отливъ. Такимъ образомъ всегда послѣ 6 часовъ съ небольшимъ приливъ и отливъ перемежаются. Это явленіе замѣчается въ самомъ дѣлѣ у всѣхъ береговъ большихъ океановъ, но въ малыхъ отдѣльныхъ моряхъ оно незамѣтно, напр. въ Балтійскомъ морѣ.

Только въ одномъ отношеніи приливы и отливы не соглашаются съ теоріею, именно въ томъ, что приливъ случается не въ то самое время, когда луна проходитъ чрезъ меридіанъ, но спустя нѣсколько времени. Это зависитъ отъ того, что вода требуетъ нѣкотораго времени для того, чтобы принимать то движеніе, которое ей сообщается.

Подобные приливы производитъ и солнце, но такъ какъ они слабѣе, то и дѣлаются мало примѣтными въ сравненіи съ приливами, производимыми луною; вліяніе ихъ доказывается тѣмъ, что, когда солнце и луна дѣйствуютъ согласно т. е когда эти тѣла находятся по одну сторону или стоятъ съ противоположныхъ сторонъ, приливы бываютъ гораздо выше, нежели когда дѣйствіе этихъ небесныхъ тѣлъ противоположно, т. е. когда одно изъ нихъ находится на меридіанѣ, а другое въ горизонтѣ. Но такъ какъ въ первомъ положеніи солнце и луна находятся во время новолунія и полнолунія или въ *Сизигіяхъ*, а въ послѣднемъ во время первой и послѣдней четверти луны или во время *Квадратуръ*, то на этомъ и основывается

явленіе, что во время Сизигій приливы бываютъ самые большіе, напротивъ во время Квадратуръ самые меньшіе. Наконецъ должно еще замѣтить, что это явленіе со всею правильностію тогда бы происходило, когдабы вся поверхность земли была покрыта водою; но такъ какъ это не имѣетъ мѣста въ природѣ, то явленіе претерпѣваетъ значительное измѣненіе въ томъ, что *часы появленія* приливовъ бываютъ различны въ различныхъ гаваняхъ, пристанихъ и портахъ, между тѣмъ какъ *періоды* ихъ всегда равны.

§ 86.

Обращаясь теперь къ другимъ явленіямъ Гидростатики, посмотримъ какое приметъ положеніе жидкая масса, находящаяся на поверхности земли, гдѣ слѣд. тяжесть влечетъ всѣ частицы къ центру земли. Мы уже видѣли, что, по причинѣ отдаленности центра земли, направленія притяженія частицъ могутъ быть приняты за параллельныя. Такъ какъ частицы могутъ свободно двигаться, то каждая изъ нихъ опустится внизъ до такой глубины, до которой она можетъ и жидкость должна распространиться по поверхности земной въ видѣ тонкаго слоя. По этому мы можемъ сохранять какую нибудь жидкость только въ сосудахъ, которыхъ стѣнки не даютъ частицамъ распространиться далѣе. Пусть ABCD (фиг. 93) будетъ такой сосудъ съ жидкостію; легко можно видѣть, что поверхность жидкости, если она находится въ покоѣ, должна образовать горизонтальную плоскость MN. Въ самомъ дѣлѣ пусть K будетъ какая нибудь частица жидкости, лежащая выше этой плоскости. Представимъ себѣ столбъ KH жидкости отдѣльно; тяжесть столба производитъ на нижнія частицы воды давленіе, распространяющееся во всѣ стороны слѣд. и въ бока; отъ этого какая нибудь частица, лежащая на днѣ будетъ силиться уклониться въ сторону и можетъ быть

удержана только въ томъ случаѣ, когда частицы жидкости, лежащія возлѣ ея, произведутъ на нее такое же сильное давленіе въ противную сторону; но такъ какъ давленіе отъ НК больше давленія производимаго другими столбами по причинѣ выдающейся частицы К, то равновѣсіе быть не можетъ. Подобнымъ образомъ можно доказать невозможность равновѣсія и для другой выдающейся частицы, слѣдовательно при равновѣсіи необходимо нужно, чтобы поверхность жидкости была горизонтальна.

Возмемъ опять сосудъ ABCD (фиг. 94) заключающій въ себѣ воду, которая находится въ равновѣсіи и которой слѣд поверхность MN горизонтальна. Если мы отдѣлимъ отъ этой жидкой массы мысленно часть *abcdf*, совершенно неправильную, то давленіе этой части и остальной жидкости другъ на друга должны быть равны во всѣхъ пограничныхъ точкахъ *abcdf*, потому что иначе вся жидкость не могла бы оставаться въ равновѣсіи. Итакъ если мы вмѣсто отдѣленной жидкой части представимъ себѣ другую совершенно того же вида и которая бы производила на остальную воду тоже давленіе, какое оказывала масса *abcdf*, то равновѣсіе всегда будетъ имѣть мѣсто; такъ напр. если бы мы представили себѣ вмѣсто массы *abcdf* твердую преграду той же формы, которая по причинѣ твердости моглабы выдержать даже и сильнѣйшее давленіе. Въ такомъ случаѣ мы можемъ принимать какъ будто оставшаяся масса жидкости заключается въ двухъ сосудахъ BM*abc*, и CN*fdc*, сообщающихся между собою въ *c*. Такимъ образомъ мы доходимъ до заключенія, что въ двухъ сообщающихся между собою сосудахъ жидкость находится въ равновѣсіи тогда, когда высоты ея въ обоихъ равны, какую бы форму ни имѣли стѣнки сосудовъ.

Итакъ если сосудъ ABFD, сообщается съ сосудомъ GC (фиг. 95) посредствомъ трубки DG и въ одинъ изъ нихъ мы станемъ наливать воду, то равновѣсіе возстано-

вится тогда, когда поверхности AB и C будутъ лежать въ одной горизонтальной плоскости. Если возмемъ поперечный разрѣзъ M соединяющей трубки то на него съ одной стороны будетъ производить давленіе тяжесть воды ABFDM, а съ другой тяжесть CGM; такъ какъ при этомъ равновѣсіе имѣетъ мѣсто, то необходимо давленія съ той и другой стороны должны быть равны. Итакъ давленіе, производимое на одну и туже поверхность зависитъ только отъ высоты жидкости надъ этою поверхностью, потому что только высота одна равна въ обоихъ сосудахъ, но отнюдь не зависитъ отъ вида вмѣстилищъ. Если въ трехъ сосудахъ, I, II, III (фиг. 96) будетъ дно одинаковой величины, т. е. AB = FG = HK и во всѣхъ трехъ вода стоитъ на одинаковой высотѣ, то давленіе надо будетъ совершенно одинаковое, не смотря на то, что въ I сосудѣ воды меньше, нежели во II, а въ III еще меньше, нежели въ I. Слѣд. въ какомъ ни есть сосудѣ давленіе на дно равно давленію на такое же дно въ сосудѣ съ вертикальными стѣнками.

Если теперь мы поставимъ всѣ три сосуда на чашки вѣсовъ, и опредѣлимъ вѣсъ жидкости въ каждомъ изъ нихъ, то найдемъ что II вѣситъ больше всѣхъ, I больше III, хотя давленіе на дно во всѣхъ трехъ одинаково. Причину этого не трудно видѣть; жидкость въ сосудѣ II производитъ давленіе перпендикулярно на стѣнки его LF и MG т. е. сверху внизъ и это давленіе дѣйствуетъ также и на чашки вѣсовъ; также въ сосудѣ III давленіе дѣйствуетъ перпендикулярно на стѣнки т. е. снизу вверхъ и противодѣйствуетъ давленію на дно. Только въ I и вѣсъ жидкости и давленіе на дно равны между собою, потому что давленіе на стѣнки сосуда здѣсь совершается въ горизонтальномъ направленіи, слѣдовательно не уменьшаетъ и не увеличиваетъ дѣйствіе тяжести.

Итакъ въ сосудѣ съ отвѣсными стѣнками давленіе равно вѣсу заключающейся въ немъ жидкости. Если бы дно

такого сосуда было = 1 квадратному футу, а высота его = 4 футамъ, то объемъ жидкости былъ бы 4 кубическихъ фута, а такъ какъ кубическій футъ чистой воды вѣситъ почти 69 фунтовъ, то давленіе на дно было бы 276 фунтовъ. — Еслибъ въ такомъ сосудѣ дно имѣло b квадратныхъ футовъ, а высота была h футовъ, то вѣсъ жидкости и слѣд. давленіе было бы равно $69.h.b$. Еслибы вмѣсто воды была употреблена другая жидкость, которой плотность въ d разъ больше плотности воды, то и давленіе на дно было бы во столько же разъ больше. Итакъ если черезъ p означимъ давленіе на дно и черезъ q вѣсъ одной кубической единицы воды, посредствомъ которой производится измѣреніе, то получимъ p посредствомъ смѣд. уравненія:

$$p = q.h.b.d.$$

Напр еслибъ въ стеклянную трубку, которой дно равно одному квадратному дюйму, мы налили ртути до высоты 30 дюймовъ, то мы нашли бы давленіе p, перемножая величины q т. е. вѣсъ кубическаго дюйма воды ($= 3{,}84$ золотн.) на $h = 30$, $b = 1$ и $d = 13{,}6$ (плотность ртути въ отношеніи къ водѣ) и мы получили бы:

$$p = 3{,}84 \times 30 \times 1 \times 13{,}6 = 1566{,}7 \text{ золотн.} = 16\tfrac{1}{3} \text{ фунт.}$$

Таково должно быть давленіе на дно трубки, какого бы вида ни были стѣнки ея.

§ 87.

Теперь пусть цилиндръ AF (фиг. 97) находится въ сообщеніи съ широкимъ цилиндромъ BCGK, посредствомъ трубки FG; и пусть широкій цилиндръ будетъ закрытъ въ BC пластинкою, а пространство BC до A наполнено водою, такъ чтобы вода стояла въ узкой трубкѣ выше, нежели въ широкомъ сосудѣ количествомъ DA,—тогда производится давленіе на пластинку, которое легко можно вычислить. Въ самомъ дѣлѣ по предъидущему равновѣсіе было бы

тогда, когда короткая часть сдѣлалась бы длиннѣе и въ нее прибавилось бы такое количество воды, чтобъ поверхность ея MN была въ одной плоскости съ A. Итакъ если и безъ этого удлиненія равновѣсіе должно имѣть мѣсто, то, для удержанія въ равновѣсіи распространяющагося снизу давленія, пластинка BC должна произвести давленіе равное тому, которое произошло бы отъ массы MNBC; слѣд. это давленіе выразится вѣсомъ массы MNBC. По этому, если высоту BM или AD означимъ черезъ h, поверхность пластинки BC черезъ b, то давленіе на BC будетъ равно $b.h.q$. Но давленіе на D равно $h.b.q$, если b' означаетъ поверхность D; по этому давленіе, производимое на D, увеличивается на поверхности BC въ содержаніи $b' : b$. Если бы напр. въ узкомъ цилиндрѣ (фиг. 98) могъ двигаться плотный поршень A, и въ широкомъ поршень B и если бы поверхность поршня A относилась къ поверхности поршня B какъ 1 : 10, то одинъ фунтъ положенный на A уравновѣсилъ бы 10 ф лежащихъ на B. Таковой приборъ дѣйствуетъ точно какъ машина, но и здѣсь входитъ тоже обстоятельство, которое мы уже видѣли въ машинахъ; оно состоитъ въ томъ, что когда отъ давленія, производимаго на A, поршень A въ одну секунду понизится напр. на 1 футъ, то поршень B поднимается только на $\frac{1}{10}$ фута; въ самомъ дѣлѣ вода, которая при давленіи на A понизилась на одинъ футъ, поднимаетъ B потому только, что она занимаетъ то пространство, на которое B повысится и высота этого пространства должна быть въ 10 разъ меньше, потому что поперечное сѣченіе его въ 10 разъ больше.

Эту машину обыкновенно употребляютъ для сжиманія; для этого въ C кладутъ доску DE, на нее кладутъ товаръ, который нужно сжать, напр. тюкъ M хлопчатой бумаги, и подниманіемъ доски DE придавливаютъ его къ доскѣ FG, твердо укрѣпленной. На A обыкновенно дѣйствуютъ посредствомъ рычага втораго рода KL, котораго точка

опоры находится въ K. Если имѣетъ мѣсто отношеніе KN : KL = 1 : 10, то 1 ф. въ L произведетъ на N давленіе равное 10 ф., а это давленіе при B сдѣлается еще въ 10 разъ больше, такъ что по этому 1 ф. въ L произведетъ въ B давленіе 100 фунтовъ. Итакъ если кто нибудь производитъ въ L давленіе силою равною 100 ф., что вовсе не трудно, то онъ будетъ давить доску съ силою 10000 ф. Этотъ прессъ называется *Гидравлическимъ прессомъ*.

§ 88.

Если въ изогнутую трубку MPN (фиг. 99) прежде въ конецъ M нальемъ ртути, а потомъ въ другой конецъ N воды, то при равновѣсіи поверхность воды въ C будетъ находиться выше, нежели поверхность ртути и можно вывести въ какомъ содержаніи выше. Пусть будетъ B поверхность ртути въ одной полсвинѣ трубки, такъ что пространство отъ A до B наполнено ртутью, а отъ B до C водою; представимъ себѣ, что горизонтальная поверхность B продолжена такъ, что бы она пересѣкала дтугую вѣтвь въ B'; въ такомъ случаѣ часть $B'PB$ наполнена одною ртутью и слѣд. въ ней имѣетъ мѣсто равновѣсіе, какъ мы уже доказали это для однородной жидкости. Если тогда столбъ ртути AB' долженъ находиться въ равновѣсіи со столбомъ воды BC, то давленіе, производимое AB', которое распространяется до B дѣйствуя снизу вверхъ, должно быть равно давленію BC. Если положимъ $AB' = h'$, и означимъ плотность ртути черезъ d, BC черезъ h, плотность воды черезъ 1, а черезъ q вѣсъ кубической единицы воды, то давленіе производимое ртутью на B будетъ равно $h'.d.b.q$ и давленіе водянаго столба $h.1.b.q$, слѣд.

$$h'.d.b.q = h.1.b.q.$$

$$\text{или} \quad h'd = h.1$$

$$\text{откуда слѣдуетъ} \quad h' : h = 1 : d.$$

т. е. высоты этихъ жидкостей будутъ обратно пропорціональны плотностямъ. Этотъ законъ даетъ средство опредѣлять плотность такихъ жидкостей, которыя не смѣшиваются; для этого нужно только вливать каждую жидкость въ особые концы такой трубки, и измѣрять высоты h и h', которыя обратно пропорціопальны плотностямъ.

§ 89.

Если въ сосудѣ ABCD какая нибудь жидкость находится въ покоѣ, такъ что она образуетъ поверхность MN (фиг. 100), то по предъидущему каждый горизонтальный слой напр. ab подверженъ во всѣхъ своихъ частяхъ одинаковому давленію, зависящему отъ высоты aM, на которой стоитъ жидкость надъ слоемъ. Это давленіе производится на частицы слоя не только внизъ, но по общему началу Гидростатики, во всѣ стороны съ одинаковою силою; отсюда происходитъ очевидно давленіе на стѣнки сосуда при a по направленію ba, при b по направленію ab; такъ какъ обѣ стѣнки сосуда подвержены одинаковымъ и противоположнымъ давленіямъ со стороны слоя ab и со стороны другихъ слоевъ, то сосудъ не можетъ быть сдвинутъ съ своего мѣста давленіемъ, производимымъ на его стѣнки. Если же при b сдѣлаемъ отверстіе въ сосудѣ, то частицы жидкости ab отъ давленія при b будутъ вытекать и давленіе въ этомъ мѣстѣ прекращается, между тѣмъ какъ при a оно дѣйствуетъ съ прежнею силою и слѣд. если сосудъ свободно можетъ перемѣнять свое мѣсто, то онъ подвинется по направленію ad. Для доказательства сего употребляется приборъ, извѣстный подъ именемъ *Сегнерова* (Segner) *колеса*. Онъ состоитъ изъ сосуда ABCD (фиг. 101, I) изъ котораго внизу выходятъ четыре трубки, на концахъ закрытыя, но имѣющія въ бокахъ отверстія, всѣ обращенныя въ одну сторону, a, b, c, d (какъ показываетъ фигура II). Снизу и сверху сосудъ покоится на остроконечіяхъ m и n,

на которыхъ онь можетъ вертеться около оси *mn*. Если наполнить его водою, то она будетъ выливаться черезъ всѣ отверстія и произведетъ давленіе на стѣнки трубочекъ, противоположныя отверстіямъ; отъ этого трубочки будутъ двигаться по направленію, показанному стрѣлкою и весь сосудъ будетъ вертѣться около оси *mn* до тѣхъ поръ, пока не вытечетъ изъ него вся жидкость.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

О РАВНОВѢСІИ ТВЕРДЫХЪ ТѢЛЪ, ПОГРУЖЕННЫХЪ ВЪ ЖИДКОСТИ.

§ 90.

Пусть ACDB предтавляетъ сосудъ (фиг. 102) заключающій въ себѣ какую нибудь жидкость, напр. воду. Отдѣлимъ мысленно отъ этой жидкости одну часть *abcd* какой угодно формы. Эта часть несмотря на свой вѣсъ остается на мѣстѣ только потому, что удерживается окружающею ее жидкостію, т. е. что на нее дѣйствуетъ снизу вверхъ сила, происходящая отъ давленія жидкости со всѣхъ сторонъ и совершенно равная вѣсу *abcd*. Если бы на мѣстѣ водяной массы *abcd* находилось твердое тѣло такого же объема и такого же вѣса, то и оно осталось бы въ покоѣ, потому что въ отношеніи давленія оно находится въ тѣхъ же обстоятельствахъ, въ какихъ и *abcd*. Если бы твердое тѣло было плотнѣе водяной массы *abcd*, при одинаковомъ объемѣ, то вѣсъ его дѣйствующій сверху внизъ былъ бы больше, нежели давленіе воды дѣйствующее снизу вверхъ и тѣло

должно бы было погружаться въ воду до самаго дна; однако оно начало бы опускаться не съ такою силою, съ которою оно падало бы въ пустомъ пространствѣ, но съ силою равною разности его вѣса и вѣса воды при одномъ объемѣ. Итакъ если бы P былъ вѣсъ тѣла, а Q вѣсъ равнаго объема воды, то оно опускалось бы отъ дѣйствія силы P — Q, и чтобы не дать ему опускаться, то достаточно бы было привязать его на нить и удерживать силою равною P — Q. Изъ этого видно, что твердое тѣло, которое тяжелѣе жидкости, при погруженіи въ нее *теряетъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ жидкость, вытѣсненная имъ изъ своего мѣста.* Если тѣло, занимающее мѣсто *abcd*, легче воды, то давленіе снизу вверхъ будетъ больше давленія сверху внизъ (т. е. вѣса тѣла) и тѣло поднялось бы изъ воды до поверхности ея и еще выше, и легко опредѣлить на сколько. Въ самомъ дѣлѣ пусть тѣло находится въ равновѣсіи въ положеніи $a'b'c'd'$; представимъ себѣ что поверхность MN при продолженіи своемъ пересѣкаетъ тѣло какъ показываетъ fg; если бы въ $fgd'c'$ была вода, то равновѣсіе имѣло бы мѣсто; но какъ по предположенію и $a'b'c'd'$ находится въ равновѣсіи, то вѣсъ его долженъ быть равенъ вѣсу объема воды $fgd'c'$; изъ этого мы выводимъ законъ, что если тѣло легче воды, то оно поднимается надъ поверхностію ея и приходитъ въ равновѣсіе только тогда, *когда вѣсъ его будетъ равенъ вѣсу жидкости, вытѣсненной погруженною частію его.*

§ 91.

Пусть ABCD будетъ сосудъ съ жидкостію, которой поверхность есть MN (фиг. 103); погрузимъ въ жидкость деревянный параллелепипедъ, такъ что бы весь вѣсъ его былъ равенъ вѣсу вытѣсненной имъ жидкости $fgcd$; тогда по предъидущему параллелепипедъ будетъ плавать на водѣ, но опытъ научаетъ, что онъ въ этомъ положеніи не можетъ

оставаться въ покоѣ, но переворачивается на сторону. Въ самомъ дѣлѣ мы знаемъ, что тѣло потому только плаваетъ, что давленіе производимое имъ внизъ уравновѣшивается давленіемъ воды вверхъ; послѣднее во всемъ равно давленію вытѣсненной воды *fgcd*, но только оно производится по направленію не внизъ, но вверхъ. Сила тяжести всѣхъ частицъ вытѣсненной массы воды можетъ быть замѣнена одною равнодѣйствующею, которая равна суммѣ тяжестей всѣхъ частицъ и можетъ быть представлена сосредоточенною въ центрѣ тяжести воды *fgcd*. Слѣд. и равнодѣйствующая всего давленія воды на тѣло *abcd* также можетъ быть замѣнена одною силою, которая дѣйствуетъ на точку *n* вверхъ. Такимъ же образомъ вѣсъ тѣла, противодѣйствующій этой силѣ, можно представить себѣ сосредоточеннымъ въ центрѣ тяжести его *m*. Итакъ на тѣло дѣйствуютъ 2 равныя силы, одна въ *m* внизъ, другая въ *n* вверхъ. Когда *n* лежитъ ниже *m*, то будетъ неустойчивое равновѣсіе; ибо какъ скоро тѣло немного перемѣняетъ свое положеніе, какъ напр. $a^1b^1c^1d^1$, то очевидно, что центръ тяжести вытѣсненной воды, хотя и измѣняетъ свое положеніе при измѣненіи вида погруженной части въ положеніяхъ *abcd* и $a^1b^1c^1d^1$, но онъ при всемъ томъ будетъ находиться въ право отъ *n*, напр. въ n^1; слѣд. тѣло одною силою влечется внизъ отъ *m*, а другою вверхъ отъ n^1 и по этому должно повернуться. Совсѣмъ другое было бы явленіе, если бы центръ тяжести тѣла находился *подъ* центромъ тяжести вытѣсненной воды, если бы напр. первый былъ въ *n*, а послѣдній въ *m*; тогда на тѣло въ положеніи $a^1b^1c^1d^1$ дѣйствовала бы сила въ *m* вверхъ, а въ *n* внизъ; слѣд. оно само собою приходило бы въ первоначальное положеніе *abcd*; тогда мы получимъ устойчивое равновѣсіе плавающаго тѣла. Въ этомъ состоитъ причина почему въ тѣлахъ, которыя должны стоймя плавать на водѣ, центръ тяжести долженъ лежать

какъ можно ниже; этого достигаютъ черезъ соединеніе основанія такихъ тѣлъ съ плотнѣйшимъ тѣломъ. На корабляхъ самыя нижнія части близкія отъ киля нагружаютъ желѣзнымъ балластомъ; чѣмъ болѣе отъ этого понижается центръ тяжести всего корабля, тѣмъ менѣе онъ бываетъ шаткимъ, отъ дѣйствія вѣтровъ и волнъ, и тѣмъ менѣе онъ подверженъ качкѣ. Также если нужно, что бы деревянная палка плавала вертикально на водѣ, то къ нижней части ея присоединяется свинцовая масса.

§ 92.

Выведенный нами (§ 90) законъ, состоящій въ томъ, что каждое тѣло, тяжелѣйшее жидкости, при погруженіи теряетъ столько въ своемъ вѣсѣ, сколько вѣситъ объемъ вытѣсненной жидкости, имѣетъ весьма важное приложеніе къ опредѣленію плотности или удѣльнаго вѣса тѣлъ. Представимъ себѣ вѣсы ACB (фиг. 104); къ одной чашкѣ ихъ прикрѣпленъ крючекъ, на который посредствомъ тонкой проволоки или волоса можно привѣсить тѣло, подвергаемое опыту; для примѣра положимъ, что это есть свинцовый шаръ K; прежде всего на чашку E кладутъ тяжести до тѣхъ поръ пока чашка D, вмѣстѣ съ проволокою или съ волосомъ, не будетъ уравновѣшена. Привѣсивъ шаръ къ чашкѣ D, прибавляютъ на E для равновѣсія тяжести, которыя по этому покажутъ вѣсъ шара. Предположимъ, что онъ = P. Подъ чашкою D ставятъ стаканъ MGN наполненный чистою водою, такъ чтобы шаръ K висѣлъ въ водѣ. Отъ этого онъ сдѣлается легче и нужно будетъ снять съ чашки E нѣсколько тяжестей, такъ что при равновѣсіи останется вѣсъ Q. Итакъ шаръ потерялъ въ своемъ вѣсѣ P — Q. По предъидущему закону потеря эта равна вѣсу воды вытѣсненной шаромъ: слѣд. мы знаемъ, что водяной шаръ одного объема съ K вѣситъ P — Q, а свинцовый

шаръ вѣситъ P. Но отношеніе вѣса какого нибудь тѣла къ вѣсу одинаковаго объема воды, принимаемой за единицу, называется удѣльнымъ вѣсомъ тѣла (14), посему означивъ черезъ Δ удѣльный вѣсъ свинца, получимъ

$$\Delta = \frac{P}{P-Q}.$$

§ 93.

Этотъ способъ опредѣленія удѣльнаго вѣса, какъ видно, весьма простъ, особенно если не нужно большой точности. Но когда требуется строгая точность, то мы должны обращать вниманіе на нѣкоторыя обстоятельства, имѣщія существенное вліяніе на получаемый результатъ. Во первыхъ видно, что въ приведенномъ опытѣ мы получаемъ удѣльный вѣсъ относительно той воды, которая употреблялась. Но плотность воды, даже самой чистой, дистиллированной, бываетъ различна по различію температуры ея; физики согласились принять за единицу плотность воды при температурѣ 3,2 по нашему термометру Реомюра. И такъ если вода, употребляемая нами въ опытѣ, была теплѣе, — отъ чего и удѣльный вѣсъ ея сдѣлался меньше, напр. 0,99 вмѣсто 1, — то мы въ приведенномъ примѣрѣ сдѣлали ошибку, принявши за единицу величину, которая была только $\frac{99}{100}$ настоящей единицы; но мы можемъ вывесть изъ полученнаго удѣльнаго вѣса Δ истинный удѣльный вѣсъ Δ' посредствомъ пропорціи:

$$0{,}99 : 1 = \Delta' : \Delta$$

Въ самомъ дѣлѣ плотность должна содержать во столько единицъ меньше, во сколько разъ увеличилась сама единица. Слѣд. мы получимъ

$$\Delta' = 0{,}99 \times \Delta.$$

т. е. для опредѣленія истиннаго удѣльнаго вѣса нужно умножить найденный посредствомъ опыта на удѣльный вѣсъ употребляемой воды, который мы знаемъ изъ таблицъ, составленныхъ для этой цѣли; нужно только опредѣлить тем-

пературу воды. — Мы скоро увидимъ, какъ вычисляются эти таблицы плотности воды при разныхъ температурахъ.

Кромѣ этой важной поправки мы должны дѣлать еще другія, о которыхъ мы здѣсь, не входя въ подробности, только упомянемъ. — Онѣ относятся во первыхъ къ температурѣ самаго тѣла, измѣняющей плотность его; по этому, если мы говоримъ объ удѣльномъ вѣсѣ какого нибудь тѣла, то мы должны всегда разумѣть, что онъ относится къ опредѣленной температурѣ, за которую обыкновенно принимаютъ температуру 0, при которой вода начинаетъ замерзать. Но такъ какъ тѣла при взвѣшиваніи обыкновенно имѣютъ температуру отличную отъ 0, то для этого должно сдѣлать поправку, зависящую отъ расширенія тѣлъ производимаго теплотою, о которомъ мы будемъ говорить послѣ. Еще одну поправку нужно дѣлать потому, что мы взвѣшиваемъ всѣ тѣла въ воздухѣ, который также есть тяжелая жидкость, какъ мы увидимъ послѣ; слѣдовательно въ чемъ всякое тѣло вѣситъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше вѣсъ вытѣсненнаго воздуха. Такъ какъ воздухъ въ 770 разъ легче воды, то очевидно, что потеря вѣса въ воздухѣ весьма не значительна; но если требуется строгая точность, то при всякомъ взвѣшиваніи нужно дѣлать эту поправку, посредствомъ которой мы находимъ вѣсъ тѣла въ пустомъ пространствѣ, и которая дѣлается еще сложнѣе отъ того, что плотность воздуха измѣняется съ измѣненіемъ состоянія термометра и барометра. Наконецъ послѣдняя поправка относится къ тому, что волосъ, за который держивается тѣло, при погруженіи его въ жидкость, тоже теряетъ нѣсколько изъ своего вѣсу; эту потерю нужно опредѣлить предварительно.

§ 94.

Вѣсы, употребляемые при подобныхъ взвѣшиваніяхъ въ водѣ и называемые *гидростатическими*, до сихъ поръ

служили намъ только къ опредѣленію плотности тѣлъ, которые плотнѣе воды. Для легчайшихъ тѣлъ они не могутъ быть употребляемы, потому что эти тѣла, напр. кусокъ дерева, не будутъ тянуть внизъ чашку вѣсовъ, когда они будутъ погружены въ воду, но будутъ плавать на поверхности воды. Что бы помочь этому неудобству соединяютъ деревянный кусокъ съ тяжелымъ тѣломъ, напр. съ кускомъ свинца такой величины, чтобы онъ увлекалъ съ собою и дерево внизъ. Сперва взвѣшиваютъ оба тѣла въ воздухѣ и получаютъ P, потомъ въ водѣ и получаютъ Q, потомъ отдѣляютъ свинецъ отъ дерева и взвѣшиваютъ его отдѣльно; пусть вѣсъ его будетъ p; наконецъ взвѣшивая его въ водѣ получаютъ q. Тогда будетъ $P - p$ вѣсъ дерева въ воздухѣ и $Q - q$ вѣсъ его въ водѣ; (здѣсь будетъ $Q < q$ и слѣдовательно послѣдняя величина есть отрицательная, ибо какъ дерево въ водѣ поднимается вверхъ, то дерево и свинецъ вмѣстѣ будутъ легче въ водѣ нежели одинъ свинецъ отдѣльно). Слѣдовательно потеря дерева въ водѣ или вѣсъ равнаго объема воды $= P - p - (Q - q)$ и такъ относительный вѣсъ дерева будетъ:

$$\Delta = \frac{P - p}{P - p - Q + q}.$$

Положимъ напримѣръ, что свинецъ въ воздухѣ вѣситъ 1 фунтъ, дерево также 1 фунтъ, а въ водѣ свинецъ и дерево вмѣстѣ 0,9, свинецъ одинъ 0,95, тогда въ нашей формулѣ мы имѣемъ:

$P = 2$, $p = 1$, $Q = 0{,}9$, $q = 0{,}95$, слѣдовательно

$$\Delta = \frac{2 - 1}{2 - 1 - 0{,}9 + 0{,}95} = \frac{1}{1{,}05} = 0{,}95.$$

Гидростатическіе вѣсы могутъ хорошо служить также для опредѣленія удѣльнаго вѣса жидкостей. Для этаго беруть твердое тѣло, лучше всего пустой стекляный шаръ AB (фиг. 105), въ который прежде нежели его запаять, наливаютъ столько ртути C, чтобъ онъ былъ тяжелѣе

самой плотной жидкости, которой удѣльный вѣсъ требуется опредѣлить. Вверху онъ имѣетъ стеклянный крючекъ A. Этотъ шаръ прикрѣпляютъ къ крючку чашки гидростатическихъ вѣсовъ и потомъ взвѣшиваютъ его прежде въ воздухѣ (пусть вѣсъ его будетъ p), послѣ въ чистой водѣ, (тогда найдется q), а наконецъ въ той жидкости, которой плотность хотятъ опредѣлить, напр. въ винномъ спиртѣ (при этомъ получится вѣсъ v). Итакъ мы знаемъ что объемъ воды, равный объему стекляннаго шара, вѣситъ $p - q$ и тотъ же объемъ виннаго спирта вѣситъ $p - v$. Слѣд. если принимать удѣльный вѣсъ воды за единицу, то удѣльный вѣсъ Δ спирта получится изъ пропорціи:

$$p - q : p - v = 1 : \Delta,$$

откуда выходитъ

$$\Delta = \frac{p - v}{p - q}.$$

Если бы напр. найдено было, что стеклянный шаръ вѣситъ въ воздухѣ 50 золотниковъ, въ водѣ 10 золотниковъ, въ винномъ спиртѣ 20, то удѣльный вѣсъ этаго спирта былъ бы:

$$\Delta = \frac{50 - 20}{50 - 10} = \frac{30}{40} = 0{,}75,$$

Само собою разумѣется, что изъ этого получается только отношеніе удѣльныхъ вѣсовъ при той температурѣ, при которой произведенъ былъ опытъ. Поелику жидкости, какъ мы увидимъ послѣ, при одинаковомъ измѣненіи температуры весьма различно измѣняютъ свой относительный вѣсъ, то и отношеніе этихъ вѣсовъ обѣихъ жидкостей при различной температурѣ также измѣняется. Итакъ, чтобъ имѣть возможность сдѣлать поправку относительно этого, необходимо узнать для каждой жидкости измѣненіе удѣльнаго вѣса, зависящее отъ измѣненія температуры. Для этого служатъ вѣрнѣйшимъ средствомъ тѣже самые вѣсы.

Въ самомъ дѣлѣ, дабы напр. узнать измѣненіе плотности воды отъ измѣненія температуры, нужно только опредѣлить удѣльный вѣсъ воды при различныхъ температурахъ, относительно вѣса при какой нибудь опредѣленной температурѣ, точно такимъ же образомъ, какъ мы тотчасъ опредѣлили удѣльный вѣсъ спирта. Для этой цѣли посредствомъ лампы нагрѣваютъ воду, въ которой виситъ стеклянный шаръ, или охлаждаютъ ее, окружая ее льдомъ, и измѣряютъ температуру посредствомъ термометра въ тѣ же самыя мгновенія, когда опредѣляютъ вѣсъ стекляннаго шара въ водѣ. Посредствомъ такихъ опытовъ сдѣланныхъ съ большимъ стараніемъ нашли, что вода имѣетъ наибольшую плотность при $3^0,2$ нашего термометра; при нисшихъ температурахъ до самаго замерзанія плотность ея уменьшается, такъ же и при высшихъ. Вотъ почему плотность воды при этой температурѣ $3^0,2$ принимается за единицу удѣльнаго вѣса; для другихъ тѣлъ за нормальную температуру принимаютъ 0°. По этому, если говорятъ, что относительный вѣсъ желѣза есть 7,8, то это должно понимать такъ: объемъ желѣза при температурѣ 0 въ 7,8 раза тяжелѣе тогоже объема воды при температурѣ 3,2.

Удѣльный вѣсъ газообразныхъ тѣлъ находится слѣдующимъ образомъ. Берутъ пустой стеклянный шаръ A (фиг. 106) съ краномъ B, наполненный воздухомъ, кладутъ его на чашку вѣсовъ и опредѣляютъ вѣсъ его p. Потомъ вытягиваютъ изъ шара воздухъ посредствомъ воздушнаго насоса, котораго устройство послѣ мы опишемъ подробнѣе, закрываютъ кранъ такъ, чтобы внѣшній воздухъ не проникнулъ въ шаръ и снова взвѣшиваютъ его; находятъ вѣсъ p'; очевидно, что вѣсъ воздуха былъ $p - p'$. Потомъ наполняютъ шаръ водою, опять взвѣшиваютъ его и находятъ вѣсъ его $= q$; тогда удѣльный вѣсъ воздуха Δ найдется по формулѣ:

$$\Delta = \frac{p - p'}{q - p'}$$

Такимъ образомъ опредѣлили, что воздухъ легче воды въ 770 разъ. Если хотятъ найти плотность другаго газа, то наполняютъ имъ шаръ и взвѣшиваютъ его; если наполненный воздухомъ онъ вѣситъ p, а другимъ газомъ r, то удѣльный вѣсъ Δ этого послѣдняго въ отношеніи къ воздуху будетъ:

$$\Delta = \frac{r - p'}{p - p'}$$

Обыкновенно за единицу плотности газовъ принимаютъ воздухъ; если найденную такимъ образомъ плотность хотимъ отнести къ водѣ, то мы должны величину Δ т. е. $\frac{r - p'}{p - p'}$ раздѣлить на 770, какъ это легко можно видѣть.

Здѣсь можно замѣтить, что тотъ же самый способъ опредѣленія удѣльнаго вѣса, который мы сей часъ описали для газовъ, употребляется и для жидкихъ тѣлъ, съ тѣмъ только различіемъ, что сосудъ не шаръ, но какая нибудь склянка меньшаго объема съ стеклянною пробкою и такъ устроенная, что она наполняется всегда одинакимъ образомъ различными жидкостями.

При взвѣшиваніи и опредѣленіи плотности газовъ всегда должно съ великимъ тщаніемъ наблюдать, при какомъ состояніи барометра и термометра произведенъ былъ опытъ, потому что отъ этого существенно зависитъ плотность газовъ, какъ мы увидимъ это послѣ; плотность воздуха относительно воды, равная $\frac{1}{770}$, найдена для такъ называемой средней высоты барометра, равной 30 русскимъ дюймамъ, и для температуры 0°.

§ 95.

Кромѣ гидростатическихъ вѣсовъ придуманы еще другіе приборы, служащіе для опредѣленія удѣльнаго вѣса,

особенно для жидкостей, потому что въ общежитіи эта задача весьма важна; эти приборы называются *Ареометрами.* Они легче подвергаемой опыту жидкости и по этому плаваютъ на ней; по большему или меньшему погруженію ихъ судятъ о плотности жидкостей, въ которыя они погружаются. Есть два рода ареометровъ: *Ареометры съ постояннымъ вѣсомъ и ареометры съ постояннымъ объемомъ.*

Устройство ареометра съ постояннымъ вѣсомъ весьма просто; онъ состоитъ изъ пустаго стекляннаго тѣла, имѣющаго видъ показанный въ фигурѣ 107 и состоящій изъ трехъ главныхъ частей: часть имѣющая дѣленіе AB, тѣло ареометра C и шаръ D, заключающій въ себѣ каплю ртути; отъ этого ареометръ можетъ плавать въ той жидкости, для которой онъ назначенъ, всегда въ отвѣсномъ положеніи, потому что центръ тяжести его лежитъ весьма низко по причинѣ большей плосности ртури. Теперь мы предположимъ, что приборъ въ чистой водѣ, имѣющей температуру $3^0,2$, погружается до черты B; въ такомъ случаѣ мы знаемъ, что вѣсъ вытѣсненной воды до B равенъ вѣсу всего прибора. Потомъ мы кладемъ его въ другую жидкость легчайшую; въ ней онъ погрузится глубже, потому что въ легчайшей жидкости нуженъ объемъ гораздо большій для того, чтобъ онъ вѣсилъ столько, сколько вѣситъ весь приборъ. Положимъ, что онъ погрузится до F. Если мы предварительно нашли посредствомъ гидростатическихъ вѣсовъ, что удѣльный вѣсъ этой новой жидкости равенъ напр. 0,9, то въ точкѣ F мы ставимъ число 0,9 а въ точкѣ B число 1. Составляя себѣ жидкости разнаго удѣльнаго вѣса, напр. посредствомъ смѣси воды и виннаго спирта, и опредѣляя плотности ихъ посредствомъ гидростатическихъ вѣсовъ, можно посредствомъ погруженія въ нихъ ареометра означить различныя точки, соотвѣтствующія извѣстнымъ плотностямъ жидкостей, и такимъ обра-

зомъ получить дѣленія, которыя непосредственно даютъ плотность подвергаемой опыту жидкости. Въ практикѣ обыкновенно дѣленія дѣлаются на бумагѣ и заключаются въ трубку шейки ареометра, а потомъ вверху при А шейка закрывается. Если хотятъ употребить этотъ ареометръ для такой жидкости, которая тяжелѣе воды, то прежде нежели шейка будетъ сверху запаяна, въ нижній шарикъ вливаютъ такое количество ртути, чтобы инструментъ въ чистой водѣ погружался до самаго верхняго конца дѣленія или *шкалы;* на этомъ мѣстѣ проводится черта и означается числомъ 1. Если поставить приборъ въ тяжелѣйшую жидкость, напр. въ какой нибудь растворъ соли опредѣленной плотности 1,2, то онъ погрузится меньше, потому что меньшее количество вытѣсненной жидкости потребно для того, чтобъ оно вѣсило столько, сколько вѣситъ ареометръ; это мѣсто, до котораго погрузился приборъ, опять означаютъ чертою и ставятъ здѣсь число 1,2. Поступая далѣе такимъ же образомъ можемъ приготовить дѣленія, по которымъ тотчасъ узнается удѣльный вѣсъ тѣхъ жидкостей, въ которыя приборъ погружается, какъ и въ ареометрахъ, назначенныхъ для легчайшихъ жидкостей. Можно бы было также употреблять одинъ и тотъ же ареометръ для легчайшихъ и тяжелѣйшихъ жидкостей вмѣстѣ; для этого шейка должна бы быть длиннѣе и приборъ въ чистой водѣ погружаться до половины шейки; верхняя половина шкалы показывала бы тогда относительный вѣсъ легчайшихъ, а нижняя тяжелѣйшихъ жидкостей. Но по причинѣ большой длины шейки въ этомъ случаѣ, оба инструмента обыкновенно приготовляются отдѣльно. Впрочемъ при устройствѣ этихъ приборовъ есть средство, по двумъ опредѣленнымъ изъ опыта точкамъ шкалы находить другія посредствомъ интерполяціи; но мы здѣсь не станемъ заниматься этимъ.

§ 96.

Эти приборы, какъ мы ихъ до сихъ поръ описывали, примѣнены къ опредѣленію удѣльнаго вѣса жидкостей, какого бы свойства онѣ ни были, если только онѣ не разъѣдаютъ стекла; обыкновенно же приготовляются такіе приборы для разныхъ жидкостей особенно, напр. для винаго спирта, солянаго раствора и проч. Извѣстно, что чистый алкоолъ легче воды; слѣд. чѣмъ сильнѣе винной спиртъ, т. е. чѣмъ болѣе смѣсь изъ алкооля и воды заключаетъ въ себѣ алкооля, тѣмъ онъ легче и если посредствомъ опыта опредѣлено, какой относительный вѣсъ принадлежитъ различнымъ, нарочно для этого приготовленнымъ, смѣсямъ, которыхъ составъ извѣстенъ, то изъ относительнаго вѣса спирта можно узнать посредствомъ ареометра и составъ его. Но для этого гораздо удобнѣе означить на шкалѣ ихъ не относительный вѣсъ, но прямо соотвѣтствующее ему содержаніе спирта въ процентахъ, такъ что если бы ареометръ погружался напр. до черты, на которой стоитъ число 75, то это означало бы, что смѣсь въ 100 частяхъ содержитъ 75 частей алкооля и 25 чистой воды. Ареометръ, устроенный такимъ образомъ, называется *алкоометромъ* или *спиртометромъ*. — Здѣсь должно замѣтить то, что мы уже сказали объ ареометрѣ, т. е. что каждый алкоометръ тогда только вѣрно показываетъ своими дѣленіями проценты алкооля, когда смѣсь, въ которой онъ плаваетъ, имѣетъ туже температуру, при которой были сдѣланы дѣленія и которая обыкновенно означена на шкалѣ. Если же температура напр. была выше, то жидкость сдѣлалась бы легче, нежели при нормальной температурѣ и слѣд. алкоометръ погрузился бы глубже и показалъ содержаніе алкооля больше надлежащаго. Итакъ для опредѣленія надлежащаго количества алкооля должно замѣчать температуру виннаго спирта и потомъ изъ види-

маго содержанія алкооля находитъ истинное посредствомъ таблицы, обыкновенно прилагаемой къ алкоометру. Подобнымъ же образомъ приготовляютъ для соляныхъ растворовъ и другихъ жидкостей особенные ареометры, на которыхъ непосредственно можно видѣть проценты солей, содержащихся въ водѣ. Такъ какъ этотъ предметъ очень важенъ въ общежитіи, то многіе имъ занимались и совокупность всѣхъ этихъ изслѣдованій, какъ отдѣльную вѣтвь практической Физики, называютъ Ареометріею, Алкоометріею и проч.

§ 97.

Ареометры съ постояннымъ объемомъ въ точности превосходятъ описанные нами, но они не такъ удобны для практическаго употребленія. Мы знаемъ два рода ихъ, ареометръ Фаренгейта и ареометръ Никольсона, которые впрочемъ мало отличаются одинъ отъ другаго. Фаренгейтовъ ареометръ представленъ на фигурѣ (фиг. 108); онъ обыкновенно дѣлается изъ металла, тѣло A пустое, B массивное; шейка F состоитъ изъ проволоки съ чертою на срединѣ и на верху съ чашечкою DE. Если, посредствомъ тяжести q помѣщаемой на чашескѣ DE, погрузить этотъ приборъ въ дистиллированную воду, имѣющую $3^0,2$ и слѣд. наибольшую плотность, то по устройству своему онъ погрузится до самой черты F. Если предположимъ, что цѣлый вѣсъ инструмента въ воздухѣ, безъ тяжести q, положенной на чашечку, есть Q, то вѣсъ объема воды, вытѣсненной ареометромъ до F, будетъ $Q+q$. Когда опустимъ ареометръ въ другую жидкость, которая положимъ будетъ плотнѣе воды, то мы должны будемъ прибавить на чашку еще нѣсколько тяжестей для того, чтобы опять погрузить его до черты F. Предположимъ, что мы должны прибавить для этого вѣсъ p; тогда

вѣсъ такого же объема второй жидкости будетъ равенъ $Q + q + p$ и слѣд. относительный вѣсъ ея Δ будетъ:

$$\Delta = \frac{Q + q + p}{Q + q}$$

Если бы жидкость была легче воды при наибольшей плотности послѣдней, то нужно положить вмѣсто q меньшую тяжесть, напр. p, и тогда вѣсъ объема жидкости вытѣсненной ареометромъ до F будетъ $Q + p$, слѣд. относительный вѣсъ будетъ:

$$\Delta = \frac{Q + p}{Q + q}$$

Обыкновенно берутъ тяжести Q и q въ такомъ отношеніи, что вмѣстѣ онѣ составляютъ 1000, напр. $Q = 700$ золотникамъ и $q = 300$; тогда вычисленіе бываетъ весьма просто, потому что нужно только дѣлить на 1000. Пусть напр. для морской воды — солянаго раствора, тяжелѣйшаго воды, — вѣсъ p, который кромѣ q нужно положить на чашечку, чтобы погрузить инструментъ до черты F, будетъ равенъ 27 золотникамъ; тогда относительный вѣсъ морской воды будетъ $\frac{1000 + 27}{1000} = 1{,}027$. Это число показываетъ въ самомъ дѣлѣ среднимъ числомъ плотность морской воды въ отношеніи къ чистой.

Ареометръ Никольсона подобенъ Фаренгейтову, и различается (фиг. 109) только тѣмъ, что въ немъ вмѣсто сплошной металлической части внизу находится чашечка B, точно такъ какъ вверху, и поэтому онъ можетъ служить такъ же для опредѣленія удѣльнаго вѣса твердыхъ тѣлъ. Въ самомъ дѣлѣ положимъ, что приборъ опущенъ напр. въ дистиллированную воду, въ которой онъ погрузился до черты F отъ приложенія тяжестм q на чашку. Вмѣсто тяжести q возьмемъ кусокъ K какого нибудь тѣла, котораго удѣльный вѣсъ мы хотимъ опредѣлить и которое вѣситъ меньше, нежели q; положимъ его на ED

и потомъ прибавимъ тяжестей столько, чтобы приборъ погрузился до F; если эти приложенныя тяжести будутъ вѣсить r, то очевидно, что вѣсъ тѣла и r вмѣстѣ равны будутъ вѣсу q, потому что, какъ отъ одной, такъ и отъ другой тяжести приборъ погружается до F; слѣд. мы черезъ это получимъ вѣсъ тѣла K въ воздухѣ $= q - r$. Теперь положимъ тѣло K на нижнюю чашечку B и опустимъ его въ воду вмѣстѣ съ приборомъ; отъ этого вѣсъ его сдѣлается меньше нежели въ воздухѣ и вмѣсто r нужно положить на ED большую тяжесть r', дабы погрузить ареометръ опять до F; слѣд. вѣсъ тѣла K въ водѣ есть $q - r'$ и потому оно потеряло въ водѣ $q - r - (q - r')$ или $r' - r$. Но мы знаемъ, что тѣло при погруженіи въ воду теряетъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ равный объемъ вытѣсненной воды, слѣд. мы знаемъ, что вѣсъ объема воды, совершенно равнаго объему погруженнаго тѣла, относится къ вѣсу тѣла, какъ $r' - r : q - r$; слѣд. удѣльный вѣсъ его будетъ:

$$\Delta = \frac{q - r}{r' - r}$$

Напр. пусть приложенная тяжесть q, какъ и въ Фаренгейтовомъ Ареометрѣ, будетъ 300 золотниковъ. Когда вмѣсто этого вѣса мы положимъ кусокъ желѣза, то представимъ себѣ, что мы должны положить на чашку 120 золотниковъ для того, чтобы погрузить ареометръ до черты F; и такъ $r = 120$. Потомъ положивши желѣзо на нижнюю чашечку, мы найдемъ, что нужно прибавить 143 золотника, для того чтобъ погрузить приборъ опять до F; слѣд. $r' = 143$, и такъ удѣльный вѣсъ желѣза будетъ:

$$\Delta = \frac{300 - 120}{143 - 120} = \frac{180}{23} = 7,8.$$

§ 98.

Въ заключеніе мы покажемъ удѣльный вѣсъ нѣкоторыхъ тѣлъ, часто встрѣчающихся въ общежитіи:

Платина	22,0.	Желѣзо	7,8.	Сѣрная кислота	1,85.
Золото	19,3.	Гранитъ	2,6.	Азотная кислота	1,52.
Ртуть	13,6.	Стекло	2,9.	Деревянное масло	0,92.
Свинецъ	11,4.	Дуб. дерево	0,8.	Алкооль	0,79.
Мѣдь	8,9.	Берез. дер.	0,6.	Сѣрный эфиръ	0,72.
Желтая мѣдь	8,4.	Пробоч. дер.	0,2.		

Удѣльный вѣсъ газообразныхъ тѣлъ въ отношеніи къ атмосферному воздуху:

Кислородъ.....	1,103.
Азотъ.....	0,976.
Водородъ.....	0,069.
Углекислота	1,524.

Если сверхъ того мы знаемъ, что одинъ кубическій футъ воды при наибольшей плотности ея, вѣситъ $69\frac{1}{7}$ фунтовъ или одинъ кубическій дюймъ $= 3\frac{5}{8}$ золотн. и что атмосферный воздухъ составляетъ $\frac{1}{770}$ плотности воды, то мы можемъ вычислить вѣсъ даннаго объема каждаго вышеприведенныхъ тѣлъ, какъ это уже показано въ § 14.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

О ЯВЛЕНІЯХЪ ПРИЛИПАНІЯ.

§ 99.

До сихъ поръ при явленіяхъ равновѣсія жидкостей въ сосудахъ мы принимали въ разсужденіе одну только тяжесть ихъ, т. е. притяженіе къ землѣ. — Но при этомъ дѣйствуютъ еще и другія силы, которыя, хотя въ самомъ дѣлѣ слабѣе тяжести и по этому мало измѣняютъ прежнія

явленія, но при извѣстныхъ обстоятельствахъ превозмогаютъ тяжесть или по крайней мѣрѣ имѣютъ весьма значительное вліяніе на явленія. Если мы погрузимъ въ воду стеклянную палочку AB (фиг. 110) и потомъ опять вынемъ ее, то на концѣ ея останется висящая капля *adc*, не смотря на то, что тяжесть влечетъ ее внизъ. Изъ этого мы должны заключить, что водяныя частицы *a*, *b*, *c*, находящіяся въ соприкосновеніи съ стеклянною палочкою, удерживаются притяженіемъ стекла и что нижайшія частицы капли удерживаются прикасающимися непосредственно къ стеклу; итакъ притяженіе имѣетъ мѣсто при соприкосновеніи жидкихъ тѣлъ съ твердыми, и при соприкосновеніи жидкихъ частицъ другъ съ другомъ; это притяженіе называется *прилипаніемъ*. Въ малой массѣ это прилипаніе преодолѣваетъ тяжесть, которою всѣ частицы капли влекутся внизъ, и въ слѣдствіе того онѣ стремятся принять, какъ показано въ § 83, шарообразную фигуру; шаровидность отъ части измѣняется тяжестію и притяженіемъ стекла. Если вмѣсто стеклянной палочки погрузимъ въ воду палочку намазанную саломъ, то на ней не останется ни одной частицы воды. Также и ртуть на стеклѣ не остается въ видѣ капли, но это будетъ на цинковой палочкѣ. Отсюда мы видимъ, что нѣкоторыя тѣла смачиваются извѣстными жидкостями, а другія нѣтъ и это объясняемъ тѣмъ, что въ первомъ случаѣ притяженіе жидкихъ частицъ къ твердымъ тѣламъ принимаемъ сильнѣе притяженія, существующаго между самыми жидкими частицами и потому эти послѣднія, прикасаясь къ тѣламъ, отрываются отъ остальныхъ жидкихъ частицъ; во второмъ же случаѣ мы должны допустить, что притяженіе между самыми жидкими частицами сильнѣе притяженія, оказываемаго твердыми тѣлами на жидкость, и по этому твердое тѣло вынимаемое изъ жидкости не можетъ отдѣлить отъ оной ни какого слоя непосредственно соприкасающихся съ нимъ частицъ. По этому мы гово-

римъ, что прилипаніе воды къ стеклу сильнѣе притяженія частицъ воды; напротивъ прилипаніе ртути къ стеклу слабѣе взаимнаго притяженія частицъ ртути. Помощію прилипанія объясняются явленія *волосности*, которыя при первомъ взглядѣ кажутся противными законамъ Статики. Мы видѣли, что жидкость находящаяся въ равновѣсіи образуетъ горизонтальную поверхность; но въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ жидкость прикасается къ стѣнкамъ сосуда, этотъ законъ измѣняется. Если напр. вода находится въ стекляннномъ сосудѣ, или вообще нѣкоторая жидкость въ какомъ нибудь сосудѣ, (фиг. 111, I) котораго стѣнки смачиваются ею, то у краевъ A и B она будетъ стоять выше, нежели въ другихъ мѣстахъ. Если же въ стекляннномъ сосудѣ (фиг. 111, II) заключена ртуть или вообще нѣкоторая жидкость въ какомъ нибудь сосудѣ, котораго стѣнки не смачиваются ею, то она у краевъ C и D будетъ стоять ниже, нежели въ срединѣ поверхности.

Если сосудъ будетъ узкой, какъ AB (фиг. 112), то прилипающія къ стѣнкамъ частицы у краевъ сблизятся больше, такъ что наконецъ средняя горизонтальная часть совершенно изчезнетъ и поверхность получитъ какъ бы видъ полушарія, которое для воды бываетъ вогнутымъ, какъ *a* (I), а для ртути выпуклымъ, какъ *b* (II). Если сосудъ будетъ трубка имѣющая въ діаметрѣ менѣе 1 дюйма, то по указанію опыта и теоріи, которой мы здѣсь не можемъ подробно изслѣдовать, вода не только поднимается у краевъ, но даже образуетъ столбикъ въ *a* стоящій выше уровня MN, противно прежде изложеннымъ законамъ Гидростатики; напротивъ ртуть стоитъ въ узкихъ стеклянныхъ трубкахъ ниже остальной части этой жидкости, заключенной въ сосудѣ, какъ видно при *b* (II). Такъ какъ эти явленія яснѣе усматриваются въ тонкихъ трубочкахъ, которыхъ внутренній діаметръ столь малъ, что онъ почти равенъ волосу, то по этому онѣ и называются явленіями

волосности. Высота, до которой вода поднимается, а ртуть опускается, въ такихъ волосныхъ стеклянныхъ трубкахъ, находится въ обратномъ отношеніи съ діаметромъ трубочекъ, такъ что если вода въ стеклянной трубкѣ, имѣющей въ діаметрѣ $\frac{2}{100}$ дюйма, поднимается до высоты 2 дюймовъ, то въ другой, имѣющей въ діаметрѣ $\frac{4}{100}$ дюйма, она достигнетъ до высоты 1 дюйма. Явленія волосности бываютъ различны по различію жидкостей и стѣнокъ трубки.

§ 100.

На явленіяхъ волосности основывается объясненіе другихъ явленій. Если напр. на поверхность воды AB положить съ осторожностію тонкую иголку N, которая на фигурѣ (фиг. 113) представлена въ поперечномъ разрѣзѣ, то при соприкосновеніи вода съ обѣихъ сторонъ иголки понизится, потому что иголка не легко смачивается водою; отъ этого на поверхности образуется углубленіе *abc* и если оно такъ велико, что вѣсъ воды вытѣсненной изъ него будетъ равенъ вѣсу самой иголки, то послѣдуетъ равновѣсіе и иголка будетъ плавать, хотя она падаетъ на самое дно сосуда, когда ее погрузить въ жидкость, потому что она плотнѣе воды. Къ явленіямъ волосности принадлежитъ частію также восхожденіе соковъ въ растѣніяхъ, постепенное просачиваніе воды въ пескѣ, который смаченъ только снизу и проч. Этимъ объясняется также раскалываніе камней, производимое посредствомъ сухихъ деревянныхъ клиновъ, которые вколачиваютъ въ пробуравленное въ камнѣ отверстіе и потомъ обливаютъ водою. Вода протекаетъ въ поры дерева въ слѣдствіе волосности съ такою силою, что клинъ больше и больше расширяется и наконецъ раскалываетъ камень.

Подобно тому, какъ вода поднимается въ промежуткахъ рыхлаго песку, она восходитъ и въ порахъ другихъ жидкостей, если только она больше притягивается ча-

стицами этой жидкости, нежели сколько притягиваются взаимно ея собственныя частицы. Если нальемъ въ сосудъ воды до AB (фиг. 114), а сверху осторожно прибавимъ спирту до CD, то можемъ достигнуть до того, что обѣ жидкости явственно будутъ отдѣлены одна отъ другой въ AB. Если же, приборъ оставимъ въ покоѣ на нѣкоторое время, напр. на сутки, то на верху въ CD найдемъ образовавшуюся смѣсь изъ воды и виннаго спирта, которая одинакова со смѣсью на днѣ FG, такъ что по этому вода, не смотря на большую тяжесть свою, поднялась, а винный спиртъ, не смотря на меньшую тяжесть свою, опустился на дно; это по вышепоказанному нами объясненію зависитъ отъ того, что частицы воды больше притягиваются частицами спирта, нежели другъ другомъ. Безъ этого не послѣдовало бы никакого смѣшенія, какъ мы это видимъ наливая деревянное масло на воду; здѣсь частицы каждой жидкости больше притягиваются другъ другомъ, нежели частицами другой жидкости; по этому онѣ располагаются одна надъ другою смотря по удѣльному вѣсу ихъ, т. е. вода внизу, а масло вверху. Даже если посредствомъ движенія сосуда смѣшать ихъ вмѣстѣ, то онѣ опять тотчасъ отдѣляются другъ отъ друга.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

О ДВИЖЕНІИ КАПЕЛЬНЫХЪ ЖИДКОСТЕЙ.

§ 101.

Если въ какомъ нибудь сосудѣ ABMN (фиг. 115) находится жидкость въ покоѣ и если мы вдругъ откроемъ круглое отверстіе *mn*, сдѣланное въ днѣ сосуда и прежде

закрытое пластинкою, то вода будетъ вытекать изъ этого отверстія не только отъ дѣйствія собственной тяжести, но еще и по причинѣ давленія всѣхъ жидкихъ частицъ, находящихся выше отверстія, при этомъ мы замѣчаемъ, что хотя поверхность MN понижается, но всегда остается горизонтальною и только тогда образуется въ ней воронкообразное углубленіе прямо надъ отверстіемъ, когда она приблизится къ дну сосуда. Это обстоятельство объясняется равномѣрнымъ давленіемъ жидкости во всѣ стороны. Въ самомъ дѣлѣ какъ скоро частицы, непосредственно лежащія при отверстіи, выдутъ изъ сосуда, то къ отверстію будутъ стремится не только частицы *c* и *d*, лежащія выше, но и другія, подверженныя равному или еще немного сильнѣйшему давленію, лежащія въ сторонѣ въ *b* и *a*, и въ *e* и *f*, и находившіяся до сихъ поръ въ покоѣ; мѣсто же ихъ займутъ другія частицы, лежащія еще далѣе въ сторонѣ, такъ что прежде всего будетъ выливаться нижній слой, верхнія же частицы не будутъ вытекать, но очевидно должны понижаться по причинѣ изчезанія нижнихъ частицъ: при этомъ нѣтъ ни какой причины почему находящіяся въ срединѣ должны попижаться скорѣе другихъ. Если бы жидкости не имѣли способности распространять равное давленіе во всѣ стороны, то частицы, находящіяся надъ отверстіемъ, понижались бы скорѣе и отъ того въ срединѣ образовалось бы воронкообразное углубленіе. Это случается именно при истеченіи песку изъ отвѣрстія, сдѣланнаго въ днѣ. — Если такимъ образомъ жидкость движется къ отверстію не только сверху но со всѣхъ сторонъ, то естественно частицы должны частію сталкиваться при истеченіи и удерживаться и въ самомъ дѣлѣ это подтверждается тѣмъ, что *водяная жила* при истеченіи изъ отверстія *mn*, въ небольшемъ разстояніи отъ него, *сжимается*, такъ что въ этомъ мѣстѣ діаметръ жилы не равенъ діаметру отверстія *mn*, но меньше и по опыту извѣстно что діаметръ *op* $= \frac{4}{5}$ *mn*. —

Если же въ отверстіе вставить маленькую цилиндрическую трубку, то, по причинѣ прилипанія воды къ стѣнкамъ трубочки, сжатіе жилы будетъ меньше.

§ 102.

При опредѣленіи законовъ истеченія воды первый важный вопросъ состоитъ въ томъ, съ какою скоростію вода вытекаетъ. Такъ какъ эта скорость зависитъ отъ давленія воды на дно, а самое давленіе зависитъ отъ высоты воды въ сосудѣ, то легко можно видѣть, что вода тѣмъ скорѣе будетъ вытекать, чѣмъ выше она стоитъ надъ отверстіемъ, сдѣланнымъ въ днѣ; теперь спрашивается: въ какомъ отношеніи увеличивается скорость истеченія при увеличеніи высоты? — Если бы хотѣли опредѣлить это посредствомъ опыта, то мы должны бы были найти, сколько воды въ продолженіи одной минуты, при извѣстной высотѣ этой жидкости, вытечетъ изъ отверстія опредѣленной величины; потомъ повторить тотъ же опытъ при другой высотѣ, оставляя тоже отверстіе; если бы мы нашли, что при второмъ опытѣ вытекло воды напр. въ 4 раза больше, то это могло произойти только отъ скорости въ четверо большей; при этомъ мы могли бы видѣть, какъ относятся высоты между собою, когда скорости относятся, какъ 4 : 1. Но здѣсь входитъ одно неблагопріятное обстоятельство, состоящее въ томъ, что скорость истеченія въ продолженіи каждаго опыта измѣняется, когда поверхность воды понижается болѣе и болѣе. Итакъ мы должны устроить опытъ такъ, чтобъ можно было наливать сверху въ сосудъ столько воды, сколько вытекаетъ изъ оной снизу. Такой приборъ дѣйствительно существуетъ, и мы послѣ увидимъ устройство его, а теперь мы только представимъ себѣ, что сосудъ, посредствомъ котораго производятся подобные опыты, снабженъ такимъ устройствомъ. Опыты показали, что когда высота жидкости въ сосудѣ будетъ въ

4 раза больше, то скорость истеченія будетъ въ 2 раза больше, когда высота въ 9 разъ больше, то скорость въ 3 раза и что слѣд. *скорости истеченія относятся какъ корни квадратные изъ высотъ* или, если означимъ скорости черезъ v и v', высоты черезъ h и h', то получимъ:

$$v : v' = \sqrt{h} : \sqrt{h'}.$$

Съ другой стороны теорія показываетъ, что скорость истеченія равна скорости тѣла свободно падающаго съ такой высоты, которая есть высота воды въ сосудѣ; слѣд. по § 66 скорость можетъ быть выражена такъ:

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Мы видимъ, что этотъ выводъ теоріи совершенно согласенъ съ закономъ, найденнымъ посредствомъ опыта, ибо для другой высоты h' мы подобнымъ же образомъ получаемъ скорость истеченія,

$$v' = \sqrt{2gh'}$$

откуда $v : v' = \sqrt{h} : \sqrt{h'}$.

Но когда мы сравнимъ количество дѣйствительно вытекающей воды съ количествомъ воды, которое вычисляется по данному отверстію и по скорости, опредѣляемой по формулѣ $v = \sqrt{2gh}$, то найдемъ между ними несогласіе. Въ самомъ дѣлѣ предположимъ напр., что вода вытекаетъ изъ круглаго отверстія, поверхность котораго равна 1 квадратному дюйму, и что высота воды постоянно равна 4 футамъ; такъ какъ $g = 32{,}2$ футамъ въ секунду, то мы получимъ:

$$v = \sqrt{64{,}4 . 4} = 16$$

т. е. скорость воды равна 16 футамъ въ 1 секунду. Но когда скорость истеченія въ одну секунду равна 16 футамъ, то первыя истекшія частицы въ концѣ первой секунды будутъ находиться отъ отверстія на разстояніи 16 футовъ, слѣд. въ продолженіи этой секунды должно вытекать количество воды по объему равное цилиндру, имѣющему туже высоту (т. е. 16 фут.) и основаніе = 1

квадратному дюйму т. е. вытечетъ $16 \times 12 = 192$ кубическихъ дюймовъ. Когда же произведемъ самый опытъ, то увидимъ, что воды вытечетъ только 120 кубич. дюймовъ т. е. количество равное $\frac{5}{8}$ вычисленнаго. Но не трудно найти причину этого, если мы примемъ въ разсужденіе то, что жила при истеченіи значительно сжимается; поэтому нельзя сказать, что количество вытекшей воды равно цилиндру, котораго высота равна 16 футамъ, а основаніе 1 квадратному дюйму, но напротивъ за основаніе надобно принять поперечный разрѣзъ водяной жилы въ самомъ тонкомъ мѣстѣ. Если на мѣсто простаго отверстія употребимъ прибавочную трубку тогоже діаметра, въ которомъ случаѣ сжатіе жилы, какъ мы видѣли, меньше, то найдемъ, что величину $\sqrt{2hg}$ нужно умножить не на $\frac{5}{8}$, но на число гораздо ближе подходящее къ единицѣ.

§ 103.

Если въ сосудѣ отверстіе сдѣлано не на днѣ, но въ боку, то мы должны принять за высоту давленія линію проведенную отъ средины отверстія до поверхности воды. Если сосудъ MNAB (фиг. 116) снабженъ горизонтальною трубкою, на концѣ загнутою вверхъ и имѣющею тамъ отверстіе *mn*, закрытое какимъ нибудь образомъ, то при открытіи этого отверстія вода будетъ стремиться вверхъ со скоростію равною той, которую имѣло бы тѣло въ концѣ паденія, если бы оно падало съ высоты MG. Но мы знаемъ изъ предъидущаго (§ 69), что тѣло брошенное вверхъ съ этою скоростію, достигаетъ той высоты, съ которой оно должно упасть, чтобъ пріобрѣсть эту скорость; слѣд. вода при истеченіи изъ трубки достигаетъ до К лежащаго въ одной горизонтальной плоскости съ поверхностію MN. Впрочемъ эта высота на самомъ дѣлѣ бываетъ нѣсколько меньше отъ трехъ причинъ; во первыхъ отъ тренія жидкости въ отверстіи, во вторыхъ отъ сопротивленія, противополагаемаго воздухомъ истека-

ющей водѣ, и наконецъ отъ того, что частицы, достигнувшія самой большей вѣсоты, падая на другія частицы еще поднимающіяся, должны уменьшить ихъ скорость. Послѣднему неудобству помогаютъ тѣмъ, что отверстіе дѣлаютъ не совершенно въ горизонтальной плоскости, но нѣсколько наклонно къ горизонту; отъ этого и вода выходитъ немного косвенно и частицы ея не падаютъ одна на другую. На изложенныхъ здѣсь началахъ основана теорія фонтановъ. Легко можно видѣть, что для поднятія воды на какую нибудь высоту можно вмѣсто давленія воды употребить какое нибудь механическое давленіе на поверхность MN резервуара. Если положимъ напр., что это давленіе равно 690 фунтамъ и поперечный разрѣзъ цилиндрическаго сосуда равенъ 1 квадратному футу, то, какъ мы уже знаемъ, въ этомъ сосудѣ столбъ воды высотою въ 1 футъ вѣситъ 69 фунтовъ, и какъ употребляемое нами давленіе въ 10 разъ больше, то слѣд. высота воды должна бы быть 10 футами выше, чтобъ произвести тоже давленіе. Но мы знаемъ изъ предъидущаго, что тогда скорость выбрасыванія такъ велика, что вода поднимается на 10 футовъ, слѣд. до этой же высоты можетъ поднять воду и употребляемое нами давленіе. Если отверстіе *mn* равно 1 квадратному дѣйму или $\frac{1}{144}$ квадратнаго фута, то количество воды, выбрасываемой въ одну секунду, будетъ $\frac{5}{8} \times \frac{1}{144} \times \sqrt{2gh} = \frac{1}{144} \times \frac{5}{8} \sqrt{64 \times 10} = 0{,}11$ куб. фут. Такимъ образомъ дѣйствуютъ напр. пожарныя трубы и легко видѣть, какъ можно вычислить давленіе, требуемое для того, чтобъ необходимое количество воды поднять до требуемой высоты.

§ 104.

На изслѣдованныхъ нами законахъ равновѣсія и движенія жидкостей основывается объясненіе нѣкоторыхъ явленій природы, безъ этого кажущихся загадочными;

напр. явленіе *артезіанскихъ колодцезъ*. Они получили свое названіе отъ французской провинціи Артуа, въ которой находится ихъ очень много. Въ землѣ просверливаютъ вертикальную дыру, посредствомъ желѣзнаго бурава, который входитъ въ землю на нѣсколько сотъ футовъ, на деревянномъ шестѣ, могущемъ сдѣлаться длиннѣе посредствомъ прибавочныхъ шестовъ. Часто доходятъ до такой глубины, что вдругъ начинаетъ бить фонтанъ, который, когда вынутъ буравъ, бьетъ иногда до высоты нѣсколькихъ футовъ надъ поверхностію земли и такимъ образомъ составляетъ постоянный, естественный, бьющій ключь; въ другихъ случаяхъ вода доходитъ только до поверхности земли или даже остановливается ниже ея на нѣсколько футовъ. Для объясненія этого явленія нужно прежде знать, что верхняя кора земли состоитъ не изъ однообразной массы, достигающей безъ измѣненія до самой большой глубины, но ее находятъ составленною изъ многихъ, лежащихъ одинъ надъ другимъ, слоевъ различныхъ породъ перемежающихся между собою,—изъ песку, глины, извести и проч. Направленіе этихъ слоевъ большею частію наклонено къ горизонту и изъ тщательныхъ изслѣдованій, сдѣланныхъ на многихъ точкахъ земли, извѣстно, что они большею частію образуютъ углубленія, похожія на бассейны, и лежащія одно въ другомъ въ параллельныхъ положеніяхъ, какъ это представлено на фигурѣ (фиг. 117) въ разрѣзѣ. AGA′, BFB′, CEC′ и D представляютъ слои, достигающіе до поверхности земной въ точкахъ A, B, C и A′, B′, C′. Если предположимъ, что AGA′ и CEC′ суть слои глинистые, а BFB′, находящійся между ними, есть слой песчаный, то мы знаемъ, что вода не проходитъ черезъ два внѣшніе слои, но легко чрезъ BFB′, лежащій между ними. Итакъ дождевая вода, падающая на землю въ A, B, C и A′, B′, C′ будетъ всасываться въ слой BFB′, точно такъ, какъ она входитъ въ трубку или лучше въ

пространство, находящееся между двумя чашками, вложенными одна въ другую, но не касающимися; давленіе, оказываемое на F, измѣряется высотою FK. Итакъ если, начиная отъ K просверлимъ дыру до слоя BFB′, то, какъ скоро бурацъ пройдетъ черезъ слой CEC′, вода мгновенно съ силою войдетъ въ дыру, и если поверхность D лежитъ ниже K, то она поднимется до K, слѣд. выше поверхности земли; когда же поверхность D лежитъ въ одной плоскости съ K, то вода дойдетъ до K и остановится на этой высотѣ. Однако въ первомъ случаѣ вода будетъ бить не достигая высоты K, потому что скорость восходящей воды уменьшается треніемъ о стѣнки самой дыры. Чтобъ объяснить постоянно продолжающееся восхожденіе воды, нужно принять въ разсужденіе, что діаметръ такого бассейна, какъ BB′, часто содержитъ нѣсколько милей и что слѣдоват. количество вытекающей воды всегда составляетъ малую часть того количества, которое находится въ BFB′, такъ что высота ея уменьшается отъ истеченія весьма мало; между тѣмъ восходящая вода замѣняется дождевою водою и росою. Обыкновенные ключи, часто выбрасывающіе воду съ такою силою, что она увлекаетъ съ собою песокъ со дна, принадлежатъ къ такимъ же явленіямъ, къ которымъ относятся артезіанскіе колодцы, съ тѣмъ только различіемъ, что въ ключахъ отверстіе для истеченія сдѣлано не искуственно посредствомъ бурава, но приготовлено самою природою, ибо поверхость земли и особенно горно-каменныя породы во внутренности имѣютъ многія трещины и пространства пещеровидныя, которыя, находясь въ соединеніи съ земною поверхностью, представляютъ ключу естественный выходъ.

ЧЕТВЕРТОЕ ОТДѢЛЕНІЕ.

ОБЪ УПРУГИХЪ ЖИДКИХЪ ТѢЛАХЪ И ВЪ ОСОБЕННОСТИ ОБЪ АТМОСФЕРНОМЪ ВОЗДУХѢ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

О ТЯЖЕСТИ ВОЗДУХА И О БАРОМЕТРѢ.

Упругія жидкія тѣла или газы имѣютъ съ капельными общее свойство однообразно распространять во всѣ стороны оказываемое на нихъ давленіе, но къ этому присоединяется еще другое свойство, состоящее въ томъ, что частицы ихъ взаимно отталкиваются; по сей причинѣ онѣ должны быть удерживаемы внѣшнимъ давленіемъ и для заключенія ихъ въ сосудѣ нужно, чтобъ онъ былъ закрытъ не только снизу и съ боковъ, но и сверху. Одинъ изъ самыхъ обыкновенныхъ газовъ есть атмосферный воздухъ, который собственно есть смѣсь двухъ газовъ, кислорода и азота, какъ мы уже видѣли это (§ 15); но въ механическомъ отношеніи эти составныя части дѣйствуютъ совершенно какъ одинъ простой газъ. Здѣсь мы особенно займемся законами, которымъ подчинено равновѣсіе атмосфернаго воздуха.

До средины 17-го столѣтія не знали, что атмосферный воздухъ имѣетъ тяжесть. Уже прежде замѣчали, что если погрузить въ воду цилиндрическую трубку AB (фиг. 118), въ которой посредствомъ стержня CD можетъ двигаться сплошной и плотно входящій поршень C, и потомъ поднять поршень до C′, то вода вопреки законамъ статики идетъ за поршнемъ и останавливается въ трубкѣ выше внѣшняго уровня; этимъ свойствомъ воспользовались для устроенія насосовъ. Но такое явленіе объясняли предположеніемъ, что природа *боится пустаго пространства* (horror vacui). Однако подобное объясненіе должны были оставить, когда увидѣли, что если трубка длиннѣе 34 футовъ, то вода останавливается на этой высотѣ. Торичелли, ученикъ знаменитаго Галилея, первый объяснилъ это явленіе, приписывая его давленію атмосфернаго воздуха. Онъ именно говорилъ: MN подвержено давленію тяжести всей массы воздуха до самыхъ предѣловъ атмосферы, вода распространяетъ это давленіе во всѣ стороны, слѣд. и внутрь трубки, снизу вверхъ. Если трубка открыта сверху, то вода будетъ стоять въ ней на той же высотѣ, на какой она стоитъ внѣ, потому что тогда поверхность воды въ трубкѣ будетъ подвержена такому же давленію сверху, какое производится на нее снизу остальною водою. Когда же давленіе воздуха будетъ уничтожено внутри трубки, — а это можно сдѣлать произведя пустоту посредствомъ поднятія поршня, — тогда не будетъ дѣйствія противнаго давленію, производимому вверхъ и слѣд. вода въ трубкѣ поднимается выше внѣшняго уровня. Но какъ съ повышеніемъ поршня поднимающаяся вода своею тяжестію противодѣйствуетъ внѣшнему давленію и какъ эта тяжесть съ поднятіемъ воды увеличивается больше и больше, то должно наконецъ послѣдовать такое мгновеніе, когда поднявшееся количество воды будетъ дѣйствовать на слой воды, лежащій въ одной плоскости со внѣшнимъ уровнемъ,

съ такою силою, съ какою давитъ атмосфера на тотъ же самый слой снизу вверхъ и тогда вода не будетъ подниматься выше; это имѣетъ мѣсто при высотѣ 34 фут. и по этой причинѣ посредствомъ насосовъ нельзя поднять воду выше сего предѣла. Этотъ предѣлъ остается постояннымъ, какъ бы не была широка трубка, по му что давленіе воды, если высота ея остается постоянною, пропорціонально только основанію столба.

§ 106.

Чтобъ доказать справедливость своего объясненія Торичелли заключилъ, что если въ самомъ дѣлѣ давленіе атмосферы удерживаетъ водяной столбъ въ равновѣсіи высотою 34 футовъ, то для жидкости, которая въ 13,6 разъ тяжелѣе воды, какова напр. ртуть, эта высота должна быть въ 13,7 разъ меньше 34 фут. и что слѣд. отъ атмосфернаго давленія ртуть должна подняться только на 30 дюймовъ. Для доказательства сего онъ сдѣлалъ слѣдующій знаменитый опытъ: онъ взялъ стеклянную трубку длиною 30 дюймовъ, запаялъ ее съ одного конца, а черезъ другой открытой конецъ наполнилъ ее ртутью; потомъ закрылъ этотъ конецъ пальцемъ, оборотилъ трубку, погрузилъ ее въ ртуть и отнялъ палецъ; вдругъ ртуть опустилась въ трубкѣ на опредѣленную часть и остановилась на высотѣ C, (фиг, 119), гдѣ она образовала въ слѣдствіе волосности выпуклую шарообразную поверхность. Когда онъ измѣрилъ высоту отъ верхней точки этой выпуклости до поверхности MN ртути, то нашелъ, что она = 30 дюймамъ. Такимъ образомъ онъ неоспоримо доказалъ тяжесть воздуха и давленіе его на поверхность земли. Этотъ приборъ Торичелли называется *барометромъ*.

Итакъ барометръ есть инструментъ, который измѣряетъ давленіе воздуха посредствомъ высоты ртутнаго столба, уравновѣшивающаго это давленіе. Въ самомъ дѣлѣ,

если представимъ себѣ, что поверхность ртути въ сосудѣ MN продолжена черезъ самую трубку, то внѣшняя ртуть и ртуть находящаяся въ трубкѣ до высоты *m* уравновѣшиваются одна другою; напротивъ столбъ ртути *m*C не уравновѣшивается внѣшнимъ столбомъ ртути и слѣд. можетъ быть поддерживаемъ только воздушнымъ давленіемъ, которое производится на MN, распространяется до *m* и потомъ дѣйствуетъ вверхъ; слѣд. это давленіе должно быть равно давленію ртутнаго столба и можетъ быть имъ измѣряемо. Для точнѣйшаго понятія теоріи барометра можно представить себѣ этотъ приборъ, какъ будто состоящимъ изъ двухъ сообщающихся сосудовъ, изъ которыхъ въ одномъ надъ MN находится вертикальный столбъ воздуха MNM′N′ до самыхъ предѣловъ атмосферы, а въ другомъ, въ равновѣсіи съ нимъ, ртутный столбъ *m*C. Мы могли бы даже опредѣлить высоту атмосферы, если бы мы знали, что плотность воздуха вездѣ одинакова, ибо мы знаемъ по § 88, что въ сообщающихся трубкахъ высоты разнородныхъ жидкостей обратно пропорціональны плотностямъ ихъ, слѣдовательно, такъ какъ воздухъ въ 770 разъ легче, а ртуть въ 13,6 тяжелѣе воды, то мы имѣли бы:

$$30 : x = 770 : 13{,}6.$$

откуда

$x = 30 \times 13{,}6 \times 770 = 314160$ дюйм. $= 26180$ ф. $= 7{,}5$ верстъ.

Но плотность воздуха уменьшается съ высотою, какъ это мы увидимъ скоро, и по этому высота атмосферы будетъ гораздо больше; въ самомъ дѣлѣ по теоретическимъ изслѣдованіямъ, которыя мы здѣсь не можемъ изложить, опрѣдили ее почти въ 190 верстъ.

§ 107.

Барометръ есть инструментъ, который весьма часто употребляется, по этому мы должны изслѣдовать его по-

дробнѣе. Въ такомъ видѣ, въ которомъ изобрѣлъ его Торичелли, на него дѣйствуютъ нѣкоторыя обстоятельства, отъ которыхъ высота ртутнаго столба въ трубкѣ надъ поверхностію внѣшней ртути не можетъ служить истинною мѣрою атмосфернаго давленія. Во первыхъ извѣстно, что всѣ жидкости, также и ртуть, находясь въ прикосновеніи съ воздухомъ, поглощаютъ часть его, которая при уменьшеніи давленія атмосферы опять освобождается; по этому ртуть налитая въ трубку содержитъ въ себѣ воздухъ. Напротивъ пространство BC въ баромѣтрѣ должно быть совершенно пусто (по этому оно называется *торичелліевою пустотою*); и такъ ртуть при C не подвержена никакому давленію; отъ этаго воздухъ, содержащійся въ ртути будетъ освобождаться изъ ней и распространяться по пространству BC, и какъ онъ имѣетъ нѣкоторую упругость, то давленіе атмосферы будетъ уравновѣшено не одною ртутью въ барометрѣ, но еще и упругостію содержащагося въ пространствѣ BC воздуха; по этому ртуть должна стоять ниже, нежели тогда, когда бы надъ нею была совершенная пустота и въ слѣдствіе сего барометръ не показываетъ истиннаго давленія атмосферы. Для устраненія этого недостатка, прежде нежели трубка будетъ обращена и погружена въ сосудъ MN, изъ ртути выгоняютъ воздухъ посредствомъ кипяченія ея въ самой трубкѣ, только съ предосторожностію, нагрѣвать трубку мало по малу, иначе она лопнетъ. Послѣ этого пространство CB въ баромѣтрѣ въ самомъ дѣлѣ будетъ пусто.

Вторая причина, уменьшающая высоту барометра. есть волосность дѣйствующая на ртуть въ трубкѣ. Въ самомъ дѣлѣ мы видѣли въ § 99, что ртуть отъ дѣйствія волосности образуетъ выпуклую поверхность и если трубка довольно узка, напр. въ діаметрѣ имѣетъ меньше одного дюйма, то ртуть стоитъ тѣмъ ниже, чѣмъ уже трубка; для трубки напр. $\frac{1}{4}$ дюйма ртуть понижается на 0,043 дюйма.

Посредствомъ опытовъ опредѣлено, какъ велико пониженіе ртути, зависящее отъ волосности, въ трубкахъ имѣющихъ извѣстные діаметры и по этому, зная внутренній діаметръ барометрической трубки, можно опредѣлить, какъ велика погрѣшность, происходящая отъ этого въ барометрѣ, и какую нужно употребить поправку. Физики старались устранить эту погрѣшность другимъ способомъ и для этого изобрѣтенъ *сифонный* барометръ. Въ описанномъ барометрѣ трубка погружается въ чашечку наполненную ртутью (по этому этотъ барометръ называется *барометромъ съ чашечкою*); въ сифонномъ же открытый конецъ трубки загнутъ вверхъ и представляетъ обращенный сифонъ ABD (фиг. 120). При *m* находится поверхность ртути, на которую дѣйствуетъ атмосферное давленіе чрезъ открытую вѣтвь D.

Если продолжимъ горизонтальную плоскосчь *m*, то она пересѣчетъ другую вѣтвь въ *n* и слѣд. столбъ ртути, измѣряющій атмосферное давленіе, будетъ *n*C. Въ C дѣйствуетъ волосность внизъ, также какъ при *m*, и если діаметры обоихъ колѣнъ одинаковы, то оба дѣйствія волосности взаимно уничтожаются. Впрочемъ найдено, что дѣйствіе волосности въ трубкахъ съ равными діаметрами въ пустотѣ въ C отлично отъ дѣйствія на поверхность *m*, находящуюся въ прикосновеніи съ воздухомъ; поэтому и сифонный барометръ не поправляетъ совершенно погрѣшности происходящей отъ волосности.

Приготовивши барометръ съ чашечкою или сифонный, нужно съ точностію измѣрить высоту ртутнаго столба въ трубкѣ надъ внѣшнимъ уровнемъ. Для этого употребляется линейка или шкала, на которой означены дѣленія въ дюймахъ и линіяхъ. Она находится возлѣ трубки барометра и по ней движется ноніусъ, посредствомъ котораго можно видѣть $\frac{1}{10}$ линіи, и даже еще меньшія части. При наблю-

деніяхъ нопіусъ ставится такъ, что 0 его совпадаетъ съ поверхностію ртути въ трубкѣ. Если 0 дѣленія на линейкѣ стоитъ на одной высотѣ съ ртутью въ чашечкѣ, то мы непосредственно получаемъ высоту барометра изъ положенія нопіуса на шкалѣ.

Наблюденія, производимыя надъ барометромъ въ продолженіи нѣсколькихъ часовъ, показываютъ, что высота ртутнаго столба измѣняется; по этому, если ртуть въ трубкѣ понижается, то она необходимо должна возвыситься въ чашечкѣ, или въ короткомъ колѣнѣ сифоннаго барометра, и слѣд. если 0 на шкалѣ прежде совпадалъ съ поверхностію внешней ртути, то въ случаѣ пониженія ртути въ трубкѣ онъ не будетъ совпадать, но ртуть будетъ стоять выше 0 дѣленія. Итакъ для точнаго измѣренія должно передвинуть шкалу такъ, чтобы при каждомъ наблюденіи 0 ея могъ совпадать съ нижнею поверхностію.

Если не требуется большой точности, какъ напр. въ общежитіи при наблюденіяхъ обыкновеннаго барометра въ комнатахъ, то дѣлаютъ чашечку весьма широкую въ сравненіи съ трубкою; если ртуть въ барометрѣ упадетъ, то хотя она и поднимается въ чашечкѣ, но по причинѣ значительной широты ея высота нижней поверхности весьма мало измѣняется. Если напр. поперечный разрѣзъ трубки $= 0{,}1$, а разрѣзъ сосуда $= 4$ квадратнымъ дюймамъ, то въ случаѣ пониженія ртути въ трубкѣ на 1 дюймъ въ чашечкѣ она поднимется на $\frac{0{,}1}{4} = 0{,}025$ дюйма, а такую величину при обыкновенныхъ комнатныхъ наблюденіяхъ можно пренебречь. Для употребленія барометра въ наукѣ линейка непремѣнно должна быть подвижная или вмѣсто того вся ртуть, какъ это имѣетъ мѣсто въ барометрѣ Фортеня (*Fortin*), представленномъ въ разрѣзѣ на фиг. 121; DFGE есть стеклянный сосудъ съ ртутью доходящею до высоты MN, въ который погружается барометрическая

трубка *Am*; DK представляетъ шкалу; на крышкѣ сосуда, которая совершенно его закрываетъ и въ которой сдѣлано отверстіе для того, чтобъ воздухъ свободно входилъ въ сосудъ, находится платиновое остроконечіе *pq*. Внизу подъ чашкою находится винтъ B, посредствомъ котораго можно опустить или повысить замшу составляющую дно сосуда, а съ нею вмѣстѣ и ртуть. При всякомъ наблюденіи сперва поднимаютъ поверхноть MN, такъ чтобъ она касалась остроконечія *pq*. Начиная отъ этой точки считаются дѣленія линейки, такъ что 0 ея находится при остроконечіи *q*.

Много придумано и сдѣлано барометровъ различнаго устройства; но ихъ не трудно будетъ понять всякому при первомъ взглядѣ, кто хорошо помнитъ сказанное нами о барометрахъ выше описанныхъ и потому мы не будемъ больше описывать этихъ инструментовъ.

§ 108.

Если станемъ наблюдать высоту барометра въ продолженіи многихъ дней, то увидимъ, что она постоянно измѣняется. Между тропиками измѣненія высоты барометра совершаются съ большею правильностію; по утру ртуть возвышается до 10 часовъ, остается нѣкоторое время на этой высотѣ, потомъ начинаетъ понижаться до 4 часовъ по полудни, потомъ опять поднимается до 10 часовъ вечера и достигаетъ въ это время въ другой разъ наибольшей высоты, которая впрочемъ меньше утренней; потомъ она опять понижается, достигаетъ второй наименьшей высоты въ 4 часа утра и опять начинаетъ подниматься, такъ что въ 10 часовъ слѣдующаго дня достигаетъ опять наибольшей высоты. Тѣже самыя измѣненія правильно повторяются каждый день, такъ что они совершаютъ періодъ заключающійся въ цѣлыхъ суткахъ; въ продолженіи этого періода барометръ достигаетъ два раза (въ 10 часовъ утра и

по полудни) наибольшей высоты и два раза наименьшей (въ 4 часа утра и по полудни). Такъ какъ опредѣленный который нибудь часъ, напр. 10-й часъ утра, на разныхъ точкахъ земли, имѣющихъ различную долготу, бываетъ въ весьма различныя мгновенія, но всегда при одинаковомъ положеніи солнца относительно къ меридіану, то мы ясно видимъ, что измѣненія барометра зависятъ отъ дѣйствія солнца; въ послѣдствіи мы увидимъ, какимъ образомъ ихъ можно изъяснить.

Подъ большими широтами, именно у насъ, невидно никакихъ слѣдовъ такихъ правильныхъ измѣненій; напротивъ барометръ подвержень другимъ значительнѣйшимъ и совершенно неправильнымъ колебаніямъ, которыя могутъ простираться отъ 3 до 4 дюймовъ. Впрочемъ изъ этого не должно заключать о совершенномъ отсутствіи правильныхъ періодовъ такъ явственно повторяющихся подъ тропиками; можетъ случиться, что сильное неправильное измѣненіе, случившееся вмѣстѣ съ правильнымъ гораздо слабѣйшимъ, измѣняетъ высоту барометра такимъ образомъ, что если бы въ слѣдсвіе правильнаго колебанія онъ и въ самомъ дѣлѣ достигъ наибольшей высоты въ 10 часовъ, то эта высота отъ сильнаго неправильнаго измѣненія, случающагося въ противномъ направленіи правильнаго, такъ сильно уменьшается, что мы наблюдаемъ вмѣсто наибольшей высоты барометра очень малую. Такъ какъ мы не знаемъ причины неправильныхъ измѣненій атмосфернаго давленія, а если бы даже и знали ихъ, то не въ состояніи были бы съ точностію ихъ опредѣлить или даже устранить, посему кажется не возможнымъ найти правильные періоды изъ множества неправильныхъ измѣненій. При всемъ томъ есть одно средство для этого; и какъ это весьма важно для всѣхъ случаевъ, гдѣ нужно отдѣлить какое нибудь явленіе отъ множества другихъ случающихся съ

нимъ въ одно время, то мы кратко покажемъ, въ чемъ состоитъ это средство. Поелику неправильныя измѣненія барометра не имѣютъ такихъ періодовъ, какіе мы опредѣлили для правильныхъ случающихся между тропиками, то также вѣроятно, что въ 10 часовъ высота барометра отъ неправильнаго измѣненія уменьшается, какъ вѣроятно и то, что она увеличивается. По этому если мы будемъ наблюдать высоту барометра въ 10 часовъ въ продолженіи многихъ дней сряду, напр. 1000 дней или еще больше, то мы можемъ съ большою вѣроятностію предположить, что барометръ столько же разъ стояль выше, сколько разъ онъ стоялъ ниже той высоты, до которой бы онъ достигнулъ въ слѣдствіе однихъ правильныхъ измѣненій; и такъ если мы возмемъ сумму всѣхъ наблюденій высоты барометра сдѣланныхъ въ продолженіи 1000 дней, то слишкомъ большія и слишкомъ малыя высоты должны уничтожаться взаимно и мы получимъ число весьма близко подходящее къ тому, которое получили бы черезъ сложніе тысячи нормальныхъ высотъ; раздѣляя эту сумму на 1000 мы получимъ для 10 часовъ высоту барометра весьма близко подходящую къ истинной. Отсюда видно, что посредствомъ средняго ариѳметическаго числа, взятаго изъ многихъ наблюденій, мы устраняемъ вліяніе неправильныхъ измѣненій на истинную высоту, и чѣмъ больше взято наблюденій, тѣмъ вѣрнѣе достигаемъ своей цѣли. По этой то причинѣ долго производимыя, точныя метеорологическія наблюденія, которыя, можетъ быть, многіе считаютъ безполезною вещію, очень важны для науки. Если употребимъ этотъ способъ для опредѣленіи правильныхъ барометрическихъ измѣненій въ странахъ, лежащихъ подъ большею широтою нежели тропики т. е. если будемъ наблюдать такимъ образомъ барометръ каждый часъ, или въ какіе нибудь опредѣленные часы въ продолженіи нѣсколькихъ лѣтъ, сложимъ всѣ наблюденія, сдѣланныя въ

одинъ часъ и сумму раздѣлимъ на число всѣхъ наблюденій, то найдемъ среднюю высоту барометра соотвѣтствующую часамъ наблюденія и тогда увидимъ, что правильныя измѣненія имѣютъ мѣсто и у насъ и въ тѣ же самые часы, въ какіе и подъ тропиками; все отличіе состоитъ только въ томъ, что разность между наибольшею и наименьшею высотами барометра въ 10 и въ 4 часа у насъ гораздо меньше; нежели между тропикати, и эти разности становятся тѣмъ меньше чѣмъ больше будемъ удаляться отъ тропиковъ и наконецъ подъ широтою 70° онѣ незамѣтны. Подъ тропиками эта разность = 0,07, въ Петербургѣ она = 0,01 дюйма. Если сложимъ всѣ высоты барометра, найденныя такимъ образомъ, независимо отъ неправильныхъ измѣненій и сдѣланныя въ продолженіи многихъ часовъ дня, то получимъ такъ называемую *среднюю* высоту барометра, которая у насъ равна 30 дюйм. Что касается до неправильныхъ измѣненій барометра, то они подъ тропиками едва замѣтны, а далѣе къ полюсамъ они становятся болѣе и болѣе. Впрочемъ и въ этихъ измѣненіяхъ открыты нѣкоторые законы, именно связь ихъ съ направленіемъ вѣтровъ; такъ напр. у насъ при сѣверовосточномъ вѣтрѣ барометръ достигаетъ наибольшей высоты, при югозападномъ наименьшей. Мы возвратимся къ этому предмету послѣ.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

ОБЪ УПРУГОСТИ ВОЗДУХА И О ВОЗДУШНОМЪ НАСОСѢ.

§ 109.

Удостовѣрившись посредствомъ барометра въ томъ, что воздухъ есть тяжелое тѣло и узнавши способъ измѣрять съ точностію давленіе его, изслѣдуемъ подробнѣе законы его упругости. Мы видѣли, что упругость воздуха, или вообще всѣхъ газовъ, зависитъ отъ взаимнаго отталкиванія собственныхъ частицъ; еслибы этому отталкиванію не противодѣйствовало внѣшнее давленіе, то частицы газовъ отдѣлялись бы другъ отъ друга болѣе и болѣе; въ атмосферномъ воздухѣ отталкиванію частицъ противодѣйствуетъ притяженіе ихъ къ землѣ, безъ котораго атмосфера совершенно отдѣлилась бы отъ земли. Когда усиливается внѣшнее давленіе на газъ, то частицы его сближаются, и отъ этого увеличивается отталкивающая сила, которая наконецъ дѣлается такъ велика, что она можетъ уравновѣшивать сильнѣйшее давленіе. Итакъ опредѣленный объемъ газа, подверженный давленію, приводится въ меньшее пространство; теперь раждается вопросъ: въ какомъ отношеніи находится это уменьшеніе объема къ дѣйствующему давленію? Маріотъ первый доказалъ, *что уменьшеніе занимаемаго газомъ пространства пропорціонально давленію*, или что тоже: *давленіе обратно пропорціонально объему газа*. Этотъ законъ названъ по имени его Маріотовымъ. Если по этому возмемъ одинъ кубическій футъ воздуха, находящагося подъ тѣмъ давленіемъ, которое

производится на него на земной поверхности и подвергнемъ его двойному давленію, то это количество будетъ занимать только $\frac{1}{2}$ кубическаго фута; еслибы давленіе сдѣлалось въ 10 разъ больше, то только $\frac{1}{10}$ кубичес. фута и т. д. Такъ какъ въ первомъ случаѣ тоже самое количество воздуха заняло $\frac{1}{2}$ прежняго пространства, а во второмъ $\frac{1}{10}$ тогоже гространства, то плотность его въ первомъ случаѣ сдѣлалась вдвое, а во второмъ вдесятеро больше первоначальной плотности. Итакъ въ слѣдствіе Маріотова закона мы можемъ сказать, что плотность газа находится въ прямомъ отношеніи съ давленіемъ

Для доказательства Маріотова закона поступаютъ слѣдующимъ образомъ: пусть ABC будетъ загнутая трубка, какъ показано въ фигурѣ (фиг. 122); короткій конецъ ея C запаянъ, а длинный A открытъ; сперва наливаютъ въ трубку столько ртути, чтобы въ обѣихъ вѣтвяхъ она стояла на одной высотѣ при *m* и *n*; это можетъ быть только тогда, когда давленіе внѣшняго воздуха равно давленію заключеннаго въ части *n*C, слѣд. воздухъ, находящійся въ *n*C находится подъ давленіемъ атмосферы, которое, какъ мы видѣли, можно измѣрить посредствомъ барометра. Положимъ, что въ нашемъ опытѣ это давленіе равно 30 дюймамъ; если въ конецъ A нальемъ еще ртути, то давленіе со стороны *m*A увеличится и слѣд. воздухъ содержащійся въ *n*C будетъ сжатъ; мы прибавляемъ ртути до тѣхъ поръ, пока пространство C*n* будетъ вдвое меньше, нежели прежди т. е. до того, что высота ртути въ короткой вѣтви будетъ стоять при *n'*. Если измѣримъ высоту *m'p*, которая показываетъ на сколько стоитъ ртуть въ длинной вѣтви выше, нежели въ короткой, то найдемъ, что эта разность равна 30 дюймамъ. Но воздухъ заключенный въ *n'*C подверженъ теперь и этому давленію и первоначальному давленію атмосферы; оба эти давленія равны, слѣд. подъ двойнымъ давленіемъ дѣйствительно объемъ воздуха C*n*

сдѣлался вдвое меньше. Чтобы довести воздухъ до одной трети первоначальнаго объема, мы дожны налить ртути еще 30 дюймовъ и т. д. Подобнымъ образомъ можно доказать, что при уменьшеніи атмосфернаго лавленія, воздухъ расширяется пропорціонально этому уменьшенію. Для этого берутъ стеклянную трубку AB (фиг. 123), запаянную съ одного конца и имѣющую во внутреннемъ діаметрѣ отъ 3 до 4 линій; наливаютъ въ нее ртути напр. до $\frac{2}{3}$ всей длины, потомъ открытый конецъ закрываютъ пальцемъ, переворачиваютъ трубку, погружаютъ закрытый пальцемъ конецъ въ ртуть и потомъ отнимаютъ палецъ; воздухъ немедленно поднимется въ верхнюю часть трубки. Потомъ станемъ погружать трубку въ ртуть до дѣхъ поръ, пока она внѣ и внутри трубки будетъ стоять на одной высотѣ MN. Такъ какъ въ этомъ случаѣ ртуть внутри трубки уравновѣшивается внѣшнею, то воздушное давленіе должно быть равно упругости воздуха, заключеннаго въ трубкѣ; слѣд. эту послѣднюю, если высота барометра равна 30 дюймамъ, должно считать также равною 30 дюймамъ. Если поднимемъ трубку, то въ ней пространство занимаемое воздухомъ увеличится, слѣд. воздухъ будетъ разширяться, упругость его уменьшится, и по этому атмосферное давленіе, взявши надъ нею перевесъ, подниметъ ртуть въ трубкѣ. Если поднимемъ трубку до того, чтобъ высота *mn* ртути содержащейся въ ней равна была половинѣ атмосфернаго давленія т. е. 15 дюймамъ, то найдемъ, что теперь пространство *n*A сдѣлалось вдвое болъше первоначальнаго. Но въ этомъ случаѣ упругость очевидно равна давленію атмосферному безъ давленія ртутнаго столба *mn*, слѣд. $= 30 - 15 = 15$; и такъ упругость дѣлается вдвое меньше, когда объемъ становится вдвое больше. Также можно доказать, что оно дѣлается въ $1\frac{1}{2}$ раза больше, когда высота ртутнаго столба *mn* равна 10 дюймамъ, или когда упругость $= 30 - 10 = 20$, слѣд. составляетъ $\frac{2}{3}$ перво-

начальной упругости и т. д. Такимъ образомъ доказано, что законъ Маріота совершенно справедливъ между предѣлами, начиная отъ весьма малаго давленія, до давленія 30 атмосферъ.

§ 110.

Основываясь на этомъ законѣ можно сдѣлать какое нибудь пространство пустымъ посредствомъ такъ называемаго *воздушнаго насоса* или *пневматической машины*. Чтобы понять прежде всего возможность этого и законы, по которымъ измѣняется воздухъ посредствомъ насоса, мы представимъ его въ самомъ простомъ видѣ. Пусть А представляетъ пустой шаръ, изъ котораго надобно вытянуть воздухъ (фиг. 124, I); пусть внизу находится металлическая шейка, которую можно посредствомъ крана Н открывать или плотно закрывать. Шейку навинчиваютъ на пустой металлическій или стеклянный цилиндръ Р, въ которомъ посредствомъ стержня М можно двигать поршень S, и притомъ такъ, чтобы воздухъ не проходилъ между стѣнками цилиндра и поршнемъ. Въ К находится трубка, которую можно закрывать краномъ. Наконецъ для большей простоты предположимъ, что когда поршень вытянутъ сколько возможно больше, вмѣстимость цилиндра Р равна вмѣстимости шара А. Если откроемъ кранъ К и станемъ поднимать поршень до тѣхъ поръ, пока онъ коснется верхняго дна цилиндра, то весь воздухъ выдетъ изъ Р чрезъ К. Если закроемъ К, откроемъ Н и вытянемъ поршень опять до первоначальнаго мѣста его, то въ Р произойдетъ пустое пространство, равное пространству А, слѣд. содержащій въ А воздухъ по причинѣ упругости своей войдетъ въ пространство Р и будетъ наполнять одинаковымъ образомъ какъ А такъ и Р; по этому въ А останется только половина воздуха, и такъ, если первоначальное количество воздуха будетъ

M, то теперь останется $\frac{M}{2}$. Теперь закроемъ H и откроемъ K; такъ какъ внѣшнее давленіе атмосферы сильнѣе упругости содержащагося въ P разрѣженнаго воздуха, то внѣшній воздухъ войдетъ въ P; а если мы поднимаемъ поршень S, то этотъ воздухъ выйдетъ чрезъ K. Закроемъ опять K и опустимъ поршень до нижняго дна; тогда содержащійся въ A воздухъ опять разпространится въ P и въ A останется только половина его; но до открытія крана H въ A оставалось уже только $\frac{1}{2}$ M, посему теперь въ немъ будетъ $\frac{1}{4}$ M. Этотъ воздухъ мы опять выгонимъ чрезъ K, открывая этотъ кранъ. Если опять закроемъ K, откроемъ H и опустимъ внизъ поршень, то въ A останется половина $\frac{1}{4}$ M, слѣд. $\frac{1}{8}$ M. Подобнымъ образомъ, продолжая это дѣйствіе далѣе, послѣ четвертаго опущенія поршня внизъ, получимъ $\frac{1}{16}$ M. и т. д. Слѣд. вообще послѣ *n* опущеній поршня получимъ $\frac{1}{2^n}$ M. Еслибы вмѣстимость P не была равна A по напр. $=$ A′, то воздухъ, занимавшій прежде объемъ A, теперь займетъ объемъ A + A′. Слѣд. въ A остававшееся количество воздуха будетъ равно части $\frac{A}{A+A'}$ первоначальнаго. И такъ послѣ перваго опущенія поршня внизъ оставшееся въ шарѣ количество воздуха будетъ равно $\frac{A}{A+A'}$. M,

послѣ втораго..... $\left(\frac{A}{A+A'}\right)^2$. M

послѣ *n*го ..... $\left(\frac{A}{A+A'}\right)^n$ M.

Мы видимъ, что это послѣднее выраженіе $\left(\frac{A}{A+A'}\right)^n$ никогда не можетъ быть $=0$, какъ бы велико не было *n*; слѣд. и по теоріи мы никогда не можемъ посредствомъ

воздушнаго насоса произвести совершенную пустоту, какова наприм. торичелліева, но можемъ приближаться къ этому предѣлу болѣе и болѣе. Такъ напр. если опять предположимъ, что пространства A и P равны, то получимъ послѣ 10 опущеній поршня, оставшуюся часть воздуха равную

$$\frac{1}{2^{10}} \cdot M = \frac{1}{1024} \cdot M$$

слѣд. менѣе, нежели тысячную часть первоначальнаго количества. Но въ практикѣ мы гораздо медленнѣе приближаемся къ этимъ предѣламъ особенно тогда, когда воздушный насосъ устроенъ такъ, какъ мы описали его. Въ самомъ дѣлѣ въ этомъ насосѣ между верхнимъ дномъ шейки и краномъ есть пространство m, которое при опусканіи поршня находится въ сообщеніи со внѣшнимъ воздухомъ и слѣд. наполняется воздухомъ равной упругости. Когда поршень доходитъ до верхняго дна и кранъ K закрывается, а H открывается, то этотъ воздухъ распространяется въ шарѣ, въ которомъ заключающійся воздухъ имѣетъ меньшую упругость; и такъ если бы и можно было изъ шара A совершенно вытянуть весь воздухъ, то по крайней мѣрѣ вошелъ бы въ A опять тотъ воздухъ, который находился въ m. По этому такое пространство, содержащееся между краномъ и дномъ поршня, называется въ воздушномъ насосѣ *вреднымъ пространствомъ*, и нужно стараться уменьшить его какъ можно больше.

§ 111.

Для того чтобъ удобнѣе можно было вытянуть воздухъ изъ какого нибудь сосуда, устроиваютъ воздушный насосъ другимъ образомъ, нежели какъ мы до сихъ поръ полагали. Во первыхъ, чтобъ не открывать безпрестанно кранovъ, употребляютъ вмѣсто ихъ два клапана (фиг. 124. II) одинъ, находящійся въ нижнемъ днѣ шейки въ n, и откры-

вающійся внизъ, другой въ *m* въ самомъ поршнѣ S, имѣющемъ посрединѣ сквозной каналъ. Когда поршень опускается, то въ P образуется пустое пространство; внѣшній воздухъ стремится проникнуть сюда, отъ этого клапанъ *m* закрывается и преграждаетъ ему путь. Но воздухъ содержащійся въ A, открывая клапанъ *n*, входитъ въ это пространство. Если станемъ поднимать поршень вверхъ, то воздухъ въ P опять стремится въ A, но отъ этого самъ закрываетъ клапанъ *n*, итакъ какъ онъ сжимаясь мало по малу пріобрѣтаетъ большую упругость, то онъ откроетъ наконецъ клапанъ *n* и выдетъ вонъ. Если опять опустимъ поршень, то опять *m* закроется, а *n* откроется; и такъ клапаны замѣняютъ краны, и притомъ безъ помощи того, кто производитъ опытъ.

Для большой удобности при употребленіи дали воздушному насосу еще другой видъ, хотя начала, на которыхъ основывается устройство его, остаются однѣ и тѣже. Фиг. 125 представляетъ обыкновенную машину такого рода. MN есть столъ, къ которому отвѣсно прикрѣплены пустые цилиндры A и A′; въ обоихъ плотно двигаются поршни C и C′, имѣющіе на срединѣ сквозные каналы, закрываемые двумя клапанами *m* и *m′*, которые поднимаются вверхъ. Стержни поршней зубчатые; они съ обѣихъ сторонъ посредствомъ своихъ зубцевъ захватываются колесомъ D, такъ что, отъ движенія рукоятки F въ ту и другую сторону, поднимаются и опускаются поршни въ цилиндрахъ. Нижняя часть цилиндровъ соединяется посредствомъ трубокъ съ плоскою тарелкою K, въ которой трубка G имѣетъ свое отверстіе. Если накроемъ тарелку стекляннымъ колоколомъ, котораго края немного смазаны жирнымъ веществомъ, то посредствомъ трубки KG можно изъ колокола вытянуть воздухъ, при чемъ клапаны *m* и *m′* въ поршняхъ и клапаны *n* и *n′*, закрывающіе нижнія отверстія цилиндровъ, дѣйствуютъ такъ какъ показано было

(фиг 124. II). При такомъ устройствѣ мы имѣемъ ту выгоду, что при всякомъ движеніи рукоятки одинъ изъ поршней вытягиваетъ воздухъ, именно выходящій, между тѣмъ, какъ другой, опускаясь внизъ, выгоняетъ воздухъ содержащійся въ томъ цилиндѣ, въ которомъ онъ движется.

Въ машинахъ такого рода клапаны не такой имѣютъ видъ, который показанъ для большей ясности въ фиг. 124. II, но они состоятъ изъ тяфтяныхъ непроницаемыхъ воздухомъ треугольниковъ, какъ *abc* (фиг. 125. II); ABC представляетъ поверхность поршня, *n* отверстіе, сдѣланное въ немъ; на угловыхъ точкахъ *a*, *b*, *c* треугольники эти укрѣплены, средина же ихъ можетъ не много подниматься надъ отверстіемъ *n* и пропускать воздухъ, когда онъ будетъ давить снизу; когда же онъ давитъ сверху, то клапаны закрываются.

§ 112

При употребленіи воздушнаго насоса особенно важно знать, сколько воздуха остается въ колоколѣ; для этого по большой части употребляютъ или обыкновенный барометръ, или такъ называемый *элатерометръ*. Барометръ, употребляемый для этого, состоитъ изъ стеклянной трубки CF (фиг. 125. I), длина которой болѣе 30 дюйм., соединенной съ трубкою GK, соединяющею колоколъ съ цилиндромъ и погруженной нижнимъ концемъ въ сосудъ MN наполненный ртутью. Когда воздухъ колокола вытягивается, то онъ выходитъ вмѣстѣ и изъ барометрической трубки CF, соединенной съ нимъ; отъ этого давленіе внѣшняго воздуха на MN беретъ перевѣсъ, ртуть поднимается въ трубкѣ FC и если бы посредствомъ воздушнаго насоса весь воздухъ былъ вытянутъ, то очевидно она поднялась бы на такую высоту, на которой она стоитъ въ это мгновеніе въ барометрѣ; но такъ какъ въ колоколѣ всегда остается нѣкоторая часть воздуха, оказывающая давленіе на ртуть, то

высота ртути будетъ меньше высоты, на которой она находится въ барометрѣ съ совершенною торичелліевою пустотою и разность между этими высотами послужитъ мѣрою оставшагося въ колоколѣ воздуха. Если напр. высота барометра = 30 дюйм., высота барометра при насосѣ = 29,8, то упругость оставшагося въ колоколѣ воздуха = 0,2 дюйм.; слѣд. количество оставшагося въ колоколѣ воздуха $= \frac{0,2}{30} = \frac{1}{150}$ первоначальнаго воздуха.

Длина барометрической трубки должна быть по крайней мѣрѣ 30 дюймовъ, по этому барометръ неудобенъ для употребленія при воздушномъ насосѣ и поелику не нужно знать, на сколько уменьшается количество воздуха подъ колоколомъ при каждомъ движеніи поршня, но требуется только опредѣлить сколько остается его подъ конецъ всего дѣйствія, когда уже пространство сдѣлано сколько возможно болѣе пустымъ, то удобнѣе употреблять усѣченный барометръ или элатерометръ. Пусть GK (фиг. 126) будетъ трубка, соединяющая колоколъ воздушнаго насоса съ цилиндрами; въ C привинчивается къ ней стеклянная трубка загнутая въ три колѣна, какъ CDEF; въ F она запаяна, а пространство KEF наполнено ртутью, которая отъ давленія воздуха на K доходитъ до F. При вытягиваніи воздуха это давленіе на K становится меньше и меньше, наконецъ оно дѣлается такъ мало, что не можетъ удерживать ртуть на высотѣ F, равной 2 или 3 дюймамъ. Итакъ ртуть понижается въ F и повышается въ K, и высота ея сдѣлалась бы одинаковою въ обоихъ колѣнахъ, еслибъ можно было совершенно вытянуть весь воздухъ изъ колокола и слѣд. изъ трубокъ GK и CDK; но такъ какъ этого не возможно сдѣлать, то разность высоты ртути въ обоихъ колѣнахъ элатерометра показываетъ упругость и вмѣстѣ уменьшеніе плотности воздуха.

Воздушный насосъ изобрѣтенъ Магдебургскимъ Бургомистромъ Отто фонъ Герике; по этому пустота, производимая посредствомъ воздушнаго насоса, называется герикевою пустотою для отличія отъ торичелліевой пустоты въ барометрѣ, которая одна есть совершенная пустота.

§ 113.

Посредствомъ воздушнаго насоса можно дѣлать много опытовъ, которые всѣ основываются на томъ, что изъ закрытаго сосуда вытягиваютъ воздухъ, котораго упругость прежде уравновѣшивала давленіе съ другой стороны; такимъ образомъ это послѣднее давленіе можетъ дѣйствовать съ значительною силою. Мы приведемъ здѣсь нѣкоторые изъ этихъ опытовъ.

Два металлическія пустыя полушарія ACD и BCD (фиг. 127) плоско шлифованныя на краяхъ C и D, кладутся одно на другое и между этими краями намазывается слой сала; отъ этого воздухъ, содержащійся внутри шара совершенно отдѣленъ отъ внѣшняго. Изъ одного полушарія идетъ трубка F, которую можно плотно закрыть краномъ H; ее ввинчиваютъ въ отверстіе тарелки воздушнаго насоса и вытягиваютъ изъ шара воздухъ сколько возможно болѣе; тогда запирается кранъ H и шаръ отвинчивается. Если возмемся за кольцы полушарій A и B, то мы не будемъ въ состояніи разорвать ихъ, потому что воздухъ, производя давленіе на внѣшнія поверхности, удерживаетъ ихъ съ большою силою, которая теперь не уравновѣшивается извнутри, какъ это было тогда, когда внутренній воздухъ не былъ еще вытянуть. Этотъ опытъ въ первый разъ былъ сдѣланъ Оттономъ Герике въ 1654 году въ Магдебургѣ съ большими полушаріями, которыхъ не могли оторвать другъ отъ друга лошади, привязанныя съ той и другой стороны; по этому эти полушарія назы-

ваются *Магдебургскими.* Совершенно подобное явленіе видимъ, когда вытягиваемъ воздухъ изъ колокола, стоящаго на тарелкѣ воздушнаго насоса; колоколъ такою силою удерживается на тарелкѣ, что мы не въ состояніи оторвать его, пока не впустимъ опять атмосфернаго воздуха и черезъ это не противопоставимъ внѣшнему давленію равное ему, дѣйствующее извнутри.

Плотно завязанный и содержащій не много воздуха пузырь, положенный подъ колоколъ воздушнаго насоса, надувается и даже лопнетъ, когда вытянемъ изъ колокола воздухъ. При вытягиваніи воздуха внѣшнее давленіе на пузырь уменьшается, слѣд. заключенный въ пузырѣ воздухъ расширяется до тѣхъ поръ, пока пузырь не въ состояніи будетъ выдерживать это давленіе. Тоже самое явленіе, только въ обратномъ видѣ, бываетъ въ томъ случаѣ, когда на одинъ конецъ AB сосуда, открытаго съ обоихъ концевъ (фиг. 128), натянемъ пузырь или плотно прикроемъ его тонкимъ стекломъ, а другимъ концемъ CD поставимъ на тарелку насоса и потомъ изъ пространства ABCD вытянемъ воздухъ. Отъ давленія внѣшняго воздуха пузырь мало по малу принимаетъ видъ, показанный на фигурѣ, пока наконецъ онъ лопнетъ; тоже бываетъ и съ стекломъ.

Если на тарелку AB воздушнаго насоса поставимъ колоколъ (фиг. 129), въ верхнее отверстіе котораго вдѣлана деревянная палочка C, оканчивающаяся въ верху чашечкою съ ртутью и потомъ вытянемъ изъ колокола воздухъ, то давленіе внѣшняго воздуха дѣйствующее на C прогоняетъ ртуть черезъ скважины дерева и она падаетъ внизъ въ видѣ мелкаго дождя. Для того, что бы ртуть не вошла въ отверстіе E сообщительной трубки, подъ колоколомъ ставится чашечка DF, но такъ чтобы она не закрывала отверстіе E.

Величину давленія во всѣхъ подобныхъ опытахъ не трудно опредѣлить, ибо оно равно давленію столба ртути, имѣющему тоже основаніе, а высоту = 30 дюймовъ. Мы видѣли (§ 86), что это давленіе на 1 квадратный дюймъ = $16\frac{1}{3}$ фунтовъ.

§ 114.

Посредствомъ обыкновеннаго воздушнаго насоса можно разрѣдить воздухъ весьма значительно; такимъ же образомъ посредствомъ подобнаго прибора можно сгустить его; для этого нужно только, чтобы клапаны открывались въ противную сторону. Представимъ себѣ прежній нашъ цилиндръ P, въ которомъ движется просверленный поршень S (фиг. 124 II); въ n' и m' находятся два клапана, которые открываются не снаружи внутрь, какъ прежде m и n, но изъ внутри наружу; легко видѣть, что тогда воздухъ въ A долженъ сгущаться. Въ самомъ дѣлѣ когда поднимаемъ поршень, то клапанъ m' закрывается, а n' открывается отъ дѣйствія упругости воздуха, содержащагося въ цилиндрѣ; слѣд. воздухъ цилиндра входитъ въ A и сгущаетъ прежде уже находившійся тамъ воздухъ. Если потомъ опускаемъ поршень, то отъ упругости этаго воздуха запирается клапанъ n', напротивъ m' откроется отъ внѣшняго воздуха, которымъ цилиндръ наполнится. При второмъ поднятіи поршня этотъ воздухъ опять, какъ и прежде, войдетъ въ A и такъ далѣе. Такъ какъ въ продолженіе сгущенія давленіе воздуха, заключеннаго въ шарѣ, болѣе и болѣе береть перевѣсъ надъ давленіемъ внѣшняго воздуха, то шаръ долженъ быть довольно крѣпокъ для того, чтобы онъ не лопнулъ. Для небольшаго давленія обыкновенно употребляютъ стеклянный колоколъ, какъ при разрѣженіи, который кладется на тарелку сгустительнаго насоса. Эти колокола дѣлаются изъ стекла въ полдюйма или больше толщиною и придавливаются къ тарелкѣ

крѣпкими винтами, потому что здѣсь давленіе не пригнѣтаетъ колокола къ тарелкѣ, но напротивъ сбрасываетъ его съ оной. Если требуется сгустить воздухъ еще больше, то для этого употребляютъ металлическіе цилиндры съ весьма толстыми стѣнками. Для измѣренія давленія употребляютъ другой родъ элатерометровъ, отличный отъ первыхъ; въ самомъ простомъ видѣ онъ состоитъ изъ стеклянной трубки, съ внутреннимъ отверстіемъ весьма малаго діаметра, и толстыми стѣнками (фиг. 130); на одномъ концѣ B она закрыта, открытымъ же концемъ A сообщается съ воздухомъ того сосуда, въ которомъ хотятъ произвести сгущеніе. Въ открытомъ концѣ трубки находится капля C ртути, часть же CB наполнена воздухохъ. Предположимъ, что капля внутреннимъ концемъ своимъ стоитъ на 100, когда еще воздухъ, содержещійся въ концѣ A не сгущенъ и мы раздѣлимъ трубку начиная отъ этой точки на 100 равныхъ объемомъ, до закрытаго конца B. Когда увеличится давленіе воздуха, находящагося въ сообщеніи съ открытымъ концемъ, то воздухъ въ трубкѣ сжимается, капля ртути подвигается къ закрытому концу, такъ что внутренняя оконечность ея не будетъ стоять на 100, но напр. на 25, слѣд. теперь воздухъ займетъ вмѣсто 100 частей только 25, по этому упругость его по закону Маріота теперь будетъ въ 4 раза больше прежняго; тогда говорятъ, что давленіе равно *четыремъ атмосферамъ*.

Силу крѣпко сжатаго воздуха употребляютъ въ такъ называемыхъ *воздушныхъ ружьяхъ* (фиг. 131). Въ нихъ пуля загоняется въ стволъ AB, который концемъ B сообщается съ пространствомъ C, какъ скоро будетъ открытъ клапанъ *m* посредствомъ курка F. Въ C посредствомъ особеннаго насоса воздухъ сгущается; какъ скоро клапанъ *m* будетъ открытъ, крѣпко сжатый воздухъ ударитъ въ пулю и съ великою силою выгонитъ ее вонъ.

§ 115.

Зная законъ, по которому сжимается воздухъ при увеличеніи давленія, мы можемъ себѣ изъяснить плотность атмосферы на различныхъ высотахъ надъ поверхностію земли. Такъ какъ на нижніе слои воздуха давитъ тяжесть всѣхъ верхнихъ слоевъ, то плотность ихъ должна быть болѣе плотности прочихъ слоевъ и легко видно, что она сначала должна уменьшаться очень скоро, потомъ медленнѣе и медленѣе. Въ самомъ дѣлѣ представимъ себѣ напр. что вертикальный воздушный столбъ AB (фиг. 132) раздѣленъ на 1000 слоевъ равной толщины a, b, c, d и проч.; на первый нижній слой a будутъ давить 999 слоевъ, на второй снизу b 998, на третій c 997; но второй слой b, отъ давленія котораго зависитъ большая плотность нижняго, плотнѣе третьяго слоя c, который увеличиваетъ плотность втораго, слѣд. разность плотностей a и b также будетъ больше разности b и c и т. д. вверхъ. Поелику высоты барометра пропорціональны давленію воздуха на тѣхъ высотахъ, гдѣ находится барометръ, посему и высота барометра будетъ уменьшаться тѣмъ больше, чѣмъ выше станемъ подниматься. Паскаль первый показалъ, что въ самомъ дѣлѣ ртуть въ барометрѣ стоитъ ниже на горахъ, нежели на равнинахъ. Но притомъ изъ выше сказаннаго слѣдуетъ, что высота барометра сперва должна уменьшаться съ увеличиваніемъ высоты скорѣе, нежели при такомъ же увеличеніи высоты на большихъ возвышеніяхъ и въ самомъ дѣлѣ надъ поверхностію моря находятъ, что барометръ понижается на 1 дюймъ, когда поднимаются на 950 футовъ, тогда какъ для втораго пониженія равнаго 1 дюйму должно подняться на 975 футовъ, потомъ на 1000 футовъ и т. д. Изъ этого мы видимъ, что барометръ даетъ простое средство опредѣлять, на какой вѣсотѣ мы находимся надъ поверхностію моря; нужно будетъ только смотрѣть на

сколько онъ понижается, когда мы поднимаемся вверхъ и потомъ изъ извѣстной формулы, которую мы здѣсь не можемъ подробнѣе изслѣдовать, опредѣлить какой высотѣ соотвѣтствуетъ наблюдаемое пониженіе барометра.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

ПРИБОРЫ, ТЕОРІЯ КОТОРЫХЪ ОСНОВЫВАЕТСЯ НА ТЯЖЕСТИ И УПРУГОСТИ ВОЗДУХА,

§ 116.

О насосахъ.

Насосы служатъ для того, что бы поднимать воду на значительную высоту. Различаютъ два рода насосовъ, всасывающій и толкающій.

Всасывающій насосъ основывается на механизмѣ, весьма подобномъ механизму воздушнаго насоса. Къ пустому цилиндру насоса ABCD (фиг 133) внизу присоединяется вертикальная трубка KL, которая погружается въ воду MQ и называется всасывающею трубкою. Въ цилиндрѣ посредствомъ стержня NH, движется вверхъ и внизъ плотно входящій поршень N; въ срединѣ онъ просверленъ и закрытъ сверху клапаномъ *m*, открывающимся вверхъ; подобный клапанъ *n* находится и при K. Если будемъ опускать поршень до самаго дна, то находящійся подъ нимъ воздухъ будетъ сжатъ, клананъ *n* закроется и клапанъ *m* поднимется; если поднимемъ поршень, то клапанъ *m* отъ давленія внѣшняго воздуха закроется; подъ поршнемъ произой-

деть пустота; воздухъ находящійся во всасывающей трубкѣ надъ MQ расширится, откроетъ *n* и войдетъ подъ поршень. Но такъ какъ расширенный такимъ образомъ воздухъ производитъ меньшее давленіе на MQ, нежели извнѣ атмосферный воздухъ, то вода въ всасывающей трубкѣ будетъ подниматься и именно до тѣхъ поръ, пока поднявшійся водяной столбъ и упругость оставшагося подъ поршнемъ воздуха будутъ уравновѣшивать давленіе внѣшняго воздуха, которое должно быть предположено равнымъ 34 футамъ воды; когда опять опустимъ поршень, то открывши клапанъ *m*, воздухъ выдетъ, а также и вода, если она уже поднялась выше CD. При второмъ поднятіи поршня, какъ уже весь воздухъ вышелъ, вода поднимется до нижней поверхности поршня, при опусканіи же она займетъ мѣсто надъ нимъ и потомъ при поднятіи поднимается съ нимъ вмѣстѣ и вытекаетъ черезъ трубку P. Таково устройство обыкновенныхъ колодезныхъ насосовъ.

§ 117.

Устройство *толкающаго насоса* (фиг. 134) основывается на тѣхъ же началахъ, на какихъ и всасывающаго; различіе состоитъ только въ томъ, что вода поднявшаяся въ цилиндрѣ не восходитъ на поршень, потому что онъ не просверленъ, но проходитъ въ боковую загнутую вверхъ трубку KL, которой клапанъ *m* открывается кверху. Дѣйствіе этого клапана такое же, какое имѣетъ клапанъ *m* всасывающаго насоса. Если въ этомъ насосѣ вмѣсто длинной трубки KL, загибающейся кверху, для истеченія воды употребимъ гибкую трубку, имѣющую на концѣ узкое отверстіе, и сильно будемъ давить на поршень, то вода будетъ бить изъ этого отверстія въ видѣ фонтана, которому посредствомъ гибкой трубки можемъ давать какое угодно направленіе. Этимъ пользуются при употребленіи пожарныхъ трубъ. Но такое устройство имѣло бы ту

неудобность, что вода выбрасывалась бы только тогда, когда понижается поршень, при поднятіи же его истеченіе воды прекратилось бы и мы имѣли бы не безпрерывно бьющую водяную жилу, но перемежающуюся, а это для пожарныхъ трубъ не выгодно. Чтобы получитъ безпрерывно бьющую водяную жилу, пожарнымъ трубамъ даютъ слѣдующее устройство (фиг. 135); два толкающіе насоса гонятъ воду въ одну трубу, но такъ что когда одинъ изъ нихъ вбираетъ въ себя воду, другой выталкиваетъ ее изъ себя въ восходящую трубку OP. Стержни обоихъ поршней прикрѣпляются къ одному рычагу FD обращающемуся около C; стержни KA и LB въ точкахъ A и B и въ K и L снабжены колѣнами; S и T суть двѣ всасывающія трубки, которыя внизу сходятся въ одну трубу, касающуюся поверхности воды MN; въ *m* и *n* находятся клапаны восходящей трубки, и легко видно, что они не мѣшаютъ другъ другу въ дѣйствіи, потому что когда одинъ открывается, другой остается закрытымъ. Однако здѣсь будетъ также мгновеніе, когда одинъ поршень перестаетъ подниматься, а другой опускаться и прежде нежели они начнутъ двигаться по противоположнымъ направленіямъ, водяная жила перестанетъ бить. Но и этого неудобства избѣгаютъ приводя восходящую трубку въ сообщеніе съ закрытымъ сосудомъ, который наполненъ воздухомъ (фиг. 136). Чтобы лучше видѣть дѣйствіе такого устройства представимъ себѣ опять простой толкающій насосъ съ тѣмъ только различіемъ, что восходящая труба KL доходитъ до дна закрытаго сосуда PQR, наполненаго воздухомъ. Когда вода отъ движенія поршня войдетъ черезъ клапанъ *m* въ сосудъ, то она доходитъ до MN, сжимаетъ воздухъ въ пространствѣ MNP, а остальная часть воды входитъ въ трубку KL. При каждомъ движеніи поршня, одна часть силы, употребляемой для движенія поршня, служитъ для того чтобъ снова сжимать воздухъ въ MNP, остальная же только часть поднимаетъ воду въ

трубкѣ. Тогда когда поршень поднимается и слѣд. нѣсколько времени не входитъ воды въ сосудъ, клапанъ *m* закрывается, воздухъ сжатый въ MNP расширяется и гонитъ воду въ трубку, такъ что, когда фонтанъ не будетъ произведенъ насосомъ, онъ поддерживается дѣйствіемъ сжатаго въ сосудѣ воздуха. Итакъ сжатый воздухъ служитъ какъ бы запасомъ силы; ибо та часть силы, которая при пониженіи поршня теряется на сжатіе воздуха, дѣйствуетъ опять тогда, когда поршень не производитъ никакого дѣйствія. По этому не должно думать, что здѣсь мы выигрываемъ новую силу, ибо самонедѣятельная матерія не можетъ ее произвести сама по себѣ, какъ мы это уже видѣли, когда говорили о машинахъ, но для требуемой цѣли сила раздѣляется выгоднѣйшимъ образомъ.

§ 118.

Маріотова трубка (фиг. 137) служитъ для произведенія равномѣрнаго истеченія какой нибудь жидкости изъ сосуда, хотя высота вытекающей воды безпрестанно уменьшается. Пусть ABCD будетъ резервуаръ воды, которая можетъ вытекать изъ K. Сверху онъ плотно закрытъ крышкою AB. имѣющею отверстіе, въ которомъ чрезъ кожанное, жиромъ намазанное кольцо двигается цилиндрическая трубка GF, открытая сверху и снизу. Предположимъ, что сосудъ наполненъ водою и снизу открытъ кранъ K. Если представимъ себѣ, что чрезъ нижнее отверстіе F трубки проведена горизонтальная плоскость MN, то вода, находящаяся надъ поверхностію MN, будетъ поддерживаться воздушнымъ давленіемъ на F, распространяющимся во всѣ стороны, а слѣд. и вверхъ посредствомъ воды находящейся подъ MN; слѣд. давленіе воды, находящейся выше MN не будетъ дѣйствовать на нижнюю воду, которая по этому будетъ вытекать со скоростію приличною высотѣ давленія DN. Когда вытечетъ

нѣсколько воды, то въ MN произойдетъ пустое пространство и воздухъ войдетъ въ сосудъ чрезъ трубку FG, поднимется по причинѣ легкости въ видѣ пузырьковъ и соберется при AB, а часть верхней воды понизится подъ MN и поэтому начнетъ производить на истекающую воду давленіе, которое въ слѣдствіе сего постоянно измѣряется высотою DN. Такимъ образомъ вода, находящаяся вверху, всегда служитъ только для того, чтобъ замѣнить находящуюся подъ MN и вытекающую, не производя на нее никакого давленія. Поэтому мы можемъ описанный приборъ съ успѣхомъ употребить для доказательства истеченія воды изъ узкихъ отверстій (§ 102). Напр. мы поднимаемъ трубку FG вверхъ такъ высоко, чтобъ DN было равно 4 дюймамъ, и измѣряемъ количество воды вытекающей въ опредѣленное время напр. въ одну минуту. Потомъ опять поднимаемъ трубку до того, чтобъ DN было равно 16 дюймамъ и опять измѣряемъ количество воды вытекшей чрезъ K въ 1 минуту. Мы найдемъ, что послѣднее количество будетъ вдвое больше прежняго, между тѣмъ какъ во второмъ опытѣ высота давленія была въ 4 раза большіе, такъ что количества истекшей воды и (какъ отверстіе K остается однимъ и тѣмъ же) скорости истеченія относятся какъ квадратные корни изъ высотъ давленія.

§ 119.

На совершенно подобныхъ началахъ основывается устройство многихъ въ общежитіи употребляемыхъ приборовъ, напр. устройство *Аргантовыхъ лампъ*. Пусть D будетъ свѣтильня (фиг. 138. I), выходящая изъ сосуда B, содержащаго масло. Для того чтобъ лампа горѣла хорошо нужно чтобъ масло всегда наполняло сосудъ B до краевъ, ибо если оно будетъ подниматься выше, то оно будетъ вытекать, если же ниже, то свѣтильня не такъ скоро бу-

детъ вбирать въ себя масло, какъ оно истребляется горѣніемъ и лампа будетъ горѣть темно. Для того, чтобъ прибавлять масло по мѣрѣ истребленія его въ лампѣ, часть B соединена съ резервуаромъ AGC, въ который можно наливать масло. Большая широта этого сосуда служитъ для того, чтобъ высота масла при горѣніи не такъ скоро уменьшалась, по причинѣ большаго его количества, и въ самомъ дѣлѣ такъ устроены нѣкоторыя лампы, напр. большая часть столовыхъ лампъ; но отъ не совершеннаго вознагражденія истребляемаго масла эти лампы послѣ непродолжительнаго времени горятъ уже темнѣе нежели въ началѣ. Въ Аргантовыхъ лампахъ масло прибавляется само собою по мѣрѣ надобности посредствомъ слѣдующаго устройства: сосудъ изъ жести RTPQ опрокидывается (какъ въ фигурѣ II); потомъ черезъ отверстіе въ RT совершенно наполняютъ его масломъ, поднимаютъ проволоку FG вверхъ, пока пластинка KL закроетъ отверстіе и потомъ опрокинувши его надъ сосудомъ AGC поспѣшно въ него вкладываютъ. Проволока FG толкнется о дно сосуда, пластинка KL поднимается какъ въ фигурѣ I и масло течетъ изъ сосуда, между тѣмъ какъ воздухъ въ видѣ пузырьковъ входитъ въ сосудъ PQRT, до тѣхъ поръ пока масло не войдетъ въ сосудъ AGC до MN и не закроетъ совершенно отверстія RT; потомъ масло перестаетъ выливаться, потому что внѣшнее давленіе воздуха препятствуетъ этому. Но какъ скоро, отъ сгаранія масла на свѣтильнѣ, плоскость MN понижается ниже RT, то воздухъ входитъ черезъ это отверстіе и соотвѣтственное количество масла вливается до того, что снова отверстіе закроется и т. д. Итакъ во все время горѣнія поверхность масла остается на высотѣ MN.

Теперь спрашивается: если во всѣхъ этихъ приборахъ дѣйствуетъ давленіе воздуха, то почему, когда какой нибудь сосудъ погружается въ воду, переворачивается

и потомъ поднимается выше поверхности MN, какъ показываетъ ABCD (фиг. 139), вода выливается вонъ, тогда какъ давленіе воздуха поднимаетъ ее вверхъ? Отвѣтить на этотъ вопросъ не трудно, ибо воздухъ по причинѣ большей легкости въ сравненіи съ водою поднимается вверхъ и вытѣсняетъ равный объемъ воды. Если воспрепятствовать воздуху подниматься вверхъ, напр. закрывши отверстіе стакана листомъ бумаги, и потомъ переворотить стаканъ, то вода въ самомъ дѣлѣ будетъ держаться; но какъ скоро съ одной стороны не много отдѣлимъ бумагу отъ стакана, такъ что бы воздухъ могъ входить, то тотчасъ вся вода выливается вонъ. Если же напротивъ вода находится въ узкой трубкѣ, закрытой съ одного конца, то можно эту трубку обратить внизъ открытымъ концемъ, и вода, даже ртуть, не будетъ выливаться. Здѣсь волосность препятствуетъ раздѣленію столба воды въ трубкѣ, а слѣд. восхожденію воздуха и посему вода удерживается давленіемъ воздуха.

§ 120.

Сифонъ есть загнутая трубка ABC, какъ показываетъ фигура 140 съ однимъ длиннымъ, другимъ короткимъ колѣномъ. Короткое колѣно BA погружаютъ въ сосудъ съ водою, а другое выходитъ изъ сосуда, Если черезъ C изъ сосуда всосать ртомъ воду, такъ что бы она наполнилась, то она будетъ выливаться изъ сосуда до тѣхъ поръ, пока поверхность воды MN не понизится до A; причину этого легко видѣть. Если представимъ себѣ что поверхность MN продолжена до D и что трубка ABC наполнена водою, то давленіе воздуха на воду въ части FBD съ обѣихъ сторонъ одинаково, именно равно атмосферному давленію, распространяющемуся до F черезъ воду, заключенную въ сосудѣ, съ другой стороны до D черезъ жидкость въ CD. Итакъ вода въ FBD не будетъ итти ни въ сосудъ

ни въ другую сторону. На воду, содержащуюся въ DC въ направленіи отъ D къ C производится воздушное давленіе, распространяющееся черезъ MN и кромѣ того давленіе водянаго столба DC, который измѣряется высотою KC. Но вверхъ отъ C къ D производится тоже воздушное давленіе, которому подвержено MN и еще давленіе воздушнаго столба, высота котораго равна KC. Такъ какъ вода тяжелѣе воздуха, то вода въ DC должна падать. Отъ этого въ D образуется пустое пространство; вода, содержащаяся въ BD займетъ это мѣсто, за нею послѣдуетъ вода въ FB и наконецъ она выйдетъ изъ самаго сосуда, и какъ однѣ и тѣже причины продолжаютъ свое дѣйствіе, то вода будетъ выливаться безпрестанно, пока не понизится до A. Чтобы удобнѣе можно было всасывать воду, къ нижнему концу сифона обыкновенно, придѣлывается восходящая трубка FD (фиг. 141); отверстіе C закрываютъ пальцемъ, и вода всасывается въ D. Сифонъ служитъ для того, что бы переливать жидкость изъ одного сосуда въ другой, не трогая съ мѣста сосуда.

Если же хотятъ такимъ образомъ переливать небольшое количество жидкости, то обыкновенно употребляютъ *ливеръ* представленный въ фигурѣ 142; это есть трубка AB, съ находящимся на срединѣ сосудомъ C; конецъ погруженся въ жидкость, отъ которой хотятъ взять часть, въ A всасываютъ воду въ сосудъ C, т. е. конецъ A плотно берутъ между губами и расширяютъ грудную полость, тогда воздухъ, находящійся во рту и въ ливерѣ, распространяется въ этомъ большемъ въ сравненіи съ ними пространствѣ; заключенный въ ливерѣ воздухъ разрѣжается и отъ внѣшняго атмосфернаго давленія, производимаго на MN, вода поднимается, такъ что мало по малу сосудъ C наполняется. Если потомъ закроемъ пальцемъ отверстіе A, то можно наполненный ливеръ вынять, потому что содержащаяся въ немъ вода поддерживается внѣшнимъ атмосфер-

нымъ давленіемъ по причинѣ малаго діаметра нижней части трубки.

На давленіи воздуха основаны еще нѣкоторые приборы, которые иногда имѣютъ практическую пользу. Сюда принадлежатъ: Героновъ фонтанъ, Героновъ колодезь, перемежающійся колодезь и проч. Теорію этихъ приборовъ не трудно попять изъ предъидущаго и въ каждомъ пространномъ сочиненіи можно найти ихъ описаніе.

Объ Аэростатахъ.

§ 121.

Мы видѣли, что земля, какъ оболочкою, окружена воздухомъ, простирающимся на весьма значительную высоту, и состоящимъ изъ концентрическихъ слоевъ, которыхъ плотность безпрестанно уменьшается. Если какое нибудь тѣло находится въ воздухѣ, то оно подлежитъ отъ дѣйствія тяжести воздуха тѣмъ же законамъ, которые мы нашли для капельныхъ жидкостей, т. е. оно теряетъ столько въ своемъ вѣсѣ, сколько вѣситъ воздухъ вытѣсненный имъ изъ своего мѣста. Поелику воздухъ на поверхности земли въ 770 разъ легче воды и большая часть тѣлъ тяжелѣе воды или по вѣсу близко подходитъ къ ней, то потеря вѣса въ воздухѣ составляетъ весьма не значительное количество и потому можетъ быть пренебрегаема при опытахъ, не требующихъ большой точности; мы уже выше показали (§ 92), какъ нужно сію потерю принимать въ разсужденіе при опредѣленіи удѣльнаго вѣса тѣлъ. Но если бы мы имѣли какую нибудь весьма легкую оболочку, составили изъ нея полое тѣло значительнаго объема и вытянули оттуда воздухъ, то могло бы случиться, что большое количество вытѣсненнаго воздуха вѣсило бы больше, не-

жели вся оболочка, и тогда тѣло должно бы было подниматься вверхъ, какъ дерево въ водѣ. Но поелику при вытягиваніи воздуха изъ какого нибудь полаго тѣла, котораго стѣнки очень тонки, внѣшнее давленіе воздуха сожметъ его, то достигаютъ другимъ образомъ, и еще гораздо легче, желаемой цѣли, дѣлая шаръ изъ легкой непроницаемой воздухомъ матеріи и наполняя его другимъ газомъ, который при одинаковой упругости легче воздуха. Водородъ, какъ мы видѣли, легче воздуха почти въ 14 разъ; посему можетъ случиться, что шаръ и заключенный въ немъ водородный газъ будутъ вѣсить меньше, нежели вытѣсненный воздухъ; тогда шаръ будетъ подниматься вверхъ. Можно даже дать ему такой размѣръ, что онъ будетъ поднимать, кромѣ собственнаго вѣса, еще значительную тяжесть. Такой шаръ называется *Аэростатомъ*.

Легче всего можно доказать это въ частномъ примѣрѣ посредствомъ вычисленія. Положимъ, что мы имѣемъ легкую матерію, непроницаемую воздухомъ (на примѣръ гумиластиковымъ лакомъ покрытую тафту), и что 1 квадратный футъ ея вѣситъ 1 золотникъ; изъ этой матеріи требуется сдѣлать шарообразный Аэростатъ, который бы могъ поддерживаться на воздухѣ. Предположимъ, что искомый радіусъ шара, выраженный въ футахъ, есть x, тогда объемъ шара будетъ $\frac{4}{3}\,x^3\pi$, а поверхность $4x^2\pi$, гдѣ π выражаетъ отношеніе радіуса къ полуокружности, которое какъ извѣстно $=$ 3,14. Если бы шаръ былъ наполненъ водою и если предположимъ для краткости, что вѣсъ кубическаго фута воды равенъ 70 фунт., то вѣсъ всей воды, содержащейся въ шарѣ, былъ бы равенъ $\frac{4}{3}.x^3.\pi.70$ фунтовъ; если бы вмѣсто воды въ шарѣ находился атмосферный воздухъ, то вѣсъ былъ бы равенъ: $\frac{\frac{4}{3}x^3\,.\,\pi\,70}{770}$ или почти $=$ $0{,}4x^3$, наконецъ если бы онъ наполненъ былъ водородомъ, который въ неочищенномъ видѣ можно

принимать легче атмосфернаго воздуха въ 10 разъ, то эту величину должно раздѣлить на 10 и мы получимъ вѣсъ водорода въ шарѣ равный $0{,}04x^3$ фунт.; вѣсъ оболочки будетъ $4x^2\pi = 12,56x^2$ золотниковъ, или почти $0{,}13x^2$ фунтовъ; этотъ вѣсъ вмѣстѣ съ водородомъ долженъ быть равенъ вѣсу вытѣсненнаго воздуха, т. е. $0{,}4x^3$ и такимъ образомъ мы получимъ уравненіе:

$$0{,}4x^3 = 0{,}04x^3 + 0{,}13x^2$$

или $$0{,}36x = 0{,}13$$

и такъ $$x = \frac{0{,}13}{0{,}36} = 0{,}36 \text{ фут.}$$

Слѣд. шаръ имѣющій въ діаметрѣ 0,72 футовъ или $8\frac{2}{3}$ дюймовъ будетъ только что держаться на воздухѣ, а при большемъ діаметрѣ онъ будетъ уже подниматься.

§ 122.

Первый Аэростатъ пущенъ былъ въ Парижѣ братьями Монгольфіерами (Montgolfier) въ 1783; онъ наполненъ былъ не водороднымъ газомъ, но нагрѣтымъ воздухомъ; для этого внизу шара сдѣлано было отверстіе, подъ которымъ висѣла на шнуркахъ легкая коробочка, содержавшая горючій матеріалъ; воздухъ содержащійся въ шарѣ нагрѣвался имъ, расширялся такъ, что часть его выходила вонъ и по этому оставшаяся часть была легче внѣшняго воздуха. Но такимъ образомъ плотность воздуха уменьшается не больше какъ на $\frac{1}{9}$ первоначальной плотности, между тѣмъ какъ плотность самаго нечистаго водорода составляетъ $\frac{1}{8}$ плотности воздуха; изъ этого видно, что шаръ по устройству Монгольфіеровъ, наполненный нагрѣтымъ воздухомъ и названный по имени изобрѣтателей *Монгольфіеромъ*, долженъ имѣть для одинаковой силы восхожденія гораздо

большій объемъ, нежели шаръ наполненный водородомъ и названный по имени изобрѣтателя *Шарліеромъ*.

Первый Аэронавтъ отважившійся подняться на воздухъ на Монгольфіерѣ, сидя въ привязанной къ нему коробкѣ, былъ Пилатръ Дерозіе. Въ 1783 году онъ поднялся только на 100 футовъ, но въ 1784 году уже такъ высоко, что его почти потеряли изъ виду. Одно изъ воздушныхъ путешествій самыхъ высокихъ и принесшихъ дѣйствительную пользу наукѣ, было знаменитое путешествіе славнаго Французскаго Естествоиспытателя Гейлюсака. Въ 1805 году онъ поднялся до высоты 22000 футовъ, какъ это онъ заключилъ изъ высоты взятаго съ собою барометра.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

О ДВИЖЕНІИ УПРУГИХЪ ЖИДКОСТЕЙ.

§ 123.

Теченіе воздуха приведеннаго въ движеніе называютъ вѣтромъ. Причины такого движенія могутъ быть различны, но по большей части оно зависитъ отъ разности температуры въ двухъ мѣстахъ земной поверхности. Въ самомъ дѣлѣ, мы уже видѣли, что воздухъ отъ нагрѣванія расширяется, и слѣд. дѣлается легче. Итакъ пусть ABDE и BCEF (фиг. 143) представляютъ двѣ массы воздуха, находящіяся одна подлѣ другой и пусть первая будетъ теплѣе и слѣд. легче; тогда давленіе ея на AB будетъ

меньше, нежели давленіе на BC со стороны BCEF; посему на нижній предѣлъ ихъ BM давленіе со стороны C будетъ сильнѣе давленія на B со стороны A; слѣд. воздухъ будетъ стремиться по направленію CA, между тѣмъ какъ вверху онъ течетъ отъ D къ F для того, чтобы замѣнить вышедшій внизу воздухъ. Самымъ простымъ образомъ можно это доказать, открывши зимою дверь теплой комнаты; внизу холодный воздухъ будетъ входить въ комнату, между тѣмъ, какъ вверху теплый воздухъ комнаты будетъ выходить изъ оной; по этому рука вверху не будетъ чувствовать холоду, но только внизу, и по этому же свѣча, поставленная въ верхней части двери наклоняется наружу, а напротивъ въ нижней она склоняется въ комнату. Въ статьѣ о теплотѣ мы увидимъ, что земля въ различныхъ мѣстахъ имѣетъ весьма различныя температуры; отъ этого на поверхности земли воздухъ находится всегда въ движеніи. Подробнѣе о вѣтрахъ мы будемъ говорить въ статьѣ о теплотѣ, гдѣ мы разсмотримъ обстоятельнѣе разпредѣленіе теплоты на земной поверхности.

Скорость вѣтра простѣйшимъ образомъ находятъ, заставляя какое нибудь легкое тѣло, напр. пухъ, двигаться вмѣстѣ съ вѣтромъ и опредѣляя, сколько футовъ оно пройдетъ въ опредѣленное время. Если скорость вѣтра равна 12 — 15 футамъ въ секунду, то вѣтеръ называется *умѣреннымъ*, если 32 фут. въ секунду, то *сильнымъ*, когда же скорость равна 120 фут. въ секунду, то вѣтеръ называется *ураганомъ*.

Чѣмъ больше скорость движенія воздуха, тѣмъ онъ сильнѣе дѣйствуетъ, когда встрѣчается на пути какое нибудь твердое тѣло; по этому ударъ вѣтра часто употребляется для движенія машинъ. Напр. въ вѣтреныхъ мельницахъ воздухъ производитъ давленіе на поверхности ABKD (фиг. 144. I) крыльевъ, укрѣпленныхъ косвенно на

оси, около которой они могутъ обращаться. Конецъ оси C обращается прямо противъ вѣтра, который по этому ударяетъ на крылья косвенно. Пусть напр. FG (фиг. 147. II) представляетъ разрѣзъ верхняго крыла, которое можетъ подвигаться по направленію MH; по этому силу PM, производимую вѣтромъ, можно разложить на двѣ, изъ которыхъ QM дѣйствуетъ перпендикулярно къ крылу, другая NM вдоль по поверхности его; послѣдняя не имѣетъ никакого вліянія и остается только QM дѣйствующая перпендикулярно. Но такъ какъ по положенію оси крыло можетъ обращаться только по направленію MH, то MQ нужно разложить опять на двѣ силы Q′M и Q″M, изъ которыхъ Q″M по причинѣ неподвижности оси уничтожается, а Q′M приведетъ крыло въ движеніе по требуемому направленію MH. Подобнымъ образомъ обращаются и остальныя крылья; отъ этого вся система приходитъ въ движеніе около оси C и заставляетъ обращаться другія колеса посредствомъ зубцевъ, находящихся на валѣ оси и дѣйствующихъ на забцы другихъ колесъ.

Движеніе кораблей, производимое вѣтромъ, если онъ дуетъ не стылу, а со стороны, опредѣляется тоже чрезъ разложеніе направленія его, ибо движеніе возможно только по направленію киля, между тѣмъ, какъ перпендикулярно къ нему, оно уничтожается сопротивленіемъ воды противъ плоской стороны киля.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

О СОПРОТИВЛЕНІИ ДВИЖЕНІЯ.

§ 124.

Всякому движенію, происходящему на земной поверхности, противодѣйствуютъ особенно двѣ причины, о которыхъ мы уже часто говорили, именно *треніе* и *сопротивленіе средины*, въ которой тѣло движется.

Въ сопротивленіи оказываемомъ треніемъ можно удостовѣриться слѣдующимъ образомъ: пусть DB (фиг. 145) будетъ шлифованая плоскость, которая на концѣ D можетъ подниматься и опускаться посредствомъ винта KE, такъ что уголъ DBA или α можно по произволу увеличивать, начиная отъ 0^0, и измѣрять раздѣленною на градусы дугою AL. Если положимъ на эту поверхность какое нибудь тѣло M гладкимъ основаніемъ и сдѣлаемъ уголъ $\alpha = 0$, то оно очевидно остается въ покоѣ. Если же поднимемъ D, то тѣло по теоріи тотчасъ должно скользить внизъ, потому что на него дѣйствуетъ параллельно плоскости DB сила MP, получаемая изъ разложенія силы тяжести и относящаяся (какъ показано въ § 67) къ сей послѣдней какъ AD : DB или какъ $h : l$, гдѣ l и h означаютъ длину и высоту плоскости. Но при опытѣ это не имѣетъ мѣста, и можно уголъ α значительно увеличить, прежде нежели тѣло назнетъ скользить. Причина этому есть треніе, которое можно объяснить себѣ тѣмъ, что при соприкосновеніи поверхности тѣла M и наклонной плоскости, какъ бы они ни были хорошо шлифованы и полированы, никогда всѣ точки ихъ не находятся въ одной плоскости, но

однѣ выдаются, а другія углублены; итакъ не можетъ не случиться, чтобъ возвышенности одной поверхности не вошли въ углубленія другой, какъ показано въ фиг. 146 въ большомъ размѣрѣ; слѣд. эти возвышенія должны быть вынуты изъ углубленій, а для этого потребна извѣстная сила, которая и называется *треніемъ*. Треніе можно въ нашемъ опытѣ даже опредѣлить помощію нѣкотораго вѣса; въ самомъ дѣлѣ оно будетъ равно вѣсу тѣла M, который мы означимъ черезъ P, помноженному на $\frac{h}{l}$, т. е. $= P \cdot \frac{h}{l}$. Также можно опредѣлить треніе и въ другихъ случаяхъ, гдѣ напр. вѣсъ тѣла или соприкасающіяся поверхности дѣлаются вдвое и втрое больше. Подобнымъ образомъ опредѣлили слѣдующіе законы для тренія:

1. Треніе бываетъ тѣмъ меньше, чѣмъ лучше полированы трущіяся поверхности.

2. Треніе находится въ прямомъ содержаніи съ вѣсомъ трущаго тѣла.

3. Треніе бываетъ одинаково для малыхъ и большихъ трущихся поверхностей, если только массы тѣлъ остаются одинаковы.

4. Вообще треніе бываетъ меньше для трущихся разнородныхъ тѣлъ, нежели однородныхъ, при одинаковыхъ впрочихъ обстоятельствахъ.

5. Треніе весьма уменьшается, когда между трущимися тѣлами находится какая нибудь жидкость, лучше всего какое нибудь жирное вещество, напр. масло, сало и проч.

Законы тренія имѣютъ большое примѣненіе въ движеніи колесъ на осяхъ. Если AB есть колесо, которое обращается на оси C (фиг. 147) и на окружность его дѣйствуетъ сила P, то при обращеніи его происходитъ треніе на окружности оси C, гдѣ она лежитъ на подставкѣ.

Если ось колеса сдѣлать вдвое больше, то трущаяся поверхность увеличивается, но по третьему закону треніе отъ этого не увеличивается; между тѣмъ есть другое обстоятельство, отъ котораго увеличивается если не самое треніе, то по крайней мѣрѣ вліяніе его. Въ самомъ дѣлѣ можно себѣ представить, что вмѣсто тренія дѣйствуетъ на окружность вала повѣшенная тяжесть p столь большая, что она противодѣйствуетъ силѣ P точно какъ треніе. Если бы ось сдѣлалась вдвое толще, то хотя бы тяжесть, дѣйствующая подобно тренію, оставалась тоже p, однако она тогда бы дыйствовала на радіусъ вала вдвое больший, слѣд. съ моментомъ вдвое большимъ, и слѣд. противодѣйствіе, оказываемое его силѣ P, имѣло бы вдвое большее вліяніе. По этому выгоднѣе дѣлать ось столь тонкою, чтобъ она только могла сопротивляться давленію на нее оказываемому. По предъидущему выгодно также какъ можно лучше полировать ось, дѣлать ось и подставки изъ разнородныхъ тѣлъ (напр. изъ стали и мѣди, изъ стэли и камня и проч.) и потомъ смазывать ихъ масломъ или жиромъ. Для этого-то мажутъ колеса въ телѣгахъ.

Если нужна большая скорость, и слѣд. какъ возможно большее уменьшеніе тренія, какъ мы видѣли это при Атвудовой машинѣ для паденія тѣлъ, то съ выгодою употребляютъ *колеса тренія*. Въ нихъ концы оси C (фиг. 148) главнаго колеса лежатъ, каждый на двухъ колесахъ, изъ которыхъ на фигурѣ представлены только два A и B, для одного конца оси C. Когда вертится C, то A и B тоже вертятся, потому что они сдвигаются отъ тренія въ точкахъ прикосновенія D и E, по этому здѣсь нѣтъ никакого скользящаго тренія, но только то весьма не значительное сопротивленіе, которое претерпѣваетъ колесо, когда оно катится. Въ точкахъ A и B на осяхъ въ самомъ дѣлѣ происходитъ треніе, но его вліяніе на C уменьшается въ

содержаніи радіуса колеса тренія къ радіусу оси этого колеса. Это отношеніе можетъ быть легко приведено къ отношенію какъ 20 : 1; въ этомъ случаѣ треніе будетъ въ 20 разъ меньше, нежели безъ колесъ тренія.

Также и жидкія тѣла, двигающіяся между твердыми стѣнками сосудовъ, производятъ сильное треніе. По этой причинѣ вода и газы текутъ черезъ длинныя проводныя трубки гораздо медленнѣе, нежели какъ можно было ожидать, примимая въ разсужденіе одно давленіе, отъ котораго они приходятъ въ движеніе. Даже нашли, что если проводная труба чрезвычайно длинна въ сравненіи съ давленіемъ, то треніе воды о стѣнки такъ велико, что вода совершенно не вытекаетъ. По этому при снабженіи водою и газоосвѣщеніи весьма нужно обращать вниманіе на треніе въ проводныхъ трубахъ.

§ 125.

Мы уже упоминали о сопротивленіи, оказываемомъ жидкими или газообразными срединами движущемуся тѣлу. Съ какою силою теченіе рѣки давитъ на плоскость противопоставляемую ей, съ такою же и спокойная вода сопротивляется плоскости, движущейся въ ней съ тою самою скоростію; слѣд. сопротивленіе будетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше будетъ поверхность. Кромѣ того обыкновенно принимаютъ, что сопротивленіе увеличивается, какъ квадраты скоростей движущихся тѣлъ. Итакъ если хотятъ, чтобъ тѣло встрѣчало при движеніи въ водѣ наименьшее сопротивленіе, то ему даютъ сколько возможно острую форму; если же оно должно оказывать большое сопротивленіе, то поверхность его по этому направленію по возможности увеличиваютъ. По этому корабли имѣютъ длинные острые носы, а по бокамъ киля весьма плоскую форму; ибо для того, чтобъ корабль

хорошо плавалъ, нужно, чтобъ онъ не только встрѣчалъ какъ можно меньшее сопротивленіе по направленію движенія, но также онъ долженъ представлять какъ можно большее сопротивленіе по направленію перпендикулярному къ его движенію, для того, что бы боковой вѣтеръ не гналъ его въ сторону.

Поелику сопротивленіе жидкостей увеличивается какъ квадраты скоростей, то падающее тѣло, имѣющее большую поверхность, пріобрѣтаетъ малую скорость, которая наконецъ перестаетъ быть ускорительною, именно когда ускореніе, производимое тяжестію, дѣлается совершенно равно сопротивленію производимому этимъ движеніемъ. На этомъ основывается *парашютъ*, посредствомъ котораго воздухоплаватели могутъ невредимо спускаться на землю съ большой высоты. Онъ распускается подобно зонтику, а воздухоплаватель держится за палку его. Во время паденія большая поверхность парашюта претерпѣваетъ столь сильное сопротивленіе воздуха, что движеніе скоро становится однообразнымъ и не очень быстрымъ.

ПЯТОЕ ОТДѢЛЕНІЕ.

О ЗВУКѢ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

О ПРОИЗВЕДЕНІИ И О РАСПРОСТРАНЕНІИ ЗВУКА.

§ 126.

Большая часть движе́ній, которыя мы до сихъ поръ разсматривали, совершаются по одному направленію; только въ маятникѣ мы видѣли движеніе въ ту и другую сторону. Подобное движеніе случается также съ жидкостями капельными и упругими и называется *волнообразнымъ*. Если напр. въ трубкѣ ABC (фиг. 149), открытой съ обоихъ концевъ и наполненной водою, на одной сторонѣ будетъ поднята жидкость M, напр. посредствомъ всасыванія, и потомъ оставлена самой себѣ, то она тотчасъ опустится, напротивъ въ N будетъ подниматься, пока M дойдетъ до самаго нижняго положенія, а N до самаго верхняго; послѣ этого движеніе происходитъ въ обратномъ порядкѣ и т. д. Движеніе при этомъ бываетъ однообразное, какъ въ маятникѣ, и безъ сомнѣнія оно никогда не прекратилось бы, если бы отъ тренія и сопротивленія воздуха высоты

колебаній мало по малу не уменьшались до тѣхъ поръ, пока наконецъ жидкость по законамъ равновѣсія придетъ въ спокойное состояніе. Тоже самое происходило бы, если бы вода находилась не въ двухъ трубкахъ, но въ одномъ сосудѣ ABC (фиг. 150) и если бы одна половина ея MBD поднята была выше другой половины какою нибудь причиною, которая вдругъ перестаетъ на нее дѣйствовать. Вода начнетъ колебаться туда и сюда совершенно по тѣмъ же законамъ, по какимъ и въ трубкѣ. — Если на горизонтальную поверхность воды ABC (фиг 151) мы бросимъ камень, напр. въ средину H, то послѣ того, какъ прекратится дѣйствіе причины понизившей воду, жидкость въ этомъ мѣстѣ начнетъ подниматься отъ давленія близлежащихъ окружающихъ ее частицъ и по причинѣ пріобрѣтенной скорости достигнетъ выше первоначальнаго уровня; въ то же время близлежащія частицы воды будутъ понижаться, и центральная возвышенная точка будетъ окружена кольцеобразнымъ углубленіемъ; когда частицы лежащія въ углубленіи опять поднимутся, то отъ этого произойдетъ понижение въ слѣдующемъ кольцѣ, и такимъ образомъ возвышенія и углубленія распространяются въ видѣ колецъ далѣе, дѣлаются все слабѣе и наконецъ изчезаютъ. Подобное движеніе имѣютъ, только въ гораздо большемъ размѣрѣ, волны океана; когда намъ кажется, что такая волна подходитъ къ берегу, то это есть только видимое явленіе; намъ приближаются не однѣ и тѣже частицы, но только возвышеніе волны приближается къ намъ, между тѣмъ какъ однѣ и тѣже частицы воды, то опускаются, то поднимаются и при этомъ только не много подвигаются впередъ и назадъ. Это можно видѣть, когда какое нибудь тѣло плаваетъ на поверхности воды; оно остается всегда на одномъ мѣстѣ и только не много движется впередъ отъ дѣйствія вѣтра.

§ 127.

Подобное движеніе взадъ и впередъ можно сообщить и упругимъ жидкостямъ, именно воздуху; когда эти движенія довольно быстро слѣдуютъ одно за другимъ и доходятъ до нашего уха, то мы ощ°щаемъ это движеніе какъ *звукъ*. Представимъ себѣ твердое тѣло движущееся туда и сюда, напр. струну, и пусть *ab* (фиг. 152) будетъ частица такой струны, которая слѣд. поперемѣнно переходитъ изъ положенія *ab* въ положеніе a^1b^1 и опять назадъ. Когда она отъ *ab* идетъ къ a^1b^1, то она оттѣсняетъ воздухъ впередъ, сгущаетъ его и это сгущеніе распространяется далѣе до нѣкотораго предѣла, предположимъ до *mn*; теперь a^1b^1 возвращается опять назадъ къ *ab* и оставляетъ за собою пустое пространство, воздухъ стремится занять его, слѣд. расширяется или разрѣжается, и это разрѣженіе въ то время, когда a^1b^1 движется къ *ab*, опять распространится до *mn*, такъ что мы между *ab* и *mn* будемъ имѣть разрѣженный воздухъ. Но между тѣмъ сгущеніе распространилось на равномъ разстояніи до m^1n^1, такъ что пространство между *ab* и m^1n^1, состоитъ изъ сгущеннаго и разрѣженнаго воздуха; это пространство называется *волною*, которая состоитъ изъ *сгущенной* половины и *разрѣженной*. Когда *ab* повторяетъ свои колебанія въ одно и тоже время, и въ опредѣленныхъ границахъ, то отъ этого происходитъ вторая такаяже волна, между тѣмъ какъ первая распространилась впередъ; такимъ образомъ слѣдуютъ другъ за другомъ 3, 4, 5 и проч. волны и мы получимъ *систему* волнъ слѣдующихъ одна за другою. Если напр. AB (фиг. 153) будетъ направленіе распространяющейся волны и мы степень сгущенія въ какой нибудь точкѣ означимъ длиною линіи поставленной перпендикулярно къ ея направленію, разрѣженіе же такими же линіями стоящими съ другой стороны, то линія соединяющая концы всѣхъ этихъ пер-

пендикуляровъ будетъ представлять змѣеобразный видъ, показанный въ фигурѣ. Пространство AC есть длина волны. *Ap* означаетъ сгущенную, *pC* разрѣженную волну; *m* есть мѣсто наибольшаго сгущенія, *m'* мѣсто наибольшаго разрѣженія, между тѣмъ какъ A, *p*, C... суть такія точки, гдѣ воздухъ ни сгущенъ, ни разрѣженъ. Если представимъ себѣ, что змѣеобразная линія съ равномѣрною скоростію подвигается вдоль линіи AE, то мы получимъ изображеніе распространяющихся волнъ и легко можно видѣть, какимъ образомъ наибольшія сжатія мало по малу переходятъ чрезъ всѣ точки. Длина волны зависитъ отъ двухъ обстоятельствъ, во первыхъ отъ времени, въ продолженіи котораго колеблющееся тѣло совершаетъ свои колебанія, и во вторыхъ отъ скорости распространенія этихъ колебаній чрезъ воздухъ. Если колебанія тѣла въ продолженіи какого нибудь времени слѣдуютъ однообразно одно за другимъ, то и волны будутъ совершаться въ томъ же порядкѣ и если при томъ совершается въ одну секунду болѣе 16 колебаній и менѣе 16000, то мы слышимъ *музыкальный тонъ*; если же волны слѣдуютъ одна за другою неправильно, тогда происходитъ только *шумъ*. Мы будемъ въ послѣдствіи преимущественно разсматривать *тоны*, потому что другіе роды звука для насъ менѣе занимательны.

§ 128.

Что звучащее тѣло дѣйствительно находится въ дрожательномъ движеніи, въ томъ можно убѣдиться иногда глазами, какъ напр. въ струнѣ слегка натянутой, или замѣтить осязаніемъ когда положить на нее палецъ, причемъ, какъ извѣстно, звукъ прекращается. Что дѣйствительно *воздухъ* передаетъ уху движеніе струны и чрезъ это дѣлаетъ его для насъ замѣтнымъ, доказывается тѣмъ, что

если поставимъ подъ колоколъ пневматической машины будильникъ (и притомъ на какую нибудь магкую поставку, потому что иначе звукъ можетъ распространяться чрезъ металлическую тарелку), то звукъ будильника становится слабѣе и слабѣе по мѣрѣ того, какъ мы вытягиваемъ воздухъ и наконецъ едва бываетъ слышенъ.

Теперь раждается вопросъ, съ какою скоростію звукъ распространяется въ воздухѣ. Этотъ вопросъ рѣшенъ посредствомъ слѣдующаго опыта: когда стрѣляютъ изъ пушки, то въ одно мгновеніе происходитъ и свѣтъ и звукъ; если же мы будемъ находиться въ нѣкоторомъ разстояніи отъ пушки, то свѣтъ увидимъ прежде, нежели услышимъ звукъ; это можетъ происходить только отъ того, что звукъ распространяется медленнѣе свѣта. Итакъ если стать на точно измѣренномъ разстояніи отъ пушки (и чѣмъ дальше тѣмъ лучше, только такъ, чтобъ можно было видѣть вспышку), то можемъ посредствомъ секундныхъ часовъ съ точностію опредѣлить время, проходящее между появленіемъ свѣта и звукомъ выстрѣла; такъ какъ кромѣ того извѣстно, что свѣтъ движется съ такою чрезвычайною скоростію, что время распространенія его можно принять за 0 для самыхъ большихъ разстояній на поверхности земли, то наблюдаемое время прямо даетъ продолженіе распространенія звука на этомъ разстояніи и слѣд. если сіе послѣднее раздѣлимъ на число протекшихъ секундъ, то мы получимъ пространство, которое проходитъ звукъ въ одну секунду или скорость его. Она равна 1100 футамъ, впрочемъ измѣняется немного съ температурою воздуха такъ что звукъ въ тепломъ воздухѣ распространяется нѣсколько скорѣе, нежели въ холодномъ. Зная эту скорость, можно на оборотъ изъ времени протекшаго между свѣтомъ и звукомъ найти разстояніе пушки, умножая число секундъ на 1100. Такимъ же образомъ

можно удостовѣриться въ разстоянiи грозы, ибо и здѣсь молнiя и громъ происходятъ въ одно мгновенiе, но молнiя предшествуетъ грому тѣмъ больше, чѣмъ больше разстоянiе грозы.

Каждый звукъ и каждый тонъ, сильный или слабый, высокiй или низкiй распространяется съ одинаковою скоростiю; это уже слѣдуетъ изъ того, что какая нибудь мелодiя, состоящая изъ весьма различныхъ тоновъ, высокихъ и низкихъ, сильныхъ и слабыхъ на всякомъ разстоянiи, откуда бы мы ни слушали, слышна совершенно правильною, что очевидно не имѣло бы мѣста, если бы нѣкоторые тоны распространились скорѣе другихъ. Звукъ можетъ распространиться тоже и въ другихъ срединахъ кромѣ воздуха, какъ въ жидкихъ такъ и въ твердыхъ, но тогда скорость распространенiя больше нежели въ воздухѣ; напр. въ водѣ она въ 4 раза больше, въ желѣзѣ въ $10\frac{1}{2}$, въ деревѣ въ 11 до 17, въ стеклѣ въ 17. Что въ водѣ распространяется звукъ видно изъ того, что можно пріучать рыбъ собираться къ берегу по звонку. Распространенiе звука въ твердыхъ тѣлахъ можно доказать, прикладывая ухо къ одному концу длиннаго шеста, а къ другому концу карманные часы; бой часовъ будетъ слышенъ, хотя чрезъ воздухъ мы его не замѣчаемъ. Напряженiе звука уменьшается въ обратномъ отношенiи квадратовъ разстоянiя, такъ что при двойномъ отдаленiи онъ становится въ 4 раза слабѣе, при тройномъ въ 9 разъ.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

О МУЗЫКАЛЬНЫХЪ ЗВУКАХЪ.

§ 129.

Выше замѣчено, что мы начинаемъ слышать первый тонъ тогда, когда число колебаній звучащаго тѣла есть 16 въ одну секунду; но въ музыкѣ этотъ тонъ еще не употребляется; самый низкій тонъ C дѣлаетъ 32 колебанія въ секунду. Легко будетъ вычислить длину волны для этого тона; въ самомъ дѣлѣ, если 32 колебанія совершаются въ одну секунду, то время одного колебанія будетъ $\frac{1}{32}$ секунды; но тогда происходящая отъ этого волна распространяется на $\frac{1100}{32}$ футовъ или $34\frac{1}{2}$ фута; по прежнему нашему объясненію это есть длина волны въ воздухѣ, соотвѣтствующая самому низкому тону C. Самый высокій тонъ употребляемый въ музыкѣ или тотъ, который дѣлаетъ самое большее число колебаній въ секунду, совершаетъ 16000; слѣд. длина его волны есть $\frac{1100}{16000}$ футовъ или 0,8 дюймовъ. Между этими двумя длинами заключаются всѣ прочіе, употребляемые въ музыкѣ, тоны, которые тѣмъ выше, чѣмъ больше дѣлаютъ они колебаній въ одну секунду или чѣмъ менѣе длина волнъ. Напряженіе же звука зависитъ не отъ числа колебаній, но отъ величины сгущенія или разрѣженія воздуха въ волнѣ. Въ изображенныхъ системахъ волнъ (фиг. 153) I и II имѣютъ одинъ и тотъ же тонъ, но различныя напряженія, I и III имѣютъ различные тоны одного и тогоже напряженія, II и III различные тоны и различныя напряженія; I относится къ высшимъ и слабѣйшимъ тонамъ, II къ высшимъ и сильнѣйшимъ, III къ низшимъ и слабѣйшимъ тонамъ

Для изученія отношенія различныхъ тоновъ употребляютъ инструментъ, называемый *монохордомъ*, который состоитъ изъ ящика тонкаго дерева, на которомъ съ одной стороны натягивается струна между двумя укрѣпленными точками (фиг. 154). Полое дерево усиливаетъ тонъ посредствомъ такъ называемаго *резонанса*, о которомъ мы будемъ говорить послѣ. Струна AB крѣпко утверждается въ A, въ C лежитъ на кобылкѣ и въ B прикрѣпляется къ концу равноплечаго ломанаго рычага, обращающагося около K, на другомъ концѣ котораго можно привѣшивать различныя тяжести, и тѣмъ натягивать струну различнымъ образомъ; потомъ посредствомъ винта D она прикрѣпляется въ C. Устроивши все такимъ образомъ поднимаютъ по срединѣ струну, какъ показываетъ AMC; тогда струна дѣлается длиннѣе; слѣд. частицы ея отдаляются другъ отъ друга; если вдругъ пустимъ ее, то она отъ упругости опятъ принимаетъ свою первую длину и первоначальный видъ AB, но отъ пріобрѣтенной скорости она идетъ дальше внизъ, такъ что достигаетъ до положенія AMC; потомъ опять движется назадъ и приходитъ на другую сторону, и такъ далѣе. Колебанія мало по малу становятся меньше и меньше, пока наконецъ струна придетъ въ покой въ своемъ первоначальномъ положеніи. Эти колебанія всѣ совершаются въ одинаковое время и слѣдуютъ одно за другимъ послѣ равныхъ промежутковъ; по этому они произведутъ въ воздухѣ правильную систему волнъ, которыя, когда дойдутъ до нашего уха, произведутъ ощущеніе тона. Въ механикѣ найдены слѣдующіе законы колебанія струнъ:

1. Число колебаній, совершаемыхъ струною въ опредѣленное время, — по нашему предположенію въ одну секунду, — при одинаковыхъ впрочемъ обстоятельствахъ, пропорціонально корню квадратному силы натянутости струны.

2. Число колебаній обратно пропорціонально длинѣ струны при равной натянутости.

3. Оно обратно пропорціонально корню квадратному массы струны при одной и тойже длинѣ ея и при одинаковой натягивающей силѣ.

Въ слѣдствіе втораго закона мы можемъ, дѣлая струну длиннѣе и оставляя ее одинаково натянутою, измѣнить число колебаній въ опредѣленномъ отношеніи; для этого мы передвигаемъ на монохордѣ подвижную кобылку *m* взадъ и впередъ и считаемъ на доскѣ, имѣющей дѣленіе, на сколько она передвинута. Если возмемъ длинную струну, натянемъ ее не много, то колебанія будутъ очень медленны, такъ что мы можемъ видѣть ихъ глазами и слѣд. считать. Предположимъ, что нашли, что струна дѣлаетъ 4 колебанія въ секунду. Мы передвигаемъ кобылку на половину и находимъ, что струна совершаетъ 8 колебаній въ секунду, но мы не услышимъ еще никакого тона. Опять посредствомъ кобылки отдѣляемъ четвертую часть струны; она будетъ совершать 16 колебаній въ секунду, мы слышимъ первые признаки тона; но если еще и эту длину раздѣлимъ на двое, — слѣд. будемъ имѣть $\frac{1}{8}$ первоначальной длины, — то мы услышимъ первый легко различаемый тонъ и мы знаемъ, что тогда струна дѣлаетъ 32 колебанія въ секунду; это есть первый самый низшій тонъ C на фортепіано. Такимъ образомъ нашли, что длина волнъ, принадлежащихъ самому низкому музыкальному тону, равна $34\frac{1}{2}$ фута, какъ мы уже видѣли прежде.

§ 130.

Если опять возмемъ монохордъ, натянемъ струну, станемъ сравнивать даваемый ею тонъ съ тонами фортепіано, и узнаемъ что этотъ тонъ есть C, то поставивши теперь кобылку *m* по срединѣ струны и извлекши тонъ изъ одной ея половины, мы найдемъ что этотъ тонъ выше перваго и

именно составляетъ его *октаву*; мы означаемъ его черезъ *c*. Изъ этого слѣдуетъ, что два тона составляютъ октаву, если число колебаній высшаго вдвое больше числа колебаній низшаго. Если поставимъ кобылку на $\frac{2}{3}$ струны и извлечемъ тонъ изъ части длиннѣйшей, то найдемъ, что этотъ тонъ соотвѣтсвуетъ тону, который означается въ музыкѣ чрезъ G и называется *квинтою* тона C. Если отдѣлимъ $\frac{3}{4}$ струны, то получимъ тонъ, соотвѣтствующій такъ называемой *кварту* первоначальнаго тона, который въ музыкѣ означается черезъ F; $\frac{4}{5}$ струны даютъ тонъ E. Такимъ образомъ можно найти длины струны, которыя соотвѣтсвуютъ различнымъ тонамъ на фортепіано. Поелику число колебаній струны обратно пропорціонально длинѣ струны, то нашли, что когда C совершаетъ 1 колебаніе. G совершаетъ $\frac{3}{2}$; E $\frac{5}{4}$ и такъ далѣе, такъ что тоны въ C, D, E, F, G, A, H, *c*, которые на фортепіано составляютъ бѣлые клавиши одной октавы отъ C, совершаютъ число колебаній

$$1, \frac{9}{8}, \frac{5}{4}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{15}{8}, 2.$$

Между этими тонами употребляются еще 5 другихъ. потому что ухо различаетъ ихъ очень ясно, они соотвѣтствуютъ чернымъ клавишамъ на фортепіано.

Колебанія струны производятъ въ воздухѣ волны, которыхъ длины, какъ мы уже видѣли, пропорціональны временамъ колебанія или обратно пропорціональны числу колебаній въ одну секунду. Итакъ мы имѣемъ для длины волнъ слѣдующія отношенія:

C	D	E	F	G	A	H	*c*
1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{1}{2}$.

Если двѣ струны издаютъ вмѣстѣ тоны C и *c*, то въ воздухѣ между нашимъ ухомъ и струнами находятся двѣ системы волнъ, въ которыхъ двѣ волны тона *c* равны

одной волнѣ тона C. При этомъ простомъ отношеніи двухъ системъ волнъ ухо ощущаетъ совершенное созвучіе, которое, какъ извѣстно, имѣетъ мѣсто между основнымъ тономъ и октавою. Ближайшее лучшее созвучіе имѣетъ мѣсто между основнымъ тономъ и квинтою т. е. между C и G, потому что въ 2 волнахъ тона C находятся ровно 3 волны G. Несовершенное созвучіе имѣетъ мѣсто въ двухъ тонахъ слѣдующихъ непосредственно одинъ за другимъ напр C и D, потому что тогда нужно взять пространство = 8C дабы въ это пространство вошли ровно 9D. Если бы мы соединили 4 тона вмѣстѣ, то самое лучшее созвучіе произведутъ C, E, G, *c;* потому что въ 4 волнахъ C находятся 8 волнъ *c*, 6 волнъ G и 5 E, такъ что C, во время 4 колебаній находится въ созвучіи 4 раза съ *c;* 2 раза съ G и 1 разъ съ E. Знающему музыку извѣстно, что эти 4 тона вмѣстѣ составляютъ самое совершенное созвучіе или *аккордъ*. Итакъ мы видимъ, что пріятное ощущеніе, производимое въ насъ аккордомъ, должно искать въ ощущеніи простыхъ отношеній между тонами; напротивъ непріятное ощуженіе, такъ называемой *диссонансъ*, въ безпокойствѣ, которое ощущается нашимъ ухомъ тогда, когда оно такъ рѣдко чувствуетъ совпаденіе двухъ тоновъ.

§ 131.

Можно привести струну въ движеніе другимъ образомъ. Напр. возьмемъ монохордъ, прикоснемся до средины струны въ C (фиг. 155. I) и приведемъ одну половину посредствомъ смычка въ сотрясеніе, тогда половины CB и CA, каждая порознь начнутъ колебаться въ противоположныя стороны AMC и CNB, между тѣмъ какъ C остается въ покоѣ. По этому C называется *узломъ*. Но тогда издаваемый тонъ есть не тотъ, который происходитъ отъ струны AB, когда она колеблется по всей длинѣ, но оу-

детъ октавою его, потому что длина струны сдѣлается вдвое меньше. Если посредствомъ приложенія пальца на E (II) отдѣлимъ $\frac{1}{3}$ и приведемъ въ сотрясеніе треть EB, то AB начинаетъ колебаться не по всей длинѣ, но раздѣляется на три части, изъ которыхъ каждая по длинѣ равна EB и каждая треть колеблется одинаковымъ образомъ; тогда тонъ будетъ квинтою отъ октавы того, который изчезается струною AB, когда она колеблется по всей длинѣ. Такое раздѣленіе струны на узлы можно доказать, если положимъ въ различныхъ мѣстахъ на AB кусочки бумажекъ, имѣющихъ видъ, показанный въ M (III) и потомъ проведемъ смычкомъ по EB; отъ колебанія струны упадутъ вмѣстѣ всѣ бумажки, исключая той, которая лежитъ въ D, потому что эта точка остается въ покоѣ. Подобнымъ образомъ можно привести струну въ движеніе, раздѣляя ее на 4, 5 и проч. частей, издаваемый тонъ всегда будетъ соотвѣтствовать той части, которая колеблется какъ одно цѣлое.

Какъ струны могутъ раздѣляться посредствомъ узловъ на отдѣльныя части, изъ которыхъ каждая колеблется особенно, подобнымъ образомъ и пластинки, употребляемыя для произведенія тоновъ, раздѣляются на отдѣльныя плоскости, ограниченныя узловыми линіями. Это раздѣленіе можно сдѣлать видимымъ для глаза посредствомъ занимательнаго и поучительнаго опыта; держа стеклянную пластинку горизонтально насыпаютъ на нее сухаго песку и проводятъ въ одномъ мѣстѣ на краю ея смычекъ; когда пластинка издаетъ тонъ, то песчинки соскакиваютъ съ колеблющихся частицъ и собираются на узловыхъ линіяхъ, которыхъ направленіе такимъ образомъ дѣлается видимымъ для глаза. Правильныя фигуры, образующіяся отъ этого, извѣстны подъ именемъ *Хладніевыхъ фигуръ*, по имени открывшаго оныя извѣстнаго физика по этой части, Хладни. Если

одну и туже пластинку будемъ держать за различныя точки и проводить по ней смычекъ въ различныхъ мѣстахъ, то она образуетъ различныя фигуры, и каждое отличіе фигуры соотвѣтствуетъ также разному тону. Если напр. возьмемъ стеклянную квадратную пластинку AB (фиг. 156) укрѣпимъ по срединѣ въ C между тисками DFG, крѣпко привинченными къ столу и проведемъ по ней въ C смычкомъ, то песокъ образуетъ на ней видъ звѣзды ABKDL (фиг. 157. I) и показываетъ, что узловыя линіи находятся по направленію DB и KL, между тѣмъ какъ части M, O, N, P, колеблются. Если укрѣпимъ пластинку въ A (II) и проведемъ смычкомъ въ C, то образуются узловыя линіи DAKLM. Если круглую пластинку (III) укрѣпимъ на срединѣ A и проведемъ смычкомъ въ C, то образуется шесть узловыхъ линій. Во всѣхъ этихъ фигурахъ точка, за которую держится пластинка, находится на узловой линіи; напротивъ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ проводится смычекъ, имѣютъ мѣсто самыя сильныя сотрясенія,

§ 152.

Средства, служащія къ возбужденію звучныхъ сотрясеній въ воздухѣ, весьма многоразличны; на этомъ основывается различіе музыкальныхъ инструментовъ. *Инструменты со струнами* издаютъ тоны посредствомъ колебанія натянутыхъ струнъ. Въ нихъ или каждая струна издаетъ особенный тонъ, зависящій то отъ длины, то отъ натягиванія, то отъ того бываютъ ли или струны Римскіе или изъ стали или изъ мѣди, какъ въ фортепіано, арфѣ и проч., — или въ нихъ находится немного струнъ, которыя отъ приложенія пальца могутъ быть сдѣланы короче, или длиннѣе, — сюда принадлежатъ скрыпка, гитара, контрабасъ и проч. Во всѣхъ этихъ инструментахъ тонъ значительно усиливается *декою*, т. е. тонкою доскою, ко-

торая находится въ близости струнъ и которая при сотрясеніи струнъ колеблется въ нѣкоторыхъ частяхъ подобнымъ образомъ. Лучшія деки состоятъ изъ деревянной доски, въ которой находятся правильныя параллельныя жилки, какъ напр. въ соснѣ. Отъ нарочно даннаго неправильнаго вида декѣ, будутъ нѣкоторыя изъ жилокъ длиннѣе, другія короче; по этому въ ней для каждаго тона будетъ находиться жилка, которой колебанія будутъ имѣть такую же скорость, и которая, когда ей сообщатся черезъ воздухъ колебанія струны, дѣйствительно начинаетъ колебаться и черезъ это усиливаетъ тонъ.

Духовые инструменты производятъ тоны черезъ сотрясенія воздушнаго столба, находящагося въ трубахъ разнаго вида. Эти колебанія производятся въ нихъ тоже двоякимъ образомъ; или такъ что воздухъ вдувается мимо отверстія, черезъ которое воздухъ приводимый въ колебаніе сообщается со внѣшнимъ, — это имѣетъ мѣсто напр. въ флейтѣ; или такъ, что воздухъ вгоняется во внутренность инструмента черезъ узкое отверстіе, лежащее между пластинкою и между тоненькимъ листомъ, который называется язычкомъ; язычекъ приходитъ въ дрожательное движеніе, которое и сообщается воздушному столбу; — такимъ образомъ устроены кларнетъ, гобой, органъ и проч. Какимъ бы образомъ ни производились колебанія, всегда тонъ, происходящій отъ того въ инструментѣ, зависитъ отъ длины воздушнаго столба, напр. въ органныхъ трубкахъ. Воздушный столбъ сотрясается или такъ, что въ немъ происходитъ только одна волна, занимающая весь столбъ или нѣсколько волнъ отдѣляются одна отъ другой узловыми плоскостями; тонъ всегда соотвѣтствуетъ длинѣ отдѣльныхъ волнъ, на которыя раздѣляются сотрясаемыя частицы воздуха. Если напр. трубка въ органѣ AB (фиг. 158. I) открыта съ обоихъ концевъ, то въ звучной волнѣ или

образуется по срединѣ C одна узловая плоскость, или двѣ въ D и D′; въ послѣднемъ случаѣ тонъ будетъ вдвое выше, т. е. будетъ октавою перваго. Отъ силы, съ которою мы дуемъ, зависитъ происхожденіе той или другой волны. Если труба закрыта съ конца B (II), а на другомъ A производится тонъ, то основный тонъ имѣетъ на днѣ B трубки узловую плоскость, и волна какъ будто изгибается назадъ. Итакъ если открытая трубка имѣетъ $54\frac{1}{2}$ фута длины, то волна, занимающая свю длину трубки произведетъ самый низкій тонъ C; напротивъ закрытая съ одного конца трубка должна имѣть въ длину только $17\frac{1}{1}$ футовъ для того, чтобы произвесть тотъ же тонъ. Для того, чтобы сдѣлать воздушный столбъ длиннѣе или короче, служатъ въ многихъ инструментахъ,—напр. въ флейтѣ, кларнетѣ,—отверстія, которыя то открываются, то закрываются пальцами.

Къ инструментамъ, которые издаютъ тонъ отъ сотрясенія плоскостей, относятся или такіе, въ которыхъ сотрясаются тонкія плитки — напр. гармоника, — или такіе, гдѣ тонъ происходитъ отъ сотрясеній упругихъ пружинъ, — какъ напр. въ курантахъ, — или такіе, въ которыхъ колеблются перепонки, напр. барабанъ, бубны, литавра и проч.

Во всѣхъ инструментахъ троякаго рода высота тона зависитъ отъ размѣровъ, которые даютъ звучащему тѣлу, такъ что можно одинъ тонъ опредѣленной высоты произвести либо посредствомъ римскихъ струнъ, либо посредствомъ струны стальной или мѣдной; можно одинаковый тонъ получить флейтою, сдѣланною изъ стекла, изъ дерева, изъ металла; наконецъ бываютъ гармоники изъ стекла, изъ дерева и проч. и во всѣхъ производится одинъ и тотъ же рядъ тоновъ; но при всемъ томъ можно легко различить,

произведенъ ли одинъ и тотъ же тонъ римскими струнами или стальными, стеклянною флейтою или деревянною и т. д; каждый изъ этихъ инструментовъ имѣетъ особенную *звонкость* (timbre) для однихъ и тѣхъ же тоновъ. Этотъ звонъ зависитъ не отъ размѣра, но отъ вещества инструмента, и мы должны допустить, что твердыя стѣнки напр. флейты колеблются вмѣстѣ съ воздухомъ, и что эти колебанія суть причины звонкости.

ГЛАВА ТРЕТЬ

ОБЪ ОТРАЖЕНІИ ЗВУКА.

§ 133

Если звучная волна распространяется отъ одной точки, то линія проведенная отъ этой точки къ волнѣ, которая слѣд. въ сферической волнѣ перпендикулярна къ поверхности, называется *лучемъ волны*. Это есть направленіе, по которому распространяются колебанія точки, издающей звукъ. Если волна упадаетъ на твердую плоскость, то она отражается и притомъ такъ, что отраженный лучь и падающій на поверхность составляютъ одинаковые углы съ поверхностію, или съ линіею, перпендикулярною къ ней Если A (фиг. 159) есть тѣло, издающее тонъ и AB звучный лучь, падающій въ B на плоскость MN, то уголъ PBA называется угломъ паденія луча и по предъидущему онъ будетъ равенъ углу отраженія PBC; частицы воздуха колеблются

въ падающемъ лучѣ по направленію AB и если онѣ столкнутся въ B, то онѣ отразятся, какъ упругія тѣла, и мы видѣли, (§ 81), что при этомъ отраженіи законъ равенства угловъ паденія и отраженія въ самомъ дѣлѣ имѣетъ мѣсто. Теперь если A (фиг. 160) будетъ тѣло издающее звукъ и MPN шарообразное тѣло, котораго центръ находится въ A, то AM, AP, AM будутъ представлять звучные лучи, выходящіе изъ тѣла A и перпендикулярные къ MPN, слѣд. они отразятся по первоначальному направленію, такъ что они черезъ MA, PA, NA опять соберутся въ A; итакъ если ухо находится въ A, то оно чувствуетъ всѣ звучные лучи отраженные въ A и слѣд. слышитъ тонъ усиленный. Если же ухо находится не въ A, но въ B и если RBS представляетъ его поверхность, то оно получитъ звучные выходящіе непосредственно изъ A лучи въ конусѣ ARS и кромѣ того отраженные отъ MN, которые пересѣкаются при A въ томъ же конусѣ RAS, такъ что и здѣсь тонъ усилится. Въ этомъ состоитъ причина, почему звукъ болѣе усиливается въ комнатахъ со сводами, нежели съ плоскимъ потолкомъ. Но сюда входитъ еще другое обстоятельство. Ухо RS слышитъ непосредственный тонъ, когда онъ прошелъ пространство AB, и отраженный когда онъ прошелъ пространство 2AP + AB, которое слѣд. болѣе прежняго количествомъ 2AP. Поелику звукъ проходитъ пространство 1100 футовъ въ 1 секунду, то дошедшій до нашего уха чрезъ отраженіе услышанъ будетъ позже во столько разъ, сколько 1100 содержится въ 2AP. Если напр высота свода надъ нашею головою будетъ 25 футовъ и если мы будемъ говорить въ срединѣ его, то мы услышимъ нашъ голосъ 2 раза, одинъ разъ непосредственно, другой разъ черезъ отраженіе; здѣсь 2AP = 50 футамъ, и такъ какъ $\frac{50}{1100} = \frac{1}{22}$, то мы услышимъ отраженный звукъ позже $\frac{1}{22}$ секунды, нежели непосредственный. Это время такъ мало, что мы не отдѣляемъ

обоихъ звуковъ и слѣд. второй звукъ намъ кажется продолженіемъ перваго и мы говоримъ тогда, что *звукъ въ сводѣ отдается.* Тоже самое происходитъ и въ большихъ залахъ, не имѣющихъ сводовъ, гдѣ звукъ не такъ сильно собирается во одну точку, но все отражается. Если же преграда отражающая звучные лучи находится на большемъ растояніи, то между первоначальнымъ звукомъ и отраженнымъ можетъ пройти небольшой промежутокъ времени, по этому мы слышимъ два отдѣльные звука. Это явленіе извѣстно подъ именемъ *Эхо.* Опытъ научаетъ, что ухо въ одну секунду можетъ слышать 9 отдѣльныхъ звуковъ; теперь если разстояніе отражающей преграды равно 550 футамъ, то пространство, употребленное звукомъ для прохожденія взадъ и впередъ равно 1100 футамъ. Это пространство проходится звукомъ въ одну секунду; и такъ можно будетъ произнести 9 отдѣльныхъ тоновъ или 9 словъ, быстро одинъ послѣ другаго, и эхо повторитъ ихъ всѣ по окончаніи послѣдняго.

На отраженіи звука основывается устройство говорныхъ и слуховыхъ трубъ; говорная труба есть коническая труба ABCD (фиг. 161) узкое отверстіе которой прикладывается ко рту, между тѣмъ открытая сторона CD обращена къ тому, кому говорятъ. Каждый тонъ производимый въ AB разпространяется во первыхъ прямо какъ бы безъ трубы до слушающаго, кромѣ того многіе звучные лучи, которые безъ трубки распространились бы въ сторону, отразятся отъ стѣнокъ ея въ томъ же направленіи, какъ это лучше всего видно на фигурѣ, и такъ звукъ будетъ слышенъ сильнѣе. Слуховая трубка, которая употребляется глухими, есть превращенная говорная; ухо прикладывается къ узкому отверстію AB, а говорятъ въ широкое отверстіе CD, гдѣ почти всѣ лучи отражаются къ AB и звукъ усиливается. Пробовали давать стѣнкамъ въ

говорныхъ и слуховыхъ трубкахъ разныя кривизны для того, чтобы отъ нихъ лучше отражались лучи по надлежащему направленію, но черезъ это немного выиграли; поэтому большею частію употребляютъ коническія трубы.

ВТОРАЯ ЧАСТЬ

ФИЗИКИ.

О НЕВѢСОМЫХЪ.

ПЕРВОЕ ОТДѢЛЕНІЕ.

О СВѢТѢ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

О ПРЯМОЛИНЕИНОМЪ РАСПРОСТРАНЕНІИ СВѢТА.

§ 134.

Мы называемъ свѣтомъ то, что способствуетъ нашему глазу различать предметы внѣ насъ находящіеся. Что свѣтъ есть дѣйствователь находящійся внѣ насъ, а не какое нибудь вещество истекающее изъ глаза по нашему произволу, какъ думали древніе, мы узнаемъ самымъ простымъ образомъ изъ того, что въ темнотѣ, не смотря на наше усиліе, мы не можемъ ничего видѣть. Итакъ для нашего зрѣнія свѣтъ долженъ выходить изъ другихъ тѣлъ, которыя мы называемъ *свѣтящимися*; сюда относятся: солнце, звѣзды, горящія и раскаленныя тѣла, и пр. Въ противоположность этимъ тѣламъ остальныя мы называемъ *темными* и видимъ ихъ только посредствомъ падающаго на нихъ и отражаемаго въ нашъ глазъ свѣта свѣтящихся тѣлъ, какъ это видно изъ того, что темныя тѣла бываютъ

невидимы въ отсутствіи сихъ послѣднихъ. Сюда принадлежатъ: луна, планеты, и большая часть тѣлъ на землѣ находящихся. Нѣкоторыя тѣла пропускаютъ сквозъ себя свѣтъ и по этому называются *прозрачными*, другія же не пропускаютъ его и называются *не прозрачными*. Впрочемъ многія обыкновенно непрозрачныя тѣла дѣлаются прозрачными, когда изъ нихъ дѣлаютъ весьма тонкія пластинки, какъ напр. листовое золото, которое, какъ мы уже видѣли, пропускаетъ зеленоватый цвѣтъ.

§ 135.

Свѣтъ распространяется отъ свѣтящагося тѣла по прямымъ линіямъ, которыя называются *лучами*; ибо если S есть свѣтящаяся точка (фиг. 162) и AB не прозрачное тѣло, MN стѣна, то между крайними лучами SAC и SBD на стѣну не упадетъ ни одного луча и на ней образуется темное пространство или *тѣнь*, имѣющая точно такую фигуру, которая ограничивалась бы линіями, проведенными къ стѣнѣ изъ точки S чрезъ всѣ точки края тѣла AB. Но если бы вмѣсто свѣтящейся точки мы имѣли свѣтящуюся поверхность, напр. кругъ, въ которомъ ST (фиг. 163) представляетъ прорѣзъ перпендикулярный къ его поверхности и который испускаетъ свѣтъ изъ каждой точки на непрозрачное тѣло, котораго разрѣзъ представляетъ AB, то тѣнь, отбрасываемая тѣломъ AB на стѣну MN отъ дѣйствія свѣтящейся точки S будетъ ограничена лучами SD и SC т. е. она будетъ CD, между тѣмъ какъ тѣнь отъ точки T будетъ ограничена лучами TF и TE т. е. будетъ представлена линіею FE. Итакъ на пространство CE свѣтъ совершенно не падаетъ; пространства CF и ED будутъ частію только освѣщены точками свѣтящейся поверхности ST и тѣмъ меньше, чѣмъ ближе точки этихъ двухъ пространствъ будутъ находиться отъ E и C. Наконецъ FM и DN будутъ освѣщены всѣми точками свѣтящагося

круга. Тоже самое происходитъ не только въ одномъ разрѣзѣ тѣла AB но также и во всѣхъ другихъ; такимъ образомъ видно, что тѣнь тѣла, освѣщеннаго какою нибудь поверхностію, состоитъ во первыхъ изъ совершенно не освѣщенной части CE, называемой *полною тѣнью*, и во вторыхъ изъ окружающей ее части, которая мало по малу къ окружности становится свѣтлѣе и называется *полутѣнью*.

Если свѣтящаяся поверхность ST весьма далеко удалена отъ тѣла AB въ сравненіи съ его измѣреніями, какъ напр. удалено солнце отъ земныхъ предметовъ, то углы ASB и ATB бываютъ такъ малы, что лучи SA и SB также и TA и TB или вообще *всѣ лучи, выходящіе изъ одной точки свѣтящагося тѣла можно принять за параллельные;* напротивъ лучи, выходящіе изъ двухъ крайнихъ точекъ діаметра солнца не будутъ паралельны, но составятъ уголъ въ полградуса. Теперь, если солнечный свѣтъ падаетъ на небольшое отверстіе, сдѣланное въ совершенно темной комнатѣ, напр. на треугольную дыру AB въ ставнѣ окошка (фиг. 164), то мы получаемъ отъ точки нижняго края солнца параллельные лучи TA и TB и проч. и отъ верхней точки также параллельные лучи SA и SB и проч. Первые образуютъ въ CD свѣтлое пятно, которое равно отверстію AB по виду и по величинѣ; вторые произведутъ подобное пятно FG, итакъ мы увидимъ на стѣнѣ два свѣтлые треугольника. Тоже самое происходитъ и отъ всѣхъ другихъ точекъ солнечнаго круга; такъ что мы получимъ множество такихъ малыхъ треугольниковъ и въ томъ же расположеніи, какъ расположены свѣтящіяся точки въ солнечномъ кругѣ. По этому мы увидимъ круглое изображеніе, которое отличается отъ дѣйствительнаго вида солнца только тѣмъ, что оно составлено изъ столькихъ малыхъ треугольниковъ, изъ сколькихъ точекъ состоитъ солнечный кругъ. Легко можно видѣть, что по этой при-

чинѣ края изображенія не такъ рѣзко отдѣляются какъ въ самомъ солнцѣ, потому что чѣмъ ближе къ краю, тѣмъ меньшее число треугольниковъ накладывается одинъ на другой. Если бы солнце не было кругло, но напр. имѣло бы, какъ бываетъ при затмѣніи его, видъ луны въ первой четверти ея, то маленькіе треугольники расположились бы такимъ же образомъ и представили бы на противопоставленной преградѣ серповидную фигуру. Это можно замѣтить, если будемъ смотрѣть на пятна, изображаемыя на землѣ солнцемъ, когда лучи его проходятъ между густыми листьями деревьевъ, осѣняющихъ аллею или бесѣдку; всѣ онѣ кажутся круглыми, не смотря на то, что видъ отверстій, образуемыхъ листьями деревьевъ, весьма многоразличенъ; а во время затмѣнія всѣ онѣ представляются серповидными. Изъ этого же можно объяснить, почему въ темной комнатѣ, въ которую проходитъ свѣтъ чрезъ не большое отверстіе сдѣланное въ ставнѣ, мы получимъ на противопоставленной преградѣ изображеніе предметовъ, находящихся внѣ комнаты, и притомъ въ обратномъ положеніи и не ясно обрисованныхъ. Если же отверстіе будетъ велико, какъ напр. отверстіе всего окошка, то изображеніе солнца на стѣнѣ будетъ состоять изъ множества освѣщенныхъ поверхностей, имѣющихъ величину окна, и которыхъ соотвѣтствующія точки расположены въ маломъ кругѣ, какъ и тѣ точки солнца, отъ которыхъ онѣ происходятъ; очевидно, что освѣщенная поверхность должна имѣть видъ окна, въ которомъ существованіе отдѣльныхъ изображеній, изъ которыхъ оно составлено, доказывается образованіемъ полутѣни, какъ мы уже видѣли выше.

§ 156.

Астрономическія наблюденія научаютъ, что, хотя свѣтъ при своемъ прямолинейномъ распространеніи движется съ весьма большою скоростію, при всемъ томъ онъ не двигается мгновенно. Астрономъ Ремеръ (Römer) нашелъ, что

при затмѣніи какого либо изъ спутниковъ Юпитера, выходъ его изъ тѣни этой планеты замѣчается ранѣе, когда земля на своей орбитѣ находится въ ближайшемъ разстояніи отъ Юпитера, нежели тогда, когда земля находится въ наибольшемъ отдаленіи отъ него; изъ разности временъ, съ точностію замѣченныхъ въ томъ и другомъ случаѣ, онъ вычислилъ скорость свѣта и нашелъ ее равною 280000 верстамъ въ секунду. Эта скорость есть наибольшая, которую мы знаетъ, когда самая земля въ одну секунду проходитъ только 29 верстъ, пушечное ядро только $\frac{5}{7}$ версты. Такая же скорость свѣта опредѣлена и изъ другаго явленія, которое извѣстно въ Астрономіи подъ именемъ *астрономической аберраціи*.

Между тѣмъ какъ лучи свѣта распространяются отъ свѣтящейся точки съ такою чрезвычайною скоростію, они расходятся болѣе и болѣе; и если они, напр. числомъ 1000, падаютъ на поверхность ABCD одного квадратнаго фута (фиг. 165), перпендикулярную къ лучамъ и находящуюся на разстояніи 1 фута отъ свѣтящейся точки, то очевидно, что на разстояніи 2 футовъ они расширятся въ поверхность A′B′C′D′ имѣющую 4 квадратныхъ фута, слѣд. въ этомъ мѣстѣ на поверхность 1 квадратнаго фута упадутъ $\frac{1000}{4} = 250$ лучей; также на разстояніи 3 футовъ на квадратный футъ упадаетъ лучей меньше въ 9 разъ, слѣд. $\frac{1000}{9} = 111\frac{1}{9}$ и т. д.; другими словами: число лучей падающихъ на одну и туже поверхность, при различномъ отдаленіи ея отъ свѣтящейся точки, или *освѣщеніе обратно пропорціонально квадратамъ разстояній*.

Но освѣщеніе кромѣ разстоянія зависитъ еще отъ того, какимъ образомъ лучи падаютъ на освѣщаемую поверхность. Пусть *bc* представляетъ плоскость весьма малую въ отношеніи къ разстоянію ея отъ S (фиг. 166), такъ что безъ

значительной погрѣшности можно допустить, что лучи Sb и Sc параллельны и перпендикулярны къ bc, и пусть ba будетъ другая плоскость наклонная къ падающимъ лучамъ и такой величины, что всѣ лучи падающіе на bc падаютъ также на ab; въ этомъ случаѣ часть поверхности ab, равная bc, во столько разъ слабѣе будетъ освѣщена чѣмъ bc, во сколько ab больше bc; или если освѣщеніе плоскости bc примемъ за единицу и освѣщеніе ba означимъ чрезъ f, то получимъ:

$$1 : f = ab : cb.$$

Но если уголъ Sab, составленный падающимъ лучемъ съ поверхностію, означимъ чрезъ α, то получимъ:

$$cb = ab . \sin \alpha$$

слѣд. $$1 : f = 1 : \sin \alpha$$

или $f = \sin \alpha$. Если освѣщеніе плоскости, находящейся на разстояніи 1 фута отъ свѣтящагося тѣла, примемъ за единицу, когда плоскость перпендикулярна къ направленію луча и если другая плоскость находится на разстояніи d, такъ что бы лучи падали на нее подъ угломъ α, то все ея освѣщеніе будетъ:

$$f = \frac{\sin \alpha}{d^2}.$$

На этой формулѣ основывается рѣшеніе всѣхъ задачъ, относящихся къ опредѣленію степени освѣщенія. Такимъ образомъ напр. находятъ съ помощію дифференціальнаго исчисленія, что если MN (фиг. 167) представляетъ книгу, и если въ B стоитъ свѣча BS, то свѣча должна быть поставлена на высотѣ, которая равна $\frac{7}{10}$ разстоянія CB, для того что бы средняя точка C книги была освѣщена сильнѣйшимъ образомъ.

§ 137.

Для практическаго опредѣленія степени освѣщенія, происходящаго отъ различныхъ источниковъ свѣта, употребляютъ такъ называемые *фотометры*. Они основываются

на томъ, что глазъ нашъ съ достаточною точностію можетъ опредѣлить, которая изъ двухъ бѣлыхъ освѣщенныхъ плоскостей, лежащихъ одна подлѣ другой, освѣщена сильнѣе. Самый употребительный и удобнѣйшій фотометръ есть фотометръ Ричи (Ritchie) имѣющій слѣдующее устройство: AB представляетъ четыреугольный деревянный ящикъ (фиг. 168), котораго высота равна его ширинѣ и которой открытъ при A и B, такъ что онъ, собственно говоря, представляетъ четвероугольную трубку; онъ стоитъ на ножкѣ C. DE и DF суть два зеркала, вырѣзанныя изъ одного и того же большаго зеркала и поставленныя такъ, что углы DEF и DFE каждый равенъ 45°. PQ есть четвероугольное отверстіе, сдѣланное въ верхней части ящика, закрытое бѣлою масляною бумагою или матовымъ стекломъ, и PQO четвероугольная трубка, служащая для того, что бы воспрепятствовать постороннему свѣту падать на бумагу. Теперь когда хотятъ сравнить два источника свѣта M и N, то одинъ изъ нихъ приближается къ сторонѣ A, а другой къ сторонѣ B, свѣтъ падаетъ на зеркала и отражается на поверхность масляной бумаги, такъ что одна половина ея DQ освѣщается свѣтомъ отъ N, а другая PD свѣтомъ отъ M; потомъ подвигаютъ N до тѣхъ поръ, пока освѣщеніе обѣихъ половинъ будетъ одинаково, въ чемъ можемъ удостовѣриться, смотря въ отверстіе O. Если измѣримъ разстоянія ND и MD, то напряженія свѣта обоихъ источниковъ будутъ пропорціональны квадратамъ этихъ разстояній. Хотя извѣстно, что при отраженіи отъ зеркала отражается только около $\frac{1}{2}$ всѣхъ падающихъ лучей и что слѣдовательно мы сравниваемъ, собственно говоря, только половины каждаго освѣщенія, но такъ какъ зеркала одинаково ослабляютъ оба источника свѣта, то отношеніе этихъ частей освѣщенія будетъ равно отношенію цѣлыхъ освѣщеній.

Другое простое, хотя менѣе точное, средство для опредѣленія силы свѣта двухъ свѣтящихся тѣлъ A и B со-

стоитъ въ томъ, что ставятъ какую нибудь не прозрачную палочку, напр. карандашъ, такъ, что бы тѣни ея отъ A и B падали на стѣну одна подлѣ другой и что бы тѣнь отъ A освѣщалась источникомъ B, тѣнь же отъ B источникомъ A. Если теперь тѣнь отъ A будетъ темнѣе нежели отъ B, въ такомъ случаѣ должно B приближать къ стѣнѣ ближе и ближе до тѣхъ поръ, пока обѣ тѣни будутъ одинаково темны; если измѣрить разстояніе свѣтящагося тѣла B отъ тѣни производимой источникомъ A и разстояніе A отъ тѣни производимой источникомъ B, то получутъ силы освѣщенія источниковъ B и A, ибо они пропорціональны квадратамъ измѣряемыхъ разстояній.

Такими или подобными средствами нашли, что если освѣщеніе отъ обыкновенной сальной свѣчи въ разстояніи одного фута примемъ за единицу, то получимъ освѣщенія:

Солнца	=	5500
Луны	=	$\frac{1}{50}$
Аргантовой лампы	=	7
Друммондова свѣта	=	1619.

Послѣдній источникъ свѣта есть известковый шаръ или цилиндръ, раскаленный въ горящей струѣ водорода и кислорода.

Два послѣдніе источника свѣта сравнены между собою такъ, что мы представляемъ ихъ отдаленными отъ плоскости, освѣщаемой ими, на одинаковое разстояніе съ сальной свѣчею т. е одного фута. Для сравненія солнечнаго свѣта нужно ослабить его значительно, но въ извѣстномъ отношеніи.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

ОБЪ ОТРАЖЕНІИ СВѢТА.

(*Катоптрика*).

§ 138.

Когда свѣтъ падаетъ на какое нибудь тѣло, то одна часть его отбрасывается отъ поверхности тѣла назадъ, другая часть или проходитъ сквозь самое тѣло, если оно прозрачно, или поглощается имъ, если оно непрозрачно. Мы будемъ говорить о каждой изъ этихъ частей; первая часть, слѣд. отраженный свѣтъ, составляетъ предметъ *Катоптрики*; законыже распространенія свѣта въ прозрачныхъ срединахъ разсматриваетъ *Діоптрика*.

Свѣтъ, отбрасываемый отъ поверхности тѣлъ или отражается неправильно, такъ что онъ распространяется отъ каждой точки тѣла по всѣмъ направленіямъ, какъ напримѣръ отъ чистой поверхности снѣга, — или отражается только по опредѣленнымъ направленіямъ и тогда отражающая поверхность называется *зеркаломъ*. Причина того и другаго отраженія заключается въ полировкѣ поверхности. Если она хорошо полирована, то она представляетъ совершенное зеркало; въ Катоптрикѣ разсмотримъ только законы отраженія на совершенныхъ зеркалахъ, ибо неправильное отраженіе легко можетъ быть приведено къ правильному, потому что неполированная плоскость состоитъ изъ безконечно многихъ и безконечно малыхъ полированныхъ плоскихъ поверхностей, имѣющихъ всѣ возможныя положенія. Зеркала бываютъ или *плоскія* или *кривыя*, между которыми самыя употребительныя въ практикѣ суть *сферическія*.

О плоскихъ зеркалахъ.

§ 139.

Пусть AB (фиг. 169) будетъ поверхность плоскаго зеркала, напр. металлическая полированная поверхность, на которую падаетъ лучь SC. Если изъ C возставимъ на AB перпендикуляръ CM, то уголъ SCM называется *угломъ паденія*, и законы отраженія могутъ быть выражены слѣдующимъ образомъ:

1. Лучи падающій и отраженный находятся въ одной плоскости съ перпендикуляромъ CM.

2. Отраженный лучь CS/ составляетъ съ CM уголъ S/CM называемый *угломъ отраженія*, который равенъ углу паденія. Слѣд. S/CM = SCM.

Теперь пусть PQ (фиг. 170) представляетъ плоскую зеркальную поверхность, S свѣтящуюся точку, SA и SB два какіе нибудь луча, выходящіе изъ этой точки, и падающіе на PQ: пусть AM и BN будутъ перпендикулярны къ PQ, слѣд. въ этомъ случаѣ лучи отразятся по направленію AC и BD, такъ что будетъ уголъ MAS = MAC и уголъ NBS = NBD. Если продолжимъ CA и DB до пересѣченія ихъ въ K и соединимъ S съ K, то въ треугольникахъ SAB и KAB получимъ сторону AB и прилежащіе углы относительно равные; слѣд. SB = BK, но также BQ = BQ и SBQ = KBQ, слѣд.

$$\triangle BQS = \triangle BQK$$

слѣд. и углы $BQS = BQK$.

Посему SK перпендикулярна къ PQ и раздѣляется въ Q пополамъ. Изъ этого слѣдуетъ, что *если лучи, выходящіе изъ одной точки, падаютъ на какое нибудь плоское зеркало и отражаются отъ него, то послѣ отраженія они будутъ казаться выходящими изъ точки за зеркаломъ, которой положеніе опредѣлимъ, если изъ свѣтящейся точки опустимъ перпендикуляръ на зеркало*

и продолжимъ его за онымъ на такое разстояніе, на которое свѣтящаяся точка отдалена отъ зеркала.

§ 140.

Мы видимъ какую нибудь свѣтящуюся точку, когда нѣкоторые изъ выходящихъ изъ оной расходящихся лучей падаютъ на нашъ глазъ; и мы можемъ назначить ей то мѣсто, гдѣ она находится, смотря по тому какъ расходятся выходящіе изъ нея лучи. Если вмѣсто точки видимъ предметъ, то онъ состоитъ изъ такихъ безконечно многихъ точекъ и мы судимъ о дѣйствительномъ мѣстѣ его по способу сейчасъ упомянутому. Мы послѣ съ большею точностію опредѣлимъ, какимъ образомъ это зависитъ отъ строенія нашего глаза, а теперь для насъ довольно знать изъ опыта, что обыкновенный глазъ ясно видитъ тогда, когда предметъ отъ насъ отдаленъ далѣе 9 дюймовъ; если разстояніе будетъ меньше, то края видимаго нами предмета не ясно отдѣляются въ нашемъ глазѣ.

Если глазъ находится въ отраженномъ конусѣ BDAC лучей, то они падаютъ на него такъ, какъ будтобъ они выходили изъ точки K, слѣд. глазъ находится совершенно при тѣхъ же обстоятельствахъ, какъ будтобъ K была свѣтящаяся точка, итакъ въ K будетъ видна такая точка. Если въ AB (фиг. 171) находится предметъ, состоящій изъ безконечно многихъ точекъ, изъ которыхъ каждая представляетъ свѣтящуюся точку, то не трудно опредѣлить гдѣ глазъ увидитъ изображеніе предмета позади зеркала; для этой цѣли мы должны употребить для каждой точки вышеприведенное построеніе. Опустимъ на зеркало перпендикуляръ AA' изъ точки A, и также изъ точки B перпендикуляръ BB' и продолжимъ ихъ за зеркало на разстоянія относительно равныя разстояніямъ точекъ A и B отъ зеркала; тогда $A'B'$ будутъ конечныя точки

изображенія предмета, между тѣмъ какъ находящіяся между ними будутъ лежать въ соотвѣтственномъ порядкѣ отъ A/ къ B/. Глазъ помѣщенный въ O, тякь чтобъ на него падали отраженные лучи, увидитъ AB въ положеніи A/B/. Изъ этого видно, что если передъ зеркаломъ PQ, (фиг. 172) наклоненномъ къ горизонту подъ угломъ 45^0, лежитъ горизонтальный предметъ AB, то онъ изобразится за зеркаломъ въ вертикальномъ положеніи A/B/ и наоборотъ, вертикальный предметъ въ такомъ зеркалѣ изобразится въ горизонтальномъ положеніи. Также легко видѣть, что зеркало должно быть вдое меньше насъ, чтобъ мы видѣли самихъ себя въ немъ съ головы до ногъ, (фиг. 173). Въ самомъ дѣлѣ наше изображеніе A/B/ кажется такъ велико, какъ мы сами въ AB и въ такомъ разстояніи позади зеркала, въ какомъ мы находимся отъ него. Итакъ если нашъ глазъ находится въ O, то мы видимъ въ направленіи OB/ и OA/ и дабы мы получили лучи отраженные по этимъ направленіямъ, зеркало должно имѣть величину QP, слѣд. (какъ OQ=QA/) оно будетъ вдое меньше нежели AB.

§ 141

На отраженіи свѣта отъ плоскихъ зеркалъ основывается приборъ, который извѣстенъ подъ именемъ *Калейдоскопа.* Онъ состоитъ изъ двухъ, наклоненныхъ одно къ другому подъ угломъ 60° зеркалъ, которыхъ разрѣзъ представляютъ линіи (фиг. 174) AB и AC. Если между зеркалами находится предметъ M, то глазъ помѣщенный надлежащимъ образомъ во первыхъ увидитъ два изображенія предмета, въ каждомъ зеркалѣ одно, которыхъ положеніе за зеркаломъ въ M/ и M// опредѣляется вышеупомянутымъ построеніемъ; но такъ какъ отраженные лучи кажутся выходящими изъ этихъ точекъ, то отъ M/ упадутъ лучи на AC а отъ M// на AB и мы опять получимъ два изображенія именно M/// изображеніе M/, и M//// изоб-

раженіе M″. Изъ этихъ точекъ послѣ, втораго отраженія опять выходятъ лучи и падаютъ отъ M‴ на AB, отъ M^{IV} на AC, оба опять произведутъ новыя изображенія, которыя, какъ показываетъ фигура, будутъ совпадать и дадутъ пятое изображеніе M^{V}. Если глазъ помѣщенъ такъ, что онъ будетъ видѣтъ всѣ эти изображенія въ одно время и кромѣ того непосредственно самый предметъ, то ему будетъ казаться, что онъ видитъ предметъ шесть разъ и притомъ симметрически разположеннымъ въ видѣ звѣзды. Тоже самое происходитъ съ другими предметами, находящимися между зеркалами BA и CA, такъ что если они окрашены очень яркими цвѣтами и имѣютъ различныя формы, то отъ этого происходитъ симметрическая пестрая звѣзда, которая измѣняется, какъ скоро предметы перемѣняютъ свое положеніе. Оба зеркала вкладываются въ трубку (фиг 175), какъ представляетъ AA′BB′ и AA′CC′; въ O находится глазъ и смотритъ въ трубку чрезъ отверстіе D, на другомъ концѣ находятся пестрые стеклянные кусочки и другіе предметы яркихъ и разныхъ цвѣтовъ положенные между двумя стеклянными пластинками MN и KA; по предъидущему, если направимъ трубу противъ свѣта, то мы увидимъ группу, сотавленную этими предметами, расположенную въ шести симметрическихъ секторахъ и измѣняющуюся, когда измѣняется положеніе предметовъ отъ обращенія трубки.

О сферическихъ зеркалахъ.

§ 142.

Зеркала съ кривою поверхностію могутъ быть безконечно различны. Но точное шлифованіе другихъ зеркалъ кромѣ сферическихъ такъ затруднительно, что въ практикѣ употребляютъ только сферическія и поэтому мы будемъ заниматься только ими. Кромѣ того сферическія зеркала

всегда составляютъ весьма малую часть всей шарообразной поверхности; при дальнѣйшихъ изслѣдованіяхъ всегда будемъ предполагать эти условія.

Сферическія зеркала бываютъ двоякаго рода, или *вогнутыя* или *выпуклыя*; первыя представлены на фиг. 176. I; гдѣ AB есть полированная поверхность, CD задняя сторона; II представляетъ выпуклое зеркало, въ которомъ AB есть полированная поверхность.

Теперь если AB (фиг. 177) есть вогнутое зеркало, C. центръ кривизны его, D средина, то линія проведенная чрезъ C и D будетъ *оптическая* осъ зеркала. Если на оси далѣе центра находится свѣтящаяся точка S и SM есть лучь надающій на зеркало въ M, то уголъ паденія составляемый лучемъ и перпендикуляромъ, поставленнымъ на кривую поверхность въ M т. е. радіусомъ CM, будетъ SMC; уголъ отраженія долженъ быть равенъ ему и находиться въ одной съ нимъ плоскости; и такъ отраженный лучь будетъ изображаться линіею MK, если SMC = KMC.

Въ этомъ случаѣ по правиламъ Геометріи мы получимъ:

$$SM : MK = SC : CK.$$

Если точка M лежитъ весьма близко отъ D, то можно принять, что SM=SD и KM=KD. По этому если SD или разстояніе свѣтящейся твчки отъ зеркала означимъ чрезъ d, а KD или разстояніе той точки, въ которой ось пересѣкается отраженнымъ лучемъ, черезъ f, радіусъ CD черезъ r, то вмѣсто прежней пропорціи мы будемъ имѣть:

$$d : f = d - r : r - f$$

Слѣдов. $$dr - df = fd - fr$$

или $$dr + fr = 2fd$$

раздѣляя ту и другую часть уравненія на fdr получимъ:

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{2}{r}$$

Эта простая и удобная для памяти формула научаетъ насъ находить f, когда d и r извѣстны. Такъ такъ f въ ней зависитъ только отъ d и r, и эти величины остаются постоянными для всѣхъ другихъ лучей, — напр. для SD, SN и проч., — то всѣ лучи пересѣкутъ ось въ одинаковомъ разстоянiи отъ зеркала, и слѣд. всѣ будутъ соединяться въ точкѣ K, которая называется *фокусомъ* лучей, а разстоянiе его KD отъ зеркала, или f, *фокуснымъ разстоянiемъ*. Впрочемъ не должно забывать, что это разстоянiе относится только къ такимъ лучамъ, которые падаютъ на зеркало близко отъ средины D и называются *центральными* лучами; такъ что только въ томъ случаѣ, если ширина или, какъ говорятъ, *отверстiе* зеркала AB будетъ весьма не значительное въ сравненiи съ радiусомъ CD (что впрочемъ обыкновенно и бываетъ) можно допустить, что то же фокусное разстоянiе относится ко всѣмъ лучамъ и принять за правило, что *вогнутыя зеркала собираютъ всѣ лучи, падающiе на нихъ отъ какой нибудь точки, въ одну точку или въ фокусъ.*

§ 143.

Если свѣтящаяся точка будетъ весьма далеко находиться отъ зеркала, такъ что всѣ падающiе на него лучи могутъ быть припяты за параллельные, то дтобь $\frac{1}{d}$ будетъ безконечно мала въ сравненiи съ прочими величинами, и можно ее принять за 0; тогда мы вмѣсто общей формулы, замѣнивъ f буквою F, получимъ:

$$\frac{1}{F} = \frac{2}{r}$$

или $$F = \frac{r}{2}.$$

Итакъ фокусное разстояніе для параллельныхъ лучей или какъ обыкновенно называютъ его, *главное фокусное разстояніе* какого нибудь зеркала равно половинѣ радіуса зеркала. По этому наоборотъ можно радіусъ r выразить чрезъ F, что очень важно, потому что въ приготовленномъ зеркалѣ легче опредѣлить главное фокусное разстояніе, нежели радіусъ. Для этого нужно только поставить зеркало противъ солнца, которое можно считать находящимся въ безконечномъ разстояніи и смотрѣть, гдѣ отраженные лучи соберутся въ самое малое пространство; разстояніе его отъ зеркала есть главное фокусное разстояніе зеркала, какъ мы увидимъ въ слѣдующемъ параграфѣ. Зная F можно найти фокусное разстояніе f для другой свѣтящейся точки, если въ формулу предъидущаго параграфа вмѣсто $\frac{2}{r}$ подставимъ $\frac{1}{F}$; мы имѣемъ тогда:

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$$

откуда $$f = \frac{dF}{d-F} = \frac{F}{1-\frac{F}{d}}$$

Мы выведемъ изъ этой формулы нѣкоторыя слѣдствія:

1. Если d безконечно велико, то $\frac{F}{d}$ будетъ безконечно мало или равно нулю и $f = F$. Это очевидно само собою, потому что именно въ этомъ случаѣ фокусное разстояніе f сдѣлается главнымъ фокуснымъ разстояніемъ F.

2. Если свѣтящаяся точка приближается къ зеркалу, то d становится меньше, слѣд. $\frac{F}{d}$ будетъ больше: по этому $1 - \frac{F}{d}$ будетъ уменьшаться и $\frac{F}{1-\frac{F}{d}}$ увеличиваться; т. е. фокусное разстояніе подвигается отъ половины радіуса далѣе къ центру кривизны.

3. Если $d = 2F$, то будетъ $1 - \frac{E}{d} = \frac{1}{2}$, слѣд. $f = 2F = d$, т. е. фокусное разстояніе совпадаетъ съ свѣтящеюся точкою; но такъ какъ $F = \frac{r}{2}$, то $d = 2F = r$ т. е. *если свѣтящаяся точка находится въ центрѣ зеркала, то и фокусъ находится въ центрѣ его.* Слѣд. между тѣмъ какъ свѣтящаяся точка подвигается отъ безконечнаго разстоянія до центра зеркала, фокусъ ея движется въ противоположномъ направленіи отъ половины радіуса до центра.

4. Если свѣтящаяся точка приближается отъ центра къ главному фокусному разстоянію, то f будетъ увеличиваться, и если наконецъ свѣтящаяся точка будетъ находиться въ главномъ фокусѣ, или если $d = F$, то будетъ $f = \frac{F}{1-1} = \frac{F}{0}$ т. е. безконечно велико; поэтому отраженные лучи соберутся въ безконечно большемъ разстояніи отъ зеркала т. е. они будутъ параллельны.

5. Итакъ когда свѣтящаяся точка приходитъ отъ центра къ главному фокусу, то фокусъ отдаляется отъ центра на безконечное разстояніе; по этому свѣтящаяся точка и фокусъ перемѣнятъ свои мѣста, что впрочемъ видно изъ формулы

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$$

потому что здѣсь очевидно f зависитъ отъ d также какъ d отъ f. Если напр. $d = 1$ дюйму и F имѣетъ такую величину что $f = 10$, то очевидно, что наоборотъ когда $f = 1$, d должно быть равно 10. Итакъ если лучи выходящіе изъ S соберутся въ K, то наоборотъ лучи выходящіе изъ K, соберутся въ S. — По сей причинѣ S и K и называются *сопряженными фокусами.*

6. Если S подвинется къ зеркалу еще ближе, нежели на разстояніе F, то будетъ $d < F$, слѣд. $\frac{F}{d} > 1$ и $1 - \frac{F}{d}$ будетъ отрицательная величина; по этому все выраженіе

для f сдѣлается отрицательнымъ. Но такъ какъ отрицательныя величины въ геометріи выражаются противоположными направленіями, то величину f (фиг. 178) надобно считать не отъ зеркала къ S, но по другую сторону, такъ что фокусъ будетъ лежать въ L; и такъ отраженные лучи MK и NR будутъ казаться выходящими изъ L и будутъ послѣ отраженія расходяться. Такой фокусъ L называется *воображаемымъ* или *отрицательнымъ*.

7. Если глазъ находится въ конусѣ отражаемыхъ лучей TKR (фиг. 177) и притомъ отъ фокуса K въ разстояніи большемъ нежели 9 дюймовъ, то онъ увидитъ изображеніе свѣтящейся точки въ K передъ зеркаломъ, если свѣтящаяся точка находится въ S предъ зеркаломъ далѣе главнаго фокуснаго его разстоянія; но если это разстояніе меньше главнаго фокуснаго разстоянія, то онъ увидитъ изображеніе точки за зеркаломъ въ L (фиг. 178).

§ 144.

Если свѣтящаяся точка находится не на оси, но напр. выше въ S (фиг. 179) и если черезъ центръ зеркала проведемъ линію SCK, то всѣ наши прежнія заключенія сохраняются и для этого случая если только вмѣсто оси CD примемъ ось CK, слѣд. здѣсь также центральные лучи, которые одни принимаемъ въ разсужденіе, соберутся въ одну точку и разстояніе ея отъ K можетъ быть вычислено посредствомъ формулы предъидущаго параграфа. Но мы можемъ также дойти до своей цѣли посредствомъ построенія. Въ самомъ дѣлѣ точка соединенія отраженныхъ лучей, выходящихъ изъ S, будетъ находиться на линіи KC, потому что лучь SK падаетъ перпендикулярно къ зеркалу, слѣд. отразится по тому же направленію. Но если проведемъ SM параллельно CD, то мы знаемъ, что этотъ лучь пересѣчетъ главную ось въ главномъ фо-

кусѣ F и слѣд. линію KC въ точкѣ f, которая слѣд. должна быть точкою соединенія лучей выходящихъ изъ S, потому что всѣ лучи должны пересѣкаться въ одной точкѣ и два изъ нихъ уже пересѣкаются въ f.

Основываясь на этомъ можно легко отдать себѣ отчетъ въ происхожденіи изображеній, которыя мы видимъ въ вогнутыхъ зеркалахъ. Въ самомъ дѣлѣ пусть AB будетъ такое зеркало, MN предметъ (фиг. 180), изъ каждой точки котораго падаютъ лучи на зеркало. Верхній конецъ его мы означимъ поперечною чертою. Пусть C будетъ центръ, F главный фокусъ зеркала, такъ что будетъ $FD = \frac{1}{2} CD$. Если проведемъ чрезъ C линію ML, и MP параллельно главной оси CD, то получимъ, какъ мы видѣли выше, въ m фокусъ точки M; слѣд. въ m послѣ отраженій соединяются всѣ лучи выходящіе изъ M, потомъ они пересѣкутся и разойдутся въ видѣ конуса, котораго вершина находится въ m. Совершенно такимъ же образомъ лучи выходящіе изъ N послѣ отраженія соберутся въ точкѣ n, которую мы получимъ, если чрезъ C проведемъ NK, NQ параллельно CD и Qn чрезъ F; лучи пересѣкшись въ n, разойдутся въ видѣ конуса, котораго вершина лежитъ въ n. Итакъ если глазъ находится передъ зеркаломъ въ разстояніи отъ m и n большемъ 9 дюймовъ и на направленіи конусовъ, выходящихъ изъ этихъ точекъ, то онъ долженъ видѣть m и n и также всѣ точки лежащія между ними; притомъ все изображеніе будетъ въ обратномъ положеніи въ отношеніи къ предмету. Можно бы было въ mn поставить какую нибудь малую бѣлую плоскость или матовое стекло и тогда мы увидимъ тамъ всѣ отраженныя точки предмета MN опять какъ точки, которыя расположены такъ же какъ въ самомъ предметѣ, только въ обратномъ порядкѣ, или на такой плоскости будетъ представлено изображеніе предмета въ обратномъ положеніи.

Величину изображенія mn въ отношеніи къ предмету можно легко опредѣлить. Въ самомъ дѣлѣ изъ подобія треугольниковъ MNC и mnC получимъ:

$$mn : \mathrm{MN} = \mathrm{C}g : \mathrm{CG}.$$

Но по прежде употребленному означенію имѣемъ:

$$\mathrm{C}g = r - f \text{ и } \mathrm{GG} = d - r$$

Слѣд. означая для краткости mn черезъ m и MN черезъ M, получимъ:

$$\frac{m}{\mathrm{M}} = \frac{r-f}{d-r}.$$

Но (по § 142) $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$ откуда $f = \frac{rd}{2d-r}$, слѣд.

$$\frac{m}{\mathrm{M}} = \frac{r(d-r)}{(2d-r)(d-r)} = \frac{r}{2d-r}.$$

Отношеніе изображенія къ предмету обыкновенно называется *увеличеніемъ;* слѣд. означая его чрезъ W, получимъ:

$$\mathrm{W} = \frac{r}{2d-r} = \frac{1}{\frac{2d}{r} - 1}$$

Изъ послѣдняго выраженія слѣдуетъ:

1. Если $d = r$ т. е. если предметъ находится въ центрѣ, то $\mathrm{W} = 1$, т. е. изображеніе равно предмету.

2. Если $d > r$, то $\mathrm{W} < 1$ т. е. изображеніе будетъ меньше предмета и тѣмъ меньше чѣмъ больше d; если d весьма велико, то и $\frac{2d}{r}$ будетъ весьма велико въ сравненіи съ 1 и W будетъ почти 0, т. е. изображеніе равно нулю въ сравненіи съ предметомъ. Итакъ когда предметъ удаляется отъ зеркала болѣе и болѣе, тогда изображеніе становится менѣе и менѣе и при чрезвычайно большемъ разстояніи оно дѣлается почти точкою и находится въ главномъ фокусѣ. Вотъ почему главный фокусъ вогнутаго зеркала надобно принимать тамъ, гдѣ изображеніе солнца кажется точкою.

5. Когда $d < r$, то $\frac{2d}{r} - 1 < 1$ и слѣд. $W > 1$ т. е. изображеніе будетъ больше предмета. Въ этомъ случаѣ ono лежитъ далѣе центра зеркала, какъ мы видѣли выше и удаляется отъ него тѣмъ больше, чѣмъ больше предметъ подвигается къ главному фокусу. Когда предметъ будетъ въ главномъ фокусѣ, то изображеніе его будетъ въ безконечно большомъ разстояніи и вмѣстѣ будетъ безконечно велико, потому что въ этомъ случаѣ $d = \frac{1}{2} r$, слѣд. $W = \frac{1}{0}$, и посему мы не видимъ никакого изображенія.

4. Если наконецъ $d < \frac{1}{2} r$, то W будетъ величина отрицательная, но всегда больше единицы, ибо только при $d = 0$ оно равно 1. Здѣсь отрицательный знакъ показываетъ, что изображеніе будетъ въ обратномъ положеніи, въ сравненіи съ предъидущимъ, именно оно будетъ въ прямомъ положеніи, между тѣмъ какъ прежде оно было обратное. Кромѣ того мы знаемъ, что оно будетъ позади зеркала. Это можно доказать употребивъ при построеніи прежнія правила. Пусть напр. MN (фиг. 181) будетъ предметъ, лежащій къ зеркалу ближе главнаго фокуса F. Если изъ центра C проведемъ чрезъ M линію CL, то лучь ML отразится къ M; лучь MQ, параллельный главной оси, отразится такъ, что онъ пройдетъ чрезъ F, слѣд. въ направленіи QF. Оба эти луча продолженные пересѣкутся въ точкѣ *m*, и такъ какъ всѣ отраженные лучи соединяются въ одну точку, то *m* должно быть точкою соединенія всѣхъ отраженныхъ лучей или всѣ они будутъ казаться выходящими изъ этой точки. Подобнымъ образомъ и *n* будетъ такая точка, изъ которой будутъ казаться выходящими послѣ отраженія всѣ лучи, падающіе на зеркало отъ N; слѣд. изображеніе будетъ имѣть положеніе *mn*, т. е. оно будетъ прямо и увеличено, какъ это уже показывала наша формула.

§ 145.

Пусть AB будетъ выпуклое зеркало (фиг. 182), S свѣтящаяся точка, C центръ полированной поверхности, SC главная ось ея, SM падающій лучь; проведемъ CF перпендикулярно къ AB въ точкѣ M; SMF будетъ уголъ паденія, слѣд. когда SMF = PMF, то PM будетъ отраженный лучь; продолжимъ его по другую сторону зеркала до пересѣченія съ осью въ точкѣ K; если проведемъ KL параллельно MC, то получимъ:

$$SM : ML = SC : KC.$$

Но такъ какъ уголъ KLM = SMF и MKL = PMF, то и KLM = MKL и слѣд. LM = KM, итакъ имѣемъ:

$$SM : MK = SC : KC.$$

Если будетъ, какъ прежде, $SD = d$, $DK = f$, $DC = r$ и если предположимъ, что M находится весьма близко отъ D, то можно допустить, что $SM = d$ и $MK = f$, какъ въ вогнутыхъ зеркалахъ и пропорція наша будетъ:

$$d : f = d + r : r - f$$

откуда $$dr - df = fd + fr$$

или $$dr - fr = 2df$$

и раздѣляя на drf $$\frac{1}{f} - \frac{1}{d} = \frac{2}{r}$$

Ежели сравнимъ это уравненіе съ тѣмъ, которое мы нашли для вогнутыхъ зеркалъ: $\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{2}{r}$ и ежели его для этой цѣли напишемъ такъ: $\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = -\frac{2}{r}$, то увидимъ, что оно будетъ тоже какъ и первое для вогнутыхъ зеркалъ, если только въ уравненіи для вогнутыхъ дадимъ количествамъ f и r знаки противные знаку количества d. Но изъ сравненія обѣихъ фигуръ мы замѣчаемъ, что въ вогнутыхъ зеркалахъ f и r находятся на той сторонѣ отъ отражающей поверхности, съ которой падаетъ свѣтъ,

слѣд. измѣряются также какъ и d, — въ выпуклыхъ же они находятся на противоположной сторонѣ. Итакъ мы видимъ что знаки соотвѣтствуютъ линіямъ по положенію ихъ и что безъ дальнѣйшихъ разсужденій мы могли бы получить выведенную нами формулу изъ прежней, данной для вогнутыхъ зеркалъ, если бы, принявши въ разсужденіе положеніе линій, перемѣнили только знаки. Это замѣчаніе полезно будетъ для насъ въ послѣдствіи. Изъ формулы, которую мы теперь вывели, получимъ $f = \frac{rd}{r+2d}$. Эта величина всегда будетъ имѣть одинъ и тотъ же знакъ, какъ бы велики не были взяты количества r и d, слѣд. точка K всегда будетъ находиться позади зеркала, какъ показано въ фигурѣ, или лучи свѣтящейся точки, отраженные отъ выпуклаго зеркала, всегда будутъ расходящимися; въ этомъ случаѣ они никогда не могутъ дать изображенія передъ зеркаломъ, потому что изображеніе происходитъ только отъ пересѣченія отраженныхъ лучей. Если свѣтящаяся точка находится въ безконечно большомъ разстояніи отъ зеркала, то расходящіеся лучи будутъ казаться выходящими изъ одной точки, лежащей на половинѣ радіуса зеркала, потому что въ этомъ случаѣ d безконечно велико слѣд. $f = \frac{r}{\frac{r}{d}+2} = \frac{r}{2}$. Эту точку мы можемъ назвать *воображаемымъ главнымъ фокусомъ* выпуклаго зеркала и она будетъ для насъ полезна для объясненія изображеній въ такихъ зеркалахъ. Пусть напр. MN будетъ предметъ передъ зеркаломъ (фиг. 183); если соединимъ M съ центромъ, то лучь ML отразится по своему направленію, но лучь MQ, параллельный главной оси, отразится такъ, что направленіе его пройдетъ чрезъ главный фокусъ F; слѣд. m будетъ та точка, изъ которой будутъ казаться выходящими всѣ отраженные лучи; совершенно подобнымъ образомъ всѣ лучи падающіе отъ N послѣ отраженія будутъ ка-

заться выходящими изъ n и мы получимъ изображеніе прямое, но уменьшенное, mn. Итакъ выпуклыя зеркала всегда даютъ изображенія лежащія позади зеркала, прямыя и умеьщенныя.

§ 146.

Если мы имѣемъ не сферическое зеркало, но другое, если напр. поверхность его будетъ поверхность пустаго цилиндра, то его можно счигать за такое зеркало, которое по направленію продольной оси цилиндра есть плоское, а перпендикулярно къ этой оси вогнутое сферическое. Если его будемъ держать передъ собою такъ, что бы ось его была вертикальна и при томъ въ разстояніи меньшемъ полрадіуса кривизны цилиндрической поверхности, то изображеніе нашего лица въ длину не измѣнится, но въ ширину будетъ казаться увеличеннымъ; напротивъ въ такомъ же, но выпукломъ цилиндрическомъ зеркалѣ изображеніе нашего лица будетъ имѣть естественную длину, но въ ширину оно будетъ узко. Еще болѣе измѣнилось бы изображеніе въ коническомъ зеркалѣ. — На оборотъ можно нарисовать картинки совершенно неправильныя, но которыя въ зеркалѣ коническомъ будутъ казаться правильными. Это подало поводъ къ изобрѣтенію оптическихъ игрушекъ, называемыхъ *анаморфозами*.

§ 147.

Во всѣхъ прежнихъ изслѣдованіяхъ мы предполагали, что лучи, падающіе на зеркало суть центральные т. е. лучи находящіеся весьма близко отъ оси зеркала. Но это предположеніе только приблизительно къ истинѣ и для насъ необходимо знать, какъ по мѣрѣ отдаленія лучей отъ оси измѣняется самое явленіе. Точныя изслѣдованія этого предмета показали, что лучи, падающіе на зеркало ближе

къ краямъ его, пересѣкаютъ ось ближе къ зеркалу, нежели центральные. Если напр. параллельные лучи солнца SA, SC, SB и пр. (фиг. 184) падаютъ на вогнутое зеркало, то центральные лучи, идущіе ближе оси SC, будутъ имѣть фокусъ на половинѣ радіуса въ F, напротивъ оба луча SA и SB, падающіе на края зеркала, пересѣкаютъ ось въ F/. Разстояніе FF/ называется *сферическою аберрацією* зеркала, которая слѣд. зависитъ отъ отношенія AB къ радіусу, т. е. отъ *отверстія зеркала*, и которая пропорціональна квадрату отверстія. Отъ этого происходитъ то, что лучи выходящіе изъ весьма отдаленной точки, находящейся передъ сферическимъ зеркаломъ, послѣ отраженія пересѣкаются не въ одной точкѣ, но образуютъ вмѣсто того свѣтлое круглое пятно, которое можно видѣть, если принять лучи между F и F/ на какую нибудь плоскость; вычисленіе показываетъ, что это круглое пятно имѣетъ наименьшую величину въ томъ разстояніи отъ F, которое равно $\frac{2}{3}$ аберраціи. Итакъ вмѣсто точки въ фокусѣ мы получимъ весьма малый кругъ; но когда такимъ образомъ всѣ точки предмета, въ происходящемъ отъ отраженія на вогнутыхъ зеркалахъ изображеніи, разширяются въ малые круги, то очевидно изображеніе должно быть неясно. Итакъ мы получимъ изображеніе тѣмъ неявственнѣе, чѣмъ больше отверстіе зеркала; вычисленіе показываетъ, что неясность увеличивается какъ кубы отверстія. По этой причинѣ въ точныхъ инструментахъ напр. въ зеркальныхъ телескопахъ, которые мы послѣ опишемъ подробнѣе, зеркала должны имѣть какъ возможно меньшее отверстіе.

Очевидно, что этотъ недостатокъ, происходящій отъ аберраціи, можно устранить, если отполировать зеркало не сферическое, но такое, которое бы къ краямъ A и B имѣло меньшую кривизну, для того что бы лучи, падающіе на края, сходились не очень сильно. Извѣстно что это для

параллельно падающихъ лучей имѣло бы мѣсто тогда, когда бы ACB не было кругомъ, но параболою; потому что въ самомъ дѣлѣ извѣстное свойство параболы состоитъ въ томъ, что если къ ней проведемъ линію SM, параллельную оси DC (фиг. 185) и потомъ точку пересѣченія M соединимъ съ фокусомъ параболы F (который отъ оптичеткаго своего свойства получилъ это наименованіе), то будетъ уголъ SMA = FMC; итакъ если SM будетъ падающій лучъ, то MF будетъ отраженный, гдѣ бы точка M ни лежала на параболѣ. Если падающіе лучи будутъ не параллельны, но будутъ расходиться изъ одной точки, то кривизна зеркала должна быть эллиптическая, въ одномъ фокусѣ которой находится свѣтящаяся точка, а въ другомъ соединяются отраженные лучи, по извѣстному свойству эллипса состоящему въ томъ, что двѣ линіи, проведенные изъ фокусовъ эллипса къ какой нибудь точкѣ его, составляютъ съ нимъ равные углы, какъ этого требуютъ законы отраженія. Но въ практикѣ шлифованіе зеркалъ параболическихъ и эллиптическихъ представляетъ такія трудности, что по большой части употребляютъ только сферическія зеркала съ малымъ отверстіемъ.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

О ПРЕЛОМЛЕНІИ СВѢТА.

(*Діоптрика.*)

§ 148.

Мы видѣли, что если лучь свѣта падаетъ на какое нибудь прозрачное тѣло съ полированною поверхностію, то одна часть его отражается отъ поверхности, а другая проходитъ въ самое тѣло. Законы распространенія отраженнаго свѣта мы уже разсмотрѣли; теперь мы опредѣлимъ путь, по которому идетъ свѣтъ вступающій въ прозрачное тѣло. Мы увидимъ, что только въ весьма не многихъ случаяхъ лучи сохраняютъ свое первоначальное направленіе, но что они большею частію распространяются, хотя по прямому, однако измѣненному направленію; это уклоненіе отъ первоначальнаго направленія, называется *преломленіемъ свѣта.*

Представимъ себѣ лучь SC (фиг. 186), падающій изъ пустаго пространства на прозрачную средину съ плоскою поверхностію AB.

Пусть NN′ будетъ перпендикуляръ поставленный на AB въ точкѣ C; тогда NCS будетъ уголъ паденія луча. Опытъ научаетъ, что преломленный лучь CD приблизится къ перпендикуляру N′C; уголъ DCN′ называется *угломъ преломленія.* Законъ, опредѣляющій направленіе преломленнаго луча, состоитъ изъ двухъ частей, именно:

1. Падающій и преломленный лучи лежатъ въ одной плоскости съ перпендикуляромъ.

2. Для одной и тойже преломляющей средины синусъ угла паденія находится въ постоянномъ отношеніи съ синусомъ угла преломленія; и такъ если α есть уголъ паденія и ϱ уголь преломленія, μ постоянное отношеніе, то мы имѣемъ.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \varrho} = \mu \text{ или } \sin \alpha = \mu . \sin \varrho.$$

Величина μ, называемая *показателемъ преломленія*, есть величина постоянная, какъ было уже сказано, для одной и тойже средины; она измѣняется для различныхъ срединъ, но никогда не бываетъ меньше 1, что согласно и съ прежнимъ нашимъ замѣчаніемъ, состоящимъ въ томъ, что преломленный лучь приближается къ перпендикуляру. Посредствомъ опытовъ нашли, что для воды $\mu = \frac{4}{3}$, для стекла $\mu = \frac{3}{2}$, для алмаза $\mu = \frac{5}{2}$, для воздуха $\mu = 1{,}00028$.

Послѣ этого пусть лучь свѣта SG падаетъ напр. на поверхность воды AB (фиг. 187) подъ угломъ паденія равнымъ 30^0; представимъ себѣ, что около точки C, произвольнымъ радіусомъ r, описанъ кругъ PBP/A; тогда линія SF будетъ синусъ угла паденія RCP, и какъ извѣстно, въ нашемъ случаѣ будетъ равна $\frac{1}{2} r$. Если возмемъ $\frac{3}{4}$ этой величины т. е. $\frac{3}{8} r$ и положимъ эту линію ED перпендикулярно къ CP/, такъ чтобъ другой конецъ ея касался окружности круга въ D, то CD будетъ преломленный лучь, потому что синусъ угла паденія SCP относится къ синусу угла преломленія DCP/ какъ $\frac{SF}{DE}$ т. е.

$$\frac{\frac{1}{2} r}{\frac{3}{8} r} = \frac{4}{3} = \mu.$$

Такъ какъ преломляющія средины обыкновенно ограничены, а слѣд. лучь свѣта опять выходитъ изъ нихъ, то спрашивается, какимъ образомъ измѣняется путь луча, когда онъ изъ преломляющей средины выходитъ въ пустое

пространство. Опытъ научаетъ, что въ этомъ случаѣ имѣетъ мѣсто совершенно тотъ же законъ только съ тѣмъ различіемъ, что μ измѣняется въ $\frac{1}{\mu}$; слѣд. для стекла въ этомъ случаѣ показатель преломленія будетъ не $\frac{3}{2}$, но $\frac{2}{3}$. Итакъ если лучь DC изъ преломляющей средины выходитъ въ пустое пространство чрезъ поверхность AB, то онъ внѣ средины идетъ далѣе въ направленіи CS, такъ что онъ здѣсь продолжаетъ прежній путь, только въ обратномъ направленіи. Итакъ въ этомъ случаѣ лучь свѣта при выходѣ изъ плотнѣйшей средины *отдаляется* отъ перпендикуляра.

§ 149.

Изъ формулы $\sin \alpha = \mu \sin \varrho$, когда лучь изъ пустаго пространства входитъ въ преломляющую средину, слѣдуетъ, что $\sin \varrho = \frac{\sin \alpha}{\mu}$. Теперь, поелику μ всегда больше единицы и $\sin \alpha$ всегда меньше, то и $\frac{\sin \alpha}{\mu}$ всегда будетъ правильная дробь и по этому всегда можно найти $\sin \varrho$, который равенъ этой дроби, потому что синусы имѣютъ всѣ возможныя величины отъ 0 до 1. Итакъ, для каждаго угла паденія α, будетъ возможенъ уголъ ϱ, подъ которымъ идетъ лучь въ преломляющей срединѣ. Если уголъ паденія $\alpha = 0$, то и $\sin \varrho = 0$, а слѣд. и $\varrho = 0$; т. е. лучь, падающій перпендикулярно на преломляющую средину, проходитъ черезъ нее безъ всякаго преломленія какъ SCD (фиг. 188).

Если α будетъ больше, то и ϱ сдѣлается больше; когда α достигнетъ наибольшей величины т. е. 90^0, или если лучь SC падаетъ почти параллельно самой поверхности преломляющей средины и если предположимъ, что эта средина есть стекло, то будетъ $\sin S = \frac{2}{3} \sin 90 = \frac{2}{3}$ т. е.

$$\varrho = 41^0 50'$$

Отсюда слѣдуетъ, что когда падающій лучь измѣняетъ свое положеніе отъ 0 до 90°, или отъ SC до S/C, то преломленный лучь перемѣнится только на 41°50′ или отъ DC до D/C, слѣд. меньше нежели на половину оборота сдѣланнаго падающимъ лучемъ.

Если же лучь идетъ изъ стекла въ пустое пространство, то мы знаемъ, что тогда должно μ замѣнить $\frac{1}{\mu}$, слѣд. мы получимъ:

$$\sin \varrho = \mu . \sin \alpha.$$

И здѣсь для $\alpha = 0$ также и $\varrho = 0$ (фиг. 189), т. е. лучь SC, падающій перпендикулярно, идетъ въ пустое пространство, не преломляясь по направленію CD. Но такъ какъ $\mu > 1$, то будетъ $\varrho > \alpha$; наконецъ α достигнетъ такой величины, при которой будетъ $\mu \sin \alpha = 1$ и это будетъ для стекла тогда, когда $\sin \alpha = \frac{1}{\mu} = \frac{2}{3}$, т. е. когда $\alpha = 41°50'$; но когда $\sin \varrho = 1$, то $\varrho = 90$, т. е. лучь S′C, составляющій при выходѣ изъ стекла уголъ паденія 41°50′, идетъ параллельно поверхности стекла, какъ CD′. Если α будетъ еще больше, то будетъ $\mu \sin \alpha > 1$, слѣд. $\sin \varrho > 1$, что не возможно. Для этого случая законъ, выведенный нами прежде, невозможенъ, слѣд. лучь никогда не выдетъ изъ стекла и теперь спрашивается, что будетъ съ этимъ лучемъ? Опытъ научаетъ, что онъ въ этомъ случаѣ отражается отъ поверхности AB назадъ въ стекло и притомъ точно такъ, какъ при отраженіи отъ зеркала, т. е., *что уголъ паденія равенъ углу отраженія*. Слѣд. S″C пойдетъ по направленію CD″. Это отраженіе называется *полнымъ внутреннимъ отраженіемъ*, для отличія отъ другаго, которое имѣетъ мѣсто при каждомъ углѣ паденія, ибо при каждомъ выходѣ луча изъ средины въ пустое пространство точно также, какъ и при входѣ въ средину, одна часть отражается, а другая выходитъ. Полное внутреннее отраженіе отличается отъ

обыкновеннаго тѣмъ, что при переломѣ весь свѣтъ отражается и не выходитъ изъ средины ни малѣйшая часть его. Уголъ, при которомъ начинается полное отраженіе, называется *угломъ предѣла* полнаго отраженія; синусъ его, какъ сказано было прежде, равенъ $\frac{1}{n}$, слѣд. для воды онъ равенъ $48^{\circ}35'$, для стекла $= 41^{\circ}50'$, для алмаза $= 23^{\circ}35'$. Такимъ образомъ лучь свѣта можетъ выйти изъ алмаза только тогда, когда онъ на заднюю плоскость его падаетъ подъ угломъ, который меньше $23^{\circ}35'$. По этой причинѣ алмазъ отражаетъ большое количество свѣта или, какъ говорятъ, имѣетъ *сильную игру*.

Такъ какъ въ полномъ внутреннемъ отраженіи *весь свѣтъ* отражается, между тѣмъ какъ на нашихъ зеркалахъ только отражается около половины его, то можно употребить это отраженіе съ пользою въ тѣхъ случаяхъ, когда отраженіе происходитъ подъ угломъ большимъ угла предѣла. Пусть напр. BAC представляетъ вертикальный разрѣзъ прямоугольной призмы (фиг. 190), которой стороны AB, BC и CA полированы и въ которой $AB = AC$; пусть лучь SE падаетъ перпендикулярно на AB; тогда онъ пойдетъ къ D не преломляясь. Такъ какъ при D уголъ паденія равенъ 45°, слѣд. больше $41^{\circ}50$, то лучь весь отразится, упадетъ при G перпендикулярно къ AC и пойдетъ опять, не преломляясь, къ F. Итакъ если мы по этому направленію отъ F къ D будемъ смотрѣть въ призму, то мы увидимъ находящіеся при S предметы какъ будто въ зеркалѣ CB, только гораздо яснѣе, потому что здѣсь никакого свѣта не теряется. Такую призму употребляютъ исключительно вмѣсто зеркала въ оптическихъ инструментахъ, напр. въ подзорныхъ трубахъ, когда хотятъ измѣнить направленіе луча на прямой уголъ.

Примѣръ внутренняго отраженія ежедневно можно видѣть, если смотрѣть въ стаканъ съ водою ABCD снизу изъ

O (фиг. 191); поверхность воды MN кажется блестящею какъ серебро и если въ стаканѣ находится серебряная ложка E, то часть ея, находящаяся въ водѣ, видна будетъ черезъ отраженіе на поверхности MN, съ чрезвычайною ясностію.

§ 149.

Если имѣемъ преломляющую средину, напр. стекло, съ *параллельными* плоскими поверхностями AB и DE и если лучь SC падаетъ на первую поверхность AB подъ угломъ α (фиг. 192), то онъ пойдетъ дальше по направленію CF, такъ что уголъ преломленія ϱ будетъ имѣть величину, при которой:

$$\sin \alpha = \mu \cdot \sin \varrho.$$

Для угла паденія α' на заднюю поверхность стекла DE очевидно имѣемъ

$$\alpha' = \varrho.$$

Наконецъ при выходѣ луча получаемъ уголъ преломленія такой, что будетъ

$$\sin \alpha' = \frac{1}{\mu} \cdot \sin \varrho'.$$

Если въ послѣднемъ уравненіи вмѣсто α' подставимъ равный ему уголъ ϱ изъ второго, и помножимъ получаемое уравненіе на первое, то получимъ

$$\sin \alpha \cdot \sin \varrho = \sin \varrho \cdot \sin \varrho'$$

$$\text{или } \sin \alpha = \sin \varrho'$$

$$\text{и } \alpha = \varrho.$$

т. е. если лучь свѣта проходитъ черезъ стекло съ параллельными поверхностями, то онъ остается *параллельнымъ своему первоначальному направленію*; впрочемъ это новое направленіе не есть продолженіе первоначальнаго, но оно немного уклонено въ сторону и тѣмъ больше, чѣмъ толще стекло.

Въ справедливости этого закона убѣждаются слѣдующимъ образомъ. Подзорную трубу направляютъ на отдаленный предметъ; если передъ трубою будутъ держать такое стекло, котораго стороны не совершенно параллельны, то предметъ, какъ показываетъ теорія, тотчасъ долженъ перемѣнять свое положеніе въ трубѣ; но если онѣ плоски и параллельны, то предметъ долженъ оставаться на своемъ мѣстѣ. Это дѣйствительно замѣчаютъ, если употребляютъ такое стекло. Средство сіе такъ точно, что на оборотъ имъ можно убѣдиться въ совершенной параллельности сторонъ стекла. Но тогда подзорная труба должна быть устроена такъ, что бы въ ней была постоянная точка, которую можно направить на отдаленный предметъ и такимъ образомъ убѣдиться въ неизмѣняемости его положенія. Послѣ при точномъ изслѣдованіи устройства подзорной трубы мы увидимъ, какимъ образомъ достигаютъ этого посредствомъ двухъ натянутыхъ въ трубѣ перекрестныхъ тонкихъ нитей, которыя вмѣстѣ съ предметомъ можно ясно видѣть; точка пересѣченія нитей есть требуемая неподвижная точка въ трубѣ.

§ 150.

Если двѣ различныя средины съ параллельными и плоскими поверхностями касаются одна другой, и если мы сдѣлаемъ вышеприведенный опытъ, то найдемъ что обѣ средины вмѣстѣ не измѣняютъ положенія предмета въ трубѣ; слѣдовательно лучь и при прохожденіи черезъ двѣ лежащія одна подлѣ другой средины остается параллельнымъ своему первоначальному направленію. Изъ этого опыта мы можемъ опредѣлять измѣненіе направленія луча, когда онъ изъ одной преломляющей средины переходитъ въ другую. Въ самомъ дѣлѣ, пусть AB и GK (фиг. 193) будутъ параллельныя поверхности первой средины, GK и MN другой, лежащей подлѣ нея; показатель преломленія первой

μ, второй μ'. Лучь SC пойдетъ въ первой срединѣ отъ C къ D, во второй отъ D къ F, а изъ F, какъ мы знаемъ, онъ пойдетъ къ S′, такъ что будетъ SC параллеленъ FS′. — Пусть углы паденія на три плоскости будутъ означены черезъ α, α', α'', углы преломленія черезъ, ϱ, ϱ', ϱ'', и мы знаемъ что $\alpha = \varrho''$.

Изъ предъидущаго мы имѣемъ

$$\sin \alpha = \mu . \sin \varrho.$$

Такъ какъ мы не знаемъ отношенія $\sin \alpha'$ къ $\sin \varrho'$, то мы означаемъ его черезъ x; тогда будетъ

$$\sin \alpha' = x . \sin \varrho'$$

И наконецъ $$\sin \alpha'' = \frac{1}{\mu'} . \sin \varrho''$$

Но такъ какъ по параллельности AB, GK и MN знаемъ что $\varrho = \alpha'$, $\varrho' = \alpha''$, и какъ $\alpha = \varrho''$, то мы можемъ эти три уравненія написать такъ:

$$\sin \alpha = \mu \sin \varrho$$
$$\sin \varrho = x \sin \varrho'$$
$$\mu' . \sin \varrho' = \sin \alpha.$$

Умножая ихъ получимъ:

$$\mu' . \sin \alpha . \sin \varrho . \sin \varrho' = \mu x . \sin \varrho . \sin \varrho' . \sin \alpha$$

откуда $$\mu' = \mu x$$

или $$x = \frac{\mu'}{\mu}$$

Слѣдовательно для луча, идущаго изъ одной преломляющей срединъ въ другую, показатель преломленія равенъ показателю преломленія второй срединъ, раздѣленному на показатель первой; оба эти показателя относятся къ переходу изъ пустаго пространства въ средины. Показатель преломленія срединъ, въ которую проходитъ лучь изъ пустаго пространства, называется *абсолютнымъ* или просто показателемъ преломленія срединъ, а когда въ нее лучь проходитъ изъ другой преломляющей срединъ, то показатель называется *относительнымъ* и по предъидущему легко найти одинъ, когда другой

извѣстенъ. Если напр. посредствомъ опыта, который мы покажемъ послѣ, нашли что показатель преломленія равенъ $\frac{3}{2}$, когда лучь идетъ изъ воздуха въ стекло, то абсолютный показатель его опредѣлится, если найденное количество умножимъ на обсолютный показатель преломленія воздуха т. е. на 1,00028.

§ 151.

Если 2 плоскости, ограничивающія преломляющую средину *не параллельны*, то такую средину въ оптикѣ вообще называютъ *призмою*. Если разсѣчемъ призму плоскостію перпендикулярною къ обѣимъ поверхностямъ ея, то получимъ плоскость называемую *главнымъ сѣченіемъ призмы*. Уголъ составляемый поверхностями ея въ этомъ сѣченіи т. е. уголъ наклоненія обѣихъ плоскостей, называется *преломляющимъ угломъ* призмы, а линія пересѣченія обѣихъ плоскостей *преломляющимъ ребромъ*. Обыкновенно представляютъ себѣ призму ограниченною со стороны противоположной преломляющему ребру третьею плоскостію; линія, въ которой главное сѣченіе пересѣкается этою плоскостію противоположною ребру, называется *основаніемъ* призмы. Итакъ пусть CAB (фиг. 194) будетъ главное сѣченіе, CA одна и CB другая преломляющая поверхность; тогда ACB будетъ преломляющій уголъ призмы, AB основаніе ея. Если лучь SD падаетъ въ плоскости главнаго сѣченія на поверхность призмы въ D, такъ что онъ съ перпендикуляромъ PP′ составляетъ уголъ паденія α и уголъ преломленія ϱ, то онъ пойдетъ по направленію DF. При F онъ составитъ съ перпендикуляромъ QQ′ уголъ паденія α' и уголъ преломленія ϱ', такъ что лучь отклонится въ FS′ далѣе отъ перпендикуляра. Если продолжимъ направленіе падающаго луча SD и вышедшаго изъ призмы FS′ до того, чтобъ они пересѣклись въ призмѣ въ точкѣ K, то увидимъ что первоначальное направленіе луча SK перемѣнилось въ KS′ и лучь отклонился отъ

своего первоначальнаго направленія на уголъ MKS', который по этому называется *угломъ отклоненія*. Изъ фигуры видно, *что призма всегда отклоняетъ лучь отъ вершины къ основанію*. Величина отклоненія бываетъ различна, смотря по величинѣ угла паденія, и она можетъ быть опредѣлена посредствомъ вычисленія, если показатель преломленія призмы и преломляющій уголъ ея будутъ извѣстны; но мы должны опустить здѣсь нужныя для этого формулы. Изъ вычисленія извѣстно, что между всѣми величинами угла паденія для даннаго преломляющаго угла призмы есть одна, при которой лучь отклоняется наименьше, или при которой уголъ S'KM достигаетъ наименьшей величины Это бываетъ именно тогда, когда уголъ $\alpha = \alpha$, или $\rho = \alpha'$. Въ существованіи этого наименьшаго отклоненія можно убѣдиться посредствомъ опыта, если пропустить чрезъ такую призму лучь, въ темной комнатѣ и потомъ смотрѣть, какъ онъ отклоняется; поворачивая призму около преломляющаго ребра, увидимъ что изображеніе, производимое лучемъ на стѣнѣ, будетъ сперва болѣе и болѣе подвигаться къ сторонѣ соотвѣтствующей наименьшему отклоненію, но потомъ при дальнѣйшемъ поворачиваніи призмы въ туже сторону оно начнетъ двигаться назадъ. Точка поворота даетъ положеніе наименьшаго отклоненія, которое слѣд. имѣетъ тотъ отличительный признакъ, что въ какую бы сторону мы ни поворачивали призму, изображеніе всегда двигается въ одну и туже сторону. Такъ какъ это положеніе легко можетъ быть опредѣлено въ практикѣ, то его употребляютъ для нахожденія показателя преломленія μ той средины, изъ которой сдѣлана призма. Въ самомъ дѣлѣ найдено, что если наименьшее отклоненіе D луча извѣстно, и если преломляющій уголь γ призмы данъ, то μ можетъ быть опредѣленъ изъ формулы

$$\mu = \frac{\sin \frac{1}{2}(D+\gamma)}{\sin \frac{1}{2}\gamma}$$

Эту формулу обыкновенно употребляютъ для опредѣленія μ; только при этихъ опытахъ входитъ одно обстоятельство, о которомъ послѣ мы будемъ говорить и которое состоитъ въ томъ, что лучь свѣта при преломленіи въ призмѣ, разлагается на различные цвѣты.

Если нужно опредѣлить μ для жидкихъ тѣлъ, то жидкость наливаютъ въ сосудъ ограниченный двумя наклоненными одна къ другой стеклянными пластинками имѣющими обѣ стороны плоскія, сѣдл. въ пустую призму, и опредѣляютъ отклоненіе, какъ и въ твердыхъ тѣлахъ. Если при каждомъ стеклѣ поверхности его совершенно параллельны, то стекла, какъ мы видѣли, не отклоняютъ луча, такъ что лучь проходя черезъ нихъ остается параллеленъ первоначальному своему направленію и отклоняется только отъ этаго направленія въ жидкой призмѣ; если же плоскости обѣихъ сторонъ одного стекла не будутъ между собою параллельны, то это стекло также составляетъ призму и мы наблюдаемъ сумму отклоненій, производимыхъ жидкостію и стеклянными пластинками. Но такъ какъ послѣднюю часть суммы можемъ опредѣлить отдѣльно, если знаемъ отклоненіе производимое пустою призмою, то мы можемъ, посредствомъ легкаго вычисленія, найти также отклоненіе производимое одною жидкою призмою.

Для газообразныхъ тѣлъ служитъ также пустая призма, изъ которой можно вытянуть воздухъ и наполнить различными газами. Только при газахъ нужно обращать вниманіе на давленіе, подъ которымъ они находятся, потому что отъ него зависитъ плотность ихъ, а показатель преломленія пропорціоналенъ плотности.

§ 152.

На преломленіи свѣта основывается объясненіе нѣкоторыхъ явленій. На дно сосуда MPQN съ непрозрачными

стѣнками, наполненнаго водою (фиг. 195), кладутъ какой нибудь предметъ, напр. маленькую монету AB. Лучь BD, выходящій изъ точки B перпендикулярно, не перемѣнитъ своего направленія при выходѣ изъ воды, напротивъ другіе лучи, падающіе на поверхность воды подъ острымъ угломъ, отклоняются отъ перпендикуляра, потому что они выходятъ изъ средины болѣе преломляющей въ менѣе преломляющую. По этому напр. лучь BG пойдетъ внѣ воды по направленію GH; предположимъ, что изъ всѣхъ лучей, выходящихъ изъ B это есть послѣдній, который можетъ пройти выше края N сосуда, между тѣмъ какъ другіе упадутъ на стѣнки его и потому не могутъ выйти; слѣд. всѣ лучи лежащіе между BD и BG и выходящіе изъ B послѣ преломленія будутъ находиться между DR и GH. Если продолжимъ линію GH назадъ такъ, что бы она пересѣкала линію BD въ B′, то эти лучи будутъ казаться выходящими изъ B′ вмѣсто B. Такимъ же образомъ всѣ лучи отъ A, находящіеся между AC и AF (гдѣ AF есть послѣдній лучь, проходящій послѣ преломленія выше края N сосуда) послѣ преломленія будутъ лежать между CL и FK, слѣд. будутъ казаться выходящими изъ A′.

Теперь, если глазъ находится въ O, то ему кажется, что онъ видитъ предметъ AB въ A′B′, слѣд. немного поднятымъ, и изъ положенія O видно, что если бы въ сосудѣ не было воды, то глазъ совершенно не видалъ бы монеты. По этому еслибъ положили прежде въ пустой сосудъ монету такъ, что бы виденъ былъ одинъ только край ея A, то, наливши воды въ сосудъ, увидимъ ее всю.

Если палку AB (фиг. 196) держать въ водѣ въ наклонномъ положеніи, то часть CB будетъ казаться приподнятою какъ CB′ по той же причинѣ, по которой монета кажется выше, и слѣд. палка покажется будто сломанною при C; явленіе это всякому извѣстно. Такимъ же образомъ

объясняется, почему купающимся въ мелкой водѣ дно, со всѣхъ сторонъ, кажется приподнятымъ вверхъ. Это видимое повышеніе будетъ тѣмъ больше, чѣмъ косвеннѣе будемъ смотрѣть на воду; при отвѣсномъ положеніи глаза преломленіе = 0, слѣд. всѣ точки дна, лежащія перпендикулярно подъ глазами наблюдателя, будутъ казаться въ естественномъ положеніи.

§ 153

Такъ какъ наша атмосфера, (§ 115), состоитъ изъ концентричетких слоевъ, которыхъ плотности уменьшаются тѣмъ болѣе, чѣмъ дальше они будутъ отъ земли, посему слои эти тѣмъ меньше преломляютъ свѣтъ, чѣмъ они выше; отъ этого лучи свѣта падающіе на нашу землю изъ небесныхъ свѣтилъ уклоняются отъ первоначальнаго своего положенія. Въ самомъ дѣлѣ пусть ABC представляетъ часть земной поверхности (фиг. 197), DE горизонтъ наблюдателя, находящагося въ B, mn, $m'n'$, $m''n''$, $m'''n'''$ и проч. тонкіе концентрическіе слои, изъ которыхъ каждый ближайшій къ землѣ преломляетъ свѣтъ больше, чѣмъ предъидущіе; если Sa будетъ лучь свѣта, падающій на слой mn, то, по закону преломленія, онъ преломится такъ, что онъ приблизится къ нормальной, слѣд. онъ пойдетъ по направленію ab; при b онъ переходитъ въ слѣдующій слой и по этому опять приближается къ нормальной и идетъ по направленію bc; потомъ онъ идетъ далѣе по направленію cd и наконецъ по направленію dB онъ приходитъ въ глазъ наблюдателя; слѣд. послѣднему будетъ казаться, что онъ видитъ звѣзду S по направленію Bd, слѣд. въ S' т. е. выше надъ горизонтомъ, нежели какъ она находится въ самомъ дѣлѣ. Но такъ какъ всѣхъ слоевъ не 4, но безкопечное множество, то лучь будетъ представлять не ломаную линію, показанную на фигурѣ, но кривую, которой выпуклость обращена кверху, и мы видимъ

звѣзду по линіи касательной къ этой кривой, проведенной чрезъ точку, въ которой находится нашъ глазъ. Впрочемъ кривизна этой линіи не такъ велика, какъ она представлена для ясности на фигурѣ, потому что показатель преломленія воздушныхъ слоевъ сверху внизъ увеличивается столь мало, что онъ на поверхности земли, когда лучь входитъ въ воздухъ изъ пустаго пространства, вообще равенъ только 1,00028, какъ мы уже видѣли. Если звѣзда находится прямо надъ нами, или какъ говорятъ, въ зенитѣ, то лучи ея падаютъ перпендикулярно на поверхность всѣхъ концентрическихъ слоевъ, слѣд. не преломляются и отклоненіе звѣзды равно бываетъ 0. Отклоненіе бываетъ тѣмъ больше, чѣмъ ближе звѣзда находится къ горизонту и достигаетъ наибольшей величины, когда звѣзда находится въ самой плоскости горизонта. Все это явленіе извѣстно подъ именемъ *астрономическаго преломленія* или *рефракціи*, и всегда должно быть тщательно принимаемо въ разсужденіе въ Астрономіи при тѣхъ наблюденіяхъ, въ которыхъ берется высота звѣздъ надъ горизонтомъ. Наибольшее преломленіе въ горизонтѣ почти равно 33′. Подобное преломленіе, производимое только не всѣми слоями атмосферы, дѣйствуетъ и на отдаленные предметы земные, особенно близко лежащіе къ горизонту, которые чрезъ то кажутся приподнятыми.

Это явленіе всегда имѣетъ мѣсто, хотя и въ различныхъ степеняхъ, но иногда къ нему присоединяются совершенно необыкновенныя явленія; напр. на горизонтѣ являются предметы, которые въ другое время невидимы по причинѣ большой отдаленности и кажутся какъ будто плавающими въ воздухѣ и отдаленными отъ земли; часто предметы кажутся удвоенными или даже утроенными, и изъ этихъ изображеній одно бываетъ въ обратномъ положеніи. Эти явленія совершенно объясняются необыкновеннымъ разпредѣленіемъ плотности или способности преломленія воз-

душныхъ слоевъ. Одно изъ обыкновенныхъ явленій такого рода покажется напр. когда будемъ смотрѣть вдаль на большую поверхность воды или песку сильно освѣщенную солнцемъ; мы увидимъ предметы, находящіеся въ дальнемъ разстояніи, напр. корабль стоящій на якорѣ, во первыхъ немного приподнятымъ и потомъ еще разъ внизу стоящимъ въ обратномъ положеніи, какъ будто бы онъ отразился отъ воды, хотя этого быть не можетъ по причинѣ не гладкой поверхности моря, волнуемаго вѣтромъ; между обоими изображеніями обыкновенно находится неясное сѣрое пространство (фиг. 198). Эти явленія объясняются слѣдующимъ образомъ: сильное нагрѣваніе поверхности воды, причиняемое солнечного теплотою, производитъ сильное испареніе, такъ что нижніе слои воздуха смѣшиваются съ парами больше всего на самой поверхности воды, а чѣмъ выше тѣмъ меньше. Такъ какъ эти пары имѣютъ меньшую плотность нежели вода, то и плотность смѣси изъ воздуха и паровъ будетъ меньше плотности сухаго воздуха; отъ этого происходитъ, что нижайшіе слои атмосферы въ этомъ мѣстѣ не суть плотнѣйшіе. Кверху плотность мало по малу увеличивается, потому что здѣсь меньше паровъ, пока наконецъ количество ихъ сдѣлается столь малымъ, что плотность воздуха, начиная отсюда, слѣдуетъ закону одной тяжести и слѣд. съ увеличеніемъ высоты уменьшается. Изъ этого слѣдуетъ, что наибольшая плотность воздуха, слѣд наибольшій показатель преломленія, имѣетъ мѣсто на какой нибудь опредѣленной высотѣ надъ водою и начиная отъ этой высоты плотность уменьшается книзу и кверху. Теперь пусть CD представляетъ такой слой воздуха наибольшей плотности (фиг. 199). Если въ C находится какой нибудь предметъ, въ E глазъ, то лучи свѣта, прошедши черезъ слой воздуха CD, дойдутъ до глаза по кривой линіи CFE и глазъ увидитъ изображеніе предмета въ C′, подобнымъ обра-

зомъ другіе лучи, идущіе внизъ, доходятъ до глаза по подобной кривой линіи CGE, потому что способность преломленія въ CD книзу также уменьшается какъ и кверху, слѣд. глазъ увидитъ въ C″ другое изображеніе; но это второе изображеніе будетъ казаться въ обратномъ положеніи, потому что лучи нижнихъ точекъ предмета должны отклониться меньше для того, чтобы достигнуть до глаза, нежели лучи верхнихъ точекъ, какъ научитъ насъ точное изслѣдованіе предмета. Эти необыкновенныя явленія атмосфернаго лучепреломленія извѣстны подъ именемъ *зеркальности воздуха*, *миража*, *fata morgana* и проч. Они бываютъ видимы и на песчаныхъ поверхностяхъ, потому что тамъ отъ сильнаго нагрѣванія почвы нижніе слои воздуха, ближайшіе къ почвѣ, расширяются и отъ этого дѣлаются менѣе преломляющими, нежели верхніе такъ что и здѣсь наибольшая способность преломленія имѣетъ мѣсто на нѣкоторой высотѣ.

Подобное явленіе въ маломъ видѣ можно замѣтить, если нагрѣть длинную желѣзную полосу и смотрѣть черезъ нее отъ одного конца къ другому на поставленные на другомъ концѣ предметы. Надъ полосою нагрѣтый воздухъ дѣйствуетъ также, какъ нагрѣтый воздухъ надъ песчаною поверхностію; видно сильное трясеніе предмета, а иногда видны два изображенія его. Такое же явленіе можно видѣть, если въ стеклянный сосудъ съ параллельными стѣнками налить двѣ жидкости, различно преломляющія, такъ что бы они рѣзко отдѣлялись одна отъ другой и потомъ начинали мало по малу смѣшиваться, какъ мы это видѣли (§ 100); въ слоѣ смѣшенія видно подобное удвоеніе изображенія предметовъ.

О преломленіи свѣта въ сферическихъ поверхностяхъ.

§ 154

Если свѣтъ проходитъ чрезъ прозрачную средину, ограниченную кривыми поверхностями, то легко видѣть, что отклоненія его будутъ весьма различны, смотря по кривизнѣ поверхностей. Въ практикѣ употребляются только шарообразныя кривизны, потому что только онѣ могутъ быть съ надлежащею точностію отшлифованы; по этому мы займемся только одними ими. Онѣ имѣютъ 6 различныхъ видовъ, которые представлены въ фиг. 200 въ разрѣзѣ и называются вообще *оптическими стеклами,* (чечевицами); онѣ суть:

I. Двояко-выпуклое стекло, II плоско-выпуклое, III менискъ; всѣ онѣ принадлежатъ къ выпуклымъ стекламъ. IV двояко-вогнутое, V плоско-вогнутое и VI выпукло-вогнутое (разсѣевающій менискъ); онѣ принадлежатъ къ вогнутымъ стекламъ. Впрочемъ намъ не нужно выводить законы преломленія для каждаго изъ 6 родовъ особенно; ибо если мы прежде выведемъ законы для двояко-выпуклыхъ оптическихъ стеколъ, то законы для остальныхъ 5 мы легко можемъ вывести, дѣлая тоже замѣчаніе касательно знаковъ, которое мы сообщили при разсматриваніи сферическихъ зеркалъ, какъ мы увидимъ послѣ. Теперь пусть AD будетъ такое двояко-выпуклое стекло (фиг. 201), C центръ первой поверхности ABD, на которую падаетъ свѣтъ, C′ центръ второй поверхности AB′D, изъ которой лучи выходятъ; въ такомъ случаѣ прямая линія, проведенная чрезъ C и C′, называется *осью* стекла. Если предположимъ, что на этой оси находится свѣтящаяся точка S, то задача наша будетъ состоять въ томъ, что бы опредѣлить направленіе, по которому будетъ идти лучь, падающій изъ S на стекло, по выходѣ изъ онаго. Если изъ C проведемъ радіусъ CM кривизны ABD, то SME будетъ уголъ

паденія луча; послѣ преломленія онъ приблизится къ перпендикуляру CH, слѣд. онъ пойдетъ далѣе по направленію MN, такъ что если бы онъ продолжалъ свой путь по этому направленію, то онъ пересѣкъ бы ось въ точкѣ G. Но при N онъ выходитъ изъ стекла и если проведемъ радіусъ C′N, то MNC′ будетъ уголь паденія на поверхность AB′D, и какъ лучь теперь входитъ въ средину менѣе преломляющую, то онъ отдалится отъ перпендикуляра NK и слѣд. пойдетъ по направленію NF, такъ что пересѣчетъ ось въ точкѣ F. Если возмемъ уголъ паденія SME и уголъ преломленія NMC и означимъ чрезъ μ показатель преломленія стекла относительно воздуха, потому что мы всегда дѣлаемъ опыты въ воздухѣ, то получимъ:

$$\frac{\sin. SME}{\sin. NMC} = \mu.$$

Такъ какъ уголъ паденія на вторую плоскость есть MNC′, а уголъ преломленія есть FNK, то мы также получимъ:

$$\frac{\sin. MNC'}{\sin. FNK} = \frac{1}{\mu}.$$

Если мы предположимъ, что лучь SM лежитъ весьма близко къ оси, какъ мы это уже дѣлали при разсматриваніи сферическихъ зеркалъ и какъ это по большой части бываетъ въ самомъ дѣлѣ, потому что поверхности сферическихъ стеколъ всегда составляютъ весьма малую часть всей поверхности шара, или другими словами, если предположимъ, что лучи будутъ *центральные*, то всѣ эти углы также будутъ весьма малы, слѣд. отношеніе синусовъ ихъ будетъ почти равно отношенію самихъ угловъ и мы получимъ:

$$SME = \mu . NMC \qquad \mu . MNC' = FNK.$$

но $SMF = \alpha + \gamma$; $NMC = \gamma - \delta$; $MNC' = \beta + \delta$; $FNK = \beta + \varepsilon$;

слѣд. мы имѣемъ: $\alpha + \gamma = \mu\gamma - \mu\delta$

$$\beta + \varepsilon = \mu\beta + \mu\delta.$$

Слагая соотвѣтственные члены получимъ:

$$\alpha + \gamma + \beta + \varepsilon = \mu\gamma + \mu\beta$$

или

$$\alpha + \varepsilon = (\mu - 1)(\beta + \gamma)$$

Но поелику углы очень малы, то можно также вмѣсто ихъ взять тангенсы угловъ и тогда получимъ:

$$\text{tang } \alpha + \text{tang } \beta = (n - 1)(\text{tang } \gamma + \text{tang } \gamma)$$

Если теперь предположимъ, что стекло весьма тонко въ сравненіи съ радіусомъ поверхности и если означимъ разстояніе SB точки S отъ стекла или, по причинѣ тонкости его, отъ средины его, черезъ d, радіусъ CB первой поверхности черезъ r, радіусъ второй поверхности C′B′ черезъ r' и разстояніе точки F отъ стекла чрезъ f, то мы получимъ:

$$\text{tang } \alpha = \frac{\text{ML}}{d}; \text{tang } \beta = \frac{\text{ML}}{f}; \text{tang } \beta = \frac{\text{ML}}{r'}; \text{tang } \gamma = \frac{\text{ML}}{r}$$

подставляя эти величины въ послѣднее уравненіе и раздѣляя вездѣ на ML, получимъ:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = (n - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right) \qquad \text{(A)}$$

Изъ этого уравненія мы можемъ опредѣлить f, какъ скоро будутъ извѣстны d, r, r' и n. Итакъ если мы знаемъ радіусы кривизны поверхностей, также показатель преломленія стекла и разстояніе свѣтящейся точки отъ стекла, то мы можемъ найти, въ какомъ разстояніи лучь послѣ преломленія пересѣчетъ ось. Подобнымъ образомъ для всѣхъ другихъ лучей, падающихъ изъ той же точки на стекло, мы найдемъ тоже самое разстояніе, потому что величины въ нашей формулѣ для всѣхъ лучей остаются одни и тѣже. Слѣд. *для центральныхъ лучей* мы находимъ, что *всѣ лучи, которые, выходя изъ одной точки оси, падаютъ на двояковыпуклое стекло, перешедши чрезъ него, пересѣкаются опять въ одной точкѣ, которая также лежитъ на оси.* Эта точка называется *фокусомъ*.

§ 155.

Если падающіе лучи параллельны, то это значитъ тоже, что точка S находится въ безконечно большомъ разстояніи отъ стекла или что d безконечно велико, слѣд. $\frac{1}{d} = 0$ и тогда наша формула будетъ:

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right)\ldots. \qquad (B)$$

Въ этомъ случаѣ разстояніе f называется *главнымъ фокуснымъ разстояніемъ*; мы означимъ его чрезъ F; тогда по предъидущему параграфу изъ формулы (A) получимъ:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F};\ \text{слѣд.}\ f = \frac{dF}{d - F}. \qquad (C)$$

Если предположимъ, что обѣ кривизны равны или что $r = r'$ и для стекла предположимъ что $\mu = {}^3/_2$, то изъ формулы (B) получимъ:

$$\frac{1}{F} = ({}^3/_2 - 1)\frac{2}{r} = \frac{1}{r}$$

слѣд.
$$F = r.$$

т. е. въ этомъ случаѣ главное фокусное разстояніе равно радіусу. Въ вогнутыхъ зеркалахъ главное фокусное разстояніе было равно половинѣ радіуса; слѣд. мы видимъ, что двояковыпуклыя стекла съ одинаковою кривизною также собираютъ параллельные лучи солнца въ одну точку какъ и вогнутыя зеркала, но что сила зеркалъ вдвое больше при одинаковой кривизнѣ, потому что зеркала сильнѣе заставляютъ лучи сходиться, именно на разстояніи равномъ половинѣ радіуса, между тѣмъ какъ стекла могутъ произвесть тоже самое явленіе только на разстояніи равномъ цѣлому радіусу.

Въ практикѣ гораздо легче опредѣлить главное фокусное разстояніе стекла, нежели радіусы кривизны поверхностей его; нужно только узнать, гдѣ солнечные лучи соберутся позади стекла въ самомъ меньшемъ пространствѣ; это малое пространство есть главный фокусъ стекла. По этому формула (C) легче можетъ быть употреблена, нежели подробнѣйшая формула (A). Изъ послѣдней

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right)$$

видно что все равно, какая бы поверхность стекла ни была обращена къ свѣтящейся точкѣ, разстояніе f и слѣд. F всег-

да остаются одне и тѣже. Въ самомъ дѣлѣ, если переворотить стекло, то r измѣнится въ r', а r' въ r, но на правой сторонѣ уравненія количество $\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}$ черезъ это останется безъ всякой перемѣны.

§ 156.

Теперь разсмотримъ формулу (C) подробнѣе; изъ оной какъ уже сказано, имѣемъ:

$$f = \frac{dF}{d-F} = \frac{F}{1-\frac{F}{d}}.$$

Изъ этого выходитъ слѣдующее:

1. Если свѣтящаяся точка находится въ безконечно большомъ отдаленіи т. е. если падающіе лучи параллельны оси, то будетъ $\frac{F}{d} = 0$ и $f = F$; въ самомъ дѣлѣ въ этомъ случаѣ f есть главное фокусное разстояніе.

2. Если свѣтящаяся точка приближается къ стеклу, то $\frac{F}{d}$ будетъ увеличиваться, слѣд. $1 - \frac{F}{d}$ становится меньше и меньше, а $\frac{F}{1-\frac{F}{d}}$ или f сдѣлается болѣе и болѣе, т. е. фокусъ отдаляется отъ стекла безпрестанно далѣе, начиная отъ главнаго фокуса.

3. Если $d = 2F$, то $f = \frac{F}{1-\frac{1}{2}} = 2F$; итакъ если свѣтящаяся точка приблизится къ стеклу на двойное фокусное разстояніе, то фокусъ будетъ позади стекла на такомъ же разстояніи.

4. Если $d = F$, то $f = \frac{F}{0}$ т. е. f будетъ безконечно велико, или за стекломъ лучи будутъ параллельны; итакъ если d измѣняется отъ безконечности до $2F$, то главный фокусъ подвигается только отъ F до $2F$; напротивъ когда

d измѣняется отъ 2F до F, то фокусъ подвигается отъ 2F до безконечности.

5. Если d меньше F, то будетъ $\frac{F}{d} > 1$ слѣд. $1 - \frac{F}{d}$, а слѣд. также и f будутъ величины отрицательныя т. е. это разстояніе будетъ не на противоположной сторонѣ какъ прежде, но на одной и той же сторонѣ, на которой находится свѣтящаяся точка; лучи по этому остаются расходящимися и послѣ преломленія.

Если эти законы сравнимъ съ тѣми, которые мы вывели для вогнутыхъ зеркалъ, то увидимъ, что они совершенно согласны между собою, съ тѣмъ только различіемъ, 1) что главное фокусное разстояніе будетъ другое, какъ мы уже это видѣли и 2) что въ случаѣ зеркалъ свѣтящаяся точка и фокусъ имѣютъ противоположныя движенія на одной и тойже сторонѣ отражающей поверхности, между тѣмъ какъ въ выпуклыхъ стеклахъ объ эти точки, лежащія на различныхъ сторонахъ стекла, перемѣщаются по одному и тому же направленію.

§ 157.

Что бы получить формулу для другихъ стеколъ, а не для двояковыпуклыхъ, мы должны только сдѣлать слѣдующія замѣчанія:

Когда мы выводили формулу для соединенія лучей падающихъ на двояковыпуклое стекло, параллельно оси его, т. е. формулу

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = (n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right)$$

то всѣ входящія линіи d, f, r, r' были величины положительныя, слѣд. d и r остаются положительными, когда онѣ находятся на той сторонѣ, съ которой падаютъ лучи, въ нашемъ случаѣ на лѣвой сторонѣ отъ стекла, а f и r положительными тогда, когда они лежатъ по правой сторонѣ. Но эти величины сдѣлаются отрицательными, когда

онѣ будутъ лежать на другой сторонѣ. Кромѣ того замѣчаемъ, что мы очевидно можемъ плоскую поверхность принять за сферическую, которой радіусъ безконечно великъ.

Изъ этихъ двухъ замѣчаній слѣдуетъ, что при паденіи свѣта съ лѣвой стороны, *для плоско-выпуклыхъ стеколъ*, какъ въ фиг. 200 II, мы должны положить $r' = \infty$, $\frac{1}{r'} = 0$, и r останется положительнымъ, слѣд. мы получимъ такую формулу для главнаго фокуснаго разстоянія:

$$\frac{1}{F} = (n-1)\frac{1}{r};$$

отсюда видно, что F всегда будетъ величина положительная, и такъ какъ d всегда остается положительнымъ, пока лучи падаютъ на стекло изъ одной точки, — то въ нашей формулѣ (C) ничего не измѣнится, кромѣ величины F и слѣд. мы какъ прежде получимъ

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

Если бы мы переворотили стекло такъ, чтобы свѣтъ падалъ на плоскую поверхность стекла, то было бы $r = \infty$, слѣд. $\frac{1}{r} = 0$ и формула для $\frac{1}{F}$ совершенно была бы подобна прежней, потому что здѣсь r' замѣняетъ r въ прежней формулѣ. Слѣд въ стеклахъ плоско-выпуклыхъ и въ двояко-выпуклыхъ будетъ все равно, какая бы сторона ни была обращена къ свѣту.

Если употребимъ плоско-выпуклое оптическое стекло, для котораго $n = 3/2$, то получимъ:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{2r}$$

или

$$F = 2r.$$

Слѣд главное фокусное разстояніе будетъ равно двойному главному фокусному разстоянію двояко-выпуклаго стекла имѣющаго туже кривизну съ обѣихъ сторонъ. По этому

двояко-выпуклое стекло можно разсматривать, какъ стекло состоящее изъ двухъ плоско-выпуклыхъ, положенныхъ одно на другое плоскими поверхностями.

Въ мениск‍ѣ (фиг. 200. III) задняя сторона стекла вогнута, радіусъ этой поверхности лежитъ вправо, а не влѣво, какъ въ нашей формулѣ, по этому мы должны r' принять за отрицательную величину и слѣд. получимъ:

$$\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'}\right).$$

Такъ какъ въ мениск‍ѣ выпуклая поверхность имѣетъ большую кривизну, нежели вогнутая, то будетъ $r < r'$ слѣд. $\frac{1}{r} > \frac{1}{r'}$, по этому $\frac{1}{F}$ и F будутъ величины положительныя и наша формула (C) остается, какъ и прежде:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

только F имѣетъ здѣсь другую величину. Если бы мы переворотили это стекло такъ, что бы вогнутая сторона была обращена противъ падающаго свѣта, то r было бы отрицательное, а r' положительное и мы опять имѣли бы

$$\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{r'} - \frac{1}{r}\right)$$

Но при этомъ обращеніи r дѣлается такъ великъ, какъ прежде былъ r', а r' какъ r, слѣд. мы должны обѣ эти величины перемѣнить одну въ другую и тогда мы получимъ для $\frac{1}{F}$ совершенно прежнюю величину. Слѣд. и для мениска все равно, какъ бы мы ни держали его къ свѣту, главное фокусное разстояніе и вообще всѣ явленія остаются одни и тѣже.

Еслибъ кривизны мениска были равны, т. е. еслибъ мы имѣли стекло похожее на стекло въ часахъ, тогда бы было $\frac{1}{r} - \frac{1}{r'} = 0$, слѣд. $\frac{1}{F} = 0$ или $F = \infty$ т. е. лучи, параллельно па-

дающіе на стекло, остаются параллельными и по выходѣ изъ стекла, слѣд. такое стекло дѣйствуетъ, какъ плоское.

Всѣ три рода стеколъ, которые мы до сихъ поръ разсматривали, именно двояко-выпуклое, плоско-выпуклое и менискъ, собираютъ параллельные лучи позади себя въ одной точкѣ, которая въ нѣкоторыхъ отстоитъ далѣе отъ стекла, въ другихъ ближе къ нему. Слѣд. всѣ они по дѣйствію ихъ принадлежатъ къ одному и тому же классу, который вообще заключаетъ въ себѣ стекла выпуклыя. То, что мы сказали о положеніи свѣтящейся точки въ отношеніи къ ея изображенію въ двояко-выпуклыхъ стеклахъ (§ 156), относится также и къ двумъ другимъ, если только употребимъ соотвѣтствующія главныя фокусныя разстоянія вмѣсто тѣхъ, которыя мы тамъ употребляли.

§ 158.

Если разсмотримъ теперь путь луча, проходящаго чрезъ *двояко-вогнутое* стекло (фиг. 200. IV), то въ главной нашей формулѣ (A) мы должны принять какъ r, такъ и r' за отрицательныя величины, потому что оба эти радіуса лежатъ на сторонахъ противоположныхъ, нежели въ двояко-выпуклыхъ стеклахъ, для которыхъ была выведена формула. Слѣд. мы получимъ:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = -(\mu - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right)$$

или для главнаго фокуснаго разстоянія

$$\frac{1}{F} = -(\mu - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right).$$

Такъ какъ $\mu - 1$ есть всегда величина положительная, то F всегда будетъ отрицательная величина, и въ формулѣ (C)

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

мы должны F взять съ знакомъ —; по этому получимъ:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = -\frac{1}{F}$$

или $$f = -\frac{dF}{d+F}.$$

Слѣд. f тэкже будетъ величина отрицательная. Такъ какъ въ нашей пѣрвоначальной формулѣ f была положительная величина, когда она находилась вправо, то она будетъ отрицательною, когда будетъ лежать влѣво. Итакъ точка соединенія направленія лучей послѣ преломленія въ двояковогнутыхъ стеклахъ всегда будетъ лежать въ сторонѣ падающихъ лучей т. е. послѣ преломленія лучи будутъ расходиться.

Для параллельно падающихъ лучей мы имѣли

$$\frac{1}{F} = -(\mu - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right).$$

Если предположимъ, что обѣ кривизны равны, слѣд. $r = r'$ и $\mu = {}^{3}/_{2}$, то мы получимъ:

$$\frac{1}{F} = -\frac{1}{r}$$

или $$F = -r.$$

т. е. отрицательное главное фокусное разстояніе такого стекла равно радіусу кривизны поверхности, или параллельные лучи послѣ преломленія расходятся такъ, какъ будтобъ они выходили изъ разстоянія отъ стекла, равнаго радіусу кривизны. Точно тоже самое имѣетъ мѣсто въ стеклахъ двояко-выпуклыхъ съ тѣмъ только различіемъ, что въ выпуклыхъ лучи *сходятся* точно такъ, какъ въ вогнутыхъ они *расходятся*.

Подобнымъ же образомъ, какъ и для выпуклыхъ стеколъ, выводится, что въ плоско-вогнутыхъ и выпукло-вогнутыхъ стеклахъ вообще происходятъ тѣже самыя явленія, какъ и въ двояко-вогнутыхъ, съ тѣмъ только различіемъ, что лучи расходятся въ нихъ менѣе. По этому всѣ эти стекла составляютъ второй классъ подъ общимъ именемъ вогнутыхъ стеколъ.

Изъ предъидущаго слѣдуетъ, что вогнутыя стекла въ явленіяхъ соотвѣтствуютъ выпуклымъ зеркаламъ точно также, какъ выпуклыя стекла вогнутымъ зеркаламъ.

§ 159.

Теперь чтобъ объяснить происхожденіе изображеній, производимыхъ сферическими стеклами, представимъ себѣ опять (фиг. 202) выпуклое стекло, напр. двояко-выпуклое MN, котораго главное фокусное разстояніе $CF = CF'$ и двойное фокусное разстояніе $CK = CK'$. Пусть передъ стекломъ находится предметъ BA; предположимъ, что онъ столь малъ, что лучи падающіе на стекло отъ A и B не далеко уклоняются отъ оси.

Если черезъ центръ стекла C вообразимъ лучь отъ A, то легко видно, что малыя части стекла въ точкахъ *m* и *n*, гдѣ этотъ лучь проходитъ чрезъ обѣ поверхности стекла, можно принимать за параллельныя; слѣд. этотъ лучь, равно какъ и лучь падающій по направленію оси, пройдетъ чрезъ стекло не перемѣняя своего направленія и можетъ быть принятъ какъ бы за ось для другихъ лучей падающихъ на стекло изъ точки A; поелику эта ось лучей по предположенію мало удалена отъ главной оси, то законы и формулы, выведенныя нами для свѣтящейся точки, лежащей на главной оси, безъ значительной погрѣшности могутъ быть отнесены и къ этой наклонной оси. Такъ какъ предметъ AB отстоитъ отъ стекла далѣе, нежели на двойное фокусное разстояніе CK, то лучи исходящіе изъ точки находящейся на оси, соединятся между F' и K', также и лучи идущіе изъ остальныхъ точекъ соединятся въ равномъ разстояніи отъ стекла на соотвѣтственныхъ имъ осяхъ, слѣд. мы получимъ соединеніе конуса лучей MAN въ A' и лучей MBN въ B'; лучи изъ точекъ, лежащихъ между A и B, будутъ соединяться между A' и B'; слѣд. $A'B'$ представитъ изображеніе предмета, которое, если въ этомъ

мѣстѣ держать какую нибудь бѣлую поверхность, обнаружится на ней и притомъ, въ отношеніи къ предмету, въ обратномъ положеніи.

Можно построеніемъ найти положеніе такого изображенія подобнымъ же образомъ, какъ мы дѣлали это для вогнутыхъ зеркалъ (фиг. 203). Сперва проведемъ линіи изъ A и B черезъ центръ C стекла MN и потомъ линіи AL и BH параллельныя главной оси KK′; мы знаемъ, что эти лучи необходимо пройдутъ чрезъ главный фокусъ F; по этому тамъ, гдѣ линіи HF и LF пересѣкаютъ линіи проведенныя чрезъ центръ, т. е. въ A′ и въ B′ будутъ точки соединенія лучей выходящихъ изъ A и B; ибо такъ какъ всѣ лучи той же свѣтящейся точки пересѣкаются въ одной точкѣ, посему точка пересѣченія двухъ лучей будетъ также точкою пересѣченія всѣхъ остальныхъ.

Когда лучи предмета пересѣкутся въ A′ и B′, то изъ этихъ точекъ они пойдутъ по расходящимся направленіямъ, и если глазъ O находится отъ A′B′ въ разстояніи большемъ 9 дюймовъ, то онъ увидитъ въ A′B′ изображеніе предмета AB въ обратномъ видѣ. Величину изображенія A′B′ въ отношеніи къ самому предмету легко опредѣлить изъ пропорціи, которую мы получимъ, если сравнимъ между собою два подобные треугольника BCA и B′CA′, именно:

$$AB : A'B' = CD : CD' = d : f.$$

Назвавши $\frac{A'B'}{AB}$ увеличеніемъ изображенія черезъ W, будетъ:

$$W = \frac{f}{d}.$$

Но

$$f = \frac{dF}{d - F}$$

посему

$$W = \frac{F}{d - F} = \frac{1}{\frac{d}{F} - 1}$$

1. Если d безконечно велико, то и $\frac{d}{F} - 1$ будетъ также безконечно велико, слѣд. найдемъ $W = \frac{1}{\infty}$ т. е. W будетъ безконечно мало, по этому изображеніе будетъ безконечно мало въ сравненіи съ предметомъ. Хотя солнце отъ насъ находится въ весьма большомъ разстояніи, но чрезвычайная величина солнца и неправильность стекла, какъ мы увидимъ, дѣлаютъ то, что изображеніе солнца въ фокусѣ выпуклыхъ стеколъ представляется въ видѣ весьма малаго круга.

2. Если предметъ приближается къ стеклу, то изображеніе уменьшается, и если $d = 2F$, то $W = 1$, т. е. если предметъ находится отъ стекла на разстояніи, равномъ двойному фокусному разстоянію, то изображеніе равно предмету; оно тогда находится на равномъ разстояніи съ предметомъ, но на противныхъ сторонахъ отъ стекла.

3. Если $d < 2F$, то $\frac{d}{F} - 1$ будетъ дробь, слѣд. $W > 1$ т. е. изображеніе будетъ больше предмета; когда сей послѣдній подвигается къ стеклу на разстояніе меньшее двойнаго фокуснаго разстоянія, тогда изображеніе будетъ отстоять отъ стекла далѣе нежели самъ предметъ.

4. Если $d = F$, т. е. если предметъ находится въ фокусѣ, то $W = \infty$, т. е. изображеніе будетъ безконечно велико въ отношеніи къ предмету, что и должно быть, потому что въ этомъ случаѣ лучи послѣ преломленія идутъ параллельно и по этому должны дѣлать изображеніе на безконечно большомъ разстояніи; другими словами—тогда мы не получимъ никакого изображенія

5. Если наконецъ $d < F$, то $\frac{d}{F} - 1$ будетъ отрицательная дробь и W больше 1, слѣд. мы получимъ увеличенное изображеніе, но по другую сторону и не въ обратномъ видѣ, но въ прямомъ; ибо отрицательный знакъ относится здѣсь къ поло-

женію изображенія. Въ самомъ дѣлѣ пусть MN (фиг. 204) будетъ выпуклое стекло, AB предметъ находящійся отъ стекла въ разстояніи меньшемъ фокуснаго разстоянія F′. Если черезъ центръ стекла проведемъ линію BC, потомъ линію BK параллельно главной оси, то преломленный лучь отъ K перейдетъ чрезъ фокусъ F и пересѣчется съ BC въ B′ на сторонѣ предмета. Слѣд. лучи отъ B послѣ преломленія разойдутся такъ, какъ будтобъ они выходили изъ B′. Подобнымъ же образомъ найдемъ, что лучи выходящіе изъ A, послѣ преломленія расходятся такъ, какъ будтобъ они выходили изъ A′. По этому глазъ, находящійся въ O, увидитъ изображеніе предмета AB въ A′B′.

5. Въ вогнутыхъ стеклахъ послѣ преломленія лучи расходятся еще болѣе нежели прежде паденія, слѣд. мы никогда не получимъ настоящаго изображенія, которое можно бы было принять на плоскость, но всегда такое, которое мы сейчасъ разсматривали, т. е. которое глазъ видитъ на одной сторонѣ съ предметомъ. Чтобъ найти увеличеніе въ этомъ случаѣ, мы должны только въ прежней формулѣ сдѣлать F отрицательнымъ, и мы получимъ:

$$W = \frac{-F}{d+F} = -\frac{1}{\frac{d}{F}+1}$$

Поелику $\frac{d}{F}$ всегда есть величина большая нуля, то знаменатель дроби всегда будетъ больше единицы, слѣд. W будетъ меньше единицы; и такъ, изображеніе всегда меньше самаго предмета и будетъ имѣть прямое положеніе, какъ показываетъ знакъ. Если $d = 0$, т. е. если предметъ прилегаетъ къ самому стеклу, то онъ не покажется уменьшеннымъ.

Эти законы для вогнутыхъ стеколъ также объясняются построеніемъ. Пусть AB будетъ предметъ (фиг. 205) MN вогнутое стекло, котораго воображаемый фокусъ находится

въ F. Лучь AC пойдетъ далѣе не преломляясь, параллельный оси лучь AK отклонится отъ своего направленія такъ, какъ будтобъ онъ выходилъ изъ F, слѣд. сба луча, пересѣкутся въ A′, также и всѣ остальные лучи выходящіе изъ A, послѣ преломленія будутъ казаться выходящими изъ точки; подобнымъ же образомъ доказывается, что лучи выходящіе изъ B послѣ преломленія будутъ казаться выходящими изъ B′; и такъ если глазъ будетъ находиться въ O, далѣе 9 дюймовъ отъ A′B′, то онъ будетъ видѣть изображеніе A′B′ уменьшеннымъ и имѣющимъ прямое положеніе.

§ 160

Въ предъидущемъ мы разсматривали только центральные лучи, т. е. тѣ, которые падаютъ на стекло весьма близко отъ его оси. Въ практикѣ стекла составляютъ столь малыя части всей шарообразной поверхности, что падающіе лучи дѣйствительно близко подходятъ къ центральнымъ; но при всемъ томъ это справедливо только приблизительно. Строжайшее изслѣдованіе предмета, которое мы здѣсь опускаемъ, доказываетъ слѣдующее:

1. Если параллельные лучи падаютъ на выпуклое стекло, то весьма близкіе изъ нихъ къ оси: SF, SC, SG (фиг. 206) соединяются въ главномъ фокусѣ F, который опредѣляется по выше изложеннымъ правиламъ, напротивъ лучи SM, SN, падающіе на края стекла соединяются ближе къ стеклу въ F′, остальные же тѣмъ ближе къ F, чѣмъ больше они приближаются къ центральнымъ. Разность разстоянія главнаго фокуса центральныхъ лучей и фокуса лучей, падающихъ на края стекла, или линія FF′ называется *продольною сферическою аберрацією*. Если продолжимъ линію MF′ и въ F возставимъ перпендикуляръ FK, который пересѣчетъ продолженную линію MF′ въ K, то FK будетъ *боковою аберрацією*.

2. Легко можно видѣть, что въ оптическихъ стеклахъ, какъ и въ зеркалахъ, сферическая аберрація препятствуетъ всѣмъ лучамъ, выходящимъ изъ одной точки, соединиться послѣ преломленія опять въ одной же точкѣ. Отъ этого изображенія бываютъ не ясны, ибо изображеніе каждой точки составляетъ небольшой кругъ, который отчасти захватываетъ круговыя изображенія точекъ непосредственно ее окружающихъ. По этому необходимо нужно уменьшать сферическую аберрацію сколько возможно больше. Этого стараются достигнуть чрезъ измѣненіе кривизнъ; но онѣ для каждаго положенія свѣтящейся точки въ отношеніи къ стеклу должны быть измѣняемы различно; такъ какъ этого въ практикѣ невозможно сдѣлать, то обыкновенно стараются уменьшить аберрацію только для лучей падающихъ параллельно, потому что это весьма важно въ подзорныхъ трубахъ, какъ мы увидимъ послѣ.

3. Однимъ оптическимъ стекломъ невозможно уничтожить аберрацію параллельныхъ лучей; болѣе всего она уменьшается тогда, когда въ двояко-выпукломъ стеклѣ радіусъ одной кривизны относится къ радіусу другой какъ 1 : 6. и когда болѣе выпуклая сторона обращена къ параллельнымъ лучамъ; по этому, если падающіе лучи параллельны, то эта сторона должна быть обращена къ свѣту; если же выходящіе лучи параллельны (слѣд. если свѣтящаяся точка находится въ фокусѣ), то болѣе выпуклая сторона должна быть обращена къ выходящимъ лучамъ. Такое стекло называется стекломъ *наилучшаго вида.*

4. Плоско-выпуклое стекло, если выпуклая сторона его обращена къ параллельнымъ лучамъ, дастъ аберрацію въ 4 раза меньшую, нежели въ томъ случаѣ когда плоская сторона его обращена къ этимъ лучамъ. Въ первомъ случаѣ аберрація при одинаковомъ фокусномъ разстояніи стеколъ будетъ только на $\frac{8}{100}$ больше, нежели въ стеклахъ наилучшаго вида.

5. Двояко-выпуклое стекло, имѣющее равныя кривизны съ обѣихъ сторонъ даетъ аберрацію, которая на $\frac{57}{100}$ болѣше, нежели въ стеклахъ лучшаго вида, при равныхъ фокусныхъ разстояніяхъ.

6. Чрезъ соединеніе двухъ стеколъ можно различнымъ образомъ уничтожать аберрацію. Такое сложное стекло называется *апланатическимъ*.

Итакъ изъ предъидущаго мы видимъ, что хотя для центральныхъ лучей все равно, какая бы сторона стекла ни была обращена къ падающимъ лучамъ, но для уничтоженія аберраціи это будетъ со всѣмъ иначе. Для достиженія наибольшей ясности въ изображеніяхъ такія обстоятельства должно принимать въ разсужденіе при дѣланіи подзорныхъ трубъ и микроскоповъ.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

О РАЗЛОЖЕНІИ СВѢТА НА ЦВѢТЫ

(*О хроматизмѣ*).

§ 161.

До сихъ поръ мы предполагали, что свѣтъ есть вещество простое и что при отраженіи и преломленіи лучи его перемѣняютъ только направленіе, не измѣняя своихъ свойствъ. Въ отраженіи такъ это и бываетъ въ самомъ дѣлѣ, но въ преломленіи происходитъ другое; именно здѣсь мы находимъ, что показатель преломленія для различныхъ частей луча, падающаго на одну и туже преломляющую

средину, имѣетъ различныя величины, которыя, хотя не весьма много отличаются одна отъ другой, однако имѣютъ между извѣстными предѣлами всѣ возможныя значенія. При этомъ оказывается, что каждой величинѣ μ соотвѣтствуетъ особенное впечатлѣніе, производимое на нашъ глазъ лучемъ принадлежащимъ къ каждому μ. Эти различныя впечатлѣнія извѣстны подъ именемъ *цвѣтовъ*.

Что бы убѣдиться въ этомъ, возмемъ стеклянную призму ABC, (фиг. 210. I) обращенную преломляющимъ угломъ C внизъ и въ темной комнатѣ пропустимъ на плоскость ея AC лучь SD черезъ отверстіе сдѣланное въ ставнѣ окна. Мы уже видѣли что онъ будетъ отклоненъ призмою къ основанію AB и если принять этотъ лучь на бѣлую поверхность MN, то онъ упадетъ на нее выше, нежели безъ призмы. Однако при этомъ уже не видно бѣлаго кругляго пятна, какъ безъ призмы, но изображеніе снизу вверхъ имѣетъ видъ продолговатаго прямоугольника (фиг. 210. II) *mn*, котораго ширина равна діаметру бѣлаго пятна, получаемаго безъ призмы на плоскость MN, а длина гораздо больше. При этомъ конецъ *n* до 1 кажется *краснымъ*; пространство отъ 1 до 2 *оранжевымъ*, отъ 2 до 3 *желтымъ*, отъ 3 до 4 *зеленымъ*, отъ 4 до 5 *голубымъ* отъ 5 до 6 *синимъ*, отъ 6 до *m* или до другаго конца *фіолетовымъ*. Отсюда видно, что чрезъ преломленіе бѣлый лучь разлагается на 7 цвѣтныхъ лучей, изъ которыхъ красный отклоняется меньше всѣхъ, а фіолетовый больше всѣхъ. Но какъ отклоненіе зависитъ отъ показателя преломленія свѣта, то мы можемъ также сказать, что *бѣлый свѣтъ состоитъ изъ 7 цвѣтовъ*, которые будучи смѣшаны въ опредѣленной пропорціи производятъ на нашъ глазъ впечатлѣніе бѣлаго цвѣта, и изъ нихъ каждый имѣетъ особенный показатель преломленія, который для *фіолетоваго* луча имѣетъ наибольшую, для *краснаго* наименьшую, а для *желтаго* среднюю величину. Изобра-

женіе этихъ цвѣтовъ, получаемыхъ посредствомъ призмы, называется *призматическимъ спектромъ*. Въ спектрѣ желтый цвѣтъ имѣетъ самый большой блескъ, который мало по малу теряется по обѣ стороны отъ этаго цвѣту. Впрочемъ цвѣты спектра не отдѣляются рѣзко между собою, но нечувствительно переходятъ одинъ въ другой, такъ что трудно сказать гдѣ напр. зеленый цвѣтъ оканчивается и начинается голубой. Слѣд въ самомъ спектрѣ видны весьма различные оттѣнки краснаго, зеленаго и проч. цвѣтовъ и по этому можно бы было принять болѣе 7 цвѣтовъ, но принимаемые 7 цвѣтовъ явственнѣе отличаются другъ отъ друга и каждый изъ нихъ въ общежитіи уже имѣетъ особенное названіе, между тѣмъ какъ лежащіе между ними цвѣты означаются какъ ихъ оттѣнки. Въ этомъ смыслѣ должно понимать слова, когда говорятъ съ Ньютономъ, что бѣлый свѣтъ состоитъ изъ 7 цвѣтовъ.

§ 162.

Фраунгоферъ открылъ, что показатель преломленія μ разныхъ цвѣтовъ, начиная отъ краснаго до фіолетоваго конца спектра, не непрерывно измѣняется, но что здѣсь находятся многіе скачки, при которыхъ величина μ вдругъ дѣлается больше. Слѣдствіемъ этого будетъ то, что между различными цвѣтами должно находиться множество темныхъ пространствъ; но такъ какъ эти пространства очень малы, то онѣ кажутся темными линіями, которыя пересѣкаютъ спектръ поперегъ. Впрочемъ нельзя ихъ видѣть непосредственно въ спектрѣ, но можно замѣтить тогда, когда преломленный въ призмѣ цвѣтъ падаетъ на подзорную трубу, чрезъ которую мы на него смотримъ. Труба соединяетъ всѣ лучи, имѣющіе одинъ показатель преломленія въ одну линію и черезъ это тотчасъ дѣлаетъ замѣтными находящіеся между ними темные промежутки. Меж-

ду этими линіями Фраунгоферъ открылъ 7 самыхъ большихъ, въ каждомъ цвѣтѣ одну, и означилъ ихъ буквами алфавита, какъ слѣдуетъ:

B C D E F G H

въ красн. оранжев. желт. зелен. голуб. син. фіолетов.

Эти линіи доставляютъ ту большую выгоду, что въ каждомъ цвѣтѣ онѣ представляютъ рѣзкія границы, такъ что по нимъ можно опредѣлить раздѣленіе цвѣтовъ при различныхъ обстоятельствахъ и точно измѣрить ихъ разстояніе.

Впрочемъ эти линіи замѣчаются какъ въ выходящемъ непосредственно изъ солнца лучѣ, такъ и въ отраженномъ солнечномъ свѣтѣ, слѣд. въ свѣтѣ луны и планетъ. Но неподвижныя звѣзды, хотя имѣютъ въ своемъ спектрѣ линіи, но другія, иначе разположенныя, такъ что по этому мы имѣемъ вѣрный признакъ, по которому можно сказать, отъ солнца ли первоначально происходилъ какой нибудь свѣтъ или нѣтъ. Различные роды пламени не показываютъ темныхъ линій, если лучь ихъ проходитъ чрезъ призму, но вмѣсто темныхъ въ нихъ видны свѣтлыя линіи; этимъ доказывается, что они испускаютъ изъ себя нѣкотораго рода лучи въ большемъ количествѣ, нежели остальные.

§ 163.

Доказавши, что посредствомъ преломленія въ призмѣ легко разложить бѣлый лучь свѣта на 7 цвѣтовъ, Ньютонъ наоборотъ показалъ, что если эти 7 цвѣтовъ соединяются въ одну точку, то они опять составятъ бѣлый цвѣтъ. Онъ дѣлалъ это посредствомъ выпуклаго стекла, на которое онъ принималъ лучи призматическаго спектра; въ фокусѣ, гдѣ соединяются всѣ лучи вмѣстѣ, находимъ бѣлый цвѣтъ.

Старались доказать другимъ образомъ, что смѣшеніе 7 цвѣтовъ сколько возможно болѣе приближающихся къ призматическимъ цвѣтамъ и взятыхъ въ той же пропорціи, въ которой они находятся въ призматическомъ спектрѣ, производитъ бѣлый цвѣтъ; но отъ трудности имѣть совершенно тѣже цвѣты и совершенно въ той же пропорціи, этотъ опытъ удается только приблизительно. Обыкновенный способъ этого производства есть слѣдующій. Найдено посредствомъ опыта, что впечатлѣніе, производимое на нашъ глазъ лучемъ, прекращается немгновенно, но продолжается около $\frac{1}{10}$ секунды, послѣ того, какъ дѣйствіе луча кончилось. По этому если какое нибудь свѣтящееся тѣло, напр. горящій уголь, будемъ вертѣть кругомъ такъ, что бы онъ совершилъ полный круговой оборотъ меньше нежели въ $\frac{1}{10}$ секунды, то начинается второе впечатлѣніе, производимое горящимъ угломъ на нашъ глазъ на какомъ нибудь мѣстѣ своего пути, между тѣмъ, какъ первое еще не прекратилось; по этому раскаленный уголь будетъ видимъ въ продолженіи всего обращенія и подобнымъ образомъ на всякомъ другомъ мѣстѣ круга, слѣд. мы получимъ впечатлѣніе раскаленнаго круга. Это явленіе всякому извѣстно; подобное ему бываетъ, когда въ колесѣ быстро катящейся коляски мы не видимъ шпицъ, но вмѣсто ихъ однородную поверхность.

Теперь представимъ себѣ плоскость круга раздѣленнаго на 7 секторовъ, которые какъ можно ближе пропорціональны пространствамъ занимаемымъ различными цвѣтами въ спектрѣ. Если каждый секторъ окрасимъ соотвѣтственнымъ цвѣтомъ и станемъ обращать кругъ весьма быстро около своего центра, такъ, что бы каждый оборотъ его совершался менѣе, нежели въ $\frac{1}{10}$ секунды, то каждый секторъ, какъ въ нашемъ примѣрѣ раскаленнаго угля, будетъ ка-

заться расширившимся въ полный кругъ и такъ какъ полученные такимъ образомъ 7 цвѣтныхъ круговъ покрываются одинъ другимъ, то произойдетъ смѣшеніе цвѣтовъ. Если при этомъ цвѣты выбраны удачно, то мы получимъ цѣлый кругъ приближающійся къ бѣлому цвѣту, но который обыкновенно переходитъ въ сѣрый.

Черный цвѣтъ есть отсутствіе всякаго цвѣта и когда мы смотримъ на совершенно черное пятно, находящееся на бѣломъ полѣ, то собственно говоря мы не видимъ чернаго пятна, но только края бѣлой плоскости. *Сѣрый* цвѣтъ есть смѣшеніе бѣлаго и чернаго т. е. онъ есть бѣлая поверхность освѣщенная болѣе или менѣе.

Смѣшеніе синяго и желтаго даетъ *зеленый* цвѣтъ. смѣшеніе краснаго и синяго *фіолетовый* и такимъ образомъ можно всѣ прочіе цвѣты сложить изъ простыхъ призматическихъ. Но эти цвѣты, зеленый и фіолетовый, которые мы получили чрезъ смѣшеніе двухъ цвѣтовъ, отличаются отъ соотвѣтственныхъ цвѣтовъ въ спектрѣ тѣмъ, что въ нихъ цвѣты могутъ быть раздѣлены посредствомъ преломленія, (если напр. на нихъ смотрѣть сквозь призму) между тѣмъ какъ цвѣты спектра не могутъ быть болѣе разложены этимъ способомъ. Это можно доказать тѣмъ, что если принимаемъ призматическій спектръ на какую нибудь плоскость съ отверстіемъ, находящимся на такой высотѣ, что чрезъ него проходитъ часть напр. зеленаго цвѣта и если примемъ этотъ зеленый лучь на другую призму, то хотя онъ будетъ отклоненъ, однако не будетъ разложенъ на синій и желтый, но лучь останется такимъ же какъ былъ прежде, т. е. всѣ части его будутъ преломлены одинаковымъ образомъ.

§ 164.

Если S будетъ бѣлая точка, отъ которой конусъ лучей SAC (фиг. 208) падаетъ на призму, то послѣ прелом-

ленія этотъ конусъ раздѣлится на 7 конусовъ, изъ которыхъ фіолетовый будетъ отклоненъ больше всѣхъ, красный меньше всѣхъ, а другіе цвѣты будутъ находиться между ними; теперь если BHCH′ будетъ *фіолетовый*, BKCK′ *красный* конусъ, то первый будетъ казаться выходящимъ изъ точки *o*, послѣдній изъ точки *p*, а кажущіяся точки выхода остальныхъ цвѣтныхъ конусовъ будутъ лежать между *o* и *p*. Слѣд. если въ O находится глазъ, на который въ этой точкѣ упадетъ нѣкоторая часть изъ всѣхъ лучей, то онъ въ *op* увидитъ, вмѣсто бѣлой точки, рядъ цвѣтныхъ точекъ или цвѣтную линію вверху красную, внизу фіолетовую. Итакъ если сквозь призму будемъ смотрѣть на бѣлую точку и при этомъ оборотимъ призму преломляющимъ ребромъ внизъ, то увидимъ бѣлую точку пониженною и растянутою въ вертикальную линію, которая вверху *краснаго*, а внизу *фіолетоваго* цвѣта, а между концами ея будутъ находиться всѣ остальные призматическіе цвѣты.

Если сквозь призму будемъ смотрѣть на однообразно бѣлую, неограниченную поверхность, то каждая точка ея даетъ такую цвѣтную линію; такъ какъ въ поверхности безконечное множество точекъ, находящихся одна подлѣ другой, то и цвѣтныя линіи также будутъ лежать безконечно близко одна подлѣ другой. Слѣд. красный конецъ одной линіи по необходимости упадетъ на фіолетовой конецъ другой линіи, сюда также упадетъ зеленая часть третьей линіи, желтая четвертой линіи и т. д.; по этому каждая точка поверхности будетъ заключать всѣ 7 цвѣтовъ спектра и точно въ такой пропорціи, которая необходима для бѣлаго цвѣта, слѣд. бѣлая поверхность и сквозь призму будетъ казаться бѣлою.

Если AB (фиг. 209) будетъ границею двухъ поверхностей, изъ которыхъ нижняя бѣлаго цвѣта, а верхняя чернаго, и если сквозь призму, обращенную преломляющимъ

ребромъ внизъ, будемъ смотрѣть на АВ, то напр. точка А даетъ цвѣтную линію, которая краснымъ концемъ обращена вверхъ и которая вся немного понизилась, напр. до rv. Ближайшая, внизъ отъ А лежащая, точка даетъ такую же линію пониженную, напр. $r'v'$, гдѣ $r'v'$ нужно себѣ представить лежащею на rv; третья точка даетъ $r''v''$, четвертая $r'''v'''$ и т. д. Всѣ эти линіи, начерченныя для ясности одна подлѣ другой, будутъ наложены на rv. Изъ этого слѣдуетъ, что линія, происходящая отъ этого, на верху останется красною, между тѣмъ какъ на нижнюю часть ея упадутъ отъ нижайшихъ точекъ ВА остальныя 6 цвѣтовъ, такъ что слѣд. эта часть будетъ бѣлою. Тоже самое будетъ имѣть мѣсто въ каждой другой точкѣ границы АВ; слѣд. мы увидимъ, что бѣлая плоскость выше предѣла, отдѣляющаго ее отъ черной, ограничена красною полосою. Такимъ же образомъ легко можно видѣть, что если вверху надъ границею АВ будетъ бѣлая поверхность а внизу черная, то бѣлая плоскость на нижнемъ краю будетъ казаться фіолетовою. Если одна изъ поверхностей не будетъ совершенно черная, но только немного темнѣе бѣлой поверхности, то явленіе будетъ тоже, съ тѣмъ только различіемъ, что цвѣтъ красной полосы будетъ не столько ярокъ, потому что когда онъ будетъ смѣшенъ съ другими, но слабѣйшими цвѣтами происходящими отъ лучей темной поверхности. Изъ этого слѣдуетъ что, *если свѣтлая полоса лежитъ на темномъ полѣ и если будемъ сквозь призму смотрѣть на границу, отдѣляющую ее отъ поля, то здѣсь всегда будутъ видны цвѣты;* если, какъ въ нашемъ примѣрѣ, граница горизонтальна и преломляющее ребро призмы параллельно ей и обращено внизъ, *то изображеніе свѣтлой поверхности вверху будетъ казаться ограниченною красною каймою, а внизу фіолетовою. Подобнымъ образомъ если бы на свѣтломъ полѣ находилась темная полоса, то вниху она казалась бы ограниченною красною, а вверху фіолетовою каймою;*

ибо здѣсь мы собственно видимъ вверху нижній край верхняго свѣтлаго поля, а внизу верхній край нижняго поля. Таково напр. явленіе бываетъ, когда сквозь горизонтальную призму, обращенную преломляющимъ угломъ внизъ, смотримъ въ комнатѣ на горизонтальную часть оконичной рамы; она представляетъ темную полосу на свѣтломъ полѣ дневнаго свѣта, сверху она кажется ограниченною фіолетовою, а внизу красною полосою и вмѣстѣ съ тѣмъ значительно пониженною.

§ 165.

Мы видѣли, что если бѣлый лучь свѣта проходитъ чрезъ призму, то фіолетовый лучь H больше отклоняется нежели красный B. Разность угловъ отклоненія называется *свѣто-разсѣяніемъ*. Если изъ одного и тогоже прозрачнаго тѣла, напр. изъ одного куска стекла, сдѣлаемъ нѣсколько призмъ съ различными преломляющими углами, то очевидно разность отклоненія лучей H и B или свѣто-разсѣяніе будетъ тѣмъ больше, чѣмъ будетъ больше среднее отклоненіе: слѣд. призма, съ преломляющимъ угломъ въ 60°, произведетъ большее отклоненіе и больше разсѣетъ цвѣты, нежели призма съ угломъ 30°, если обѣ онѣ состоятъ изъ одного и тогоже стекла.

Если возмемъ двѣ призмы, сдѣланныя изъ различныхъ прозрачныхъ срединъ, то онѣ будутъ имѣть различные показатели преломленія μ. Возмемъ призму K (фиг. 210) изъ стекла называемаго *кронгласомъ* (Crownglas), которое есть самое чистое обыкновенное стекло, а другую F изъ *флинтгласа* (Flintglas), которое получается чрезъ соединеніе нѣкотораго количества свинцовой окиси съ кронгласомъ: показатель преломленія флинтгласа больше показателя преломленія кронгласа; по этому если обѣимъ призмамъ дадимъ равные преломляющіе углы C и C′, то призма изъ флинтгласа произведетъ большее преломленіе лучей, нежели призма изъ кронгла

са; если уголъ C/ призмы изъ флинтгласа станемъ уменьшать мало по малу, то можемъ довести его до того, что отклоненіе, производимое призмою изъ флинтгласа, будетъ равно отклоненію, производимому призмою изъ кронгласа. Въ этомъ случаѣ если напр. красный лучь B въ обѣихъ призмахъ равнымъ образомъ отклонится, то найдемъ, что отклоненіе луча H въ флинтгласовой призмѣ будетъ значительно больше отклоненія въ кронгласовой призмѣ. Слѣд. цвѣтной спектръ флинтгласа, не смотря на равное отклоненіе краснаго цвѣта, будетъ значительно длиннѣе спектра кронгласа. Если получимъ оба спектра въ темной комнатѣ одинъ подлѣ другаго, то они будутъ имѣть длины, показанныя въ фиг. 211, гдѣ K представляетъ спектръ кронгласа, F спектръ флинтгласа; B, D, H и B/, D/, H/ изображаютъ фраунгоферовы линіи краснаго, желтаго и фіолетоваго цвѣта въ обѣихъ призмахъ.

Итакъ изъ этого мы должны заключить, что хотя флинтгласъ и сильнѣе преломляетъ свѣтъ, нежели кронгласъ, однако свѣто-разсѣяніе увеличивается въ немъ болѣе чрезъ прибавленіе окиси свинца, нежели преломленіе. Если будемъ употреблять другія срединны, то всегда найдемъ подобное явленіе въ большей или меньшей степени, и получимъ какъ общее правило, что *въ преломляющихъ срединахъ свѣто-разсѣяніе не прокорціонально преломленію.* Въ слѣдствіе этаго закона можно чрезъ соединеніе двухъ срединъ отклонить бѣлый свѣтъ посредствомъ преломленія не разлагая его на цвѣты, такъ что чрезъ двѣ приличнымъ образомъ устроенныя призмы можно видѣть предметъ отклоненнымъ, а не окрашеннымъ цвѣтами.

Такое соединеніе двухъ призмъ называется *ахроматическою призмою* и устройство ея понятно будетъ изъ слѣдующаго:

Представимъ себѣ призму MNL (фиг. 212) изъ кронгласа, обращенную внизъ преломляющимъ угломъ L, и подлѣ нея призму M/N/L/ изъ флинтгласа, обращенную вверхъ преломляющимъ угломъ L/; лучь SF будетъ отклоненъ первою призмою вверхъ, второю внизъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ красный цвѣтъ его B отъ дѣйствія первой призмы долженъ лежать больше внизъ, а отъ дѣйствія второй больше вверхъ, нежели фіолетовой H. Теперь представимъ себѣ что мы можемъ уголъ L/ флинтгласовой призмы мало по малу увеличивать, начиная отъ 0 (мы принимаемъ это единственно какъ предположеніе и не нужно намъ знать, какъ сдѣлать это въ практикѣ); при этомъ постепенномъ увеличиваніи угла L/ мы прежде дойдемъ до такой величины его, при которой свѣто-разстояніе флинтгласовой призмы будетъ равно свѣто-разсѣянію кронгласовой, но отклоненіе все будетъ еще меньше, потому что свѣто-разсѣяніе для флинтгласа, какъ мы тотчасъ видѣли, увеличивается скорѣе нежели среднее преломленіе. Когда уголь L/ достигнетъ этой величины, то свѣто-разсѣяніе первой призмы будетъ уничтожено вторымъ т. е. въ выходящемъ лучѣ фіолетовый лучь H и красный B и слѣд. всѣ лежащіе между ними цвѣты, пойдутъ по одному направленію и по этому составятъ бѣлый цвѣтъ; но, такъ какъ уголъ L/ не столько великъ, чтобъ могъ уничтожить отклоненіе произведенное призмою MNL, то этотъ бѣлой лучь отклоняется, какъ показано въ фигурѣ, въ сторону отклоненія кронгласовой призмы; тогда наши двѣ призмы составятъ *ахроматическую* призму. Если углы L и L/ малы, то исчисленіе показываетъ, что въ этомъ случаѣ L должно относиться къ L/, какъ свѣто-разсѣяніе призмы M/N/L/ къ свѣто-разсѣянію призмы MNL, или, что *преломляющіе углы обратно пропорціональны свѣто-разсѣянію призмъ*. Когда сквозь такую призму будемъ смотрѣть на раму окна, то она не будетъ казаться вверху фіолетовою а внизу красною, какъ въ

прежнемъ опытѣ, но края ея останутся неокрашенными хотя все изображеніе будетъ понижено.

§ 166.

Если изъ точки S на выпуклое стекло MN (фиг. 213) падаютъ бѣлые лучи, то содержащіеся въ ней фіолетовые лучи сильнѣе прелсмятся, слѣд. соединятся ближе къ стеклу въ H, нежели красные лучи соединяющіеся въ B. Между H и B будутъ находиться всѣ точки соединенія остальныхъ цвѣтныхъ лучей. Послѣ преломленія оба луча будутъ расходиться изъ точекъ H и B въ видѣ двухъ конусовъ FHG и EBC, изъ которыхъ фіолетовый передъ фокуснымъ разстояніемъ заключается въ красномъ, далѣе же послѣ пресѣченія лучей красный въ фіолетовомъ конусѣ. Если въ AD будемъ держать бѣлую поверхность, то мы увидимъ на ней между *m* и *n* бѣлый кругъ, потому что здѣсь конусы лучей всѣхъ цвѣтовъ совпадаютъ, но этотъ кругъ будетъ ограниченъ фіолетовымъ цвѣтомъ въ *mp* и *nq*. Въ A′D′ красный и фіолетовый круги совершенно покроются, а остальные цвѣты нѣтъ, что очевидно уже изъ того, что одинъ изъ нихъ на этомъ разстояніи будетъ имѣть свой фокусъ, слѣд. будетъ находиться только въ одной точкѣ; по этому A′D′, будетъ самый малѣйшій кругъ, въ которомъ сходятся падающіе лучи, но онъ будетъ окрашенъ. Здѣсь мы видимъ другую причину, кромѣ сферической аберраціи, по которой выпуклыя стекла соединяютъ лучи, падающіе на нихъ изъ какой нибудь точки, не въ одну точку, но въ кругъ, и по этому производятъ не ясность изображенія. Эту причину неясности изображенія называютъ *хроматическою аберраціею.* Если поставимъ плоскость въ A″D″, то между $m'n'$ опять получимъ бѣлый кругъ, но тогда онъ ограниченъ въ $p'm'$ и $n'q'$ не фіолетовою, но красною каймою.

Сферическая аберрація можетъ быть устранена посредствомъ соединенія двухъ однородныхъ стеколъ, которыхъ по-

верхности имѣютъ прилично расположенныя кривизны. Хроматическая аберрація также можетъ быть устранена, сочетаніемъ двухъ оптическихъ стеколъ изъ различныхъ родовъ стекла, а именно: одного выпуклаго изъ кронгласа, а другаго вогнутаго изъ флинтгласа; такое двойное стекло называется *ахроматическимъ*. Чтобы имѣть точныя изображенія предмета, должно употреблять только стекла такого рода. Что соединеніе двухъ стеколъ изъ различнаго рода стекла можетъ собирать бѣлые лучи, выходящіе изъ одной точки, въ одинъ фокусъ, несмотря на различные показатели преломленія цвѣтовъ, заключающихся въ бѣломъ лучѣ, это можно доказать такимъ же образомъ, какъ и для ахроматическихъ призмъ:

Пусть MN будетъ выпуклое стекло изъ кронгласа, M′N′ вогнутое изъ флинтгласа (фиг. 214), которое мы опять себѣ представляемъ измѣняющимся, такъ что вогнутость его, начиная отъ плоскаго вида, при которомъ она равна нулю, болѣе и болѣе увеличивается. Когда флинтгласовое стекло съ обѣихъ сторонъ плоско, то падающіе *параллельные* лучи SM и SN, которыми только мы здѣсь ограничимся, отъ дѣйствія одного выпуклаго стекла соединятся такъ, что фокусъ краснаго будетъ въ B, фіолетоваго въ H. Если вогнутость стекла M′N′ дѣлается больше, то по причинѣ разсѣевающей силы вогнутаго стекла точки соединенія лучей подвинутся дальше и при этомъ фокусы лучей H′ и B′ будутъ ближе одинъ отъ другаго. Эта близость увеличивается скорѣе нежели отдаленіе ихъ отъ M′N′, такъ что разстояніе ихъ H′B′, напримѣръ при двойномъ разстояніи BC, меньше $^1/_2$ HB. При большемъ увеличеніи вогнутости стекла оно дойдетъ до того, что H и B соединятся въ точкѣ (H + B), равно какъ и лучи лежащіе между ними; тогда, не принимая въ разсужденіе сферической аберраціи, мы получимъ въ (H + B) безцвѣтное соединеніе параллельныхъ лучей въ одной точкѣ и оба стекла

MN и M'N' составятъ *ахроматическое стекло.* Въ этомъ случаѣ *фокусныя разстоянія стеколъ обратно пропорціональны свѣто-разсѣяніямъ.* Такъ какъ эти фокусныя разстоянія при различныхъ кривизнахъ поверхностей стеколъ могутъ оставаться постоянными, то можно дать имъ такія кривизны, что онѣ вмѣстѣ будутъ ахроматическими и аплanатическими. Хорошое стекло такого рода, какъ приготовлялъ его Фраунгоферъ для своихъ знаменитыхъ телескоповъ, имѣетъ видъ, показанный въ фигурѣ 215. Изъ ней видно, что стекло изъ кронгласа есть двояко-выпуклое, а стекло изъ флинтгласа выпукло-вогнутое; поверхности обращенныя другъ къ другу имѣютъ почти одинаковую кривизну, онѣ накладываются одна на другую, но въ трехъ мѣстахъ на краяхъ между стеклами кладутъ три маленькіе оловянные листочка, для того чтобы стекла не касались другъ друга. Если бы оба стекла были изъ одного и того же вещества, то вогнутое не прежде моглобъ сдѣлать параллельными фіолетовый и красный лучи, какъ тогда, когда оно уничтожило бы отклоненіе ихъ вообще; по этому посредствомъ такихъ стеколъ нельзя получить ахроматическаго изображенія предмета, но лучи послѣ преломленія пойдутъ въ такомъ же расходящемся направленіи, въ какомъ они падали. Совершенно было бы тоже, если бы употреблены были двѣ различныя средины, но которыхъ преломляющія силы совершенно пропорціональны разсѣевающимъ. Знаменитый Ньютонъ, введенный въ заблужденіе однимъ не точнымъ опытомъ, думалъ, что послѣднее обстоятельство всегда имѣетъ мѣсто и по этому считалъ ахроматизмъ за невозможное дѣло. Долландъ первый сдѣлалъ ахроматическое стекло изъ флинтгласа и кронгласа. Фраунгоферъ довелъ дѣланіе ахроматическихъ стеколъ до самой высокой степени совершенства.

§ 167.

По предъидущему бѣлый свѣтъ содержитъ 7 различныхъ цвѣтовъ, и если сравнимъ свѣтлость различныхъ цвѣтовъ въ спектрѣ съ пространствами, которыя они занимаютъ, то найдемъ что въ бѣломъ свѣтѣ больше всего находится желтаго цвѣта и что количества остальныхъ цвѣтовъ уменьшаются по обѣ стороны призматическаго спектра. По этому можно себѣ представить, что пучекъ лучей бѣлаго свѣта состоитъ изъ равно-свѣтлыхъ лучей различнаго цвѣта, но что число желтыхъ лучей есть самое большое, число же другихъ цвѣтныхъ лучей уменьшается по обѣ стороны спектра. Не возможно съ точностію опредѣлить отношенія чиселъ различныхъ цвѣтныхъ лучей; для краткости мы ограничимся 3-мя родами лучей, красныхъ, желтыхъ и синихъ и приблизительно примемъ, для каждаго цвѣта, слѣдующія числа лучей: для краснаго 600, для желтаго 1000, для синяго 500: мы увидимъ, что для слѣдствій, которыя мы хотимъ вывести, не нужно знать съ точностію эти числа.

Если бѣлый свѣтъ падаетъ на тѣло съ неполированною поверхностію, то мы можемъ представить себѣ эту плоскость состоящею изъ весьма малыхъ полированныхъ плоскостей, лежащихъ не въ одной плоскости, но имѣющихъ всѣ возможныя наклоненія другъ къ другу. Слѣд. свѣтъ отраженъ будетъ не по одному направленію, и такъ какъ углы паденія на малыя плоскости, различно наклоненныя другъ къ другу, имѣютъ всѣ возможныя величины отъ 0° до 90°, то отраженные лучи послѣ отраженія будутъ также имѣть всѣ возможныя направленія; отъ этого тѣло будетъ видимо со всѣхъ сторонъ. Но при этомъ только часть лучей отражается, какъ мы уже видѣли, другая входитъ въ тѣло и или проходитъ чрезъ него, когда оно прозрачно, или уничтожается, если оно не прозрачно. Кромѣ того при этомъ оказывается, что на многихъ тѣлахъ число лучей

различныхъ цвѣтовъ отраженныхъ не всегда составляетъ туже самую часть числа падающихъ лучей, но весьма различную; отъ этого происходятъ различные цвѣты тѣлъ. Если напр. тѣло имѣетъ такое свойство, что оно отражаетъ краснаго цвѣта $^1/_2$, желтаго $^1/_{10}$ и синяго $^1/_5$ падающихъ лучей, то число отраженныхъ лучей будетъ для краснаго 300, для желтаго 100, для синяго 100. Если возмемъ изъ этихъ красныхъ лучей 60, изъ синихъ 50, то они со 100 желтыми имѣютъ отношеніе требуемое для составленія бѣлаго свѣта; кромѣ того осталось еще 240 красныхъ и 50 синихъ, которые вмѣстѣ составятъ пурпуровый цвѣтъ, такъ что цвѣтъ тѣла составленъ будетъ изъ бѣлаго и пурпуроваго т. е. будетъ казаться свѣтло-пурпуровымъ.

Такъ въ самомъ дѣлѣ составлена большая часть цвѣтовъ встрѣчающихся въ природѣ; въ нихъ всегда находится часть бѣлаго свѣта, который смѣшанъ съ цвѣтами свойственными тѣлу. Чѣмъ меньше бѣлаго свѣта, тѣмъ чище кажется цвѣтъ. Одна изъ самыхъ чистыхъ красокъ есть напр. синяя индиговая, впрочемъ и въ ней находится часть бѣлаго. Итакъ по предъидущему объясненію цвѣтовъ, бѣлое тѣло есть то, которое отражаетъ одну и туже часть отъ каждаго цвѣта, напр. $^1/_4$; тогда отношеніе отраженныхъ цвѣтныхъ лучей остается то, которое было, и всѣ вмѣстѣ цвѣты составятъ опять бѣлый. Черное тѣло есть то, которое не можетъ отразить ни одного луча.

Справедливость такого взгляда на цвѣты доказывается слѣдующимъ опытомъ: если въ совершенно темную комнату пропустимъ солнечный лучь и посредствомъ призмы разложимъ его на 7 обыкновенныхъ цвѣтовъ, то кусокъ индиго въ синемъ цвѣтѣ будетъ казаться ярко синимъ, въ прочихъ же цвѣтахъ весьма темнымъ, почти чернымъ, потому что онъ отражаетъ весьма малую часть ихъ Если возмемъ кусокъ краснаго сукна не совершенно чистаго цвѣта, то онъ будетъ казаться окрашеннымъ въ тотъ

цвѣтъ, въ который кладутъ его, только въ краспомъ цвѣтѣ онъ дѣлается блистательнѣе; ибо такъ какъ это сукно отражаетъ большую часть бѣлаго свѣта, то оно и можетъ отразить каждый цвѣтъ.

§ 168.

Часть свѣта не отраженная отъ первой внѣшней поверхности тѣла частію уничтожается или, какъ говорятъ, поглощается тѣломъ и тогда она не подлежитъ болѣе изысканіямъ, или она проходитъ въ прозрачныхъ тѣлахъ насквозь, причемъ направленіе ея измѣняется по законамъ, которые мы уже изслѣдовали при преломленіи. Но при прохожденіи свѣта измѣняется также его напряженіе и мы должны это изслѣдовать. Нѣтъ ни одного тѣла, которое бы пропускало чрезъ себя свѣтъ безъ всякаго ослабленія; и когда мы смотримъ на отдаленные предметы, то замѣчаемъ, что даже воздухъ не есть совершенно прозрачная средина. Также нѣтъ тѣла совершенно не прозрачнаго, самое золото въ листахъ пропускаетъ его, такъ что по этому всѣ тѣла между сими предѣлами, конечно весьма обширными, болѣе или менѣе прозрачны. Посмотримъ что происходитъ отъ этой не совершенной прозрачности тѣлъ. Представимъ себѣ, что на такое тѣло съ плоскими параллельными поверхностями падаютъ бѣлые лучи, изъ которыхъ 1000 проникаютъ въ тѣло. Раздѣлимъ тѣло мысленно на слои, параллельные его поверхности и равной толщины и предположимъ, что не совершенная непрозрачность тѣла есть такого рода, что изъ числа всѣхъ лучей $^9/_{10}$ проникаютъ чрезъ первый слой, остальные же уничтожаются, слѣд. останутся еще 900, которые должны итти во второй слой; но и этотъ будетъ дѣйствовать опять также какъ первой, слѣд. пропуститъ $^9/_{10}$ т. е. 810 лучей; также и третій слой пропуститъ только $^9/_{10}$ этого числа т. е. 729 и т. д. Итакъ мы видимъ, что ослаб-

леніе, производимое слѣдующими слоями, хотя дѣлается меньше, нежели въ предшествующихъ слояхъ (сперва было уничтожено 100, потомъ 90, потэмъ 81), но при всѣмъ томъ свѣтъ тѣмъ больше ослабляется, чѣмъ толще слой.

Но здѣсь входитъ тоже самое обстоятельство, которое имѣло мѣсто и при отраженіи, состоящее въ томъ, что не отъ всѣхъ цвѣтовъ, содержащихся въ бѣломъ свѣтѣ, проходитъ сквозь тѣло одинакая ихъ часть. Представимъ себѣ опять для краткости только 3 цвѣта въ бѣломъ свѣтѣ, (все, что скажемъ объ нихъ, можно легко отнести ко всѣмъ 7 цвѣтамъ), и притомъ опять 600 красныхъ, 1000 желтыхъ и 500 синихъ, входящихъ въ средину. Есть прозрачныя средины, пропускающія каждаго цвѣта одинаковое количество, напр. $^9/_{10}$, и тогда бѣлой свѣтъ будетъ опять пропущенъ бѣлымъ; но есть и другія средины, которыя пропускаютъ напр. краснаго $^9/_{10}$, желтаго $^1/_{10}$, синяго $^1/_5$; эти средины называются *окрашенными* и лучь, проходящій чрезъ нихъ, всегда дѣлается цвѣтнымъ и цвѣтъ его бываетъ тѣмъ чище, чѣмъ толще слой. Въ самомъ дѣлѣ вообразимъ себѣ въ этой срединѣ такіе слои равной толщины, какъ прежде; тогда мы получимъ слѣдующія числа проходящихъ лучей:

Число входящихъ въ первый слой лучей.		Остаются послѣ прохожденія чрезъ слои:			
		1-й	2-й	3-й	4-й
Красныхъ	600	540	486	437	393
Желтыхъ	1000	100	10	1	0
Синихъ	500	100	20	4	1.

въ этой таблицѣ дроби опущены; изъ ней видно, что стекло, состоящее изъ четырехъ такихъ слоевъ, пропускаетъ

только красный цвѣтъ, между тѣмъ какъ при толщинѣ одного слоя еще проходитъ много желтыхъ и синихъ лучей. Что при достаточной толщинѣ въ самомъ дѣлѣ стекло пропускаетъ только красный цвѣтъ, въ этомъ мы можемъ удостовѣриться, если будемъ смотрѣть сквозь такое стекло на призматическій спектръ; всѣ части его изчезаютъ кромѣ краснаго конца. Такія стекла можно съ выгодою употреблять для того, чтобъ уединить изъ падающихъ въ темную комнату солнечныхъ лучей одни красные лучи. Подобнымъ же образомъ мы можемъ уединить фіолетовые лучи чрезъ фіолетовую средину. Нѣкоторыя изъ окрашенныхъ срединъ имѣютъ то свойство, что черезъ тонкіе ихъ слои, онѣ пропускаютъ одинъ цвѣтъ, а при большей толщины другой. Такъ напр. растворъ хромѣево-кислаго кали кажется зеленымъ, если смотрѣть на свѣтъ сквозь тонкой слой его, напротивъ когда изъ него составленъ толстый слой, то темно-краснымъ; это есть простое слѣдствіе предъидущаго. Въ самомъ дѣлѣ, если предположимъ, что это вещество при толщинѣ слоя въ $1'''$ пропускаетъ краснаго цвѣта $^9/_{10}$, зеленаго $^8/_{10}$ и другихъ цвѣтовъ такое незначительное количество, что ихъ нельзя принять въ уваженіе, и если принимаемъ, что число зеленыхъ лучей въ бѣломъ свѣтѣ $= 900$, то мы получимъ:

Число входящихъ лучей.	Число лучей проходящихъ чрезъ слои толщиною въ									
	$1'''$	$2'''$	$3'''$	$4'''$	$5'''$	$6'''$	$7'''$	$8'''$	$9'''$	$10'''$
Красныхъ 600	540	486	437	393	353	319	287	258	232	209
Зеленыхъ 900	720	576	461	369	295	256	189	151	121	97

Здѣсь мы видимъ, что послѣ прохожденія чрезъ 1, 2, 3 слои зеленые лучи имѣютъ перевѣсъ, но потомъ начинается перевѣсъ красныхъ лучей и увеличивается болѣе и болѣе, чѣмъ толще становится слой; по этому цвѣтъ жидкости становится темнокраснымъ. Слѣд. причина этого *дихроизма* или этой двуцвѣтности состоитъ въ томъ, что число лучей, падающихъ въ большемъ количествѣ, уменьшается скорѣе, нежели число падающихъ въ меньшемъ количествѣ; отъ этого при увеличеніи толщины слоевъ мы дойдемъ наконецъ до слоя такой толщины, при которомъ число послѣднихъ лучей остается больше, нежели число первыхъ.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

О СТРОЕНІИ ГЛАЗА И О ЗРѢНІИ.

§ 169.

Прежде мы уже замѣтили, что обыкновенный здоровый или, какъ говорятъ, *нормальный глазъ* ясно видитъ предметы тогда, когда они отдалены отъ него не менѣе 9 дюймовъ. Поищемъ теперь причины этого въ подробнѣйшемъ разсмотрѣніи строенія глаза.

Если разсѣчемъ человѣческій глазъ вертикальною плоскостію, то получимъ въ разрѣзѣ фигуру 216. Глазъ заключенъ въ перепончетой бѣлой кожицѣ BACD, которая въ части болѣе выпуклой AB прозрачна и называется тамъ *роговою* оболочкою. Не прозрачная бѣлая часть называется *склеротикою*. Внутри склеротики прилегаетъ къ ней вторая оболочка глаза — *сосудистая*, кругомъ покрытая чернымъ пигментомъ, въ KL она имѣетъ отверстіе — *зрачекъ*; за

роговою оболочкою видимый кругъ этой кожицы, въ которомъ находится зрачекъ, у различныхъ особъ бываетъ различнаго цвѣта, по этому мы различаемъ глаза голубые, сѣрые, черные и другіе. Позади зрачка находится такъ называемое *кристалловидное тѣло* FG, прикрѣпленное тоже къ сосудистой оболочкѣ; это есть двояко-выпуклое прозрачное тѣло, котораго задняя кривизна сильнѣе передней. Пространство между роговою оболочкою и кристалловиднымъ тѣломъ FG наполнено жидкостію, которая называется *водяною влагою*; пространство FMG з, кристалловиднымъ тѣломъ FG наполнено студенистою матеріею, такъ называемою *стекловидною влагою*. Наконецъ по внутренней поверхности сосудистой кожицы, именно на черномъ пигментѣ, простирается такъ называемая *сѣтка*, которая собственно есть развѣтвленіе оптическаго нерва M. Слѣд. глазъ раздѣляется кристалловиднымъ тѣломъ и кольцемъ, къ которому оно прикрѣплено, на два отдѣльныя вмѣстилища, изъ которыхъ одно наполнено водяною, а другое стекловидною влагами. Когда свѣтъ падаетъ на средину роговой кожицы, то онъ проходитъ чрезъ нее, чрезъ водяную влагу, чрезъ зрачекъ, чрезъ кристалловидное тѣло чрезъ стекловидную влагу, потому что всѣ эти средины прозрачны, распространяется до сѣтки и такъ какъ эта послѣдняя есть продолженіе зрительнаго нерва, то на ней производится ощущеніе, сообщаемое черезъ нервъ M мозгу.

Теперь представимъ себѣ какой нибудь предметъ находящійся предъ глазомъ, и сперва въ такомъ большомъ разстояніи, что лучи, выходящіе изъ каждой точки предмета, падающіе на роговую оболочку и проникающіе во внутренность глаза, можно принять за параллельные. Пусть AB будетъ этотъ предметъ (фиг. 217), DE роговая кожица глаза, C точка, которая называется *оптическимъ центромъ* глаза и которая находится позади кристалловиднаго

тѣла. Онъ такъ близко лежитъ къ центру роговой кожицы, что лучи проведенные изъ A и B чрезъ C идутъ далѣе безъ преломленія, потому что они падаютъ перпендикулярно къ кривизнѣ роговой кожицы. Слѣд. если изъ A и B проведемъ линіи чрезъ C, то *a* и *b* будутъ тѣ точки, гдѣ эти лучи упадутъ на сѣтку глаза. Остальные лучи, выходящіе изъ A и падающіе на DE, по причинѣ большаго отдаленія предмета, могутъ быть приняты за параллельные; они прежде всего отъ дѣйствія выпуклой поверхности роговой кожицы и потомъ отъ дѣйствія кристалловиднаго тѣла, котораго показатель преломленія больше показателей другихъ окружающихъ его срединъ, дѣлаются сходящимися и притомъ въ нормальномъ глазѣ такъ, что точка соединенія параллельныхъ лучей или главный фокусъ ихъ прямо падаетъ на сѣтку. Такимъ же образомъ соединяются лучи параллельно идущіе изъ B, всѣ въ точкѣ *b*, слѣд. на сѣткѣ составится изображеніе *ab*, которое совершенно подобно предмету AB по виду, только меньше его и въ обратномъ положеніи.

Итакъ посредствомъ сѣтки мы ощущаемъ каждую точку предмета тоже какъ точку, подобнымъ образомъ, какъ напр. въ темнотѣ мы можемъ составить себѣ понятіе о фигурѣ какого нибудь предмета посредствомъ осязанія пальцами съ тою только разностію, что посредствомъ глаза мы осязаемъ, такъ сказать, не самый предметъ, но изображеніе совершенно ему подобное. Прямая линія проходящая чрезъ точку C въ глазѣ и чрезъ средину роговой оболочки называется *оптическою осью* глаза. Опытъ показываетъ, что тамъ гдѣ эта ось пересѣкаетъ сѣтку, находится пространство, въ которомъ мы лучше всего ощущаемъ посредствомъ сѣтки и яснѣе различаемъ изображеніе предметовъ; по этому мы всегда направляемъ глазъ такъ, что ось его падаетъ на тотъ предметъ, который мы хотимъ видѣть яснѣе.

§ 170.

Изъ теоріи выпуклыхъ стеколъ (§ 156) мы знаемъ, что если безконечно отдаленный предметъ приближается къ стеклу, то изображеніе его на другой сторонѣ, начиная отъ главнаго фокуса, удаляется отъ стекла, но гораздо меньше, нежели на сколько приближается предметъ, такъ что движенію предмета изъ безконечно большаго отдаленія до двойнаго главнаго фокуснаго разстоянія, соотвѣтствуетъ движеніе изображенія отъ простаго до двойнаго главнаго фокуснаго разстоянія. Итакъ если предметъ AB мало по малу будетъ приближаться къ глазу, то изображеніе *ab* наконецъ не упадетъ на сѣтку, но позади ея и на ней каждою точкою изображенія производится впечатлѣніе не точки, но маленькаго круга, образуемаго пересѣченіемъ конуса преломленныхъ лучей съ сѣткою, который кругъ будетъ тѣмъ больше, чѣмъ дальше за сѣткою падаетъ изображеніе. Если же каждая точка предмета произведетъ на сѣткѣ ощущеніе круга, то ощущеніе одной точки смѣшается съ ощущеніемъ другой и отъ этого должна произойти неясность зрѣнія. Поэтому нормальный глазъ только при извѣстномъ отдаленіи предмета, т. е. при безконечно большомъ разстояніи его, долженъ былъ бы ясно видѣть, если бы онъ не имѣлъ способности помогать этому недостатку. Что глазъ дѣйствительно имѣетъ эту способность слѣдуетъ изъ того, что нормальный глазъ еще ясно видитъ и тогда, когда предметъ приближается къ нему до 9 дюймовъ. Эта способность глаза измѣняться соразмѣрно разстояніямъ предмета, называется *способностію приспособляться*, но причина этому до сихъ поръ еще неизвѣстна. Нѣкоторые думаютъ, что она состоитъ въ томъ, что мы посредствомъ мускуловъ, которыми глазъ приводится въ движеніе, можемъ сдавить его, такъ что сѣтка будетъ далѣе отстоять отъ роговой оболочки, нежели въ

обыкновенномъ ея положеніи и по этому конусы лучей, соединявшихся далѣе отъ сѣтки, опять будутъ имѣть вершину свою на сѣткѣ. Но для этого продольный діаметръ глаза долженъ бы измѣняться на $^1/_3$, чего нельзя допустить. Иные думаютъ, что способность приспособляться должно искать въ кристалловидномъ тѣлѣ. Именно предполагаютъ, что это тѣло или перемѣняетъ свою форму или передвигается съ одного мѣста на другое, смотря по отдаленію предмета, или наконецъ, такъ какъ преломляющая сила кристалловиднаго тѣла къ краямъ сильнѣе, нежели на срединѣ, что мы видимъ отдаленные предметы посредствомъ краевъ его, разширяя зрачекъ, а близкіе посредствомъ средины, съужая его. Легко можетъ быть, что глазъ употребляетъ всѣ или нѣкоторыя изъ этихъ средствъ вмѣстѣ.

Какая бы причина ни была способности приспособляться, мы знаемъ однако, что она для нормальнаго глаза не простирается ближе 9 дюймовъ, такъ что 9 дюймовъ есть *наименьшій* предѣлъ, при которомъ ясное зрѣніе возможно. Но есть много глазъ, для которыхъ предметы могутъ находиться въ ближайшемъ разстояніи и при всемъ томъ эти глаза еще видятъ ясно. У особъ, имѣющихъ такіе глаза, роговая кожица или кристаллоидное тѣло слишкомъ выпуклы и они называются *близоружими*. Большая выпуклость производитъ то, что для отдаленныхъ предметовъ, которыхъ лучи можно принимать за параллельные, слѣд. для большей части предметовъ окружающихъ насъ, изображенія такъ далеко отстаютъ отъ сѣтки въ сторону кристалловиднаго тѣла, что лучи падаютъ на сѣтку только тогда, когда они послѣ соединенія опять разойдутся (фиг. 218). Слѣд. близорукія особы могутъ хорошо видѣть только ближайшіе предметы, для отдаленныхъ же глаза ихъ слишкомъ выпуклы.

Напротивъ есть глаза, обыкновенно у старыхъ людей, въ которыхъ способность приспособляться такъ ослаблена, что предѣлъ яснаго зрѣнія простирается не до 9 дюй-

мовъ, но напр. только до 15. По этому они ясно видятъ отдаленные предметы, ближайшіе же только тогда, когда они находятся въ разстояніи не меньше 15 дюймовъ. Такіе глаза называются *дальнозоркими*.

§ 171.

Мы изложили обстоятельства, имѣющія вліянія на ясное зрѣніе, при которыхъ лучи, выходящіе изъ одной точки, опять должны соединяться на сѣткѣ въ одну точку, т. е. при которыхъ изображенія предметовъ на сѣткѣ бываютъ ясны. Теперь мы будемъ опредѣлять, отъ чего зависитъ величина этихъ изображеній. Представимъ себѣ предметъ AB (фиг. 219), отъ котораго нормальный глазъ находится въ разстояніи напр. 18 дюймовъ. Если проведемъ AC и BC и продолжимъ ихъ до a и b, то по предъидущему получимъ ясное изображеніе ba на сѣткѣ. Если подвинемъ AB къ A′B′ на половину прежняго разстоянія т. е. на 9 дюймовъ, то мы получимъ, проводя линіи A′C и B′C и продолжая ихъ до a' и b', изображеніе $a'b'$, которое мы также будемъ видѣть еще ясно, потому что разстояніе не меньше 9 дюймовъ. Но во второмъ случаѣ $a'b'$ будетъ больше ab, по этому большая часть сѣтки будетъ покрыта изображеніемъ и слѣд. большее число нервныхъ частицъ получутъ впечатлѣніе; отъ этого ощущеніе будетъ сильнѣе и слѣд. мы видимъ тѣмъ лучше, чѣмъ больше изображеніе на сѣткѣ; но такъ какъ $ab : a'b' = aCb : a'Cb'$ и $aCb : a'Cb' = ACB : A'CB'$, то величины изображенія могутъ быть опредѣлены углами ACB и A′CB′, которые составляются линіями, проведенными отъ крайнихъ точекъ предмета къ центру глаза, и которые называются *углами зрѣнія*. Слѣд. предметъ можно видѣть тѣмъ лучше, чѣмъ больше уголъ зрѣнія. Но такъ какъ предметъ долженъ быть видимъ вмѣстѣ и ясно, то лучшее видѣніе для нормальнаго глаза будетъ при 9 дюймахъ; здѣсь уголъ зрѣнія достигаетъ наибольшей величины

при совершенной ясности. По этой то причинѣ мы подвигаемъ предметъ къ глазамъ на это разстояніе, если мы хотимъ видѣть лучшимъ образомъ, напр. въ этомъ отдаленіи мы держимъ книгу, когда читаемъ ее. По этому для нормальнаго глаза 9 дюймовъ называется *разстояніемъ лучшаго видѣнія.*

Для близорукихъ мы можемъ подвинуть къ глазамъ предметъ на разстояніе гораздо меньшее, напримѣръ на $4^1/_2$ дюйма и при всемъ томъ ясность изображенія не теряется. Такъ какъ уголъ зрѣнія въ этомъ случаѣ почти равенъ двойному углу зрѣнія нормальнаго глаза, то близорукій получаетъ изображеніе на сѣткѣ, которое въ одномъ измѣреніи своемъ дѣлается вдвое больше или произведетъ впечатлѣніе на число нервныхъ частицъ вчетверо большее, нежели въ нормальномъ глазѣ. Слѣд. такіе глаза вблизи будутъ видѣть яснѣе, нежели нормальные глаза, и по этому они могутъ напр. читать шрифтъ гораздо мельчайшій; но за то они не имѣютъ выгоды видѣть ясно въ нѣкоторомъ отдаленіи. Напротивъ для дальнозоркаго глаза должно отодвигать предметы дальше, слѣд. на сѣткѣ получаются меньшія изображенія и зрѣніе не такъ бываетъ хорошо, какъ въ нормальномъ глазѣ; по этому такіе глаза съ трудомъ могутъ читать мелкій шрифтъ.

§ 172.

Рѣшимъ нѣкоторые вопросы касательно зрѣнія, которые представляются сами собою. Сюда напр. принадлежитъ вопросъ, *почему мы видимъ предметы въ прямомъ положеніи тогда, какъ изображенія на сѣткѣ представляются въ обратномъ?* Причину этого мы должны искать въ привычкѣ. Когда новорожденный младенецъ начинаетъ ощущать на сѣткѣ изображеніе предмета, то мы должны себѣ представить, что онъ имѣетъ только одно ощущеніе, не зная, что сему соотвѣтствуетъ внѣшній пред-

метъ; онъ узнаетъ это мало по малу только чрезъ осязаніе; но тогда это осязаніе уже показываетъ ему, что причину впечатленія, ощущаемаго нижнею частію сѣтки, должно искать вверху, а причину впечатленія ощущаемаго верхнею частію внизу, причину впечатленія ощущаемаго правою стороною нужно искать въ лѣвой сторонѣ, причину лѣваго ощущенія въ правой сторонѣ предмета.

Такимъ образомъ мало по малу составляется отношеніе той точки, гдѣ производится ощущеніе, къ причинѣ этого ощущенія. Это отношеніе состоитъ въ томъ, что направленіе зрѣнія есть прямая линія, соединяющая точки ощущенія на сѣткѣ съ центромъ глаза. Итакъ если C есть центръ глаза, то мы перемѣщаемъ точку предмета, который производитъ впечатленіе въ *b* (фиг. 219), въ направленіи *b*CB, также точку производящую ощущеніе въ *a* перемѣщаемъ по направленію *a*CA и т. д. Доказательство того, что глазъ дѣйствительно этимъ способомъ опредѣляетъ направленіе видимаго предмета, состоитъ въ томъ, что если производимъ впечатленіе на сѣтку придавляя пальцемъ глазъ со внѣшняго конца его, то сѣтка замѣчаетъ это впечатленіе какъ свѣтлое пятно и то на противной сторонѣ къ носу.

Почему двумя глазами мы видимъ не двойные предметы? Также на это мы должны смотрѣть какъ на слѣдствіе привычки. Мы уже видѣли, что для яснаго зрѣнія мы должны направить глазъ такъ, чтобы изображеніе лежало на главной оси и мы тогда знаемъ изъ опыта, что если изображенія падаютъ въ одномъ глазѣ на тѣ средніе части сѣтки, которыя соотвѣтствуютъ среднимъ частямъ въ другомъ, то они производятся только однимъ предметомъ. Подобное явленіе имѣетъ мѣсто и въ другихъ ощущеніяхъ. Если закрывши глаза положимъ два пальца одинъ подлѣ другаго на шарикъ, то мы знаемъ по привычкѣ этаго ощущенія, что здѣсь будетъ одинъ и тотъ же шарикъ

до котораго мы касаемся въ двухъ мѣстахъ. Если же положимъ оба пальца крестъ на крестъ одинъ на другой и такимъ образомъ касаемся къ парику, то парикъ покажется намъ двойнымъ, потому что тѣ части пальцевъ, которыя теперь прикасаются къ парчику въ двухъ мѣстахъ, при обыкновенномъ положеніи пальцевъ могутъ прикасаться такимъ образомъ только къ двумъ парикамъ, лежащимъ одинъ подлѣ другаго. Тоже самое бываетъ и съ глазами; если оба они направлены на одинъ предметъ, такъ чтобы изображеніе его въ одномъ глазѣ падало на часть сѣтки соотвѣтствующую изображенію другаго глаза, то намъ кажется, что мы видимъ одинъ только предметъ. Если же выведемъ одинъ глазъ изъ этого направленія, если напр. придавимъ его пальцемъ, то намъ тотчасъ кажется, что мы видимъ два предмета, потому что теперь изображенія падаютъ на два мѣста сѣтки, которыя мы по обыкновенію считаемъ за не соотвѣтствующія.

Какимъ образомъ мы судимъ о разстояніи и о величинѣ предмета? Чтобы составить себѣ понятіе о разстояніи какого нибудь предмета, мы должны употреблять нѣкоторыя постороннія пособія. Если предметъ находится близко, то усиліе, которое мы должны сдѣлать, чтобъ поправить главныя оси обоихъ глазъ въ одно время на предметъ, даетъ намъ средство опредѣлить его разстояніе; именно если предметъ находится ближе въ C (фиг. 220), то уголъ ACB сдѣлается больше, если же предметъ будетъ дальше въ C′, то уголъ ACB будетъ меньше; въ первомъ случаѣ усиліе мускуловъ больше, во второмъ меньше. Это доказывается напр. трудностію продѣть, когда закроемъ одинъ глазъ, нитку въ ушко иголки, между тѣмъ, какъ мы можемъ это легко сдѣлать, если оба глаза направлены на нитку. Если же разстояніе предмета значительно, то уголъ ACB будетъ такъ малъ, что разность этихъ угловъ для различныхъ отдаленій можетъ быть принята за 0. Тогда мы

опредѣляемъ разстояніе предмета однимъ глазомъ также хорошо, какъ и двумя. Если въ этомъ случаѣ мы знаемъ величину предмета, если напр. мы видимъ человѣка въ нѣкоторомъ отдаленіи, то мы судимъ о разстояніи по углу зрѣнія или, что по предъидущему все равно, по поверхности, которую занимаетъ его изображеніе на сѣткѣ; натурально эта поверхность будетъ тѣмъ больше, чѣмъ ближе находится человѣкъ отъ глаза наблюдателя. Но если величина предмета не извѣстна, то намъ остается только одно средство опредѣлить разстояніе, сравнивая его съ предметами, лежащими между нами и тѣмъ предметомъ, котораго разстояніе хотимъ узнать. Если такихъ предметовъ нѣтъ, то мы теряемъ всякую возможность опредѣлить разстояніе. По этому всѣ небесныя тѣла: солнце, луна и звѣзды, кажутся находящимися на тверди небесной въ одномъ и томъ же отъ насъ отдаленіи; по этому также башня, видимая за крышею какого нибудь дома, кажется близко отъ него находящеюся, хотя она въ самомъ дѣлѣ значительно удалена; отъ этаго наконецъ мы легко ошибаемся въ опредѣленіи разстоянія вдали видимаго огня во время темной ночи.

Видимая величина предмета зависитъ отъ его разстоянія; уголъ, подъ которымъ мы видимъ предметъ, узнается нами по протяженію, которое занимаетъ изображеніе его на части сѣтки, получившей впечатлѣніе; слѣд. если мы можемъ приблизительно опредѣлить разстояніе, то мы знаемъ по опыту, что такой то величинѣ изображенія соотвѣтствуетъ такая та величина предмета. Если же мы не имѣемъ средства судить о разстояніи, то мы теряемъ и понятіе о величинѣ видимыхъ предметовъ. Солнце и луна кажутся намъ одинаковыми по величинѣ, потому что оба они имѣютъ уголъ зрѣнія около 30 минутъ, хотя истинный діаметръ солнца въ 460 разъ больше діаметра луны.

Изъ этого объясняется одно замѣчательное, но для насъ столь обыкновенное явленіе, что мы едва обращаемъ на него наше вниманіе. Именно когда солнце или луна восходятъ, то они кажутся намъ гораздо билышими нежели на значительной высотѣ надъ горизонтомъ. Если измѣримъ уголъ зрѣнія посредствомъ астрономическаго инструмента, то найдемъ, что онъ равенъ въ томъ и другомъ случаѣ; слѣд. здѣсь имѣетъ мѣсто оптической обманъ, отъ котораго впрочемъ мы не можемъ освободиться, хотя и достовѣрно знаемъ, что мы подвержены ему. Это явленіе объясняютъ тѣмъ, что луна или солнце намъ кажутся отстоящими отъ насъ дальше когда они въ горизонтѣ, нежели когда они стоятъ высоко, а это происходитъ частью потому что вдоль горизонта мы видимъ множество предметовъ, по которымъ мы судимъ о большемъ разстояніи этихъ небесныхъ тѣлъ, но частью и потому, что небо намъ чище кажется къ зениту, нежели къ горизонту и мы считаемъ тѣ предметы дальше, которые темнѣе. Если же луна кажется намъ далѣе, когда она бываетъ въ горизонтѣ, хотя мы видимъ ее подъ однимъ и тѣмъ же угломъ, то мы изъ этого необходимо должны заключить, что она въ этомъ случаѣ больше нежели въ зенитѣ; то же самое должно имѣть мѣсто и для солнца. Изъ этого также видно, что небо должно казаться имѣющимъ видъ не полушарія, но сплюснутаго свода и что градусъ на горизонтѣ долженъ казаться больше, нежели въ зенитѣ. По этому также звѣзды кажутся намъ стоящими выше надъ горизонтомъ, нежели какъ онѣ находятся въ самомъ дѣлѣ, и кому это неизвѣстно, тотъ будетъ считать звѣзду на высотѣ 45°, между тѣмъ какъ истинная высота ея равна можетъ быть только 25°.

Наконецъ мы упомянемъ еще объ одномъ свойствѣ глаза, которое состоитъ въ томъ, что не всѣ части сѣтки чувствуютъ впечатленіе свѣта, но что на ней именно въ томъ мѣстѣ, гдѣ нервъ входитъ въ глазъ, находится точка кото-

рая совершенно не видитъ. Въ этомъ можно удостовѣриться слѣдующимъ замѣчательнымъ опытомъ: положимъ три маленькія бѣлыя облатки A, B, C, на одной линіи, которая параллельна линіи, соединяющей оба глаза, и отстоящія одна отъ другой около 3 люймовъ; если потомъ закрывши лѣвый глазъ, направимъ правый, находящійся въ O (фиг. 221), на лѣвую облатку A, и потомъ не сводя его съ ней станемъ мало по малу подпимать голову, то дойдемъ до такой высоты, на которой облатка B будетъ не видима, между тѣмъ, какъ C остается видимою. Въ это мгновеніе изображеніе облатки B прямо падаетъ на нечувствительное мѣсто глаза или на такъ называемое punctum coecum.

§ 173.

Если на бѣлую бумагу положимъ облатку ярко-краснаго цвѣта, и станемъ пристально смотрѣть на нее или лучше на какой нибудь знакъ сдѣланный въ срединѣ ея, потомъ вдругъ обратимъ глазъ на бѣлую бумагу, то мы увидимъ на ней синевато-зеленое круглое изображеніе, которое мало по малу дѣлается слабѣе и послѣ нѣкотораго времени совершенно изчезаетъ. Подобнымъ образомъ желтая облатка даетъ изображеніе индиговаго цвѣта, индиговою облаткою производится желтое изображеніе, черньмъ пятномъ бѣлое изображеніе; эти изображенія называются *субъективными изображеніями*. Еслибы цвѣты облатки и субъективнаго изображенія были одинаково ярки, то цвѣтъ послѣдняго былъ бы дополнительнымъ цвѣтомъ перваго т. е. оба вмѣстѣ составили бы бѣлый свѣтъ. По этому субъективное изображеніе чернаго цвѣта есть бѣлый свѣтъ и наоборотъ.

Изъ этого не трудно объяснить себѣ происхожденіе сего явленія. Если будемъ смотрѣть на облатку какого нибудь яркаго цвѣта, лежащую на бѣломъ полѣ, то мѣсто на сѣткѣ, на которое падаетъ изображеніе облатки, бу-

детъ ощущать всѣ призматическіе цвѣты, которые отражаются отъ облатки, напротивъ другіе находящіеся въ бѣломъ свѣтѣ цвѣты не произведутъ въ этомъ мѣстѣ сѣтки никакого впечатленія. По этому послѣ нѣкотораго времени это мѣсто притупляется для ощущенія находящихся въ изображеніи цвѣтовъ, какъ это имѣетъ мѣсто во всѣхъ чувствахъ нашихъ, но сохраняетъ свою чувствительность для остальныхъ, и такъ если вдругъ обратимъ глазъ на бѣлое поле, изъ котораго входятъ въ него всѣ цвѣтные лучи вмѣстѣ, то впечатленіе прежде не существовавшихъ въ этой точкѣ сѣтки лучей будетъ брать перевѣсъ надъ прочими и намъ кажется, что мы видимъ пятно окрашенное этими дополнительными цвѣтами.

Но есть еще другое явленіе этихъ, такъ называемыхъ *случайныхъ цвѣтовъ*, которое труднѣе объяснить. Если напр. тѣнь палочки отъ двухъ свѣчей примемъ на бѣлую плоскость и свѣтъ одной свѣчи пропустимъ чрезъ красное стекло, потомъ подвигая назадъ другую свѣчу сдѣлаемъ обѣ тѣни на плоскости одинаково темными, то одна тѣнь естественно будетъ казаться красною, но другая тогда принимаетъ дополнительный цвѣтъ, именно зеленый. Это явленіе извѣстно подъ именемъ явленія *окрашенныхъ тѣней*. Этого нельзя объяснить предъидущимъ способомъ, потому что здѣсь оба изображенія падаютъ на различныя части сѣтки и мы должны предполагать, что когда сѣтка въ одномъ мѣстѣ принимаетъ сильное впечатленіе отъ какого нибудь цвѣта, то другія части ея отъ этого располагаются къ яснѣйшему зрѣнію дополнительныхъ цвѣтовъ, такъ что та часть сѣтки, на которую падаетъ изображеніе неокрашенной тѣни и которая по этому менѣе получаетъ впечатленій, будетъ казаться окрашенною дополнительнымъ цвѣтомъ.

Другое явленіе субъективныхъ цвѣтовъ, которое еще труднѣе объяснить, замѣчается тогда когда мы подверга-

емъ глазъ сильнымъ впечатленіямъ, напр. когда смотримъ на солнце или какое нибудь ярко свѣтящееся тѣло: тогда изображеніе солнца послѣ того, какъ мы перестали смотрѣть, долго остается въ глазахъ и принимаетъ различные цвѣты смѣняющіеся одинъ за другимъ.

Вообще мы чувствуемъ каждое впечатленіе на сѣткѣ, отъ какой бы причины оно не происходило, какъ свѣтъ; отъ этого при сильномъ ударѣ въ глазъ изъ него кажется сыплются искры.

ГЛАВА ШЕСТАЯ.

ОБЪ ОПТИЧЕСКИХЪ ИНСТРУМЕНТАХЪ.

А. *О простомъ микроскопѣ.*

§ 174.

Простой микроскопъ есть выпуклое стекло съ коротким фокуснымъ разстояніемъ, которое держутъ у самаго глаза, и сквозь которое смотрятъ на предметъ находящійся въ фокусѣ стекла. Отъ этого предметъ кажется увеличеннымъ.

Пусть DE (фиг. 222) будетъ стекло выпуклое, C центръ его, AB предметъ, лежащій въ главномъ фокусѣ стекла, G центръ глаза. Если чрезъ центръ стекла проведемъ изъ A лучь AC, то онъ, какъ извѣстно, пойдетъ далѣе не преломляясь; другіе же лучи AD и AE послѣ преломленія сдѣлаются параллельными лучу AC. Одинъ изъ этихъ параллельныхъ лучей пройдетъ безъ преломленія чрезъ центръ глаза G и пересѣчетъ сѣтку въ A′, остальные же въ нормальномъ глазѣ соединяются также въ

A/ и такимъ образомъ мы получимъ на сѣткѣ въ точкѣ A/ изображеніе точки A. Подобнымъ образомъ всѣ лучи, выходящіе изъ B послѣ преломленія сдѣлаются параллельными лучу BC; одинъ изъ нихъ, безъ преломленія пройдетъ чрезъ G, а слѣд. вмѣстѣ съ другими произведетъ изображеніе свое въ B/, такъ что A/B/ будетъ изображеніе всего предмета въ глазѣ: уголъ зрѣнія будетъ A/GB/, который по параллельности лучей = ACB. Безъ стекла предметъ долженъ бы быть подвинутъ къ глазу на нормальное разстояніе 9 дюймовъ для того, чтобъ какъ можно яснѣе видѣть его. Если предположимъ что тангенсы пропорціональны угламъ (а это для малыхъ угловъ, каковые всегда бываютъ углы зрѣнія, справедливо), то слѣд уголъ зрѣнія безъ стекла можетъ быть выраженъ чрезъ $\frac{AB}{9''}$; а со стекломъ онъ будетъ $\frac{AB}{F}$, если F означаетъ главное фокусное разстояніе стекла. Но изображеніе въ глазѣ будетъ въ такомъ же отношеніи больше въ какомъ и углы зрѣнія, слѣд. увеличеніе произведенное стекломъ будетъ во столько разъ больше, во сколько $\frac{AB}{F}$ больше $\frac{AB}{9''}$ или увеличеніе (которое мы означаемъ чрезъ W) будетъ

$$W = \frac{9}{F}$$

гдѣ F также должно быть выражено въ дюймахъ. Еслибъ F было равно 9″, то увеличеніе было бы 1, т. е. предметъ казался бы въ своей естественной величинѣ. Если $F > 9''$, то изображеніе былобъ меньше, еслиже $F < 9''$, то очевидно, что такое выпуклое стекло будетъ увеличивать. Если бы напр. фокусное разстояніе стекла $F = \frac{1}{2}$ дюйма, то такое стекло увеличивалобъ въ 18 разъ; еслибы F равно $\frac{1}{10}$ дюйма или одной линіи, то увеличеніе было бы въ 20 разъ. Но чѣмъ больше бываетъ увеличеніе, т. е. чѣмъ больше бываетъ изображеніе въ глазѣ

тѣмъ на большей поверхности распространяется свѣтъ, падающій отъ предмета на нашъ глазъ, и тѣмъ больше онъ будетъ *ослабленъ*. Такъ какъ мы всегда должны держать предметъ въ фокусѣ стекла, то это разстояніе, если $F = \frac{1}{10}$ дюйма, тоже должно быть $\frac{1''}{10}$, при чемъ предметъ будетъ заслоненъ отъ свѣта головою самаго наблюдателя. Это уже одно полагаетъ предѣлъ увеличенію посредствомъ простыхъ стеколъ, которое впрочемъ моглобъ простираться до безконечности. Другой предѣлъ для нихъ назначается сферическою аберраціею, которая бываетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ короче фокусное разстояніе стекла, потому что при этомъ и отношеніе отверстія къ фокусному разстоянію его также увеличивается. По предъидущему вліяніе сферической аберраціи можно уменьшить употребляя плоско-выпуклое стекло, обращенное выпуклою стороною къ глазу, ибо на этой сторонѣ находятся параллельные лучи (§ 160. 4), но совершенно можно уничтожить сферическую и хроматическую аберраціи, употребивши два стекла непосредственно лежащія одно подлѣ другаго и давшимъ надлежащую кривизну. Микроскопъ такого рода, который впрочемъ дѣйствуетъ совершенно какъ одно выпуклое стекло, называется *двойнымъ стекломъ*. Чтобъ при одинаковомъ фокусномъ разстояніи уменьшить кривизну стекла и чрезъ это ослабить также и аберрацію, шлифуютъ стекла изъ сильно преломляющихъ срединъ, напр. изъ алмаза, яхонта, сафира и пр. которыя и въ самомъ дѣлѣ дѣйствуютъ весьма хорошо.

Изъ предъидущаго видно, что дѣйствіе простаго микроскопа собственно состоитъ въ томъ, что онъ позволяетъ глазу еще болѣе приближать предметы, оставляя лучи ихъ параллельными; черезъ это увеличивается уголъ

зрѣнія не теряя ясности, что бываетъ, когда предметъ приближается къ невооруженному глазу.

B. *Объ очкахъ.*

§ 175.

Выше замѣчено, что нормальный глазъ видитъ ясно при параллельномъ направленіи лучей, но что также можно приблизить къ нему предметъ до 9 дюймовъ, не уничтожая ясности изображенія. Близорукіе глаза бываютъ выпуклѣе, такъ что они соединяютъ параллельные лучи уже передъ сѣткою и по этому не ясно видятъ изображеніе отдаленныхъ предметовъ. Очевидно что этому недостатку можно помочь, если предъ глазами поставить стекла вогнутыя такой кривизны, что параллельные лучи дѣлаются столь сильно расходящимися, что они соединяются ровно на сѣткѣ такого глаза. По этому близорукіе должны носить *вогнутые очки.* Оптики обыкновенно ставятъ на нихъ номера опредѣленные по радіусамъ кривизны, начиная съ наибольшей кривизны почти до плоскаго стекла; но эти номера у разныхъ оптиковъ бываютъ не равны, такъ что, если такой то номеръ у одного оптика годится для нашего глаза, то легко можетъ случиться, что онъ у другаго оптика будетъ другой.

Дальнозоркіе глаза напротивъ могутъ хорошо видѣть предметы отдаленные, но за то они не видятъ, когда предметы подвигаются ближе и слѣд. не даютъ лучамъ болѣе расходящимся соединяться на сѣткѣ. Мы видѣли, что недостатокъ такихъ глазъ заключается въ малой выпуклости; по этому дальнозоркій глазъ для малыхъ разстояній, напр. при чтеніи, долженъ употреблять *выпуклыя очки.*

§ 176.

Мы видѣли, что дабы яснѣе видѣть малые предметы, мы употребляемъ простой микроскопъ т. е. стекло выпу-

кое съ короткимъ фокуснымъ разстояніемъ и въ фокусѣ его ставимъ разсматриваемый предметъ. Если же мы хотимъ ясно видѣть отдаленные предметы, то мы не можемъ этого дѣлать посредствомъ простаго микроскопа, потому что не въ нашей волѣ придвинуть предметъ къ фокусу его. Но мы можемъ получить *оптическія изображенія* этихъ отдаленныхъ предметовъ, какъ мы уже видѣли, которыя во всѣхъ частяхъ подобны имъ, и эти изображенія увеличить по произволу посредствомъ простаго микроскопа. Такимъ образомъ дѣйствуютъ всѣ телескопы, кромѣ одного Галилеева, о которомъ мы послѣ будемъ говорить. Но такъ какъ изображенія предметовъ можно получить или посредствомъ *выпуклыхъ стеколъ*, или посредствомъ *вогнутыхъ зеркалъ*, то и телескоповъ мы имѣемъ два рода, *діоптрическіе* и *катоптрическіе*.

С. Діоптрическіе телескопы.

1. *Астрономическій телескопъ.*

§ 177.

Простой астрономическій телескопъ построенъ *Кеплеромъ*; по этому онъ и называется *кеплеровымъ телескопомъ* (фиг. 223). Въ немъ AB представляетъ выпуклое ахроматическое стекло — *предметное* — посредствомъ котораго въ разстояніи главнаго фокуса образуется изображеніе M′N′ отдаленнаго предмета, отъ верхней точки котораго падаютъ на стекло параллельные лучи MA, MC, MB и отъ нижней параллельные лучи NA, NC, NB. Здѣсь изъ точекъ M′ и N′ лучи снова разходятся и падаютъ на второе выпуклое стекло — *глазное* — FG, которое отстоитъ отъ изображенія M′N на главное свое фокусное разстояніе f (такъ что $KC' = f$).

Если проведемъ линіи M′C′ и N′C′ черезъ центръ C′ стекла, то лучи выходящіе изъ M′ послѣ преломленія въ стеклѣ FG пойдутъ параллельно другъ другу и также лучу M′C′; подобнымъ образомъ лучи выходящіе изъ N′ послѣ преломленія будутъ параллельны лучу N′C′.

Итакъ если въ O находится нормальный глазъ, то на сѣткѣ его представится явственно ограниченное изображеніе *mn* и слѣд. онъ увидитъ предметъ въ положеніи MN т. е. въ обратномъ положеніи. Лучше всего помѣщать глазъ въ C, гдѣ пересѣкаются идущіе изъ разныхъ точекъ изображенія параллельные лучи, потому что здѣсь упадетъ на него наибольшее число лучей. Этотъ телескопъ очевидно представляетъ предметы въ обратномъ видѣ; такъ какъ небесныя тѣла представляются круглыми или почти точками, то для астрономической цѣли это все равно: но предметы на землѣ находящіеся не удобно видѣть превращенными. По этой причинѣ такой телескопъ употребляютъ только астрономы, почему онъ и называется *астрономическимъ*. Предметное стекло такого телескопа для полученія ясныхъ изображеній дѣлается ахроматическимъ и апланатическимъ, какъ мы уже это показали.

Если желаемъ опредѣлить увеличеніе такого телескопа, то мы должны сравнить уголъ зрѣнія *m*O*n*, подъ которымъ видимъ предметъ посредствомъ телескопа, съ тѣмъ угломъ зрѣнія, подъ которымъ видимъ тотъ же предметъ не вооруженнымъ глазомъ. Для перваго можемъ взять M′C′N′, для послѣдняго MCN, потому что все равно, поставимъ ли глазъ въ O или въ C, если предположимъ, что предметъ находится въ весьма большомъ разстояніи. Но MCN = M′CN′; итакъ для опредѣленія увеличенія мы должны только опредѣлить во сколько разъ M′C′N′ больше M′CN′. Означимъ увеличеніе чрезъ W, и мы получимъ:

$$W = \frac{M'C'N'}{M'CN'}$$

Такъ какъ эти углы всегда малы, то можно вмѣсто ихъ взять тангенсы и поелику $tg\,(M'C'N') = \frac{M'N'}{f}$ и $tg\,(M'CN') = \frac{M'N'}{F}$, то мы получимъ:

$$W = \frac{F}{f}.$$

т. е. *увеличеніе астрономическаго телескопа равно отношенію фокуснаго разстоянія предметнаго стекла къ фокусному разстоянію глазнаго.*

Итакъ увеличеніе можно усилить двумя способами, или увеличивая фокусное разстояніе предметнаго или уменьшая фокусное разстояніе глазнаго стекла. При первомъ способѣ вмѣстѣ увеличивается длина телескопа и въ подобномъ же отношеніи должна возрасти и величина стекла для того, чтобы изображеніе M'N', сдѣлавшись большимъ, не сдѣлалось темнѣе. Отъ увеличенія длины трубы она дѣлается менѣе удобною для употребленія; отъ увеличенія діаметра предметнаго стекла, если оно ахроматическое, приготовленіе его дѣлается труднѣе и цѣна трубы увеличивается; особенно трудно приготовить флинтглась въ большихъ размѣрахъ. Если уменьшимъ фокусное разстояніе глазнаго, то хотя получимъ большее увеличеніе, но вмѣстѣ съ тѣмъ еще въ большей степени увеличивается вліяніе сферической и хроматической аберраціи, по этому уменьшится ясность изображенія. Такимъ образомъ эти обстоятельства ограничиваютъ увеличиваніе астрономическихъ телескоповъ.

§ 178.

Пусть AB (фиг. 224) представляетъ предметное, FG глазное стекло астрономическаго телескопа; если изъ центра C перваго стекла проведемъ линію чрезъ F и другую чрезъ G, то MC будетъ самый крайній лучь изъ проходящихъ чрезъ центръ предметнаго и упадающихъ на глазное,

между тѣмъ какъ лучь далѣе лежащій M′C, какъ показываетъ фигура, не упадетъ на глазное стекло. Съ другой стороны NC будетъ самый крайній изъ среднихъ лучей падающихъ на глазное. Уголъ MCM = FCG, составленный этими крайними лучами, называется *полемъ зрѣнія телескопа;* внутри этого угла предметъ еще видѣнъ ясно, но внѣ онаго хотя еще на глазное стекло падаютъ нѣкоторые лучи, именно изъ тѣхъ, которые падаютъ на глазное стекло между A и C (напр. M′A въ F), но оныхъ такъ мало находится, что эта точка M′ будетъ видна весьма темно. Но уголъ FCG или поле зрѣнія, которое мы означимъ черезъ G, по причинѣ малости своей можетъ измѣряться тангенсомъ, т. е.

$$G = \frac{FG}{CC'} = \frac{B}{F+f},$$

если діаметръ глазнаго означимъ чрезъ B. Итакъ поле зрѣнія въ телескопѣ будетъ больше или другими словами можно посредствомъ его обозрѣвать вдругъ тѣмъ большее пространство, чѣмъ больше будетъ B, т. е. чѣмъ больше діаметръ глазнаго стекла. Но для даннаго фокуснаго разстоянія стекла, вмѣстѣ съ увеличеніемъ отверстія всегда увеличивается сферическая аберрація, слѣдовательно не ясность изображеній. По этой причинѣ для увеличенія поля зрѣнія, часто въ астрономическихъ телескопахъ ставятъ между предметнымъ стекломъ и изображеніемъ M′N′ *собирательное стекло* (фиг. 225). Безъ него лучи соединились бы въ M′N′ и дали бы здѣсь изображеніе предмета; собирательное стекло, также выпуклое, соединяетъ лучи прежде въ M″N″ и легко можно видѣть, какимъ образомъ расходящіеся изъ M″N″ лучи падаютъ на глазное стекло гораздо въ большемъ числѣ, нежели когда бы они выходили изъ M′ и N′; слѣд. поле зрѣнія увеличивается. Но вмѣстѣ съ тѣмъ изображеніе ближе подвигается къ предметному стеклу, нежели безъ собирательнаго стекла; слѣд. другая выгода его состоитъ въ томъ, что отъ

него телескопъ дѣлается короче; но за то не много теряется въ увеличеніи, потому ѣто $M''N'' < MN$. Увеличеніе такого телескопа опредѣляется изъ формулы:

$$W = \frac{FF'}{f(F + F' - D)}$$

гдѣ $F' =$ фокусному разстоянію собирательнаго стекла и $D =$ разстоянію этого стекла отъ предметнаго.

Въ астрономическихъ телескопахъ предметное стекло навинчивается на одномъ концѣ трубы, а на другомъ находится глазное въ особенной трубочкѣ, которую можно передвигать, и тѣмъ глазное можно приближать къ предметному или отдалить отъ него. Это необходимо для того, что бы телескопъ годился какъ для близорукаго, такъ и для нормальнаго глаза; поелику у близорукихъ глаза соединяютъ параллельные лучи *передъ* сѣткою, то для точнаго соединенія на сѣткѣ они должны падать на глазъ расходящимися и глазное стекло должно быть приближено къ изображенію получаемому отъ предметнаго болѣе, нежели на фокусное разстояніе (§ 156. 5.); и такъ близорукій долженъ вдвинуть трубочку съ глазнымъ стекломъ, что бы получить ясное изображеніе. Если въ телескопѣ находится собирательное стекло, то оно заключено вмѣстѣ съ глазнымъ въ одной трубочкѣ, такъ что ихъ можно передвигать вмѣстѣ. Вообще же собирательное стекло причисляютъ къ глазнымъ стекламъ и говорятъ, что въ телескопѣ находится *предметное стекло* и *сложное глазное*. Это послѣднее нужно различать отъ *двойнаго* глазнаго стекла (§ 174), которое также состоитъ изъ двухъ стеколъ и дѣйствуетъ какъ одно. Эти два глазныя стекла можно отличать другъ отъ дуга тѣмъ, что въ *двойномъ* разстояніе обоихъ стеколъ другъ отъ друга *меньше* фокуснаго разстоянія обѣихъ стеколъ, а въ *сложномъ* глазномъ стеклѣ *больше*.

При употребленіи сложнаго глазнаго или двойнаго глазнаго стекла можно составляющимъ его стекламъ дать

такія кривизны, что въ нихъ почти совершенно уничтожается и сферическая и ахроматическая аберраціи. Первое соединеніе называется тогда глазнымъ стекломъ *Гюйгенса*, а второе глазнымъ стекломъ *Рамсдена*; оба употребляются въ астрономическихъ телескопахъ.

2. *Земной телескопъ.*

§ 179.

Такъ какъ для наблюденія земныхъ предметовъ неудобно видѣть ихъ въ обратномъ положеніи, то старались устранить это неудобство чрезъ прибавленіе двухъ новыхъ стеколъ и такимъ образомъ устроили *подзорную трубу* или *земной телескопъ*. Лучше всего можно разсмотрѣть устройство ея слѣдующимъ образомъ. Если AB и FG (фиг. 226) представляютъ предметное и глазное стекло астрономической трубы, то мы знаемъ, что лучи точекъ M и N послѣ преломленія выдутъ изъ глазнаго стекла въ направленіяхъ относительно параллельныхъ т. е. точно такъ какъ они отъ предмета упали на предметное стекло; итакъ позади глазнаго стекла мы можемъ поставить другую астрономическую трубу, въ которой A′B′ представляетъ предметное, F′G′ глазное стекло и мы опять получимъ въ M″N″ т. е. въ фокусномъ разстояніи стекла A′B′ изображеніе, и въ O пересѣкутся всѣ параллельные лучи выходящіе изъ глазнаго стекла F′G′. — Первая труба превращаетъ изображеніе, вторая опять превращаетъ это послѣднее, слѣд. изображеніе M″N″ будетъ казаться въ прямомъ положеніи и тогда посредствомъ простаго микроскопа F′G′ мы смотримъ на прямое изображеніе M″N″.

По этому легко опредѣлить увеличеніе такой трубы; въ самомъ дѣлѣ если первая увеличиваетъ напр. въ 10 разъ, а вторая въ 5 раза, то произведенное первою трубою десятикратное увеличеніе будетъ увеличено еще въ

5 раза, слѣд. все увеличеніе будетъ въ 30 разъ больше, и вообще: увеличеніе равно произведенію обоихъ отдѣльныхъ увеличеній. Если фокусныя разстоянія первыхъ двухъ стеколъ (считая отъ предметнаго стекла) означимъ чрезъ F и f, а вторыхъ чрезъ F′ и f' то все увеличеніе будетъ:

$$W = \frac{F}{f} \cdot \frac{F'}{f'}.$$

т. е. *что бы получить увеличеніе, надобно умножить между собою фокусныя разстоянія перваго и третьяго стекла, и фокусныя разстоянія втораго и четвертаго; первое произведеніе раздѣленное на второе дастъ искомое увеличеніе.*

Обыкновенно и въ этой трубѣ прибавляютъ еще собирательное стекло, такъ что она состоитъ изъ 5 стеколъ. Изъ нихъ первое составляетъ предметное стекло и оно дѣлается ахроматическимъ и апланатическимъ чрезъ прибавленіе вогнутаго стекла изъ флинтгласа, 4 другія неподвижно укрѣплены вмѣстѣ въ одной трубкѣ и составляютъ *сложное глазное стекло*, которое чрезъ различное измѣненіе кривизны дѣлается какъ можно болѣе ахроматическимъ и апланатическимъ, и приближается или отдаляется отъ предметнаго стекла.

3. *Галилеева трубка.*

§ 180.

Эта трубка отличается отъ всѣхъ другихъ тѣмъ, что въ ней нигдѣ не составляется изображеніе предмета, на который мы смотримъ (фиг. 227). Предметное есть ахроматическое выпуклое стекло AB, глазное же вогнутое FG съ малымъ фокуснымъ разстояніемъ. Главное фокусное разстояніе для стекла AB есть CK, отрицательное фокусное разстояніе стекла FG есть C′K, такъ что фокусы обоихъ стеколъ совпадаютъ. Если бы не было вогнутаго стекла,

то мы получили бы изображеніе M′N′ въ фокусѣ K; вогнутое стекло дѣлаетъ сходящіеся въ фокусѣ его лучи параллельными (§ 158), слѣд. лучи вмѣсто того, что бы соединиться въ M′ сдѣлаются параллельными лучу M′C′ и также лучи точки N′ сдѣлаются параллельными лучу N′C′. Итакъ если мы помѣстимъ глазъ подлѣ самаго вогнутаго стекла, то получимъ на сѣткѣ изображеніе, гдѣ M внизу, а N вверху, слѣд. мы увидимъ M вверху а N внизу, по этому предметъ будетъ видимъ въ прямомъ положеніи. Итакъ эта трубка даетъ прямое изображеніе только посредствомъ двухъ стеколъ и такъ какъ при прохожденіи лучей черезъ стекло одна часть свѣта теряется отъ отраженія на обѣихъ поверхностяхъ, другая отъ поглощенія его по причинѣ не совершенной прозрачности стекла, то эта трубка имѣетъ то преимущество, что она даетъ болѣе яспыя изображенія. Кромѣ того она короче даже простой астрономическої трубы двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ глазнаго стекла, потому что оба стекла лежатъ по одну сторону отъ фокуса. Но невыгода ея состоитъ въ томъ, что въ ней поле зрѣнія мало, какъ это можно видѣть на фигурѣ. Въ самомъ дѣлѣ очевидно, что самое выгодное мѣсто для глаза было бы то, гдѣ параллельные лучи пересѣкаются, какъ въ астрономической трубкѣ; но это мѣсто находится здѣсь между двумя стеклами, такъ что глазъ по необходимости долженъ находиться далеко отъ него. Увеличеніе этой трубки есть:

$$W = \frac{M'C'N'}{MCN} = \frac{F}{f},$$

если F означаетъ фокусное разстояніе предметнаго и f отрицательное фокусное разстояніе глазнаго стекла, т. е. *дабы найти увеличеніе трубки Галилеевой, нужно раздѣлить фокусное разстояніе предметнаго стекла на фокусное разстояніе глазнаго стекла.* Эта трубка по большей части употребляется какъ театральная трубка, по причинѣ

двойной выгоды — короткости ея и ясности изображеній. Увеличеніе ея мало (двукратно или трекратно); отъ этого поля зрѣнія можетъ быть еще довольно большое.

§ 181.

Главную выгоду астрономическихъ и земныхъ трубъ предъ Галилеевою должно искать въ другомъ обстоятельствѣ, отъ котораго именно послѣдняя для астрономической цѣли совершенно не можетъ быть употребляема. Въ простой астрономической трубкѣ въ фокусѣ предметнаго стекла находится дѣйствительное изображеніе предмета, которое мы разсматриваемъ также какъ малый предметъ посредствомъ простаго микроскопа. Итакъ если въ томъ самомъ мѣстѣ, гдѣ составляется изображеніе, протянемъ поперегъ трубки тонкую нить изъ паутины или шелку, то мы ясно увидимъ ее чрезъ глазное стекло вмѣстѣ съ изображеніемъ, такъ что по видимому изображеніе пересѣчется нитью. Если протянемъ другую нить подъ прямымъ угломъ къ первой и на томъ же мѣстѣ, то мы получимъ такъ называемыя *перекрестныя нити*, которыхъ точка пересеченія дастъ въ полѣ зрѣнія трубки опредѣленную и постоянную точку; ее можно направить на какую угодно точку видимаго въ трубкѣ предмета посредствомъ движенія самой трубки и притомъ легко видимъ, что если и весьма мало передвинемъ трубку, то точка пересеченія нитей передвинется на значительное разстояніе, потому что предметъ кажется сильно увеличеннымъ. Такимъ образомъ можно напр. опредѣлить съ величайшею точностію уголъ между двумя звѣздами; прежде направляютъ трубку точкою пересѣченія нитей на одну, потомъ на другую звѣзду и трубкѣ даютъ такое устройство, что уголъ, на который она поворачивается, можно измѣрить на раздѣленномъ кругѣ. Такое устройство имѣютъ всѣ употребительные въ астрономіи инструменты.

Можно на мѣстѣ изображенія, произведеннаго предметнымъ стекломъ, прикрѣпить только одну нить, такъ что бы она была натянута на рамкѣ, которую можно двигать и которой движенія можно измѣрять посредствомъ микрометрическаго винта (§ 53). Такимъ образомъ поставляя нить на различныхъ частяхъ предмета, или собственно говоря, его изображенія, мы можемъ опредѣлить относительное разстояніе этихъ частей. Такое устройство называется *микрометромъ съ нитью.*

D. Катоптрическіе телескопы.

1. *Гершелевъ телескопъ.*

§ 182.

Въ катоптрическихъ телескопахъ изображеніе, вмѣсто предметнаго стекла, производится вогнутымъ зеркаломъ, слѣд. оно находится на той же сторонѣ, съ которой падаетъ свѣтъ, и если бы мы стали разсматривать его сквозь простой микроскопъ, то мы заслонили бы головой часть падающаго свѣта. Три главные рода зеркальныхъ телескоповъ отличаются способами, посредствомъ которыхъ устранено это неудобство.

Гершель въ своемъ катоптрическомъ телескопѣ ставилъ въ трубку (фиг. 228) вогнутое зеркало немного въ косвенномъ положеніи, такъ что изображеніе предмета MN образовалось въ фокусѣ зеркала на краю въ M′N′, гдѣ оно увеличивается посредствомъ простаго микроскопа A. При косвенномъ положеніи зеркала изображенія бываютъ немного измѣненными и такъ какъ зеркало должно быть поставлено тѣмъ косвеннѣе, чѣмъ короче телескопъ, то изъ этого слѣдуетъ, что такое устройство можно, безъ вреда для ясности изображенія, употреблять только въ весьма большихъ телескопахъ. Такимъ образомъ Гершель устроилъ свой исполинскій телескопъ въ 40 футовъ длины,

самый сильный, который мы знаемъ до сихъ поръ, но который теперь уже не употребляется какъ по причинѣ неудобности встрѣчаемой при движеніи его, такъ и потому, что зеркало частію потеряло свою политуру. Самая большая выгода этого устройства предъ прочими состоитъ въ томъ, что въ немъ употребляется только одно зеркало; ибо такъ какъ металлическія зеркала (*) отражаютъ только половину падающихъ лучей, то при двухъ зеркалахъ отразится только $^1/_4$ и слѣд. свѣтъ при употребленіи двухъ зеркалъ будетъ слабѣе на половину. Но съ другой сторсны большее неудобство состоитъ въ томъ, что наблюдатель долженъ находиться на концѣ обращенномъ вверхъ. Въ большомъ Гершелевомъ телескопѣ для этого виситъ скамейка для наблюдателя при отверстіи трубы, такъ что при направленіи ея на звѣзды наблюдатель вмѣстѣ поднимаемъ былъ вверхъ.

Увеличеніе этого телескопа опредѣляется какъ въ астрономическихъ трубкахъ:

$$W = \frac{F}{f},$$

гдѣ F есть фокусное разстояніе зеркала и f фокусное разстояніе глазнаго стекла. Въ этомъ телескопѣ изображенія бываютъ превращены, какъ слѣдуетъ изъ § 143.

(*) *Примѣчаніе.* Въ телескопахъ нельзя употреблять обыкновенныхъ стеклянныхъ зеркалъ съ амальгамою, потому что послѣднія даютъ два изображенія, одно отъ задней поверхности, которое яснѣе и другое отъ передней менѣе ясное; какъ оба эти изображенія не совпадаютъ, то онѣ вредятъ ясности. Въ этомъ можно удостовѣриться, если косвенно смотрѣть въ такомъ зеркалѣ на изображеніе какого нибудь предмета

§ 183.

2. *Ньютоновъ телескопъ.*

Лучи отдаленнаго предмета, падающіе на вогнутое зеркало AB (фиг. 252), дали бы въ главномъ фокусѣ превращенное изображеніе M′N′, но прежде, нежели оно образуется, лучи, не сходясь ни болѣе ни менѣе прежняго, отклоняются отъ своего направленія на прямой уголъ, посредствомъ маленькаго плоскаго зеркала, наклоненнаго къ нимъ подъ угломъ 45^0 и они составятъ изображеніе M″N″, на такомъ же разстояніи отъ зеркала, на которомъ M′N′ находится позади зеркала. Это изображеніе увеличивается посредствомъ простаго микроскопа. Очевидно, что увеличеніе въ этомъ телескопѣ будетъ тоже, какъ и въ Гершелевомъ:

$$W = \frac{F}{f}$$

потому что плоское зеркало ни къ чему больше не способствуетъ, какъ только къ перемѣнѣ направленія лучей. Итакъ въ этомъ телескопѣ смотрятъ со стороны и его трудно было бы направить напр. на звѣзду, если бы къ нему не была присоединена маленькая подзорная трубка FC съ перекрестными нитями. Эта трубка поставлена такъ, что когда звѣзда совпадаетъ съ точкою пересѣченія перекрестныхъ нитей ея, то она находится въ срединѣ поля зрѣнія главнаго телескопа. Эта трубка называется *искатель* и употребляется тоже при другихъ большихъ трубахъ для того, что по причинѣ большаго поля зрѣнія ее легче направить на данный предметъ, нежели большую трубку. Неудобство Ньютонова телескопа состоитъ, кромѣ ослабленія свѣта при двоякомъ отраженіи его, еще въ томъ, что часть падающихъ лучей удерживается маленькимъ зеркаломъ и частями прикрѣпляющими его.

3. *Грегоріанскій телескопъ.*

§ 184.

Главное зеркало AB (фиг. 230) по срединѣ имѣетъ отверстіе; лучи падающіе на него отъ оконечныхъ точекъ M и N предмета послѣ отраженія составятъ превращенное изображеніе M′N′, въ которомъ, какъ извѣстно, лучи выходящіе изъ одной точки пересѣкаются, послѣ они опять расходятся и такимъ образомъ падаютъ на маленькое вогнутое зеркало, отъ котораго они отражаются; сдѣлавшись болѣе сходящимися отъ дѣйствія собирательнаго стекла FG, они соединяются и составляютъ второе изображеніе M″N″, которое въ отношеніи къ M′N′ есть превращенное, а слѣд. въ отношеніи къ самому предмету MN прямое. Это изображеніе M″N″ увеличивается простымъ микроскопомъ HI; въ K находится отверстіе, чрезъ которое смотрятъ. Итакъ этотъ телескопъ даетъ прямыя изображенія, но имѣетъ тѣже невыгоды, какія Ньютоновъ телескопъ. Опредѣленіе увеличенія здѣсь не трудно, но оно болѣе запутано, потому что два зеркала и два стекла имѣютъ вліяніе на него; мы имѣемъ тѣмъ большее право оставить подробнѣйшее изслѣдованіе этого отъ того, что зеркальные телескопы теперь мало употребительны.

Изъ предъидущаго мы видимъ, что катоптрическіе телескопы, также какъ и діоптрическіе, кромѣ Галилеева, даютъ въ фокусѣ глазнаго стекла дѣйствительное изображеніе предмета, и что по этому и въ нихъ въ этомъ мѣстѣ можно поставить перекрестныя нити или микрометръ.

Кромѣ того они имѣютъ ту большую выгоду, что не даютъ хроматической аберраціи, потому что при отраженіи свѣтъ не разлагается на цвѣты. Такъ какъ прежде думали, что не возможно составить ахроматическаго предметнаго стекла, то стэрались преимущественно только объ усовершенствованіи зеркальныхъ телескоповъ. Но большая

потеря свѣта и легкая порча полировки зеркалъ произвели то, что въ новѣйшія времена, когда ахроматическія предметныя стекла такъ усовершенствованы, особенно знаменитымъ Фрауенгоферомъ, эти телескопы почти оставлены; по этому ихъ теперъ рѣдко можно видѣть и только большіе изъ нихъ въ нѣкоторыхъ мѣстахъ употребляются для астрономической цѣли.

§ 185.

При разсмотрѣніи каждаго телескопа отдѣльно мы видѣли, какимъ образомъ изъ фокусныхъ разстояній стеколъ и зеркалъ можо вычислить безъ труда увеличеніе. Но есть средства опредѣлить съ достаточною точностію увеличеніе въ телескопахъ уже совершенно составленныхъ. Мы упомянемъ здѣсь только объ одномъ, которое весьма просто, особенно для слабыхъ увеличеній, какъ напр. въ театральныхъ трубкахъ. Чрезъ телескопъ смотрятъ однимъ глазомъ на предметъ, находящійся въ отдаленіи, а другимъ не вооруженнымъ непосредственно на самый предметъ. При этомъ въ началѣ обыкновенно увидимъ предметъ только однимъ глазомъ, напр. тѣмъ, которымъ смотримъ въ телескопъ; по посредствомъ нѣкоторыхъ попытокъ можно дойти до того, что мы будемъ видѣть оба изображенія вмѣстѣ и притомъ такъ, что онѣ кажутся на одномъ и томъ же мѣстѣ и покрывающими одно другое. Тогда мы можемъ судить, во сколько разъ размѣръ увеличеннаго телескопомъ изображенія больше размѣра непосредственно видимаго предмета; это отношеніе очевидно даетъ намъ увеличеніе, производимое телескопомъ; это сравненіе будетъ легче, если предметъ такого рода, что онъ состоитъ изъ частей приблизительно равныхъ, такъ напр. для слабаго телескопа удобнымъ предметомъ можетъ быть оконичная рама, состоящая изъ многихъ перекладинъ, стѣна, въ которой видны кирпичи и т. д.

Сложный микроскопъ.

§ 186.

Мы видѣли, что посредствомъ простаго микроскопа производятъ всѣ возможныя увеличенія, однако если онѣ должны быть очень большія, то отчасти сферическая аберрація дѣлаетъ изображенія не ясными, отчасти предметъ имѣетъ мало свѣту. По этому для большихъ увеличеній употребляютъ такъ называемый сложный микроскопъ.

Теорія сложнаго микроскопа есть таже самая, которую мы изъяснили при простой астрономической трубкѣ, съ тѣмъ только различіемъ, что при микроскопическихъ предметахъ въ нашей волѣ состоитъ приблизить ихъ къ намъ на какое угодно разстояніе, напротивъ при употребленіи телескоповъ предметы всегда находятся отъ насъ въ большомъ разстояніи.

Итакъ микроскопъ состоитъ также изъ двухъ выпуклыхъ стеколъ, предметнаго и глазнаго; но кривизна въ предметномъ, окыкновенно ахроматическомъ, сильнѣе, нежели въ глазномъ; поэтому фокусное разстояніе его гораздо меньше. Если приблизимъ къ этому предметному стеклу AB (фиг. 231) малый предметъ MN такъ, что бы онъ находился между фокусомъ F и двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ, то (какъ знаемъ изъ § 159.3) мы получимъ превращенное изображеніе M'N', которое больше MN, и это увеличеніе опредѣлимъ формулою

$$W = \frac{F}{d - F},$$

гдѣ F означаетъ главное фокусное разстояніе стекла и d разстояніе предмета MN отъ стекла. Увеличеніе глазнаго стекла FG, въ главномъ фокусѣ котораго находится изображеніе M'N', есть увеличеніе простаго микроскопа, которое какъ извѣстно равно $\frac{9''}{f}$, гдѣ f есть фокусное разстояніе

глазнаго стекла и 9″ есть наименьшее разстояніе яснаго зрѣнія. Слѣд. увеличенное изображеніе M′N′ будетъ еще увеличено во столько разъ, и такъ все увеличеніе будетъ:

$$W = \frac{9''}{f} \frac{F}{(d-F)}$$

т. е. во столь разъ изображеніе на сѣткѣ или уголъ зрѣнія дѣлается больше, нежели когда мы смотримъ на предметъ не вооруженнымъ глазомъ въ самомъ выгодномъ положеніи, именно на разстояніи яснаго зрѣнія 9″. Очевидно мы должны сравнивать увеличеніе микроскопа съ видѣніемъ при этомъ разстояніи; ибо имѣя возможность по произволу измѣнять разстояніе предмета для лучшаго видѣнія простымъ глазомъ, мы конечно помѣстимъ его самымъ выгоднымъ образомъ. Обыкновенно въ микроскопахъ бываетъ еще третье стекло, собирательное, между предметнымъ и изображеніемъ M′N′; чрезъ это, какъ въ кеплеровомъ телескопѣ, поле зрѣнія дѣлается больше и микроскопъ короче. Отъ этого стекла опредѣленіе увеличенія дѣлается не много запутаннѣе, оно равно:

$$W = \frac{9''FF'}{f[(d-F)(F'-D)+dF]}$$

гдѣ F′ есть фокусное разстояніе собирательнаго стекла и D разстояніе этого стекла отъ предметнаго.

Всѣ три стекла неподвижно укрѣплены въ одной трубкѣ; ясное зрѣніе для близорукихъ и дальнозоркихъ производится тѣмъ, что трубку можно болѣе или менѣе приближать къ предмету или отдалять отъ него. Надъ глазнымъ стекломъ находится еще трубка съ отверстіемъ KL, такъ что глазъ здѣсь самъ по себѣ принимаетъ самое выгодное для зрѣнія положеніе; движеніе предметнаго стекла къ предмету или отъ предмета производится съ желаемою точностію посредствомъ медленнаго обращенія винта. Труба находится въ вертикальномъ положеніи, предметное стекло обращено внизъ, внизу находится стеклянная пла-

стинка, на которой лежитъ предметъ разсматриваемый. Подъ стекломъ прикрѣплено плоское зеркало CD, отъ котораго отражается вверхъ свѣтъ неба. Въ томъ мѣстѣ, гдѣ происходитъ изображеніе M′N′, можно поставить микрометръ съ нитями (§ 181) и такимъ образомъ можно весьма точно измѣрить малые предметы. Увеличеніе микроскопа можно опредѣлить также какъ и увеличеніе телескопа; для этого смотрятъ сквозь микроскопъ на мелкія дѣленія, напр. на $^1/_{10}$ линіи, а другимъ глазомъ, въ разстояніи 9″, на другое опредѣленное дѣленіе, напр. на 1 линію. Если дойдемъ до того, что ясно увидимъ оба дѣленія, то легко опредѣлить сколько дѣленій видимаго простымъ глазомъ маштаба покрывается увеличеннымъ посредствомъ микроскопа дѣленіемъ; если напр. покрывается 10 дѣленій и если каждая часть маштаба въ 10 разъ больше каждой изъ 10 частей увеличеннаго дѣленія, то все увеличеніе будетъ въ 100 разъ больше.

Самыя большія увеличенія, которыя съ пользою можно употреблять въ лучшихъ новѣйшихъ микроскопахъ простираются до 1000 въ одномъ измѣреніи, и если мы читаемъ иногда, что микроскопъ увеличиваетъ въ 1000000 разъ, то здѣсь разумѣется плоскостное увеличеніе, которое пропорціонально квадратамъ линейныхъ увеличеній, такъ что плоскостное увеличеніе 1000000 соотвѣтствуетъ 1000 линейнаго увеличенія.

Солнечный микроскопъ.

§ 187.

Если станемъ болѣе и болѣе приближать какой нибудь предметъ къ фокусу выпуклаго стекла, то за стекломъ мы получимъ изображеніе, которое, какъ намъ извѣстно, все становится болѣе и болѣе, и вмѣстѣ съ тѣмъ удаляется отъ стекла (§ 159). Если при этомъ поставимъ выпуклое сте-

кло въ отверстіе, сдѣланное въ ставнѣ темной комнаты, то изображеніе предмета ясно представляется на бѣлой плоскости внутри комнаты и такимъ образомъ очевидно мы можемъ получить какое намъ угодно увеличеніе предмета, котораго изображеніе отъ увеличенныхъ изображеній обыкновеннаго микроскопа отличается тѣмъ, что его могутъ видѣть разомъ всѣ особы находящіяся въ комнатѣ. Но при этомъ увеличеніи свѣтъ предмета распространяется по большей поверхности, такъ что если линейное увеличеніе будетъ 10, то свѣтъ будетъ во 100 разъ слабѣе; кромѣ того одна часть свѣта теряется при прохожденіи черезъ стекло, а другая гораздо большая при отраженіи изображенія отъ бѣлой поверхности, ибо при этомъ свѣтъ разсѣевается во всѣ стороны, такъ что каждый наблюдатель будетъ видѣть изображеніе посредствомъ только нѣкоторыхъ лучей, падающихъ на глазъ его, между тѣмъ какъ всѣ другіе на него не дѣйствуютъ. По этому должно какъ можно больше усиливать свѣтъ предмета; это дѣлается въ солнечномъ микроскопѣ посредствомъ сосредоточенія солнечныхъ лучей на маломъ предметѣ помощію слѣдующаго устройства. Въ оконичной ставнѣ темной комнаты дѣлаютъ отверстіе, въ которое ввинчивается трубка ABED (фиг. 232). Внѣ ставни находится плоское зеркало AC, которое посредствомъ шестерни изъ внутренности комнаты можетъ быть приведено въ какое угодно положеніе, такъ что оно можетъ отражать солнечный свѣтъ прямо въ трубу. Въ трубѣ находятся два стекла AB и ED, собирающія параллельные лучи солнечные въ малое пространство, въ которомъ ставится предметъ MN, обыкновенно защемленный между двумя плоскими стеклами. Чрезъ это онъ бываетъ сильно освѣщенъ. Передъ предметомъ находится увеличительное стекло GF, которымъ производится превращенное изображеніе M′N′ предмета на бѣлой плоскости. Разстояніе предмета MN отъ стекла GF можно измѣнять и такимъ образомъ при-

вести изображеніе точно въ то мѣсто, гдѣ находится бѣлая поверхность.

Эти микроскопы имѣютъ ту невыгоду, что они при употребленіи своемъ необходимо требуютъ солнечнаго свѣта, слѣд. ясныхъ дней. Для устраненія этого неудобства старались производить сильное освѣщеніе предмета, употребляя такъ называемый Друммондовъ свѣтъ. Друммондъ показалъ, что если смѣсь изъ кислорода и водорода въ содержаніи какъ 1 : 2 по объему или гремучій газъ(§ 16) выпускать изъ узкой трубки, и горящую струю этихъ газовъ направлять на кусокъ извести, то онъ накаливается такъ сильно, что глазъ не можетъ переносить блеска его. Этотъ свѣтъ, который по фотометрическимъ опытамъ, какъ мы видѣли въ § 157 въ 1649 разъ ярче свѣта сальной свѣчи, можетъ весьма хорошо замѣнять въ солнечномъ микроскопѣ солнечный свѣтъ; для этого его также собираютъ на предметъ посредствомъ выпуклаго стекла. Такимъ образомъ устроенный микроскопъ называютъ иногда *водороднымъ микроскопомъ*.

§ 188.

Волшебный фонарь (Laterna magica), собственно есть тоже что солнечный микроскопъ, только въ немъ освѣщеніе производится посредствомъ лампы и увеличеніе не такъ сильно. KL есть четыреугольный фонарь (фиг. 233), C лампа, AB вогнутое зеркало, въ центрѣ котораго находится лампа, такъ что лучи выходящіе изъ ней отражаются отъ зеркала опять въ центръ его и вмѣстѣ съ непосредственно выходящими лучами проходятъ въ трубку DEFG. Въ проѣзъ DE вкладываются различныя изображенія нарисованныя на стеклѣ прозрачными красками; FG есть выпуклое стекло, которымъ производится изображеніе фигуръ на бѣлой плоскости поставленной на опредѣленномъ разстояніи. Вмѣсто одного стекла FG бываютъ обыкновенно два, которыя впрочемъ дѣйствуютъ какъ одно, но съ меньшею

аберрацiею. Этотъ приборъ не употребляется, какъ микроскопъ для увеличенiя предметовъ, находящихся въ DE, но для забавы.

Камера обскура (*Дагеротипъ*), *Камера клара и Камера люцида.*

§ 189.

Камера обскура есть приборъ, котораго устройство лучше всего можно сравнить съ устройствомъ глаза. Въ пирамидальномъ ящикѣ DCEF (фиг. 234) вверху находится отверстiе DC содержащее выпуклое стекло, котораго фокусное разстоянiе равно разстоянiю его отъ дна EF. Выше стекла поставлено зеркало AB подъ угломъ 45°. Теперь если въ большомъ разстоянiи находится предметъ MN, то, какъ извѣстно, лучи выходящiе изъ M и N отразятся на зеркалѣ, такъ какъ будтобъ они выходили изъ M′ и N′. Послѣ отраженiя лучи проходятъ черезъ стекло DC и даютъ малое изображенiе предмета на EF. Для того чтобъ оно упало прямо на EF стекло можетъ быть поднято или опущено внизъ. Изображенiе имѣетъ положенiе M″N″. Ящикъ отъ K до E открытъ такъ, что человѣкъ можетъ помѣстить въ ящикѣ свою голову, грудь и руки; кускомъ сукна KL покрывается спина наблюдателя и устраняется посторонniй свѣтъ. Итакъ наблюдатель на днѣ EF, гдѣ кладется бѣлая бумага, увидитъ прямое изображенiе M″N″ и можетъ карандашемъ вѣрно начертить на бумагѣ абрисъ предмета. По этому приборъ этотъ служитъ къ тому, чтобы вѣрно скопировать предметъ. Вмѣсто зеркала и стекла лучше взять призму ABC (фиг. 235), въ которой выпуклыя поверхности AB и BC дѣйствуютъ, какъ выпуклыя стекла, а плоская поверхность AC перемѣняетъ на прямой уголъ, посредствомъ полнаго внутренняго отраженiя, направленiе лучей почти безъ потери свѣта.

Дагеръ (Daguerre) въ Парижѣ сдѣлалъ весьма замѣчательное и неожиданное открытіе, что возможно бываетъ укрѣпить изображенія на плоскости, на которой онѣ образуются въ камерѣ обскурѣ. Для этой цѣли эта плоскость должна быть плакированная серебряная пластинка, съ которою поступаютъ слѣдующимъ образомъ: ее сперва очищаютъ пемзою и разствореннною въ водѣ слабою азотною кислотою отъ всякой нечистоты, такъ что бы она представляла блестящую, полированную поверхность; потомъ въ темнотѣ подвергаютъ ее медленному дѣйствію іодистыхъ паровъ, пока она не покроется совершенно ровнымъ золотистымъ слоемъ іодистаго серебра. Пластинку потомъ ставятъ въ камеру обскуру, такъ чтобы слой іодистаго серебра находился на фокусномъ разстояніи выпуклаго стекла ея и чтобъ слѣдовательно на ней ясно образовались изображенія внѣшнихъ предметовъ. Смотря по ясности неба оставляютъ пластинку въ этомъ положеніи отъ 15 до 30 минутъ, потомъ вынимаютъ и поставляютъ ее подъ угломъ 45°, съ іодистою поверхностію внизъ, въ ящикъ, содержащій внизу въ желѣзномъ блюдочкѣ немного ртути, которую подогрѣваютъ снизу лампою до 60° Р. Отъ дѣйствія свѣта перемѣнилась поверхность іодистаго серебра такимъ образомъ, что въ тѣхъ мѣстахъ, на которыя свѣтъ болѣе дѣйствовалъ и которыя слѣдовательно соотвѣтствуютъ свѣтлѣйшимъ частямъ изображенія, ртутные пары преимущественно пристаютъ въ видѣ бѣлаго, серебристаго порошка, между тѣмъ какъ они вовсе не пристаютъ къ мѣстамъ, которыя соотвѣтствуютъ тѣнямъ въ изображеніи камеры обскуры. — Потомъ вынимаютъ пластинку изъ ящика и отмываютъ ее теплымъ, насыщеннымъ разствороиъ поваренной соли, и наконецъ чистою водою; тогда изображенія болѣе отъ свѣта не измѣняются и нужно только ее сохранить въ рамкѣ подъ стекломъ, ибо малѣйшее треніе пальцемъ

тотчасъ стираетъ весьма нѣжную картину. — Приборъ Дагера называется Догеротипомъ.

Способъ Дагера болѣе и болѣе усовершенствованъ, такъ что теперь, покрывая серебренную поверхность вмѣстъ іодистыми, хлористыми и бромистыми парами, дѣлаютъ ее такъ чувствительною для свѣта, что достаточно для произведенія хорошихъ картинъ, если свѣтъ дѣйствуетъ не болѣе 5 или 10 секундъ. Въ слѣдствіе этого усовершенствованія можно снять портреты съ большою удобностію, что прежде невозможно было по причинѣ неудобности совершенно неподвижнаго держанія головы въ теченіе 15 минутъ.

Камера клара собственно есть тоже, что камера обскура съ тѣмъ только различіемъ, что въ ней изображеніе отражается вверхъ на матовое полупрозрачное стекло AB, (фиг. 136) такъ что его можно видѣть сверху. CD есть выпуклое стекло, FG зеркало обращенное вверхъ полированною поверхностію, AK крышка, которая косвенно поднимается и боковыми досками AKL частію устраняетъ внѣшній свѣтъ. Здѣсь наблюдатель не долженъ самъ находиться въ темнотѣ, какъ въ камерѣ обскурѣ; по этому и приборъ этотъ гораздо меньше. Онъ также служитъ для съемки правильныхъ очертаній.

Камера люцида имѣетъ туже цѣль, но она гораздо меньше и удобнѣе для перенесенія, нежели оба предъидущіе инструмента. Она состоитъ изъ четырехсторонней призмы ABCD, гдѣ A есть прямой уголъ (фиг. 237), AB = AD и BC = DC и гдѣ DCB = 135°. AD обращается къ предмету, который хотятъ нарисовать, глазъ смотритъ внизъ черезъ край b, надъ которымъ находится пластинка съ маленькимъ отверстіемъ O, которой одна часть находится видъ стекломъ а другая подлѣ него.

Предметъ черезъ внутреннее отраженіе изображается какъ въ зеркалѣ въ DC, потомъ въ BC и приходитъ та-

кимъ образомъ въ глазъ. Наблюдателю кажется, что онъ видитъ предметъ въ направленіи OM и когда въ M будетъ находиться листъ бумаги, то предметъ будетъ проектируемъ на него въ прямомъ положеніи, потому что отъ двухъ отраженій онъ превращается два раза. Но такъ какъ часть отверстія O находится подлѣ стекла, то одна половина зрачка будетъ смотрѣть на M непосредственно, а другая черезъ стекло; итакъ можно видѣть въ одно время отраженное изображеніе и карандашъ въ M и слѣд. посредствомъ его можно очертить абрисъ предмета на бумагѣ.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ.

ОБЪ ОСТАЛЬНЫХЪ ЯВЛЕНІЯХЪ СВѢТА.

§ 190.

Въ предъидущемъ мы подробно разсмотрѣли тѣ явленія свѣта, которыя легко могутъ быть усмотрѣны въ природѣ. Но есть много другихъ, которыя не часто наблюдаются, потому что для нихъ нужны особенные часто сложные инструменты, но которыя при всемъ томъ иногда представляются и въ общежитіи, только въ несовершенномъ видѣ. По этому мы кратко разсмотримъ только главныя явленія, не останавливаясь на объясненіи ихъ.

I. *О цвѣтахъ тонкихъ пластинокъ.*

Если выпуклое стекло съ весьма малою кривизною прижмемъ къ плоскому стеклу и станемъ смотрѣть на точку прикосновенія, то она будетъ казаться черною и окруженною многими кольцами, которыя на внутреннемъ краю

имѣютъ синій или фіолетовый цвѣтъ, на внѣшнемъ красный или оранжевый. Еще будетъ подобное явленіе, если на стекло пропущенъ свѣтъ не бѣлый а простой, напр. красный, посредсвомъ краснаго стекла. Тогда являются только красныя кольца a, b, c (фиг. 238), отдѣленныя другъ отъ друга черными; фіолотовый цвѣтъ даетъ фіолотовыя кольца, но діаметры ихъ меньше діаметровъ соотвѣтственныхъ колецъ краснаго цвѣта. Тоже самое бываетъ и съ другими цвѣтами; кольца ихъ имѣютъ тѣмъ меньшій діаметры, чѣмъ ближе цвѣты къ фіолетовому концу призматическаго спектра. Когда употребляемъ бѣлый свѣтъ, то всѣ системы различныхъ цвѣтныхъ колецъ являются вмѣстѣ и частію закрываютъ другъ друга; легко видно, что такимъ образомъ должны произоити различныя смѣси колецъ, которыя на внутреннемъ краю должны болѣе приближаться къ фіолетовому, а на внѣшнемъ къ красному цвѣту, потому что діаметръ фіолетовыхъ есть наименшій и діаметръ красныхъ колецъ наибольшій.

Точнѣйшее изслѣдованіе законовъ, по которымъ составляются эти кольца въ бѣломъ свѣтѣ, показало знаменитому Ньютону, что каждому весьма малому промежутку между двумя стеклами всегда соотвѣтствуетъ опредѣленный цвѣтъ; и такъ если мы одинъ разъ употребимъ предметное стекло съ слабою, кривизною, а потомъ съ сильною, то въ послѣднемъ случаѣ кольца будутъ имѣть меньшій діаметръ, потому что здѣсь ромежутокъ какой нибудь опредѣленной толщины отстоитъ отъ центра на меньшее разстояніе, нежели въ первомъ случаѣ. Впрочемъ цвѣтъ зависитъ также и отъ вещества, которое наполняетъ промежутки мѣжду обоими стеклами; напр. одинъ и тотъ же цвѣтъ соотвѣтствуетъ гораздо меньшимъ промежуткамъ, когда они наполнены водою, нежели тогда когда эти промежутки занимаются воздухомъ. Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что если прозрачное тѣло будетъ весьма тонко, то въ бѣ-

ломъ свѣтѣ оно кажется окрашеннымъ и притомъ краски измѣняются, какъ скоро измѣняется хотя не много толщина его. Такъ напр. слой воды кажется зеленымъ, если толщина его равна $\frac{19}{1000000}$ дюйма, пурпуровымъ когда толщина равна $\frac{15}{1000000}$ дюйма и проч.

Въ этомъ состоитъ причина яркихъ цвѣтовъ въ мыльныхъ пузыряхъ, гдѣ цвѣты всегда перемѣняются, потому что толщина водянаго слоя въ пузыряхъ измѣняется Тѣже цвѣты можно видѣть внутри слюды въ томъ мѣстѣ, гдѣ листочки ея находятся не въ совершенномъ прикосновеніи; придавливая пальцемъ въ такомъ мѣстѣ, мы найдемъ, что цвѣты перемѣняютъ свое мѣсто, потому что въ этомъ случаѣ разстояніе листочковъ перемѣняется. Этимъ же самымъ объясняется игра цвѣтовъ на старыхъ стеклахъ, въ которыхъ поверхность отъ вліянія воздуха и влажности такъ измѣнилась, что тоненкій слой стекла отдѣляется отъ всей массы и по причинѣ тонкости его кажется окрашеннымъ.

§ 191.

II. *Уклоненіе свѣта* (Дифракція).

Если въ темную комнату пропустимъ лучи солнца черезъ *узкое* линіи подобное отверстіе и потомъ по направленію ихъ будемъ смотрѣть на это отверстіе сквозь подобное и параллельное ему другое линейное отверстіе, то мы увидимъ во первыхъ свѣтлую линію AB (фиг. 239) по срединѣ, потомъ по обѣ стороны прорѣза призматическіе спектры CD и C′D′, EF и E′F′ и пр, въ которыхъ фіолетовый цвѣтъ ближе находится отъ отверетія AB, нежели красный. Лучше всего сдѣлать этотъ опытъ такъ, что второе отверстіе находится не непосредственно передъ гла-

земъ, но передъ предметнымъ стекломъ телескопа, въ который мы смотримъ на свѣтящуюся линію въ ставнѣ. Изъ этого слѣдуетъ, что свѣтъ при прохожденіи черезъ узкія отверстія *уклоняется*, красный цвѣтъ больше, фіолетовый меньше другихъ цвѣтовъ. Это уклоненіе называется *диффракціею;* оно отличается отъ отклоненій, происходящихъ при отраженіи и преломленіи тѣмъ, что при *отраженіи* лучь отклоняется не разлагаясь на цвѣты, а при *преломленіи,* хотя бѣлый свѣтъ также разлагается на цвѣты, но изъ нихъ красный отклоняется меньше, нежели фіолетовый.

Явленія диффракціи будутъ особенно красивы, если передъ предметнымъ стекломъ телескопа находится не одинъ но множество прорѣзовъ расположенныхъ параллельно по правильнымъ промежуткамъ. Такое устройство называютъ *рѣшеткою.* Чѣмъ тоньше рѣшетка, тѣмъ отклоненіе бываетъ больше и тѣмъ чище бываютъ цвѣты, такъ что при весьма тонкихъ рѣшеткахъ видимы даже бываютъ фраунгоферовы линіи. Фраунгоферъ, открывшій это явленіе диффракціи, производимой рѣшетками, составляетъ сіи послѣднія накладывая на стеклянную пластинку листовое золото и потомъ посредствомъ устройства, подобнаго дѣлительной машинѣ съ микрометрическимъ винтомъ, дѣлая прорѣзы на золотѣ въ правильныхъ и параллельныхъ промежуткахъ. Если рѣшетка *кругообразна,* т. е. если золото имѣетъ прорѣзы въ видѣ концентрическихъ круговъ и если будемъ смотрѣть сквозь нее на свѣтящуюся точку, то явленія диффракціи бываютъ кругообразныя. Если разстояніе прозрачныхъ круговъ не совершенно равно, то явленія бываютъ нечисты, потому что различные спектры частію закрываются, но всегда фіолетовый цвѣтъ виденъ къ центру ближе, нежели красный.

Впрочемъ явленія диффракціи бываютъ весьма многоразличны; такъ напр. игра цвѣтовъ въ перламутѣ есть явленіе диффракціи, потому что поверхность перламута состоитъ

изъ весьма тонкихъ параллельныхъ линій, отъ которыхъ отражается свѣтъ и производитъ явленія подобныя явленіямъ рѣшетокъ. Есть пуговицы, на которыхъ находятся тонкія параллельныя черты и которыя по этому уклоняютъ отраженный отъ нихъ свѣтъ, какъ рѣшетки.

§ 192.

III. *Двойное лучепреломленіе и поляризація свѣта.*

До сихъ поръ мы видѣли, что если лучь падаетъ на прозрачную средину, то одна часть его отражается отъ поверхности, другая же проходитъ въ нее и обыкновенно отклоняется отъ своего пути, но всегда такъ, что онъ остается *однимъ лучемъ*. Это въ самомъ дѣлѣ имѣетъ мѣсто во всѣхъ родахъ стекла, во всѣхъ жидкостяхъ и во многихъ кристаллизованыхъ тѣлахъ, напр. въ поваренной соли. Но есть много и такихъ кристалловъ, въ которыхъ преломленный лучь раздѣляется на *два луча* одинаковой яркости, идущіе черезъ кристаллы по различнымъ направленіямъ и притомъ такъ, что или одинъ изъ нихъ или оба луча продолжаютъ путь не по обыкновеннымъ законамъ преломленія, но по большей части такъ, что преломленный лучь даже не остается въ плоскости паденія. Физикамъ удалось привести эти запутанныя явленія къ простымъ законамъ, на основаніи которыхъ въ двояко-преломляющихъ кристаллахъ можно наперед посредствомъ вычисленія опредѣлить путь луча, точно также какъ при обыкновенномъ преломленіи; но мы не можемъ здѣсь говорить объ этомъ подробно. *Лучшій* примѣръ двойнаго преломленія представляетъ *Исландскій шпатъ*, минералъ совершенно прозрачный и который часто бываетъ въ большихъ кускахъ; въ немъ оба преломленные луча такъ далеко отклоняются одинъ отъ другаго, что ихъ легко можно видѣть раздѣленными. Видъ этого кристалла есть ромбоедръ

представленный въ фиг. 240. Если смотрѣть сквозь такой кристаллъ на черную точку, означенную на бѣлой бумагѣ, то она покажется двойною и если станемъ обращать кристаллъ кругомъ на его основаніи, то увидимъ, что одно изображеніе также обращается около другаго.

Но оба луча, полученные при прохожденіи свѣта черезъ Исландскій шпатъ, кромѣ разности законовъ преломленія, по которымъ они распространяются, различаются еще въ другомъ отношеніи. Если одинъ изъ этихъ лучей заслоимъ непрозрачною преградою, а другой пропустимъ чрезъ другой кусокъ шпата, то онъ большею частію и здѣсь раздѣляется на два луча, но они имѣютъ не одинаковую яркость, которая измѣняется, если станемъ обращать второй кристаллъ около луча, какъ около оси. Даже есть два положенія, при которыхъ лучь проходитъ не раздѣлясь на два. Напротивъ обыкновенный лучь всегда даетъ два изображенія и всегда одинаково яркія. Итакъ лучь прошедшій черезъ Исландскій шпатъ пріобрѣтаетъ свойства отличныя отъ свойствъ обыкновеннаго луча; по этому онъ называется *поляризованнымъ лучемъ свѣта*. Есть еще другія средства, кромѣ пропусканія луча черезъ второй кристаллъ, узнать поляризацію свѣта. Самое удобное средство представляетъ турмалинъ. Это есть прозрачный, по большой части зеленаго цвѣта минералъ, который находится въ природѣ въ видѣ многосторонней призмы. Возмемъ отшлифованную изъ него пластинку такъ, что бы двѣ параллельныя плоскости ея были параллельны продольной оси призмы и толщина ея была не менѣе $^1/_2$ линіи, эта пластинка будетъ всегда одинаково пропускать *обыкновенный* свѣтъ, и окрашивать его только зеленымъ цвѣтомъ, но *поляризованный* свѣтъ она пропускаетъ болѣе или менѣе, смотря потому какъ мы обращаемъ пластинку къ лучу. Если ABCD представляетъ турмалиновую пластинку (фиг. 241), FG направленіе оси призмы,

изъ которой она отшлифована, и если представимъ себѣ разрѣзъ параллельный чертѣ FG и перпендикулярный къ пластинкѣ, то этотъ разрѣзъ называется *главнымъ сѣченіемъ* турмалина. Если станемъ держать турмалинъ передъ глазомъ, и смотрѣть на одинъ изъ лучей получаемыхъ при прохожденіи свѣта черезъ Исландскій шпатъ, то обращая турмалиновую пластинку около луча, какъ около оси, найдемъ такое положеніе, при которомъ лучь совершенно не виденъ; если же замѣтимъ положеніе главнаго сѣченія турмалина въ этомъ случаѣ и повторимъ тотъ же опытъ съ другимъ лучемъ, то и здѣсь найдемъ такое положеніе турмалина, при которомъ лучь не проходитъ, но тогда главное сѣченіе турмалина составляетъ прямой уголъ съ положеніемъ своимъ для перваго луча. И такъ если A и B представляютъ поперечные разрѣзы обоихъ лучей (фиг. 242) и если предположимъ, что при положеніи MN турмалина лучь A не проходитъ черезъ него, то для другаго луча B мы должны привести турмалинъ въ положеніе M′N′ для того, что бы B не проходилъ черезъ него. Изъ этого мы видимъ, что лучь B имѣетъ тѣже свойства какія A, если только поворотить его на 90^0; по этому говорятъ, что A и B поляризованы *перпендикулярно одинъ къ другому*.

И такъ турмалиновая пластинка даетъ намъ простое средство узнать, обыкновенный ли лучь проходитъ въ нашъ глазъ или поляризованный. Для этого турмалинъ должно держать передъ глазомъ и обращать его около луча какъ около оси; если яркость луча остается одинакова при всѣхъ положеніяхъ турмалина, то свѣтъ неполяризованъ; если же лучь въ какомъ нибудь положеніи совершенно не видимъ, то онъ поляризованъ и положеніе турмалина показываетъ, въ какомъ именно направленіи онъ поляризованъ. Когда лучь исчезнетъ въ положеніи MN, то говорятъ, что онъ поляризованъ въ MN или въ плоскости главнаго сѣченія турмалина. И такъ въ нашей фигурѣ лучь A поляризованъ

въ MN и лучь B въ M'N' и мы имѣемъ законъ: *турмалиновая пластинка пропускаетъ свѣтъ, который поляризованъ перпендикулярно къ главному сѣченію своему и уничтожаетъ тотъ, который поляризованъ параллельно оному.* Если находимъ, что лучь свѣта не исчезаетъ совершенно, какъ бы мы не поворачивали турмалинъ, но что въ одномъ положеніи онъ достигаетъ наибольшей яркости, а въ другомъ наибольшей темноты, то мы заключаемъ, что онъ *отъ части* только *поляризованъ*, т. е. что одна часть его состоитъ изъ обыкновеннаго, а другая изъ поляризованнаго свѣта.

§ 193.

Посредствомъ этого способа открыто, что самъ турмалинъ можетъ совершенно поляризовать обыкновенный свѣтъ и притомъ перпендикулярно къ своему главному сѣченію. Въ самомъ дѣлѣ, если пропустимъ обыкновенный свѣтъ чрезъ турмалиновую пластинку A, и потомъ чрезъ другую B, то найдемъ что, если главное сѣченіе второй пластинки параллельно главному сѣченію первой, то свѣтъ проходитъ свободно и почти безъ уменьшенія яркости черезъ вторую пластинку B; если же поворотимъ B такъ, что бы главное сѣченіе его лежало крестъ на крестъ съ главнымъ сѣченіемъ A, то не видно будетъ никакого слѣда свѣта. И такъ по нашему правилу отъ перваго турмалина весь свѣтъ поляризуется перпендикулярно къ главному сѣченію его. Въ этомъ опытѣ два прозрачныя тѣла, каковы обѣ турмалиновыя пластинки, черезъ одну только перестановку относительно ихъ положеній другъ къ другу, могутъ представить совершенно непрозрачную средину.

Если будемъ смотрѣть сквозь турмалиновую пластинку на обыкновенный свѣтъ, отраженный отъ стеклянной или водяной поверхности, то обращая пластинку найдемъ, что есть положеніе, въ которомъ лучь виденъ наиболѣе ясно

а другое, отстоящее отъ перваго на 90°, при которомъ меньшая часть его проходитъ черезъ турмалинъ. Въ послѣднемъ случаѣ главное сѣченіе турмалина параллельно плоскости отраженія; изъ этого мы заключаемъ, что черезъ отраженіе свѣтъ отчасти поляризуется въ плоскости отраженія. Если измѣнимъ уголъ паденія луча на отражающую поверхность, то измѣняется также количество поляризованной части свѣта въ отраженномъ лучѣ и есть уголъ паденія (въ стеклѣ 56°, въ водѣ 53°), при которомъ весь свѣтъ поляризуется въ плоскости отраженія; тогда отраженный свѣтъ нельзя видить сквозь турмалинъ, котораго ось параллельна плоскости отраженія. Этотъ уголъ называютъ *угломъ полной поляризаціи.*

Если лучь свѣта проходитъ черезъ стеклянную пластинку, такъ что онъ преломляется въ ней, то турмалиновая пластинка показываетъ, что онъ также отчасти состоитъ изъ поляризованнаго свѣта и притомъ поляризованнаго перпендикулярно къ плоскости преломленія, слѣдовательно перпендикулярно къ плоскости поляризаціи отраженнаго луча. Впрочемъ здѣсь ни при какомъ углѣ паденія не получится полной поляризаціи какъ при отраженіи, но поляризація увеличивается болѣе и болѣе, начиная отъ угла паденія равнаго нулю до 90°.

Итакъ если отъ чего нибудь солнечный лучь отклоняется отъ своего первоначальнаго направленія, то мы имѣемъ средство опредѣлить, отклонился ли онъ посредствомъ отраженія или посредствомъ преломленія; для этого мы смотримъ на него сквозь турмалиновую пластинку и обращаемъ ее около луча до тѣхъ поръ пока не найдемъ того положенія, при которомъ лучь наиболѣе затемняется. Представимъ себѣ плоскость, проведенную черезъ солнце и лучь; если главное сѣченіе турмалина совпадаетъ съ этою плокостію при положеніи наибольшаго затемненія луча, то свѣтъ есть *отраженный* свѣтъ, если же главное сѣченіе перпендику-

лярно къ этому положенію, то свѣтъ есть *преломленный*.

Голубой цвѣтъ неба очевидно происходитъ отъ солнца, потому что ночью этого цвѣта невидно; если теперь на какую нибудь одну точку неба станемъ смотрѣть сквозь турмулинъ, то найдемъ, что эта точка кажется темнѣе тогда когда главное сѣченіе турмалина совпадаетъ съ плоскостію проведенною черезъ точку, солнце и нашъ глазъ; изъ этого мы заключаемъ, что свѣтъ неба есть солнечный свѣтъ *отраженный* отъ частицъ воздуха.

Недавно предложили употреблять турмалинъ для того, что бы лучше смотрѣть сквозь него въ глубину моря. Это легко можно понять по предъидущему. Если мы смотримъ на поверхность воды MN (фиг. 243), то въ нашъ глазъ O доходятъ отъ нея два рода лучей, лучи, отраженные отъ поверхности воды, какъ AC, и лучи, идущіе изъ глубины, какъ DC; такъ какъ первые ярче послѣднихъ, то идущіе изъ глубины трудно бываетъ отличить и дабы видѣть оные, лучше бы было совсѣмъ уничтожить отраженные лучи AC. Это можно сдѣлать, если мы сквозь турмалиновую пластинку PQ будемъ смотрѣть на поверхность воды и притомъ въ такомъ направленіи OC, что уголъ OCF, слѣд. и ACF, почти $= 53^0$; при этомъ углѣ отраженные лучи совершенно поляризуются въ плоскости отраженія, слѣд. не проходятъ чрезъ пластинку, если мы будемъ ее держать такъ, какъ показано въ фигурѣ, т. е. такъ что главное сѣченіе ея совпадаетъ съ плоскостію отраженія. Напротивъ лучь DC черезъ преломленіе частію поляризуется перпендикулярно къ плоскости преломленія, слѣд. онъ бываетъ еще способнѣе пройти черезъ турмалинъ, нежели когда онъ совершенно неполяризованъ; и такимъ образомъ мы видимъ тогда одни лучи, выходящіе изъ подъ воды.

Поляризація подала поводъ къ открытію многихъ явленій, которыя принадлежатъ къ самымъ блистательнымъ во всей оптикѣ, именно въ отношеніи къ многоразличію и блеску цвѣтовъ; но мы должны пройти молчаніемъ эти явленія. Мы только замѣтимъ, что теоретически онѣ совершенно изъясняются, такъ что оптика есть та часть Физики, которой теорія принадлежитъ къ совершеннѣйшимъ.

IV. *О теоріяхъ свѣта.*

§ 194.

Не много прошло лѣтъ съ тѣхъ поръ, какъ въ руководствахъ Физики еще принуждены были изъяснять явленія свѣта по двумъ теоріямъ, потому что обѣ онѣ равно хорошо объясняли извѣстныя тогда явленія. Одна изъ нихъ, *теорія истеченія свѣта*, было предложено знаменитымъ Ньютономъ и долго принимаема была всѣми Физиками. По этой теоріи изъ свѣтящагося тѣла безпрестанно выходитъ весьма тонкая матерія движущаяся съ чрезвычайною быстротою; она идетъ въ пустомъ пространствѣ по прямымъ линіямъ, пока не дойдетъ до какого нибудь тѣла; тѣла притягиваютъ свѣтъ и при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ отталкиваютъ его и черезъ это отклоняютъ лучь отъ своего пути. Такимъ образомъ при допущеніи еще нѣкоторыхъ вспомогательныхъ гипотезъ довольно хорошо объясняются отклоненія свѣта, производимыя страженіемъ, преломленіемъ и диффракціею; впрочемъ и здѣсь многія обстоятельства остаются неизъяснимыми, но особенно касательно двойнаго лучепреломленія и поляризаціи эта гипотеза оказывается совершенно недостаточною. Другая теорія есть теорія *волненій*, предложенная Декартомъ и Гюйгенсомъ (Huygens), защищенная Эйлеромъ и послѣ новѣйшихъ усовершенствованій ея, сдѣланныхъ Юнгомъ (Young) и Френелемъ (Fresnel),

почти всеобще принятая. По этой теоріи нѣтъ совершенно пустаго пространства, но повсюду распространена тонкая матерія, получившая названіе *эѳира* и отличающаяся своею большою упругостію. Въ такъ называемомъ пустомъ пространствѣ эѳиръ имѣетъ вездѣ одинаковую плотность, но распространяясь также внутри всѣхъ тѣлъ между атомами ихъ, онъ отъ вліянія ихъ пріобрѣтаетъ здѣсь различныя плотности. Когда эѳиръ находится въ покоѣ, то мы не замѣчаемъ существованія его; но свѣтящіяся тѣла имѣютъ свойство приводить его въ колебательное движеніе, какъ звучащія тѣла заставляютъ колебаться воздухъ; и если эти колебанія доходятъ въ нашемъ глазѣ до сѣтки, то мы получаемъ ощущеніе *свѣта*. Но колебанія эѳира несравненно быстрѣе колебаній звука, и свѣтовыя волны, не смотря на большую скорость распространенія колебаній эѳира, гораздо меньше звучныхъ волнъ. Отъ скорости, слѣд. и отъ длины свѣтовой волны (§ 127), зависитъ ощущеніе въ нашемъ глазѣ; самыя длинныя волны производятъ ощущеніе *краснаго цвѣта*, самыя короткія *фіолетоваго*. Есть даже возможность опредѣлить длину разныхъ волнъ и нашли, что для краснаго цвѣта она $= \frac{26}{1000000}$ дюйма, для фіолетоваго $= \frac{17}{1000000}$. Напряженіе свѣта, какъ напряженіе звука, зависитъ не отъ длины волны, но отъ ширины размаховъ при колебаніи каждой частицы эѳира. Явленія отраженія и преломленія совершенно объясняются по этой теоріи, также и явленія свѣто-разсѣянія. Трудности, имѣющія здѣсь мѣсто, состоятъ не въ недостаточности предположеній, но въ запутанности вычисленія и всегда болѣе и болѣе преодолѣваются. Блистательнѣе всего сія теорія оправдывается въ запутанныхъ явленіяхъ диффракціи и поляризаціи, именно въ тѣхъ пунктахъ, въ которыхъ другая теорія весьма недостаточна. Теорія волненій легко объясняетъ здѣсь са-

мыя сложныя явленія посредствомъ начала *интерференціи* свѣта. Оно состоитъ въ томъ, что если два луча, выходящіе изъ одной свѣтящейся точки, одного цвѣта, одинаковаго напряженія и идущіе почти по одному и тому же направленію, падаютъ въ одну точку, то имъ предстоитъ одинаковая возможность *усилить освѣщеніе* въ этой точкѣ или произвести *совершенную темноту*. Это странное слѣдствіе теоріи волненій доказано опытами, которые мы здѣсь должны пропустить, и легко видѣть, какъ оно выходитъ изъ самой теоріи. Въ самомъ дѣлѣ, такъ какъ въ каждомъ лучѣ свѣта частицы эѳира движутся и туда и сюда, то легко можетъ случиться, что какое нибудь колебаніе одного луча, имѣющее направленіе впередъ, совпадетъ съ какимъ нибудь колебаніемъ другаго луча имѣющимъ тоже направленіе; тогда въ этомъ мѣстѣ движущія силы дѣйствуютъ въ одну сторону и слѣд. взаимно усилятся. Но можетъ тоже случиться, что движеніе одного луча, имѣющее направленіе впередъ, совпадетъ съ движеніемъ другаго луча назадъ; тогда эти движенія противодѣйствуютъ другъ другу, отъ этого частицы эѳира придутъ, если движенія равны, въ совершенный покой, т. е. тогда произойдетъ темнота.

Мы не можемъ здѣсь подробнѣе говорить объ этой теоріи, впрочемъ столь совершенно развитой, какъ ни какая другая теорія въ Физикѣ, такъ что она даетъ отчетъ въ малѣйшихъ обстоятельствахъ явленій. По этому она есть теорія, которую теперь принимаютъ почти всѣ Физики.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ.

ОБЪ ОПТИЧЕСКИХЪ ЯВЛЕНІЯХЪ ВЪ НАШЕЙ АТМОСФЕРѢ.

§ 195.

Явленія производимыя свѣтомъ въ нашей атмосферѣ называются оптическими. Объ одномъ изъ явленій такого рода, именно объ атмосферномъ лучепреломленіи, мы уже говорили (§ 153).

1. *Голубой цвѣтъ неба.*

Голубой цвѣтъ неба также принадлежитъ къ оптическимъ явленіямъ; ибо еслибы свѣтъ отъ источника своего — солнца — падалъ на нашъ глазъ только по прямой линіи, то остальную часть неба мы должны бы были видѣть совершенно темною какъ ночью; но такъ какъ она кажется голубою, то это можетъ произойти только отъ измѣненія направленія солнечныхъ лучей; и мы уже видѣли изъ поляризаціи этого свѣта, что это измѣненіе происходитъ чрезъ отраженіе (§ 193). Слѣд. воздушные слои отражаютъ преимущественно голубые лучи солнечнаго свѣта; изъ этого слѣдуетъ, что проходящіе черезъ эти слои лучи должны содержать излишекъ красныхъ и что солнце и луна должны казаться красноватыми, когда лучи ихъ проходятъ черезъ длинные слои воздуха; такимъ образомъ изъясняется красный цвѣтъ небесныхъ тѣлъ, находящихся на горизонтѣ. Мы уже видѣли прежде (§ 172), что увеличенный ихъ діаметръ есть только слѣдствіе оптическаго обмана.

2. *Радуга.*

§ 196.

Одинъ изъ самыхъ разительныхъ оптическихъ феноменовъ въ нашей атмосферѣ есть *радуга*. Мы видимъ ее тогда, когда стоимъ спиною къ солнцу и передъ нами въ нѣкоторомъ разстояніи находится облако, изъ котораго идетъ дождь. По этому уже вѣроятно, что прекрасные цвѣты ея должны происходить отъ преломленія солнечныхъ лучей въ дождевыхъ каплях и точное изслѣдованіе пути солнечнаго луча въ такой каплѣ удостовѣряетъ насъ въ этомъ еще больше. Для простоты представимъ себѣ прежде, что солнце находится въ горизонтѣ, такъ что лучи его горизонтально падаютъ на дождевые капли. Лучь SA (фиг. 244), падающій на каплю въ точкѣ A, по извѣстному закону преломленія будетъ отклоненъ къ B; здѣсь одна часть его выйдетъ изъ капли, другая отразится въ D, а при выходѣ опять раздѣлится на 2 части, изъ которыхъ одна отражена будетъ во внутренность капли, а другая выйдетъ по направленію DC и достигнетъ до глаза наблюдателя въ C. Слѣд. лучь отклоненъ будетъ отъ своего пути на тупой уголъ GFC и дойдетъ такимъ образомъ до глаза. При этомъ видно, что онъ значительно ослабляется двоякимъ преломленіемъ (при которомъ всегда одна часть его отражается) и однократнымъ отраженіемъ въ B (при чемъ одна часть его проходитъ). Но есть еще другая причина, которая производитъ еще большее ослабленіе отклоненнаго свѣта. Если мы прямо смотримъ на солнце, то отъ каждой точки его на нашъ глазъ упалъ бы цилиндръ лучей, діаметръ котораго былъ бы равенъ діаметру нашего зрачка. Если же этотъ цилиндръ лучей упадетъ на каплю такъ, какъ SA, дабы потомъ достигнуть до нашего глаза, то очевидно, что различные лучи его упадутъ подъ весьма различными углами (фиг. 245) и поэтому, какъ показано въ фи-

гурѣ, столь различно будутъ отклонены, что, можетъ быть, только одинъ изъ всѣхъ находящихся въ цилиндрѣ лучей достигнетъ до нашего глаза C, между тѣмъ какъ число ихъ было, напр., 1000. Итакъ изъ всего свѣта, ослабленнаго уже черезъ преломленіе и отраженіе, въ нашъ глазъ доходитъ только $\frac{1}{1000}$ его. Но вычисленіе показываетъ, что есть извѣстный уголъ паденія, при которомъ малое измѣненіе въ углѣ паденія не производитъ никакого измѣненія въ углѣ отклоненія, такъ что цилиндръ свѣта падающаго на каплю въ этомъ направленіи, выходитъ изъ нее опять какъ цилиндръ. Это бываетъ при горизонтальномъ паденіи для красныхъ лучей тогда, когда уголъ FCH (фиг. 244) $= 42^{\circ}$, для фіолетовыхъ $= 40^{01}/_{4}$. Лучи такого цилиндра, выходящіе опять въ такомъ же видѣ, называются *дѣятельными лучами;* они производятъ на глазъ сильное впечатленіе. Итакъ наблюдатель, находящійся въ O (фиг. 246), увидитъ въ каплѣ R дѣятельные красные лучи, въ каплѣ V дѣятельные фіолетовые, а между ними дѣятельные лучи оранжевые, желтые, зеленые и проч., т. е. онъ увидитъ призматическое изображеніе вверху краснаго и внизу фіолетоваго цвѣта на высотѣ около 41°. Если представимъ себѣ, что RO обращается около горизонтальной линіи SC какъ около оси, то мы получимъ дугу HRK, въ которой капли расположены такъ, что отъ нихъ доходятъ въ глазъ лучи подъ тѣми же обстоятельствами, слѣд. также дѣятельные, какъ RO; такимъ же образомъ дуга MVN даетъ дѣятельные фіолетовые лучи. И такъ глазъ увидитъ вверху красную, внизу фіолетовую дугу, а между ними всѣ призматическіе цвѣты. Ширина каждой дуги равна видимому діаметру солнца, потому что каждая точка солнца даетъ отдѣльную радугу; ширина всей радуги по этому выходитъ $2^{01}/_{4}$, что совершенно согласно съ наблюденіемъ.

Если солнце находится выше надъ горизонтомъ, напр. на 10^0, то линія S/C встрѣтитъ сводъ небесный ниже горизонта на 10^0 и такъ какъ красная дуга отстоитъ отъ C всегда на 42^0, то наибольшая высота радуги R надъ горизонтомъ будетъ только $42 - 10 = 32$. По этому радугу нельзя видѣть, когда солнце будетъ стоять выше 42, что также согласно съ наблюденіемъ.

Часто видна бываетъ еще другая радуга надъ первою; она происходитъ также какъ первая отъ преломленія солнечныхъ лучей въ дождевыхъ каплях, но въ ней лучи 2 раза отражаются въ каплѣ, какъ показываетъ фиг. 247. Дѣятельные красные лучи являются здѣсь тогда, когда уголъ $ROC = 60^0$, слѣд. эта радуга кажется выше первой, въ ней фіолетовый лучь отклоняется больше, нежели красный, т. е. въ ней фіолетовый цвѣтъ находится вверху, а красный внизу. Если измѣримъ ширину, высоту и взаимное разстояніе радугъ, то найдемъ что всѣ эти величины точно согласуются съ вычисленіемъ, что служитъ доказательствомъ справедливости теоріи.

3. *Круги около солнца и луны и ложныя солнца.*

§ 197.

Когда небо не совершенно чисто, то нерѣдко около солнца и луны видны свѣтлые круги, особенно чаще около луны, потому что блескъ солнечныхъ лучей не позволяетъ намъ видѣть этого явленія около солнца, если не ослабимъ свѣта его посредствомъ тусклаго стекла или если онъ не будетъ ослабленъ отъ пасмурности неба. Явленіе иногда бываетъ въ видѣ *кольца*, иногда въ видѣ *круга* около луны. *Кольцо* непосредственно окружаетъ луну; иногда въ немъ видны ясно цвѣты, иногда они такъ перемѣшаны, что едва замѣтны; но всегда *синеватый край лежитъ ближе къ центру, красноватый же дальше отъ него*

Этимъ доказывается что такое явленіе происходитъ не отъ преломленія, но отъ уклоненія свѣта (§ 185), именно отъ уклоненія производимаго водяными шариками или пузырьками, изъ которыхъ состоятъ облака. Чѣмъ меньше эти шарики, тѣмъ больше діаметръ кольца, такъ что на оборотъ изъ діаметра кольца можно заключить о величинѣ облачныхъ шариковъ. Что причина этого явленія есть уклоненіе свѣта доказывается опытомъ, въ которомъ пропускаютъ солнечный лучь между многими стекляннными шариками или свѣтъ обыкновенной свѣчи черезъ стекло, отуманенное дыханіемъ; въ обоихъ случаяхъ видны подобныя кольца. Чѣмъ однообразнѣе величина шариковъ, тѣмъ чище бываютъ цвѣты, точно такъ, какъ при диффракціи черезъ круговыя рѣшетки.

Круги, окружающіе концентрически солнце и луну бываютъ двоякаго рода; каждый изъ нихъ имѣетъ опредѣленный діаметръ на небѣ, но діаметръ однаго $= 44^0$, другаго $= 88^0$. Они являются тогда, когда свѣтъ обоихъ небесныхъ тѣлъ проходитъ чрезъ такъ называемыя *перистыя* облака, т. е. черезъ самыя тонкія и высокія облака, которыя кажутся состоящими изъ параллельныхъ бѣлыхъ нитей. Также и въ этихъ кругахъ оказываются цвѣты, изъ которыхъ красный внутри, а фіолетовый внѣ, слѣд. фіолетовый отклоняется больше; изъ этого мы заключаемъ, что явленіе это происходитъ отъ преломленія свѣта. Оно совершенно объясняется преломленіемъ лучей свѣта въ трехсторонних призмахъ, которыхъ разрѣзъ представляетъ равносторонній треугольникъ. Но это есть форма кристаллизаціи воды, по этому можно допустить, что перистыя облака состоятъ не изъ водяныхъ шариковъ, но изъ весьма тонкихъ ледяныхъ иголочекъ, какъ это и вѣроятно по причинѣ большой высоты, на которой они находятся.

Явленіе *ложныхъ солнцевъ* рѣдко бываетъ видимо и только во время сильныхъ морозовъ. Въ совершенномъ видѣ

это явленіе состоитъ въ слѣдующемъ: Если ALBH (фиг. 248) представляетъ небесный сводъ видимый сверху, гдѣ слѣд. Z естъ зенитъ, и если солнце находится въ S, то во первыхъ видно бѣлое горизонтальное кольцо SFKG, въ которомъ находится солнце, далѣе такое же вертикальное полу-кольцо ASZB, проходящее черезъ зенитъ и солнце; оба кольца безцвѣтны. Кромѣ того являются еще цвѣтные круги, о которыхъ мы уже говорили, CD и FG. Въ томъ мѣстѣ, гдѣ два круга пересѣкаются, въ особенности въ C, D, F, G и K свѣтъ бываетъ ярче и образуетъ такъ называемыя *ложныя солнца*. Происхожденіе горизонтальныхъ и вертикальныхъ колецъ объясняютъ отраженіемъ свѣта отъ внѣшнихъ поверхностей ледяныхъ иголъ; это оправдывается и совершенною безцвѣтностію ихъ. Однако объясняютъ это явленіе и уклоненіемъ свѣта. Обыкновенно явленіе показывается не во всемъ блескѣ, потому что ледяные кристалы, которые производятъ его, не находятся во всѣхъ направленіяхъ. Если же видъ всего явленія мы твердо удержимъ въ памяти, то легко можно узнать, какую часть его мы видимъ. Иногда напр. видимъ, что черезъ солнце проходитъ свѣтящійся крестъ; это суть части горизонтальнаго и вертикальнаго колецъ SFKG и ASZB, проходящія непосредственно черезъ солнце. Иногда по обѣ стороны солнца являются вертикальные цвѣтные столбы или по одному, или по два съ каждой стороны; это суть тѣ части обоихъ колецъ CD и FG, которыя имѣютъ вертикальное направленіе и т. д. Весьма рѣдко замѣчаютъ это явленіе еще въ сложнѣйшемъ видѣ, нежели какъ мы его описали, какъ напр. Гевеліусъ видѣлъ и описалъ его; тогда мы еще менѣе находимся въ состояніи объяснить его во всѣхъ подробностяхъ, но всегда различный видъ и различное положеніе ледяныхъ кристалловъ можно считать за причину происхожденія его.

Наконецъ къ оптическимъ явленіямъ въ нашей атмосферѣ можно причислять еще *сѣверное сіяніе*, феноменъ, ко-

торый главнѣйше состоитъ въ слѣдующемъ: въ сѣверной части AB горизонта (фиг. 249), у насъ въ С. Петербургѣ немного къ западу, показывается на небѣ темный сегментъ MPN, сверху ограниченный свѣтлою дугою ACBNPM, которая на нижней сторонѣ своей довольно рѣзко отдѣляется отъ темнаго сегмента, но вверху нечуствительно переходитъ въ цвѣтъ неба. Свѣтъ дуги есть бѣловатый и спокойный. Когда сѣверное сіяніе становитя сильнѣе, то изъ дуги прямо къ зениту поднимаются свѣтлые столбы съ волнующимся свѣтомъ, и часто оттѣняемые цвѣтами: краснымъ, синимъ и зеленымъ. У насъ обыкновенно эти столбы не достигаютъ зенита; но если иногда сѣверное сіяніе бываетъ очень сильно, то столбы переходятъ даже черезъ зенитъ и не далеко отъ него къ югу соединяются въ одно свѣтлое кольцо, которое называется *вѣнцомъ* сѣвернаго сіянія. Тогда столбы постоянно бываютъ видимы и отъ нихъ весь почти небесный сводъ кажется объятымъ огнемъ; столбы поднимаются не только изъ свѣтлой дуги, но и изъ темнаго сегмента, такъ что отъ этого первоначальныя явленія т. е. свѣтлая дуга и темный сегментъ, совершенно исчезаютъ. Наконецъ столбы становятся слабѣе и выходятъ рѣже пока напослѣдокъ совершенно прекращаются и съ этимъ все явленіе оканчивается. Говорятъ будто иногда восхожденіе столбовъ соединено съ особеннымъ шумомъ; впрочемъ это наблюдаемо было очень рѣдко.

Объясненіе этого явленія, принадлежащаго въ полномъ блескѣ своемъ къ самымъ великолѣпнымъ, еще совершенно для насъ не извѣстно: много придумано гипотезъ для этого, но всѣ онѣ до сихъ поръ оказываются недостаточными.

ОТДѢЛЕНІЕ ВТОРОЕ.

О ТЕПЛОРОДѢ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

РАСШИРЕНІЕ ТѢЛЪ ОТЪ ТЕПЛОТЫ.

§ 198.

Существованіе теплоты мы узнаемъ непосредственно ощущеніемъ въ каждой части нашего тѣла, одаренной чувствами и всякой знаетъ изъ опыта, какого рода это ощущеніе. За причину этого ощущенія принимаютъ особенное вещество именуемое *теплородомъ*. По удобоподвижимости его изъ одного тѣла въ другое мы представляемъ себѣ теплородъ какъ жидкость и поелику тѣла при нагрѣваніи не измѣняютъ своего вѣса, то теплородъ есть *жидкость невѣсомая*.

Общее дѣйствіе теплорода есть расширеніе тѣлъ, состоящее въ томъ, что каждое тѣло, когда оно дѣлается теплѣе, принимаетъ большій объемъ, нежели прежде. Мы можемъ доказать расширеніе тѣлъ, которое такъ незначительно, что не можетъ быть замѣчено при первомъ взглядѣ, слѣдующими тремя опытами для твердыхъ, жидкихъ и газообразныхъ тѣлъ.

Для твердыхъ тѣлъ возмемъ мѣдный шаръ такой величины, что онъ при обыкновенной температурѣ комна-

ты ровно проходитъ черезъ мѣдное кольцо; потомъ погрузимъ его въ кипятокъ, вынемъ и положимъ опять на кольцо; тогда мы увидимъ, что онъ не пройдетъ болѣе чрезъ него, но будетъ на немъ лежать. Если оставимъ его въ этомъ положеніи, то шаръ мало по малу потеряетъ часть теплоты, заимствованной имъ отъ кипятка, отъ этого онъ будетъ дѣлаться меньше и меньше, пока наконецъ упадетъ сквозь кольцо.

Для доказательства расширенія *жидкихъ тѣлъ* отъ теплоты, возмемъ стеклянный шаръ А, къ которому присоединена трубка АВ, и оба наполнимъ жидкостію до С (фиг. 250). Если возьмемъ стеклянный шаръ въ руку, отъ чего онъ и заключенная въ немъ жидкость нагрѣются, то увидимъ, что при С жидкость тотчасъ станетъ подниматься; такъ какъ діаметръ трубки гораздо менѣе діаметра шара, то легко видно, что отъ малѣйшаго увеличенія объема жидкости въ шарѣ должно послѣдовать значительное повышеніе ея въ трубкѣ. Этотъ опытъ показываетъ вмѣстѣ, что жидкость расширяется гораздо болѣе стекла, изъ котораго состоитъ шаръ. Въ самомъ дѣлѣ стекло шара нагрѣвается прежде и скорѣе, нежели внутренняя часть жидкости, по сему объемъ шара долженъ также сдѣлаться больше и слѣд. отъ этого жидкость въ трубкѣ должна бъ понижаться, еслибъ отъ собственнаго расширенія, которое гораздо значительнѣе, она не повысилась, такъ что пониженіе ея отъ расширенія стекла во все не замѣтно. Въ этомъ можно убѣдиться, если взять стеклянный шаръ нѣсколько толще, при чемъ онъ нагрѣвается скорѣе жидкости значительнымъ промежуткомъ времени. Когда возмемъ его въ руку, то сперва жидкость въ самомъ дѣлѣ понижается въ трубкѣ, но потомъ, когда уже самая жидкость нагрѣется, то она скоро начинаетъ повышаться.

Расширеніе *газообразныхъ тѣлъ* также можно доказать какъ и расширеніе жидкихъ тѣлъ, если въ шарѣ A будетъ находиться воздухъ, а восходящая трубка BCD (фиг. 251) будетъ наполнена жидкостію, обыкновенно окрашенною краснымъ цвѣтомъ; когда возмемъ въ руку шаръ, то жидкость BC будетъ быстро подниматься. Изъ большой скорости, съ которою поднимается жидкость, мы уже узнаемъ, что расширеніе воздуха еще болѣе расширенія воды или вообще всѣхъ жидкостей. Именно этимъ сильнымъ расширеніемъ пользуются для приготовленія нашего прибора; въ самомъ дѣлѣ если трубку съ шарикомъ сперва пустую возмемъ въ руку, то воздухъ въ A будетъ нагрѣтъ, расширится и нѣкоторая часть его выдетъ вонъ изъ конца трубки D; потомъ переворотимъ приборъ, погрузимъ D въ жидкость, которою хотимъ наполнить трубку и отнимемъ руку отъ A. Воздухъ въ A потеряетъ большую часть своей теплоты, слѣд. сожмется; по этому въ DC, отъ внѣшняго давленія воздуха, жидкость войдетъ въ трубку и будетъ подниматься до тѣхъ поръ, пока давленіе воздуха въ A, при равной температурѣ со внѣшнимъ, достигнетъ одинаковой съ нимъ упругости.

Такимъ же образомъ наполняется жидкостію и приборъ AB (фиг. 250). Пустой шаръ A сильно нагрѣваютъ на лампѣ, потомъ оборачиваютъ приборъ и погружаютъ открытый конецъ B въ жидкость, которою хотятъ наполнить шаръ. При охлажденіи въ A воздуха, котораго теперь осталось не много по причинѣ сильнаго нагрѣванія A, большая часть шарика наполняется жидкостію вытѣсняемою внѣшнимъ воздухомъ. Послѣ этого приборъ ставятъ опять прямо, какъ въ фигурѣ, нагрѣваютъ жидкость до кипѣнія и обращаютъ опять конецъ B въ жидкость; при охлажденіи шарикъ совершенно наполняется; причина этого состоитъ въ томъ, что при кипѣніи жидкости выходящіе изъ нея пары вытѣсняютъ изъ трубки

послѣдній воздухъ, а сами при охлажденіи опять превращаются въ жидкость, какъ мы скоро увидимъ.

§ 199.

Расширеніемъ тѣлъ отъ теплоты пользуются при опредѣленіи степени нагрѣванія посредствомъ прибора извѣстнаго подъ именемъ *термометра*. Самый обыкновенный и во многихъ случаяхъ лучшій есть термометръ ртутный. Онъ состоитъ изъ шарика съ трубкою какъ приборъ AB (фиг. 250); жидкость содержащаяся въ немъ есть ртуть. Когда ртуть впущена будетъ въ трубку по способу, изложенному въ предъидущемъ параграфѣ, тогда нагрѣваютъ шаръ до тѣхъ поръ, пока ртуть расширится до конца B трубки и въ это мгновеніе сей конецъ запаиваютъ. Если потомъ дадимъ ртути въ шарикѣ охладиться, то получимъ въ оной отъ B до C пустое пространство. Оно полезно потому, что если бы въ трубкѣ находился воздухъ, то при перенесеніи термометра воздухъ вошелъ бы въ ртуть и раздѣлилъ ее на маленькіе столбики. Впрочемъ упругость остающагося въ трубкѣ воздуха не препятствуетъ расширенію ртути, потому что сила расширенія ртути несравненно болѣе упругости воздуха.

Приготовивши такимъ образомъ термометръ погружаютъ его въ сосудъ со снѣгомъ, который ставятъ въ теплой комнатѣ для того, чтобы онъ началъ таять. Тогда находятъ, что ртуть термометра въ трубкѣ понижается до опредѣленной точки. Эту высоту означаютъ чертою на металлической, иногда на деревянной доскѣ — *шкалѣ*, къ которой прикрѣплена стеклянная трубка. Потомъ вынимаютъ термометръ изъ снѣга и погружаютъ его въ жестяной сосудъ MNL (фиг. 252), оканчивающійся на верху жестяною трубкою KL, въ которой виситъ термометръ BA. Въ сосудъ до MN находится вода, которую кипятятъ посредствомъ лампы C; пары поднимающіеся изъ воды выходятъ черезъ

трубку F. Когда вода совершенно кипитъ, то термометръ съ своимъ шарикомъ и всею трубкою находится въ парахъ кипящей воды и тогда оказывается, что ртуть термометра поднявшись до извѣстной высоты остается на ней неподвижно. Эту высоту ртути термометра опять означаютъ чертою на шкалѣ; такимъ образомъ получаютъ на ней двѣ черты, отстоящія одна отъ другой на извѣстное пространство. Эти черты называются *постоянными точками* термометра, потому что, гдѣ бы ихъ не опредѣляли описаннымъ образомъ, вездѣ соотвѣтствуютъ имъ одинаковыя температуры, именно температура *тающаго льда или замерзанія* и температура *кипѣнія воды*. Очевидно, что когда отношеніе діаметра шара къ діаметру трубки измѣняется, то измѣняется и разстояніе между этими точками; оно будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше отношеніе діаметра шарика къ діаметру трубки. Это разстояніе между постоянными точками раздѣляютъ на опредѣленное число равныхъ частей, называемыхъ *градусами термометра*, у насъ напр. на 80, во Франціи на 100. При температурѣ тающаго льда ставятъ 0, при температурѣ кипящей воды у насъ 80, во Франціи 100. Употребительное у насъ дѣленіе называется Реомюровымъ, а другое Цельзіевымъ, по именамъ Физиковъ, употребившихъ оныя въ первый разъ. Наконецъ въ Англіи употребительно еще дѣленіе — Фаренгейтово, гдѣ разстояніе между двумя постоянными точками раздѣлено на 180 частей, но при точкѣ замерзанія поставлено 32, а при точкѣ кипѣнія воды 212. Ниже точки замерзанія продолжаютъ подобныя дѣленія до самаго шарика, также и выше точки кипѣнія. Въ термометрахъ Реомюровомъ и Цельзіевомъ ниже 0 дѣленія считаются опять также какъ и вверху, но только эти градусы означаются знакомъ —, между тѣмъ, какъ выше точки замерзанія они означаются знакомъ +. Въ Фаренгейтовомъ дѣленіи градусы отъ 32

уменьшаются до 0, а потомъ уже начинаются отрицательные знаки. Слѣд. здѣсь ниже точки замерзанія, находятся еще 32 положительные градуса. Далѣе точки кипѣнія считаются въ Реомюровомъ $81^0, 82^0$ и проч. Въ фиг. 253 видны всѣ три шкалы одна подлѣ другой.

Такимъ образомъ два термометра напр. раздѣленные по Реомюру, могутъ быть точно сравнены между собою, гдѣбы они ни были приготовлены. Если напр. нашъ термометръ показываетъ 20^0, а другой на другомъ мѣстѣ тоже 20^0, то мы знаемъ, что оба находятся въ одной и той-же температурѣ, не смотря на то, что градусы ихъ по величинѣ различны по причинѣ различнаго отношенія діаметра трубокъ къ діаметру шариковъ.

Если мы наблюдаемъ по термометру Реомюра, а другой наблюдатель по термометрамъ Цельзія или Фаренгейта, то весьма простое вычисленіе показываетъ, какимъ образимъ температуру тѣхъ термометровъ отнести къ температурѣ нашего. Для сравненія Реомюрова термометра съ Цельзіевымъ припомнимъ, что одно и тоже измѣненіе температуры отъ точки замерзанія до точки кипѣнія раздѣлено у Реомюра на 80, а у Цельзія на 100 частей, слѣд. одно дѣленіе Цезьзія равно $\frac{8}{10}$ Реомюра; чѣмъ меньше дѣленіе, тѣмъ больнее число ихъ содержится въ одномъ и томъ же измѣненіи температуры, слѣд. если *Реомюръ* означаемъ чрезъ R, *Цельзій* чрезъ C, то будетъ:

$$n^0\,\mathrm{R} = \frac{10 . n^0}{8}\,\mathrm{C}.$$

напр. $$24^0\,\mathrm{R} = \frac{10 . 24}{8}\,\mathrm{C} = 30^0\,\mathrm{C}.$$

и $$n^0\,\mathrm{C} = \frac{8 . n^0}{10}\,\mathrm{R}.$$

напр. $$24^0\,\mathrm{C} = \frac{8 . 24}{10}\,\mathrm{R} = 19^0{,}2\,\mathrm{R}.$$

У Фаренгейта (F) тоже самое пространство раздѣлено на 180, которое у Реомюра на 80, а у Цельзія на 100 частей; слѣд. 1^0 Фаренгейта $= {}^4/_9$ R и $^5/_9$ Цельзія. Но кромѣ того числа Фаренгейтова дѣленія увеличены на 32, ибо это число соотвѣтствуетъ 0 другихъ термометровъ. Слѣд. мы будемъ имѣть:

$n^0 F = \left(4\frac{(n-32)}{9}\right)^0 R = \left(5\frac{(n-32)}{9}\right)^0 C$. напр. $67^0 F = 15^0,5 R = 19^0,4 C$

$n^0 R = \left(32 + \frac{9}{4} n\right)^0 F$ напр. $20^0 R = 77^0 F$.

$n^0 C = \left(32 + \frac{9n}{5}\right)^0 F$ напр. $20^0 C = 68^0 F$.

Такимъ образомъ устроены ртутные термометры для того, чтобы они давали результаты, которые могутъ быть между собою сравниваемы. Но чтобъ показанія термометровъ были совершенно вѣрны, нужно принимать въ разсужденіе еще нѣкоторыя обстоятельства. Хотя точка таянія снѣга или точка замерзанія соотвѣтствуетъ совершенно постоянной температурѣ, но о точкѣ кипѣнія воды нельзя сказать этого. Вода кипитъ тѣмъ легче, чѣмъ меньше воздушное давленіе на ея поверхность; слѣд. точка кипѣнія воды должна соотвѣтствовать тѣмъ высшей температурѣ, чѣмъ больше въ это время высота барометра, по сему для полученія опредѣленной температуры нужно находить точку кипѣнія при опредѣленной, впрочемъ произвольной, высотѣ барометра. Французы принимаютъ за эту высоту 760 миллим., Англичане какъ и мы обыкновенно 30 дюймовъ, которая длина почти равна 762^{mm}; слѣд. въ этомъ случаѣ приготовленный у насъ термометръ даетъ температуру нѣсколько меньшую, нежели Французской термометръ, однако разность эта такъ незначительна, что ее можно обыкновенно пренебрегать. Именно точка кипѣнія въ Реомюровомъ термометрѣ измѣняется на $0,028^0$, когда высота барометра измѣняется на 1^{mm}, такъ что разность 2^{mm} даетъ разность тер-

момстровъ только на $^1/_{20}{}^0$ при самой точкѣ кипѣнія и слѣд. еще менѣе при другихъ температурахъ обыкновенно наблюдаемыхъ. Если при приготовленіи термометра барометръ стоитъ не при нормальной высотѣ, то можно посредствомъ вычисленія изъ наблюдаемой высоты найти настоящую точку кипѣнія и такимъ образомъ повѣрить свой термометръ.

Другое обстоятельство, имѣющее вліяніе на вѣрность термометра, есть видъ тонкой трубки. Если она не совершенно цилиндрическая, по напр. внизу уже, нежели вверху, то при одномъ и томъ же расширеніи ртуть поднимается выше въ нижнихъ частяхъ трубки, нежели въ верхнихъ. Слѣд. вверху градусы должны быть сдѣланы меньше нежели внизу, для того чтобъ равнымъ расширеніямъ соотвѣтствовало равное число градусовъ. По этому лучше прежде, нежели трубка употреблена будетъ на термометръ, повѣрить цилиндрическій видъ ея, вводя въ нее каплю ртути, которая принимаетъ видъ столбика и измѣряя длину его въ различныхъ мѣстахъ трубки; если столбикъ вездѣ имѣетъ одинаковую длину, то трубка вездѣ имѣетъ одинаковую ширину; еслиже не вездѣ длина его одинакова, то тамъ гдѣ столбикъ длиннѣе, трубка уже. Такимъ образомъ можно выбирать для себя хорошую трубку. Впрочемъ есть средство испрапить недостатокъ несовершенно цилиндрической трубки и тогда, когда термометръ уже приготовленъ.

§ 200.

Если одинъ термометръ наполнимъ водою, другой винымъ спиртомъ, третій масломъ и пр., потомъ опредѣлимъ на каждомъ изъ нихъ точку замерзанія воды и еще другую точку напр. 40^0, по сравненіи съ ртутнымъ термометромъ, потомъ раздѣлимъ пространство между сими точками на 40^0 и станемъ подвергать всѣ три термометра, различ-

ными температурами, то найдемъ, что они ни при какой другой температурѣ не будутъ согласоваться. Изъ этого слѣдуетъ, что жидкости расширяются не пропорціонально увеличенію тепла. Если тотъ же опытъ сдѣлаемъ съ газами въ приборѣ, подобномъ описанному выше въ § 198, то найдемъ что газообразныя тѣла расширяются одинаково, какъ бы они различны ни были по химическимъ составнымъ частямъ своимъ. Такъ напр. водородъ, который въ 14 разъ легче воздуха, расширяется совершенно также, какъ воздухъ и также какъ углекислота, еще тяжелѣйшая всздуха. Изъ этого заключаемъ, что расширеніе газовъ есть дѣйствіе одной теплоты и не зависитъ отъ природы вещественныхъ частицъ, какъ это замѣчается въ жидкихъ и твердыхъ тѣлахъ. По этому воздушный термометръ собственно есть истинная мѣра теплоты. Однако найдено, что ртутные термометры между постоянными точками, и даже ниже 0 до — 20°, также показываютъ температуру какъ и воздушные и только при температурахъ высшихъ точки кипѣнія расширеніе ртути становится больше нежели прежде; слѣд. между предѣлами —20° и 80° и ртутные термометры можно считать за совершенные. Основываясь на этомъ можно наблюдаемые градусы другаго термометра, напр. термометра изъ алькоголя, привести къ истиннымъ, сравнивая ихъ съ ртутнымъ при различныхъ температурахъ и такимъ образомъ получить исправленный спиртовой термометръ. Это важно въ тѣхъ случаяхъ, когда термометръ подвергается весьма низкимъ температурамъ, потому что ртуть при — 32° R замерзаетъ, и отъ этого ртутный термометръ дѣлается неспособнымъ къ употребленію. Но до сихъ поръ еще незамѣчено чтобъ чистый алькооль замерзалъ.

Для опредѣленія температуръ высшихъ точки кипѣнія также служитъ ртутный термометръ, только съ поправкою, потому что расширеніе ртути за этимъ предѣломъ больше нежели было прежде; но выше 250° и этотъ

термометръ не годится потому, что здѣсь ртуть приближается къ точкѣ своего кипѣнія, которая соотвѣтствуетъ 288°. Для температуръ еще высшихъ употребляется лучше всего воздушный термометръ, въ которомъ шарикъ сдѣланъ изъ платины для того, чтобъ онъ могъ противиться высшимъ температурамъ. Для этихъ случаевъ употребляются также термометры основывающіеся на расширеніи платиновыхъ прутовъ. Прежде преимущественно употребляли термометры другаго рода, которые по имени изобретателя названы Веджвудовыми, основывающіеся на свойствѣ нѣкоторыхъ родовъ глины сжиматься въ сильномъ жару отъ начала плавленія; изъ мѣры сжатія заключали о степени жара, которому подвержена была глина; но въ новѣйшія времена узнали не точность показаній этого прибора. Термометры, употребляемые для температуръ превышающихъ точку кипѣнія ртути, называются *пирометрами*.

Наконецъ въ тѣхъ опытахъ, гдѣ требуется сравнить между собою двѣ температуры мало разнящіяся, употребляется такъ называемый *дифференціальный термометръ*. Онъ состоитъ изъ двухъ полыхъ стеклянныхъ шариковъ A и B (фиг. 254), соединенныхъ изогнутою стеклянною трубкою CD. Весь приборъ наполненъ воздухомъ, только въ *m* находится капля окрашенной краснымъ цвѣтомъ сѣрной кислоты, которая раздѣляетъ воздухъ на двѣ половины. Если температура обоихъ шариковъ одинакова, то капля находится по срединѣ горизонтальной трубки CD, гдѣ на прикрѣпленной шкалѣ стоитъ 0; если же одинъ изъ нихъ напр. A будетъ теплѣе, то капля подвинется къ B и по причинѣ большой расширяемости воздуха происходитъ значительное движеніе капли отъ малѣйшей разности между температурами шариковъ A и B. Дабы источникъ теплоты, дѣйствующій на A не имѣлъ вліянія на B, между обоими шариками ставится экранъ MN. Если эи-

мою поставить такой термометръ съ экраномъ, такъ чтобы шарикъ A обращенъ былъ къ окошку, а другой B во внутренность комнаты, то движеніе къ A тотчасъ покажетъ охлаждающее вліяніе холодной стѣны комнаты.

§ 201.

Узнавши какъ измѣряется температура, займемся опредѣленіемъ расширенія различныхъ тѣлъ для извѣстнаго повышенія температуры, напр. отъ 0^0 до 80^0 R, т. е. между постоянными точками термометра. Для этого нужно прежде знать различіе между *расширеніемъ линѣйнымъ* и *кубическимъ*. Если на концахъ металлическаго прута сдѣлаемъ двѣ черты, которыхъ разстояніе измѣрено въ то время, когда прутъ находился при температурѣ 0^0, потомъ положимъ его въ кипящую воду и тогда опредѣлимъ длину его при 80^0, то найдемъ, что длина его (которую мы выразимъ въ дюймахъ) увеличилась разностію обѣихъ длинъ; эту разность означимъ чрезъ D. И такъ *линѣйное расширеніе* прута или расширеніе въ одномъ измѣреніи между постоянными точками, будетъ D. Если длину прута при 0 означимъ чрезъ L дюймовъ, то L дюймовъ расширилось на D дюймовъ; отсюда находимъ, что каждый дюймъ его расширился на $\frac{D}{L}$. Если такимъ образомъ мы знаемъ расширеніе каждаго дюйма (или вообще при другой мѣрѣ, расширеніе единицы ея), то для каждой длины прута при 0^0, сдѣланнаго изъ тогоже металла, мы можемъ найти длину ея при температурѣ точки кипѣнія, умножая расширеніе одного дюйма на длину прута, и прикладывая эту величину къ длинѣ прута при 0. Найдено, что линейное расширеніе металловъ отъ 0 до 10^0 равно расширенію отъ $40^0 — 50^0$, отъ $70^0 — 80^0$; слѣд. изъ расширенія между постоянными точками мы найдемъ расширеніе для 1^0, раздѣляя первое на 80. Если найден-

ную такимъ образомъ величину назовемъ Δ, длину прута при 0 означимъ черезъ L, то эта длина для n^0-ии L_n будетъ: $$L_n = L\,(1 + \Delta n).$$

Такъ напр. для желѣза расширеніе между 0 и 80 равно $\frac{1}{860}$, слѣд. $\Delta = \frac{1}{68800}$. Если желѣзная дорога имѣющая въ длину 25 верстъ, сдѣлана при температурѣ 0, такъ чтобы одинъ рельсъ плотно касался къ другому и если потомъ она будетъ подвержена температурѣ 20^0, то длина ея дороги сдѣлалась бы больше на $\frac{25\,20}{68800}$ версть, т. е. на 26 футовъ. Дабы избѣжать этого измѣненія длины дороги, рельсы кладутъ такъ, что они не плотно касаются другъ друга, но между ними находится весьма малое пространство, въ которомъ каждый рельсъ можетъ расширяться отдѣльно.

Теперь ежели въ прутъ каждая единица длины расширяется для одного градуса на Δ, то каждая единица ширины и толщины расширится на столько же. Если объемъ прута при 0 означимъ чрезъ V, то при другомъ градусѣ n^0 онъ сдѣлается другимъ, который мы означимъ чрезъ V_n. Измѣненіе объема $V_n - V$ называется *кубическимъ расширеніемъ*. Ибо какъ прутъ при обѣихъ температурахъ сохраняетъ одинъ и тотъ же видъ, то объемы ихъ, по правиламъ стереометріи, будутъ содержаться какъ кубы линѣйныхъ мѣръ, слѣд. если линѣйная единица отъ увеличенія температуры на n^0 перемѣнилась въ $1 + \Delta n$ то для объемовъ мы получаемъ пропорцію:
$$V : V_n = 1^3 : (1 + \Delta n)^3 = 1 : 1 + 3\Delta n + 3\Delta^2 n^2 + \Delta^3 n^3.$$

Такъ какъ Δ всегда есть весьма малая дробь для твердыхъ тѣлъ (для цинка, который изъ твердыхъ тѣлъ расширяется больше всѣхъ, $\Delta = \frac{1}{27040}$) то и Δn остается весьма малымъ, квадраты же и кубы этой величи-

ны будутъ такъ малы, что они совершенно могутъ быть пренебрежены; слѣд. вмѣсто $1 + 3\Delta n + 3\Delta^2 n^2 + \Delta^3 n^3$ мы получимъ просто:

$$V_n = V(1 + 3\Delta n).$$

Такъ что коэффиціентъ для кубическаго расширенія получается изъ линейнаго Δ, если послѣднее умножимъ на 3.

Въ жидкихъ и газообразныхъ тѣлахъ всегда уже при самомъ опытѣ опредѣляется кубическое расширеніе.

§ 202.

Къ твердымъ тѣламъ, расширяющимся больше всѣхъ отъ нагрѣванія, принадлежатъ металлы, но и здѣсь расширеніе весьма различно для различныхъ металловъ. Между постоянными точками линейное расширеніе:

для серебра	$= \frac{1}{526}$	для платины	$= \frac{1}{1016}$
— золота	$= \frac{1}{653}$	— латуни	$= \frac{1}{529}$
— цинка	$= \frac{1}{338}$	— стекла	$= \frac{1}{1111}$
— желѣза	$= \frac{1}{860}$	— льда	$= \frac{1}{408}$
— стали	$= \frac{1}{769}$	— сосн. дер.	$= \frac{1}{1661}$

На этомъ основывается устройство такъ называемыхъ металлическихъ термометровъ, изъ которыхъ извѣстнѣйшій есть термометръ Бреге́та. Онъ состоитъ изъ спирали AB (фиг. 255), сдѣланной изъ тонкой металлической пластинки наматанной на цилиндръ, который послѣ вынимается изъ спирали, когда она имѣетъ надлежащій видъ. Металлическая же пластинка во всей длинѣ своей состоитъ изъ трехъ спаянныхъ вмѣстѣ пластинокъ: серебряной, золотой и платиновой, изъ которыхъ серебряная находится снаружи, платиновая внутри, а золотая между обѣими. Кон-

цемъ A привѣшивается спираль въ вертикальномъ положеніи. Когда она нагрѣвается, то всѣ 5 пластинки расширяются въ длину, но серебряная больше, платиновая меньше всѣхъ, а золотая меньше серебрянной, но больше платиновой. Отъ этого форма спирали необходимо должна измѣниться, и именно она должна болѣе закрутиться нежели прежде, такъ что, если на конецъ B укрѣплена стрѣлка BC, то она отъ C подвинется къ D. Если напротивъ спираль сдѣлается холоднѣе, то внѣшняя серебряная пластинка сожмется болѣе, нежели внутренняя платиновая, спираль раскроется больше и стрѣлка подвинется къ E. Если подвергнемъ этотъ приборъ какой нибудь температурѣ напр. —10° R, которую мы измѣряемъ ртутнымъ термометромъ, а потомъ температурѣ + 10° и означимъ положеніе стрѣлки при обѣихъ температурахъ на градусной дугѣ, находящейся подъ стрѣлкою, раздѣлимъ пространство между этими положеніями на 30 равныхъ частей, то каждая изъ этихъ частей будетъ соотвѣтствовать одному градусу Реомюра; эти градусы мы можемъ по обѣ стороны продолжать сколько угодно. Приборъ покрывается стекляннымъ колпакомъ для того чтобы, когда онъ не употребляется, предохранить его отъ толчковъ и сильныхъ движеній воздуха; при употребленіи же прибора колоколъ снимается. Этотъ термометръ отличается своею чувствительностію, потому что тонкія металлическія пластинки весьма легко принимаютъ температуру окружающей средины. На искривленіи пластинки, составленной изъ двухъ различныхъ металлическихъ пластинокъ, при измѣненіи температуры основываются еще другіе термометры, имѣющіе форму карманныхъ часовъ, но которые мы здѣсь не будемъ описывать подробно, потому что они рѣдко употребляются и основываясь на предъидущемъ устройствѣ ихъ легко понять при одномъ взглядѣ.

Другое приложеніе различной расширяемости металловъ есть *уравнительный маятникъ*. Мы видѣли, § 71, что маятникъ во стѣнныхъ часахъ колеблется тѣмъ медленнѣе, чѣмъ онъ длиннѣе; но такъ какъ отъ теплоты онъ дѣлается длиннѣе, то при высшихъ температурахъ онъ будетъ колебаться медленнѣе, нежели при низшихъ и слѣд. часы будутъ итти медленнѣе. Это находятъ въ самомъ дѣлѣ въ обыкновенныхъ часахъ. Если нужно имѣть весьма точные часы, какъ напр. при астрономическихъ наблюденіяхъ, то надлежитъ стараться устранить сей недостатокъ, и это производится слѣдующимъ образомъ. Пусть A (фиг. 256) будетъ точка привѣса маятника, AM часть стержня маятника, которая предположимъ сдѣлана изъ стали; она прикрѣплена къ поперечной перекладинѣ CC′, отъ которой нисходятъ стальные пруты CD, C′D′, и лежатъ концами на поперечной перекладинѣ DD′. На DD′ стоятъ два цинковые прута FG и F′G′, соединенные вверьху поперечною перекладиною GG′. Отъ средины ея идетъ внизъ стальной прутъ HB и на немъ виситъ чечевица маятника, которой центръ B всегда долженъ отставаться отъ A въ одинаковомъ разстояніи, для того чтобы маятникъ всегда колебался равномѣрно. Когда температура увеличивается напр. на n^0, то отъ расширенія стальныхъ прутовъ $AM + CD + HB$, центръ B долженъ понизиться и именно, если расширеніе стали для одного люйма на 1^0 означимъ чрезъ δ, на $(AM + CD + HB)\,\delta n$; напротивъ B приблизится къ A, если цинковый прутъ FG расширяется; слѣд. отъ повышенія температуры на n^0 B приблизится къ A на $FG.\,\Delta n$, когда расширеніе цинка для 1^0 означимъ чрезъ Δ. И такъ если B не должно ни приблизиться къ A, ни отдалиться отъ него, то должно быть (означивъ длину всѣхъ стальныхъ прутьевъ, т. е. $AM + CD + HB$, черезъ S, а длину цинковаго прута черезъ Z):

$$S\delta n = Z\Delta n$$

или $S) = Z_{\Delta}$.

т. е. для того, чтобы было совершенное вознаграждение, длина стальныхъ прутьевъ должна относиться къ длинѣ цинковаго прута, какъ расширеніе цинка относится къ расширенію стали. Изъ фигуры очевидно, что стальные пруты длиннѣе цинковыхъ болѣе нежели въ 2 раза, посему и расширеніе цинка должно быть сильнѣе расширенія стали больше, нежели въ 2 раза, иначе вознагражденіе не возможно. Въ самомъ дѣлѣ расширеніе стали относится къ расширенію цинка какъ 769:338.

Такимъ образомъ нельзя произвести вознагражденія стальнаго прута посредствомъ латуни, вмѣсто цинка, потому что расширеніе латуни къ расширенію стали относится какъ 769:529. Но если устроить маятникъ такъ какъ въ фиг. 259, гдѣ 1,1 и проч. суть стальные пруты, а пруты 2,2 изъ латуни, то можно произвести вознагражденіе, потому что сумма длинъ стальныхъ прутовъ относится къ длинѣ прутовъ изъ латуни почти какъ 3: 2.

Въ карманныхъ часахъ вмѣсто маятника дѣйствуетъ пружина AB (фиг. 258), которая распускается и опять заводится; черезъ это приводится въ движеніе взадъ и впередъ мѣдное кольцо MN, также называемое маятникомъ. Если пружина сдѣлается теплѣе, то упругость стали ослабѣетъ, слѣд. маятникъ будетъ итти медленнѣе въ теплѣ, нежели въ холодѣ. Для того, чтобы произвести вознагражденіе, на кольцѣ прикрѣпляются 2 дугообразныя пластинки MK и NL, которыя какъ въ Брегетовомъ термометрѣ состоятъ изъ 2 металловъ напр. серебра и платины, такъ что серебро находится снаружи, а платина внутри. На концѣ ихъ находятся маленькія тяжести K и L. Если сдѣлается теплѣе, то пластинки болѣе скривятся и тяжести K и L болѣе приблизятся къ кольцу MN, такъ что ослабѣвающая пружина можетъ легче колебаться туда и сюда; если температура сдѣлается

меньше, то дугообразныя пластинки меньше скрив-ятся, отъ этого тяжести K и L отдалятся отъ центра B, и пружина сдѣлавшаяся упруже съ большимъ трудомъ будетъ приводить въ движеніе кольцо; такимъ образомъ послѣ нѣсколькихъ попытокъ, перемѣщая тяжести на дугообразныхъ пластинкахъ, можно достигнуть до совершеннаго вознагражденія. Хорошіе часы съ компенсаціею такого рода называются *хронометромъ*. Теперь приготовляютъ хронометры, которые идутъ также хорошо, какъ стѣнные часы съ уравнительнымъ маятникомъ, такъ что они въ своемъ ходѣ отъ однихъ сутокъ до другихъ разнятся только дробью секунды.

§ 203.

Расширеніе жидкостей опредѣляется такъ какъ мы видѣли это въ началѣ. Для этого дѣлаютъ большіе термометры, которые наполняются испытуемою жидкостію послѣ того, какъ емкость шара, до означенной на трубкѣ точки, будетъ опредѣлена въ отношеніи къ извѣстной длинѣ трубки. Это опредѣленіе дѣлается такъ, что прежде наполняютъ шаръ ртутью до означенной точки; количество ртути, нужное для этого, взвѣшиваютъ и потомъ также находятъ, какое количество ртути наполняетъ трубку до извѣстной высоты; отношеніе вѣса обоихъ количествъ очевидно даетъ отношеніе емкостей частей прибора, въ которыхъ заключается ртуть. Послѣ этого раздѣляютъ трубку на опредѣленныя кратныя части шарика, погружаютъ термометръ въ воду различной температуры, которую опредѣляютъ посредствомъ хорошаго ртутнаго термометра и такимъ образомъ опредѣляютъ расширеніе.

Другое средство опредѣлять расширеніе жидкостей отъ теплоты, есть гидростатическое взвѣшиваніе одного и того же тѣла въ жидкости при различныхъ температурахъ, какъ мы прежде видѣли (§ 93). Тамъ мы упомянули также,

что вода показываетъ замѣчательное исключеніе изъ всѣхъ жидкостей, состоящее въ томъ, что она имѣетъ наибольшую плотность при $3^0,2$, слѣд. отъ этой температуры до 0^0 она не сжимается, какъ другія жидкія тѣла, но опять расширяется пока наконецъ при 0^0 замерзаетъ. Это объясняютъ тѣмъ, что въ водѣ при $3^0,2$ уже начинаютъ образоваться ледяныя иголки, хотя это для глаза не замѣтно, и тогда въ самомъ дѣлѣ она должна расширяться отъ того, что ледъ значительно легче воды. Какъ бы то ни было, однако это обстоятельство имѣетъ весьма существенное вліяніе на многія явленія природы. Такъ въ этомъ мы находимъ причину, почему наши озера во время зимы не до самаго дна замерзаютъ, но покрываются, въ сравненіи съ ихъ глубиною, только тонкимъ слоемъ льда. Въ самомъ дѣлѣ предположимъ, что у насъ зимою морозъ въ -10^0 продолжается нѣсколько дней сряду, что у насъ не рѣдко имѣетъ мѣсто. Верхнія части озера первыя охлаждаются, отъ этого онѣ сдѣлаются холоднѣе, слѣд. относительно тяжелѣе, нежели нижайшія, и понизятся; новыя частицы теплѣйшія придутъ въ прикосновеніе съ воздухомъ, охладятся и понизятся опять; все это продолжается такимъ образомъ до того, что вся масса воды приметъ температуру $+ 3^0,2$. Съ этого мгновенія частицы холоднѣйшія, находящіяся на поверхности не могутъ болѣе опускаться внизъ, потому что онѣ легче теплѣйшихъ частицъ, находящихся подъ ними, слѣд. онѣ остаются на своемъ мѣстѣ и холодъ можетъ проникнуть въ глубину отъ того только, что онъ распространяется отъ одного слоя до другаго, что какъ мы увидимъ, совершается очень медленно. Такимъ образомъ замерзаютъ верхнія частицы, между тѣмъ какъ находящіяся на днѣ удерживаютъ свою температуру $+ 3^0,2$.

Расширеніе другихъ жидкостей не представляетъ столь большой неправильности, какую мы сейчасъ видѣли въ водѣ; однако не далеко отъ точки ихъ замерзанія и прочія

жидкости расширяются неправильно. Впрочемъ расширеніе жидкостей, какъ уже замѣчено, весьма различно; для воды отъ $+3^0,2$ до 80^0 оно равно $= \frac{1}{22}$, для винаго спирта отъ 0 до $80^0 = \frac{1}{9}$, для масла $= \frac{1}{13}$, для ртути $= \frac{1}{55,5}$ или для $1^0 = \frac{1}{4440}$

Расширеніе газообразныхъ жидкостей опредѣляется также какъ и расширеніе капельныхъ, какъ уже было сказано (§ 198). Оно сильнѣе расширенія другихъ тѣлъ, для всѣхъ газовъ одинаково и когда температура измѣняется отъ 0^0 до 80^0, это расширеніе равно почти $\frac{1}{3}$ ихъ объема при 0^0.

§ 204.

На расширеніи газовъ основывается топка нашихъ печей и каминовъ. Пусть AB представляетъ горнъ печи, гдѣ горятъ дрова или угли (фиг. 260), BC трубу, чрезъ которую выходитъ дымъ, DF дверцы. Труба BC находится во внутренности дома, слѣд. она теплѣе внѣшняго воздуха. Если вообразимъ себѣ столбъ внѣшняго воздуха MN равной высоты съ столбомъ воздуха въ трубѣ, то между обоими столбами, сообщающими другъ другу давленіе свое сквозь находящійся между ними воздухъ, не можетъ существовать равновѣсія, потому что легчайшій воздухъ въ BC вѣситъ менѣе, нежели MN; слѣд. BC будетъ подниматься, и воздухъ черезъ дверцы FD будетъ входить въ печь, какъ показываетъ стрѣлка. Отъ горящихъ въ печкѣ дровъ дымъ будетъ слѣдовать за теченіемъ воздуха и подниматься въ дымовую трубу, въ которой воздухъ еще болѣе нагрѣвается и въ слѣдствіе этого теченіе еще болѣе увеличивается. Съ другой стороны свѣжій воздухъ столба MN, притекающій въ печку приноситъ дровамъ новый кислородъ и способствуетъ горѣнію, такъ

что та же самая причина, отъ которой выходитъ дымъ, поддерживаетъ вмѣстѣ и горѣніе. Еслибы каналъ трубы (фиг. 260) восходилъ не прямо, но сперва изогнулся бы внизъ и потомъ опять вверхъ, какъ CKL, то столбы теплаго воздуха въ CB и CK уравновѣшивались бы взаимно. Напротивъ между MN и KL было бы тоже, что прежде между MN и CK, такъ что теченіе воздуха всегда имѣло бы мѣсто, но оно сдѣлалось бы менѣе быстро отъ того, что воздухъ проходя теперь чрезъ длиннѣйшій каналъ, теряетъ часть скорости отъ трепія и отъ измѣненія направленія въ обоихъ изгибахъ въ C и K, которое не можетъ совершаться безъ ударенія воздушныхъ частицъ въ стѣнки изгибовъ. По этому, хотя многократными изгибами дымопроводнаго канала умньшается скорость теченія воздуха, однако сіа всегда будетъ имѣть мѣсто *если только конецъ* L *теплѣйшаго канала будетъ находиться выше дверецъ* F, *а скорость его будетъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше изгибовъ въ каналахъ и чѣмъ выше нагрѣтой воздушный столбъ.* Для этого употребляютъ высокія трубы на фабрикахъ и заводахъ, въ которыхъ требуется большій жаръ, слѣд. усиленное горѣніе, зависящее отъ быстраго теченія воздуха въ печахъ.

Въ каминахъ прямой каналъ DC обыкновенно проводится въ трубу, отъ этого теченія бываетъ быстро и выходящій изъ трубы воздухъ весьма теплъ, такъ что чрезъ это теряется большое количество теплоты. Дабы сколько возможно болѣе удержать въ комнатѣ теплоту воздуха выходящаго изъ горла печи, наши печи, назначенныя для отопленія покоевъ, имѣютъ внутри много дымопроводныхъ каналовъ или много изогнутыхъ трубъ какъ BCK; отъ такого устройства теплый воздухъ во время прохожденія чрезъ каналы отдастъ большую часть своей теплоты стѣнкамъ ихъ; чрезъ это вся масса печи нагрѣвается, и сія теплота мало по малу сообщается по-

комъ. Изъ предъидущаго видно, что во время топки печей, когда труба еще не закрыта вьюшкою, большая часть воздуха выходитъ изъ комнаты чрезъ печь и трубу: онъ замѣняется внѣшнимъ воздухомъ, который находится въ сообщеніи съ воздухомъ комнаты чрезъ многія маленькія отверстія, находящіяся въ окнахъ и въ дверяхъ. И такъ отопленіе нашихъ печей вмѣстѣ и есть весьма дѣйствительное средство возобновлять испорченный въ покояхъ воздухъ и по этому оно теперь всегда устроивается такъ, что печки отопляются внутри комнатъ; онѣ служатъ въ этомъ случаѣ хорошими *вентиляторами*.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

О ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТѢЛЪ.

§ 205.

Етли какую нибудь металлическую вещь, напр. серебряную ложку или проволоку будемъ держать однимъ концемъ въ пламени, то замѣтимъ, что другой конецъ, который держимъ въ рукахъ, также нагрѣвается мало по малу, пока наконецъ онъ сдѣлается такъ горячимъ, что рука неможетъ этого жару переносить. И такъ теплота распространяется черезъ внутренность металла отъ одного конца до другаго, или *проводится* металломъ; это свойство называется *теплопроводностію* тѣлъ. Если тотъ же опытъ сдѣлаемъ съ платиновою проволокою, то найдемъ, что другой конецъ ея нагрѣвается гораздо медленнѣе, въ случаѣ стеклянной палочки еще медленнѣе. Слѣд. не всѣ тѣла одинаково хорошо проводятъ теплоту; лучше всѣхъ проводятъ металлы, хуже стекло, камни, дерево и

проч. По этому металлы называются *хорошими* проводниками теплоты: а дерево, стекло, камни *худыми*. Къ худымъ проводникамъ принадлежатъ тѣла, состоящія изъ многихъ слоевъ различныхъ тѣлъ, какъ напр. шерсть, мѣхъ, солома и проч; въ послѣдней напр. теплота выходя изъ соломенки входитъ въ слой водуха, отсюда опять въ другую соломенку и т. д. Жидкія тѣла, какъ капельныя такъ и упругія, очень худо проводятъ теплоту, въ чемъ можемъ удостовѣриться, если на воду нальемъ сѣрный эфиръ, какъ извѣстно весьма горючее тѣло, такъ чтобъ обѣ жидкости были отдѣлены одна отъ другой и легчайшій эфиръ плавалъ на тяжелѣйшей водѣ, и потомъ зажжемъ эфиръ. Если въ водѣ внизу будетъ находиться термометръ, то мы увидимъ, что не смотря на жаръ пламени на поверхности, ртуть въ немъ будетъ подниматься весьма мало и поднялась бы еще меньше, если бы стѣнки сосуда не проводили теплоты. Эта худая теплопроводность воды есть причина того, по чему вода озеръ охладившись до $3^{0},2$, такъ медленно теряетъ свою теплоту черезъ поверхность, не смотря на морозъ часто очень сильный. Если же воду подогрѣвать снизу, то можно скоро даже вскипятить ее, какъ мы это видимъ ежедневно въ нашихъ кухняхъ; но это происходитъ отъ того, что частицы, находящіяся на днѣ нагрѣваемаго сосуда дѣлаясь отъ нагѣванія легче, поднимаются вверхъ и уступаютъ мѣсто другимъ холодиѣйшимъ частицамъ; эти послѣднія также нагрѣваются на днѣ и поднимаются вверхъ, а такимъ образомъ мало по малу всѣ водяныя частицы приходятъ въ прикосновеніе съ дномъ нагрѣваемымъ непосредственно пламенемъ и пріобрѣтаютъ высщую температуру. Восхожденіе нагрѣтыхъ и нисхожденіе холодныхъ частицъ можно видѣть ясно, если вода нагрѣвается въ стеклянномъ сосудѣ.

Если какое нибудь тѣло покроемъ худымъ проводникомъ и потомъ поставимъ его въ воздухъ болѣе холодный

или болѣе теплый, то тѣло тѣмъ медленнѣе приметъ температуру окружающаго воздуха, чѣмъ хуже проводникъ покрывающій его; такимъ образомъ во время холодной зимы при переноскѣ вещей, которыя терпятъ отъ холода, можно предохранять ихъ на нѣкоторое время отъ холоду посредствомъ худыхъ проводниковъ. Впрочемъ и худой проводникъ,который очень долго, напр. нѣсколько дней, находится въ срединѣ, имѣющей высшую температуру, наконецъ принимаетъ эту послѣднюю, потому что теплота хотя медленно, но все таки переходитъ изъ теплыхъ тѣлъ въ холодныя. По этому тщетно было бы стараться удержать топлоту въ нашихъ покояхъ во время продолжительной зимы, окружая ихъ только худыми проводниками.

Но совсѣмъ другое бываетъ, если тѣло имѣетъ въ самомъ себѣ источникъ теплоты, какъ напр. человѣческое тѣло. Въ немъ теплота освобождается безпрестанно жизненнымъ процессомъ и преимущественно дыханіемъ; она сообщается всему тѣлу и распростаняется до поверхности. Кожа находясь въ прикосновеніи съ воздухомъ, который обыкновенно холоднѣе ея, отдаетъ ему свою теплоту; и такъ внутри мы имѣемъ постоянный прибытокъ, а на поверхности тѣла постоянную потерю теплоты, и между обоими ими должно быть извѣстное равновѣсіе для того, чтобы мы чувствовали себя хорошо. Если прибытокъ теплоты сильнѣе, между тѣмъ какъ потеря остается одинаковою, то мы чувствуемъ жаръ: это бываетъ напр. тогда, когда мы быстрымъ движеніемъ и въ слѣдствіе того скорѣйшимъ дыханіемъ, усиливаемъ теплоту. Если бы напротивъ потеря сдѣлалась сильнѣе обыкновенной, и прибытокъ теплоты оставался бы постояннымъ, то мы ощущали бы холодъ; отъ этого зависитъ, что когда мы изъ воздуха погружаемся въ воду, имѣющую туже самую температуру, то мы чувствуемъ холодъ, между тѣмъ, какъ термометръ въ обоихъ показываетъ одинаковую температуру.

Вода плотнѣе воздуха, слѣд. она прикасается къ нашей кожѣ большимъ числомъ частицъ, нежели воздухъ и такимъ образомъ отнимаетъ у нашего тѣла больше теплоты нежели воздухъ. Если же мы по прошествіи нѣкотораго времени перестаемъ въ водѣ чувствовать холодъ, то это происходитъ частію отъ того, что чувства наши мало по малу притупляются для каждаго ощущенія, частію отъ замѣчательнаго свойства нашего организма, которое состоитъ въ томъ, что онъ въ нѣкоторыхъ предѣлахъ, опять приходитъ въ свое нормальное состояніе, такъ что, какъ скоро усиливается внѣшняя потеря теплоты, то и внутри безъ нашего содѣйствія начинаетъ усиливаться освобожденіе теплорода. Когда же температура внѣшняго воздуха такъ низка, что нашъ огранизмъ не въ состояніи скорымъ развитіемъ теплоты замѣнить большой ея потери, то мы можемъ помочь этому недостатку удерживая переходъ теплоты во внѣшній воздухъ одеждами изъ худыхъ проводниковъ, которые должны быть взяты изъ веществъ тѣмъ хуже проводящихъ теплоту, чѣмъ ниже внѣшняя температура. По этой причинѣ зимою употребляютъ шерстяныя одежды и мѣха, принадлежащіе къ весьма худымъ проводникамъ теплоты. Также и въ нашихъ жилищахъ находятся источники тепла: печи и теплота, сообщаемая воздуху людьми, находящимися въ покоѣ,—по этому можно жилища защищать отъ холода зимою окружая ихъ худыми проводниками. По этому теплота нашихъ комнатъ зависитъ отъ толщины стѣнъ; въ этомъ состоитъ польза зимныхъ рамъ, которыя вмѣстѣ съ слоемъ воздуха лежащимъ между ними, по причинѣ разнородности, дѣлаются еще худжими проводниками; по этому и зимою обиваютъ двери войлокомъ и проч.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

О ПЕРЕМѢНѢ, ПРОИЗВОДИМОЙ ТЕПЛОТОЮ ВЪ СОСТОЯНІИ ТѢЛЪ И О СКРЫТНОМЪ ТЕПЛОРОДѢ.

§ 206.

Извѣстно, что когда температура ея уменьшается болѣе и болѣе, вода дѣлается наконецъ твердою или *замерзаетъ*; напротивъ ледъ въ теплой комнатѣ мало по малу переходитъ въ воду или *таетъ*; слѣд. отъ теплоты зависитъ твердое или жидкое состоянie воды. Тоже самое бываетъ и со всѣми другими тѣлами, только многія изъ сложныхъ тѣлъ разлагаются отъ возвышенія температуры на составныя части прежде, нежели они сдѣлаются жидкими, наир. дерево. Температура, при которой твердое тѣло дѣлается жидкимъ, или, что все равно, жидкое дѣлается твердымъ, для различныхъ тѣлъ весьма различна. Для воды эта температура есть 0, потому что по ней означается 0 на термометрѣ, слѣд. на термометрѣ 0 не есть температура, при которой вся теплота выходитъ изъ тѣла, ибо тогда ниже 0 не было бы никакого измѣненія температуры; но 0 есть такая температура, при которой измѣняется расположеніе частицъ воды, переходящей изъ жидкаго состоянія въ твердое. Сія температура только отъ того важнѣе другихъ, соотвѣтствующихъ измѣненію состоянія остальныхъ тѣлъ, что вода въ такомъ количествѣ распространена въ природѣ, что если измѣняется ея состояніе, отъ него зависятъ и множество другихъ явленій, какъ то: прозябеніе растеній, замерзаніе рѣкъ, кораблеплаваніе и проч. Самая низкая температура для перехода изъ жидкаго состоянія въ твердое принадлежитъ алькоолю; до сихъ поръ онъ еще не былъ доведенъ до этаго состоянія даже при температурѣ — 64 °R. Ртуть дѣлается твердою при — 32° R;

тогда она не отличается болѣе отъ другихъ металловъ. Свинецъ плавится при 280°, платина только въ маломъ количествѣ отъ пламени гремучаго газа, но она, подобно желѣзу, уже прежде дѣлается мягкою и можетъ быть кована отъ сильныхъ ударовъ. Наконецъ чистый уголь еще никакими средствами не могли расплавить.

§ 207.

Когда снѣгъ или ледъ таетъ, то это сопровождается еще другими явленіями, которыя мы обыкновенно не замѣчаемъ, но которыя имѣютъ большое вліяніе на таяніе и замерзаніе. Если напр. возьмемъ разтолченный ледъ или снѣгъ вѣсомъ 1 фунтъ, который находясь въ комнатѣ пріобрѣлъ температуру 0, и если смѣшаемъ его въ сосудѣ съ 1 фунтомъ воды, имѣющей температуру 60°, то отъ этого ледъ растаетъ и тогда смѣсь будетъ при температурѣ 0; слѣд. вода потеряла свой теплородъ и при всемъ томъ температура смѣси не повысилась, но только ледъ измѣнилъ свое состояніе — твердое въ жидкое; и такъ отъ *этого измѣненія состоянія 1 фунта льду изчезло такое количество теплорода, отъ котораго 1 ф. воды можетъ нагрѣться отъ* 0 *до* 60° и мы должны заключить, что именно черезъ это поглощеніе теплоты перемѣнилось состояніе льда; мы можемъ себѣ вообразить, что при этомъ произошло нѣкотораго рода химическое соединеніе льда съ опредѣленнымъ количествомъ теплорода, при чемъ происходитъ новое тѣло — вода. Теплородъ въ этомъ состояніи, при которомъ онъ не дѣйствуетъ на термометръ, называется *скрытнымъ*. Онъ дѣлается *свободнымъ*, и слѣд. дѣйствуетъ на термометръ только тогда, когда вода опять замерзаетъ.

Скрытный теплородъ есть причина медленнаго таянія льда и медленнаго замерзанія воды. Въ самомъ дѣлѣ когда вода начинаетъ замерзать при окружающей температурѣ

ниже 0, то первыя частицы ея, принявшія твердый видъ, освобождаютъ изъ себя скрытный теплородъ, отъ котораго онѣ находились въ жидкомъ состояніи; сей свободный теплородъ нагрѣваетъ ближайшія частицы и такимъ образомъ препятствуетъ имъ замерзать до тѣхъ поръ, пока онъ не будетъ отвлеченъ окружающимъ холоднымъ воздухомъ. Какъ скоро и эти частицы замерзнутъ, онѣ въ свою очередь освободятъ свой скрытный теплородъ и будутъ препятствовать замерзанію частицъ ихъ окружающимъ. На оборотъ когда ледъ или снѣгъ начинаетъ таять въ теплой комнатѣ, то первыя тающія частицы отнимаютъ теплоту отъ окружающихъ частицъ воздуха до тѣхъ поръ пока онѣ не поглотятъ количество скрытнаго теплорода, необходимое для растаянія; тоже самое происходитъ и съ слѣдующими частицами и т. д И такъ если принесемъ въ комнату снѣгъ, котораго температура ниже 0, то онъ становится теплѣе, отнимая по причинѣ проводимости теплоту отъ комнатнаго воздуха, пока не достигнетъ до температуры 0; тогда температура его не будетъ болѣе увеличиваться, потому что начиная съ этого мгновенія весь теплородъ, проходящій въ него извнѣ, употребляется на то, чтобы соединиться въ видѣ скрытнаго теплорода; и такъ скрытный теплородъ есть причина того, что температура тающаго льда принята какъ постоянная точка при устройствѣ термометра.

Подобно льду всякое другое тѣло, дѣлаясь жидкимъ, поглощаетъ теплородъ, и опять освобождаетъ его, когда переходитъ въ твердое состояніе; отъ этого при растворе-ніи соли въ водѣ температура смѣси понижается и она дѣлается еще ниже, когда соль смѣшиваютъ со снѣгомъ; взаимное сродство обоихъ тѣлъ способствуетъ ихъ таянію и при этомъ они отнимаютъ съ возможною скоростію теплоту отъ окружающихъ предметовъ для того, чтобы соединиться съ нею въ видѣ скрытнаго теплорода. Тоже самое бываетъ, когда смѣшиваютъ со снѣгомъ такія жид-

кія тѣла, которыя по причинѣ сродства ихъ къ водѣ заставляютъ быстрѣе таять снѣгъ. На этомъ основываются такъ называмыя охлаждающія смѣси; напр. смѣсь изъ 1 части поваренной соли и 1 части снѣга заставляетъ термометръ понизиться отъ 0 до—14; смѣсь слабой азотной кислоты и равной части снѣгу понижаетъ его отъ—14 до — 34 и проч.

§ 208.

Когда вода будетъ нагрѣваема болѣе и болѣе, то она начинаетъ наконецъ кипѣть; и если будемъ исподволь продолжать нагрѣваніе, то количество ея въ сосудѣ безпрестанно уменьшается болѣе и болѣе, причемъ она поднимается въ воздухѣ въ видѣ паровъ; слѣд. она переходитъ изъ состоянія капельной въ состояніе газообразной жидкости. Если пары входятъ въ пространство, которое холоднѣе, если напр. они будутъ проведены чрезъ трубку въ шаръ охлаждаемый окружающею его холодною водою или льдомъ, то они опять переходятъ въ жидкое состояніе и *осаждаются* въ шарѣ въ видѣ капель. На этомъ основывается *перегонка*, посредствомъ которой напр. вода можетъ быть очищена отъ соляныхъ веществъ находящихся въ ней. Отъ кипяченія въ закрытомъ сосудѣ вода обращается въ пары, но соляныя частицы вмѣстѣ съ нею не испаряются; пары проходятъ чрезъ трубку, находящуюся въ крышкѣ сосуда, въ другой сосудъ, который охлаждается окружающею его водою или льдомъ; въ этомъ сосудѣ пары опять измѣняются въ воду, которая будетъ совершенно чиста и называется *перегнанною* или *дистиллированною*.

И такъ опять черезъ дѣйствіе теплорода вода перемѣняетъ свое состояніе изъ жидкаго въ газообразное и не трудно показать, что теплородъ, производящій такую перемѣну въ состояніи воды, находится въ скрытномъ состояніи. Въ самомъ дѣлѣ представимъ себѣ сосудъ съ водою, которую можно въ немъ кипятить; изъ крышки его про-

ходитъ трубка въ ванну, которая, предположимъ, вмѣщаетъ 19 фунтовъ воды при температурѣ 0. Станемъ нагрѣвать воду въ первомъ сосудѣ до тѣхъ поръ, пока въ воду ванны перейдетъ нѣкоторое количество паровъ и осадится въ холодной водѣ; количество перешедшей воды можно найти, опредѣляя какимъ вѣсомъ увеличилась вода въ ваннѣ противъ прежняго т. е. противъ 19 ф.; положимъ, что перешло воды, 1 ф. Такъ какъ пары при входѣ въ холодную воду имѣли температуру 80°, то должно думать, что теперь температура воды въ ваннѣ должна быть такая, какая происходитъ отъ смѣшенія одного фунта воды при 80° съ 10 фунтами воды при 0°; и какъ количество теплоты содержавшееся въ одномъ фунтѣ раздѣлилось теперь на 20 ф., то слѣд. температура смѣси должна быть $\frac{80}{20} =$ 4°. Но вмѣсто этой температуры находятъ при самомъ опытѣ 26°. Эта высшая температура можетъ произходить только отъ того, что при переходѣ паровъ въ воду, также какъ и при переходѣ воды въ ледъ, освобождается теплородъ, котораго присутствіе въ парахъ нельзя узнать посредствомъ термометра; слѣд. здѣсь, также какъ и тамъ, есть скрытный теплородъ, который чрезъ тѣсное соединеніе съ водою, поддерживаетъ ее въ газообразномъ состояніи. По этому причину постоянной температуры кипящей воды должно искать въ скрытномъ теплородѣ паровъ, точно также какъ постоянная температура точки замерзанія зависитъ отъ скрытнаго теплорода воды. Въ самомъ дѣлѣ если вода нагрѣвается теплотою горящей внизу лампы до кипѣнія, то хотя теплота лампы и послѣ притекаетъ, какъ прежде, но вся она употребляется на то, чтобъ въ видѣ скрытнаго теплорода привесть воду въ газообразное состояніе, не увеличивая ни сколько температуры ея. Изъ приведеннаго опыта даже легко найти количество скрытнаго теплорода. Въ самомъ дѣлѣ вмѣсто

4^0, которые мы получили бы безъ скрытнаго теплорода, мы нашли 26^0; слѣд. скрытный теплородъ одного фунта паровъ былъ такъ великъ, что онъ въ состояніи 20 фунтовъ воды возвысить на 22^0, слѣд. 140 фунтовъ воды на 1^0 или $5^1/_2$ фунтовъ на 80^0. И такъ если 1 фунтъ паровъ переходитъ въ воду, то изъ него столько освобождается скрытнаго теплорода, что $5^1/_2$ фунтовъ воды при температурѣ 0 могутъ быть нагрѣты до 80^0; изъ этого слѣдуетъ что наоборотъ, если вода обращается въ пары, то столько же свободнаго теплорода дѣлается скрытнымъ или, какъ говорятъ, поглощается.

Изъ послѣдняго закона слѣдуетъ, что при всякомъ испареніи происходитъ холодъ, и это въ самомъ дѣлѣ подтверждается многоразличными опытами; такъ напр. можно металлическій сосудъ, въ которомъ сильно кипитъ вода, снять съ очага и тотчасъ коснуться до его дна безъ обжоги. Пузырьки водяныхъ паровъ, образующіеся еще и послѣ снятія сосуда съ очага, такъ много отнимаютъ теплоты, дѣлая ее скрытною, что рука можетъ переносить остающуюся теплоту. Лучше всего происхожденіе холода оказываегся не въ обыкновенномъ образованіи паровъ водяныхъ при 80^0, но въ испареніи при другихъ температурахъ. Именно вода обращается въ пары не только при 80^0, но при всякой температурѣ, только тѣмъ медленнѣе, чѣмъ температура ниже 80^0; на этомъ основывается сушеніе бѣлья на воздухѣ, отъ этого вода изчезаетъ мало по малу, если она стоитъ въ незакрытомъ сосудѣ и т. д. При этомъ медленномъ образованіи паровъ теплота также поглощается, какъ лучше всего видно, когда шарикъ термометра будетъ покрытъ какою нибудь тонкою матеріею, напр. кисеею, и смоченною водою; тогда вода испаряется на кисеѣ и ртуть понижаетсл въ термометрѣ на нѣсколько градусовъ. Можно даже заморозить воду если ускорить испареніе. Это дѣлается слѣ-

дующимъ образомъ: плоскій сосудъ, напр. часовое стекло наполненный водою ставятъ на худомъ проводникѣ подъ колоколъ воздушнаго насоса и вмѣстѣ съ этимъ сосудъ съ крѣпкою сѣрною кислотою. Когда вытягиваютъ воздухъ изъ подъ колокола, то этимъ весьма увеличиваютъ скорость испаренія, какъ мы увидимъ послѣ; но сѣрная кислота сильно притягиваетъ къ себѣ водяные пары и такимъ образомъ безпрестанно уничтожаетъ пары, образующіеся въ весьма разрѣженномъ воздухѣ; отъ этого образуются новые пары, опять поглощаются кислотою и т. д. Такое быстрое испареніе столь сильно охлаждаетъ воду, что она наконецъ замерзаетъ, хотя температура комнаты, какъ обыкновенно, будетъ 15°. Холодъ отъ испаренія мы чувствуемъ тогда, когда наше платье бываетъ намочено или когда мокрую руку двигаемъ въ воздухѣ и проч. Испареніе углекислоты, приведенной сильнымъ давленіемъ въ жидкое состояніе, производитъ наибольшій доселѣ извѣстный холодъ, который простирается до — 64°. Это испареніе такъ сильно, что отъ него можетъ замерзнуть вся оставшаяся масса жидкой углекислоты, изъ которой освобождаются пары; такимъ образомъ можно получить углекислоту даже въ твердомъ состояніи.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

ОБЪ УДѢЛЬНОМЪ ТЕПЛОРОДѢ И О ТЕПЛОЕМКОСТИ.

§ 209.

Если различныя тѣла, напр. вода и ртуть, долгое время находятся въ комнатѣ, гдѣ температура постоянна, то всѣ они принимаютъ туже температуру, т. е. термо-

метръ погруженный въ воду столько показываетъ градусовъ тепла, сколько и въ ртути или въ воздухѣ комнаты. Слѣд. въ этомъ случаѣ, содержащіяся въ нихъ количества теплорода находятся въ равновѣсіи, т. е. они не стремятся перейти въ термометръ, который имѣетъ туже температуру. Но спрашивается, слѣдуетъ ли изъ этого, что одинаковое количество теплоты содержится въ одномъ и томъ же вѣсѣ каждаго тѣла? Представимъ себѣ 2 пустые стеклянные шара A и B, совершенно одинаковой величины и сообщающіеся между собою трубкою C (фиг. 263). Пусть въ A находится одинъ воздухъ, а B пусть будетъ наполненъ какимъ нибудь другимъ тѣломъ, напр. дробью, между частицами которой находится воздухъ; воздухъ въ обоихъ шарахъ будетъ въ равновѣсіи, такъ что онъ не переходитъ ни изъ A въ B, ни изъ B въ A, потому что въ обоихъ упругость воздуха одинакова. Но изъ этого еще не слѣдуетъ, что количество воздуха въ A равно количеству въ B; оно въ A очевидно будетъ больше. Подобнымъ же образомъ можно себѣ представить, что и *упругость* теплорода или стремленіе его перейти изъ одного тѣла въ другое, можетъ быть одинака въ двухъ тѣлахъ, имѣющихъ одинаковую температуру, но при всемъ томъ *количество* теплорода можетъ быть различно. Для удостовѣренія въ этомъ должно посовѣтоваться съ опытомъ, который можно произвести слѣдующимъ образомъ.

Если одинъ фунтъ воды при температурѣ 70^0 смѣшаемъ съ однимъ же фунтомъ воды при 0^0, то безъ сомнѣнія 2 фунта воды будутъ имѣть температуру 35^0, ибо изъ теплой воды половина ея теплорода перейдетъ въ холодную и тогда произойдетъ равновѣсіе; это показываетъ и опытъ. Если же возмемъ 1 фунтъ ртути при 70^0 и смѣшаемъ его съ однимъ фунтомъ воды при 0^0, то смѣсь не будетъ уже имѣть 35^0, но только 2^0; и такъ мы должны заключить, что количество теплорода потерянное ртутью

когда она отъ 70^0 охладилась до 2^0 (слѣд. на 68^0) такъ мало, что оно можетъ нагрѣть такое же количество воды только до 2^0. По этому при равной температурѣ вода содержитъ теплорода въ 34 раза больше нежели ртуть; или если количество теплорода, содержащееся въ опредѣленномъ вѣсѣ воды примемъ за единицу, то количество теплорода содержащееся въ томъ же вѣсѣ ртути, имѣющей туже температуру, будетъ только $\frac{1}{34} = 0{,}03$; такимъ же образомъ находятъ количество теплоты въ желѣзѣ $= 0{,}11$, въ сѣрѣ $= 0{,}18$ и т. д. Слѣд. эти числа выражаютъ *теплоемкость* или способность принимать въ себя теплородъ. Количество теплорода, которое въ нихъ содержится называютъ *удѣльнымъ теплородомъ*, который слѣд. отличенъ отъ *свободнаго* теплорода показываемаго термометромъ, а также отъ *скрытнаго*, который является только при измѣненіи состоянія тѣлъ.

Мы имѣемъ еще и другія средства опредѣлять удѣльный теплородъ тѣлъ, кромѣ описаннаго нами *способа смѣшенія*; самое употребительное изъ этихъ средствъ представляетъ намъ *калориметръ*. Онъ основывается на томъ, что взвѣшенное количество какого нибудь тѣла нагрѣваютъ до извѣстной температуры, потомъ кладутъ въ ледъ разбитый въ мелкія части и опредѣляютъ, сколько таетъ льду въ продолженіи охлажденія тѣла до 0. Раздѣляя вѣсъ растаявшаго льда на число градусовъ, получаемъ количество льду, которое можетъ растаять отъ охлажденія тѣла только на 1^0, и наконецъ если полученное такимъ образомъ количество раздѣлимъ на число фунтовъ, которое вѣситъ тѣло, то получимъ количество льду, которое можетъ растаять отъ одного фунта тѣла при охлажденіи его на 1^0. Если опредѣлимъ это количество для различныхъ тѣлъ, то очевидно получимъ числа пропорціональныя теплоемкости и которыя по этому можнобъ было употребить

вмѣсто прежнихъ чиселъ отнесенныхъ къ теплоемкости воды, какъ къ единицѣ, еслибъ они не представляли того неудобства, что въ различныхъ государствахъ по причинѣ употребленія различныхъ единицъ вѣса и различныхъ шкалъ термометра, теплоемкость одного и тогоже тѣла выражалась бы различными числами.—Самый опытъ впрочемъ не такъ простъ, когда хотятъ получить точные результаты. Еслибъ въ сосудъ ACB (фиг. 261) положили разбитый въ мелкія части ледъ имѣющій температуру 0^0, а внутри его въ металлическую сѣтку FGM до извѣстной степени нагрѣтое тѣло, котораго ищутъ теплоемкость; потомъ закрылибъ эту сѣтку крышкою FM и обложили также и ее льдомъ; то — хотя бы вся теплота нагрѣтаго прежде тѣла перешла въ ледъ, сдѣлалась скрытною и заставила растаять часть льду, которая далабъ искомое количество, — но при этомъ изъ внѣшняго теплаго воздуха также постоянно притекла бы теплота въ ледъ и заставляла его отчасти таять, такъ что когда послѣ нѣкотораго времени открыли бы кранъ D, то вытекающая изъ него вода произойдетъ не только отъ теплоты испытуемаго тѣла но также частію и отъ теплоты окружающаго воздуха. Чтобъ устранить это вліяніе окружающей температуры, сосудъ ACB заключаютъ въ другой, большій KDL, который также наполняютъ тающимъ льдомъ; тогда весь входящій извнѣ теплородъ сдѣлается въ таящемъ льдѣ внѣшняго сосуда скрытнымъ и поэтому не будетъ имѣть никакого вліянія на сосудъ ACB, такъ что вытекающая изъ крана D вода произойдетъ только отъ теплорода тѣла G. Такимъ образомъ нашли, что отъ одного фунта воды, нагрѣтой до 80^0 и охлаждающейся до 0, можетъ растаять $1^1/_3$ фунтовъ льду, или что необходимый для таянія одного фунта льду скрытный теплородъ, можетъ нагрѣть 1 фунтъ воды отъ 0 до 60^0, что согласно и съ прежде сказаннымъ. Такимъ образомъ видно, что калориметръ можетъ слу-

жить также и для опредѣленія скрытнаго теплорода. Для полученія количества льду, тающаго при охлажденіи стальныхъ тѣлъ отъ 80 до 0°, получаются числа, которыя можно выводить изъ прежнихъ чисель, выражающихъ теплоемкости этихъ тѣлъ въ отношеніи теплоемкости воды, если послѣднія помножимъ на число $1^1/_3$.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

О ПАРАХЪ.

§ 210.

Мы уже видѣли, что вода превращается въ пары не только во время кипѣнія, но также и при температурахъ гораздо нисшихъ, особенно когда уменшается давленіе воздуха дѣйствующее на поверхность ея, какъ мы видѣли это въ опытѣ замерзанія воды подъ колоколомъ воздушнаго насоса (§ 208). Теперь опредѣлимъ точнѣе, какимъ образомъ образованіе паровъ зависитъ отъ температуры и давленія воздуха и чтобъ задачу сдѣлать проще, начнемъ съ того, что устранить сперва всякое давленіе воздуха т. е. разсмотримъ образованіе паровъ въ пустомъ пространствѣ. Для этого мы возмемъ два барометра A и B, которые прежде тщательно сравнимъ одинъ съ другимъ; положимъ, что мы въ обоихъ барометрахъ высоту ртути нашли одинаковую. Впустимъ одну каплю воды снизу въ отверстіе трубки барометра A, не трогая B. Вода тотчасъ по причинѣ легкости своей станетъ подниматься въ барометрѣ A до тѣхъ поръ, пока не достигнетъ торичелліевой пустоты и здѣсь будетъ плавать на поверхности ртути. Если теперь опять сравнимъ между собою оба баро-

метра, то найдемъ, что ртуть въ А стоитъ значительно ниже, нежели въ В, именно при обыкновенной температурѣ комнаты 14^0 на $^1/_2$ дюйма. Это можетъ произойти только отъ того, что въ торичелліевой пустотѣ тогда находится газъ—водяные пары, которыхъ упругость уменьшаетъ высоту ртути, такъ что разность въ высотѣ обоихъ барометровъ выражаетъ упругость паровъ; слѣд. при 14^0 упругость водяныхъ паровъ въ пустомъ пространствѣ будетъ равна давленію ртутнаго столба высотою въ $^1/_2$ дюйма. Если окружимъ барометрическую трубку А широкимъ стекляннымъ сосудомъ, въ который можно наливать горячую воду, то мы можемъ по произволу возвышать температуру водяныхъ паровъ въ торичелліевой пустотѣ и тогда мы найдемъ, что, если только надъ ртутью еще останется вода въ жидкомъ состояніи, то упругость увеличивается болѣе и болѣе и притомъ въ большемъ отношеніи, нежели температура. Слѣдующая табличка показываетъ эти упругости выраженныя въ нашихъ дюймахъ, какъ онѣ выведены изъ такихъ или подобныхъ опытовъ для разныхъ температуръ:

темп.	упруг.	темп.	упруг.	темп.	упруг.
0	0,18	25	1,3	70	18,9
5	0,28	30	1,8	80	30,0
10	0,42	40	3,6	120	138
15	0,62	50	6,6	160	460
20	0,90	60	11,4	200	1170

Изъ таблицы видно, что при 80^0 упругость $= 30''$ т. е. средней упругости атмосфернаго воздуха; эта упругость принадлежитъ воздуху тогда, когда точка кипѣнія опредѣлена точно при 80^0. Слѣд. точка кипѣнія отличается отъ прочихъ температуръ только тѣмъ, что образующіеся при ней пары имѣютъ упругость равную упругости воздуха и что слѣд. они могутъ преодолѣть послѣднюю,

какъ скоро температура ихъ сдѣлается немного больше. Отъ этого происходитъ сильное волненіе при кипѣніи воды. —

§ 211.

Если пары въ барометрѣ A имѣютъ температуру 40°, а слѣд. и ртуть въ немъ въ сравненіи съ барометромъ B понижается на 3,6″, тогда если уменьшимъ температуру на 30°, то не всѣ пары уже могутъ оставаться въ A въ видѣ газа, одна часть ихъ переходитъ въ жидкое состояніе до тѣхъ поръ, пока останется ихъ столько, что упругость ихъ будетъ равна 1,8″. Но если температура останется таже 40° и мы уменьшимъ въ A пространство, въ которомъ находятся пары (напр. прибавляя ртути въ короткое колѣно барометра, если барометръ сифонный, или въ чашечку его), то хотя пониженіе въ A должно бы оставаться тоже, однако при уменьшеніи пространства паровъ количество ихъ также уменьшится и слѣд. одна часть ихъ опять должна перейти въ жидкое состояніе, потому что если бы одно и тоже количество осталось въ меньшемъ пространствѣ, то упругость ихъ должна бъ сдѣлаться больше при тойже температурѣ, что противно нашей прежней таблицѣ. Слѣд. если пространство *насыщено* парами т. е. если въ немъ находится столько паровъ, сколько ихъ при данной температурѣ можетъ заключаться, то часть ихъ переходитъ тотчасъ въ жидкое состояніе, какъ скоро уменьшается температура или увеличивается давленіе; этимъ различаются пары отъ прочихъ газовъ.

Если же пустое пространство не насыщено парами, но въ немъ находится только часть тѣхъ паровъ, которые при этой температурѣ моглибъ въ ней находиться, когда бы въ немъ было довольно воды для испаренія, то можно и уменьшать температуру и увеличивать давленіе, безъ того, чтобъ часть паровъ превратилась въ воду, именно

температуру можно уменьшать до того, что при ней заключающее ихъ пространство пары будутъ насыщать; давленіе же увеличивать до того, что пространство занимаемое парами наконецъ такъ уменьшится, что оно теперь наполнено будетъ парами до насыщенія. Если уменьшимъ температуру или увеличимъ давленіе еще болѣе, то одна часть паровъ обратится въ жидкость какъ прежде. Когда пары не насыщаютъ пространства (слѣд. когда въ немъ нѣтъ лишней воды, въ противномъ случаѣ оно сейчасъ насыщалось бы), то они имѣютъ свойства газовъ вообще; и въ самомъ дѣлѣ законъ Маріота касательно давленія имѣетъ мѣсто и для нихъ, какъ и для газовъ и расширеніе отъ теплоты равно расширенію всѣхъ газовъ, именно между 0^0 и 80^0 оно равно $^1/_3$ объема при 0. По этому можно всѣ газы принимать за пары, которые не насыщаютъ своего пространства, и въ самомъ дѣлѣ если настоящіе газы уменьшеніемъ температуры или увеличеніемъ давленія станемъ болѣе и болѣе приближать къ насыщенію, то нѣкоторые изъ нихъ переходятъ въ жидкое состояніе, напр. углекислота, хлоръ и пр., другіе же, какъ напр. кислородъ, водородъ, азотъ и проч. до сихъ поръ еще недоведены до этого.

§ 212.

Упругость паровъ опредѣлена не только въ пустомъ пространствѣ, но также въ воздухѣ и въ другихъ газахъ; при этомъ нашли замѣчательный законъ, состоящій въ томъ, что при одной и тойже температурѣ, въ данномъ пространствѣ, наполненномъ воздухомъ, образуется столько же паровъ и такойже упругости, какъ и въ пустомъ пространствѣ, когда оно насыщено парами, только съ тѣмъ различіемъ, что въ пустомъ пространствѣ всѣ пары образуются въ одно мгновеніе, между тѣмъ какъ на воздухѣ это происходитъ медленно, такъ что частицы паровъ тре-

буютъ времени для того чтобы проникнуть между частицами воздуха. Этотъ законъ называется, по имени открывшаго оный, *Дальтоновымъ*. По этому, если въ стеклянный шаръ наполненный воздухомъ при температурѣ 20^0 нальемъ достаточное количество воды и закроемъ его краномъ, то нѣкоторое количество воды будетъ испаряться до тѣхъ поръ, пока упругость паровъ сдѣлается равною данной въ таблицѣ для 20^0 т. е. $=0{,}90$. Слѣд. если сухой воздухъ при закрытіи шара имѣетъ упругость показываемую барометромъ, напр. 30″, то теперь упругость будетъ $30+0{,}90=30{,}90$, т. е. =суммѣ упругости воздуха и упругости водяныхъ паровъ. Итакъ, если откроемъ кранъ, то упругость влажнаго воздуха въ шарѣ будетъ больше упругости внѣшняго, слѣд. часть перваго будетъ выходить изъ шара, пока упругость оставшагося не сдѣлается равною упругости внѣшняго. Отъ этого въ шарѣ останется воздуха меньше прежняго и часть его будетъ замѣнена парами; но такъ какъ найдено, что плотность паровъ равна только $\frac{5}{8}$ плотности воздуха при одинаковомъ давленіи, то слѣдуетъ, что влажный воздухъ въ шарѣ долженъ быть легче внѣшняго воздуха или вообще влажные газы легче сухихъ при одномъ и томже давленіи.

Изъ предъидущаго слѣдуетъ, что находящіеся въ нашей отмосферѣ водяные пары также оказываютъ давленіе на барометръ, такъ что наблюдаемая нами высота барометра есть слѣдствіе двухъ давленій, давленія сухаго воздуха и давленія паровъ. При нѣкоторыхъ давленіяхъ это должно быть принимаемо въ разсужденіе. Такъ напр. мы уже сказали, что барометръ преимущественно подъ тропиками, и въ меньшей степени также у насъ, два раза въ сутки достигаетъ наибольшей высоты и два раза наименьшей; первое бываетъ утромъ и вечеромъ въ 10 часовъ, послѣднее днемъ и ночью въ 4 часа. Такъ какъ эти часы на всѣхъ мѣстахъ земли, какую бы долготу они не имѣли, суть

одни и тѣже, то это явленіе должно зависить отъ солнца и притомъ безъ сомнѣнія отъ его нагрѣвающей силы; но здѣсь замѣчательно то, что въ продолженіи сутокъ теплота только одинъ разъ бываетъ наибольшею и одинъ разъ наименьшею или что здѣсь видимъ только одинъ періодъ, а тамъ замѣчены два. Но если приемъ въ разсужденіи то что сказано выше, то мы должны отдѣльно изслѣдовать, какъ измѣняется упругость водяныхъ паровъ и какъ упругость сухаго воздуха отъ солнечной теплоты; отъ обоихъ вмѣстѣ зависятъ измѣненія барометра. Въ самомъ дѣлѣ такимъ образомъ нашли, что упругость паровъ бываетъ наибольшая въ 2 часа по полудни (слѣд. при наибольшей теплотѣ); при восхожденіи солнца она бываетъ наименьшая (слѣд. при наименьшей температурѣ воздуха), напротивъ давленіе сухаго воздуха при возхожденіи солнца бываетъ наибольшее, а въ 2 часа наименьшее. Такъ какъ эти измѣненія совершенно противоположны другъ другу, то они совершенно взаимно уничтожились бы, если бы они были равной величины; но этого не бываетъ; утромъ и вечеромъ въ 10 часовъ превозмогаетъ увеличиваніе упругости водяныхъ паровъ, а въ 4 часа уменьшеніе упругости сухаго воздуха; по этому барометръ утромъ и вечеромъ въ 10 часовъ показываетъ наибольшую высоту, а въ 4 часа наименьшую. И такъ явленіе барометрическихъ измѣненій будетъ объяснено, если мы объяснимъ почему наибольшая влажность и наименьшее давленіе сухаго воздуха совпадаютъ съ наибольшею температурою въ 2 часа пополудни, и обратно наименьшая влажность и наибольшее давленіе сухаго воздуха съ наименьшею температурою при возхожденіи солнца. Что относится къ парамъ, то очевидно, что чѣмъ больше теплота, тѣмъ больше воды превращается въ пары, и чѣмъ менше теплота тѣмъ меньше; слѣд. съ теплотою упругость паровъ должна уве-

личиваться. Что касается до сухаго воздуха, то очевидно что теплѣйшая часть атмосферы въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ бываетъ 2 часа пополудни, расширяется больше всѣхъ, слѣд. эта часть поднимается у самыхъ предѣловъ атмосферы выше другихъ окружающихъ частей ея, и потомъ она должна стекать по нимъ. Пусть напр. E будетъ земли, (фиг. 263) PNLK предѣлы атмосферы и пусть масса воздуха MN будетъ нагрѣта болѣе нежели окружающая ее часть, слѣд. она расширяется до N′; но часть NN′, какъ жидкость не встрѣчающая никакихъ препятствій будетъ стекать по обѣимъ сторонамъ; отъ этого вѣсъ части MN умепьшится, а слѣд. и давленіе на M, такъ что давленіе сдѣлается наименьшимъ, когда теплота будетъ наиболшая и на оборотъ при наименьшей теплотѣ въ массѣ воздуха сверху сдѣлается какъ бы углубленіе, въ которое будутъ втекать окружающія частицы воздуха и слѣд. здѣсь давленіе на поверхность земли увеличится.

§ 213.

Въ предъидущемъ параграфѣ мы говорили, что по опытамъ упругость водяныхъ паровъ въ воздухѣ вмѣстѣ съ теплотою дня увеличивается; это предполагаетъ, что мы можемъ измѣрять упругость водяныхъ паровъ въ воздухѣ. Приборы служащіе для этого называются *Гигрометрами* т. е. измѣрителями влажности воздуха Прежде нежели приступимъ къ описанію этихъ инструментовъ, мы должны составить себѣ ясное понятіе о влажности. Мы называемъ воздухъ совершенно влажнымъ тогда, когда въ внемъ столько содержится водяныхъ паровъ, столько при данной его температурѣ можетъ находиться. По этому, если температура будетъ 20^0, то въ совершенно влажномъ воздухѣ количество паровъ таково, что упругость ихъ будетъ равна 0,90, ибо это есть упру-

гость, которую показываетъ наша таблица для паровъ въ пустомъ мѣстѣ при 20^0 и мы видѣли, что тоже число относится и къ пространству, наполненному воздухомъ. Ежели температура будетъ 10^0, то воздухъ будетъ уже совершенно влаженъ, если только упругость паровъ будетъ 0,42. Отсюда видно, что влажность и количество паровъ суть двѣ различныя вещи, потому что въ обоихъ случаяхъ воздухъ былъ совершенно влаженъ, хотя и содержалъ количества паровъ весьма различныя. Но если при 20^0 упругость паровъ вмѣсто 0,90 равна 0,45, то и количество ихъ будетъ въ двое меньше и воздухъ будетъ не совершенно влаженъ. Степень влажности измѣряется отношеніемъ существующихъ паровъ къ тому количеству паровъ, которое во время совершеннаго насыщенія при существующей температурѣ моглобъ находится въ этомъ пространствѣ, или, что все равно, отношеніемъ упругости существующихъ паровъ, къ упругости, которая принадлежитъ набюдаемой температурѣ. Слѣд. въ нашемъ примѣрѣ влажность будетъ $= \frac{0,45}{0,90} = 0,5$ или вообще если влажность есть h, e наибольшая упругость паровъ, соотвѣтствующая наблюдаемой температурѣ, a упругость существующихъ паровъ, то будетъ:

$$h = \frac{a}{e}.$$

Если знаемъ температуру воздуха, то e можетъ быть взято изъ таблицы, данной выше, и еслибъ мы могли найти a, то влажность h былабы извѣстна. Но a можно въ самомъ дѣлѣ найти, если часть воздуха подверженнаго изслѣдованію станемъ охлаждать до тѣхъ поръ, пока увидимъ, что часть паровъ переходитъ въ жидкое состояніе и если замѣтимъ температуру жидкости въ это мгновеніе; тогда упругость существующихъ паровъ должна быть для этой температуры наибольшею и изъ нашей таблицы можно

видѣть, какая упругость принадлежитъ замѣченной температурѣ. Еслибъ напр. замѣтимъ, что первые слѣды перехода паровъ въ жидкое состояніе начинаются при 15°, то мы по таблицѣ знаемъ, что тогда пары имѣютъ упругость = 0,62; теперь если температура воздуха будетъ 20°, то наибольшая упругость паровъ могла бы быть = 0,90; слѣд. влажность воздуха $= \frac{0,62}{0,90} = 0,69$.

И такъ нужно только замѣтить то мгновеніе, когда непосредственно охлаждаемый воздухъ начинаетъ осаждать пары въ немъ находящіеся. Простое наблюденіе показываетъ намъ способъ усматривать это. Когда стаканъ съ холодною водою приносятъ въ теплую комнату, то видно бываетъ, что онъ на внѣшней части покрывается влажностію; это зависитъ очевидно отъ того, что части воздуха непосредственно окружающія стаканъ охлаждаются съ тѣхъ поръ, пока наконецъ содержащіеся въ нихъ пары не могутъ болѣе существовать при низкой температурѣ, переходятъ въ жидкое состояніе и осаждаются на холодномъ стаканѣ въ видѣ росы. Если вмѣсто того, чтобъ брать прямо холодную воду, мы станемъ охлаждать ее постепенно въ стаканѣ (напр. прибавляя туда льду) и вмѣстѣ посредствомъ термометра будемъ замѣчать температуру, то наконецъ дойдемъ до такого градуса охлажденія, при которомъ упругость содержащихся въ воздухѣ паровъ сдѣлается наибольшею для этой температуры, и когда температура понизится еще больше, то на стаканѣ будетъ образоваться осадокъ паровъ. Слѣд. нужно только въ то мгновеніе, когда замѣчаютъ первые слѣды осадка паровъ, замѣтить температуру воды (эту температуру называютъ *точкою росы*), тогда изъ таблицы получаютъ упругость соотвѣтствующую этой температурѣ.

Чтобъ удобнѣе произвести постепенное охлажденіе Даніель устроилъ гигрометръ слѣдующимъ образомъ: A и

В суть два шарика равной величины соединеные между собою изогнутою трубкою CD (фиг. 264) Въ одномъ изъ нихъ A находится сѣрный эфиръ, котораго поверхность MN доходитъ почти до половинѣ шарика; впрочемъ ко всемъ приборѣ нѣтъ воздуха. Сѣрный эфиръ, какъ мы видѣли, есть жидкость весьма летучая, по этому его пары мгновенно наполнятъ пустое пространство трубки CD и шарика. Сей послѣдній покрытъ со внѣшней стороны оболочкою изъ тонкой матеріи, напр. изъ кисеи. Если на эту оболочку нальемъ нѣсколько капель сѣрнаго эфира, то онъ будетъ скоро испаряться; отъ этого произойдетъ холодъ, часть паровъ сѣрнаго эфира находящихся въ B сгустится въ жидкость, отъ этого въ B произойдетъ пустое пространство и пары снова будутъ подниматься съ поверхности MN и опять отъ холода въ B сгущаться въ жидкость и т. д. И такъ на поверхности MN происходитъ быстрое испареніе эѣира, отъ этого происходитъ холодъ и шарикъ A пріобрѣтаетъ температуру болѣе и болѣе низкую, пока наконецъ она сдѣлается такъ низка, что на шарикѣ будетъ осаждаться роса изъ внѣшняго воздуха. Чтобъ легче можно было замѣтить появленіе росы, шарикъ A сѣлается изъ темнаго стекла или, еще лучше, при MN находится полоска изъ листоваго золота, на блестящей поверхности которой легко открыть малѣйшіе слѣды росы. Въ это мгновеніе замѣчаютъ температуру посредствомъ термометра LK, заключеннаго внутри прибора; шарикъ термометра находится подъ поверностію MN эфира. Этотъ приборъ извѣстенъ подъ именемъ *Даніелева гигрометра*; по своей теоріи онъ есть лучшій изъ инструментовъ этого рода, но только приготовитъ его трудно и онъ легко можетъ разбиться.

§ 211.

Къ опредѣленію точки росы можно дойти еще проще, употребляя 2 термометра; шарикъ одного изъ нихъ покрытъ кисейною оболочкою и намоченъ водою, а другой остается сухимъ. На смоченномъ шарикѣ вода испаряется и тѣмъ скорѣе, чѣмъ меньше насыщенъ парами воздухъ; если же онъ насыщенъ совершенно, то не можетъ принимать больше паровъ и слѣд. вода неможетъ испаряться. Такъ какъ отъ испаренія происходитъ холодъ, то смоченный термометръ будетъ показывать меньше градусовъ нежели сухой и притомъ разность будетъ тѣмъ больше чѣмъ быстрѣе совершается испареніе, слѣд. чѣмъ суше воздухъ Если температуру сухаго термометра означимъ чрезъ t, влажнаго чрезъ t', а упругость паровъ, соотвѣтствующую температурѣ t' и найденную по таблицамъ, подобнымъ таблицѣ въ § 210, чрезъ e', то точное изслѣдованіе этого предмета показываетъ, что, когда барометръ показываетъ не болѣе дюйма выше или ниже 30′′, то упругость находящихся въ воздухѣ паровъ или a опредѣляется формулою:

$$a = e' - \frac{1}{4}(t - t')$$

если упругость паровъ, соотвѣтствующую температурѣ t, означимъ черезъ e, то влажность по предъидущему будетъ

$$h = \frac{a}{e}.$$

Точка росы опредѣлится, если въ таблицѣ найдемъ температуру, соотвѣтствующую упругости a. Если температура t ниже 0, то влажная оболочка одного термометра покроется льдомъ, но и тогда этотъ термометръ будетъ показывать меньше градусовъ нежели другой, потому что и ледъ также испаряется; только при вычисленіи нужно брать не $\frac{1}{4}(t - t')$, но $\frac{2}{9}(t - t')$ Этотъ приборъ на-

зывается *Психрометромъ Августа* и есть удобнѣйшій и вмѣстѣ вѣрнѣйшій гигрометръ, которымъ мы можемъ пользоватся. Если результаты его сравнимъ съ тѣми, которые получаются посредствомъ Даніелева гигрометра, то найдемъ, что оба согласны между собою.

Наконецъ есть еще много другихъ гигрометровъ, которые всѣ основываются на томъ, что нѣкоторыя тѣла въ влажномъ воздухѣ больше притягиваютъ въ себя изъ воздуха паровъ и сгущаютъ ихъ, нежели въ воздухѣ болѣе сухомъ; отъ этого они дѣлаются или тяжелѣе или длиннѣе. Одно изъ самыхъ обыкновеныхъ веществъ такого рода есть человѣческій волосъ; если онъ прежде употребленія чрезъ вываривaніе его въ растворѣ щелочи очищенъ отъ жирныхъ частицъ, то онъ значительно расширяется отъ влажности, а отъ сухости опять сжимается; на этомъ *Соссюръ* основалъ свой гигрометръ. Волосъ (фиг. 265) AB прикрѣпленъ къ нижней части мѣдной рамки MN въ A, при B онъ обвивается около блока C; на другомъ концѣ его привѣшена маленькая тяжесть O, которою онъ натягивается. Когда отъ влажности онъ дѣлается длиннѣе, то тяжесть Q понижается и обращаетъ блокъ C, на которомъ укрѣпленная стрѣлка CD идетъ къ L; когда же въ сухомъ воздухѣ волосъ дѣлается короче, то Q поднимается и стѣлка идетъ къ K. KL есть дуга, которая раздѣляется на 100 частей слѣд. образомъ: приборъ ставятъ въ запертое пространство наполненное воздухомъ, который совершенно осушается хлористымъ кальціемъ, соединеніемъ изъ хлора и металла кальція, жадно поглащающимъ въ себя водяные пары въ воздухѣ. Въ точкѣ, гдѣ останавливается стрѣлка, ставятъ 0; потомъ приборъ ставятъ въ запертый со всѣхъ сторонъ сосудъ съ воздухомъ, насыщеннымъ парами и гдѣ останавливается стрѣлка, тамъ ставятъ 100. Дуга между 0 и 100 раздѣляется на 100 равныхъ частей. Показанія этого прибо-

ра зависятъ отъ влажности воздуха т. е. не отъ количества паровъ содержащихся въ воздухѣ, но отъ того, какъ близокъ онъ къ насыщенію; совершенно влажный воздухъ показываетъ всегда 100, хотя температура его, а слѣд. и количество паровъ, заключающихся въ немъ, могутъ быть весьма различны. И такъ мы опредѣляемъ черезъ этотъ приборъ влажность h; но такъ какъ мы знаемъ упругость e изъ таблицы, когда наблюдаемъ температуру воздуха, то мы можемъ найти также a и будетъ $a = \frac{h \cdot e}{100}$, ибо въ этомъ гигрометрѣ наибольшая влажность есть 100, между тѣмъ какъ въ прежнихъ гигрометрахъ мы принимали ее $= 1$, слѣд. показанія Соссюрова гигрометра мы должны прежде раздѣлить на 100, для того чтобъ можно было сравнить ихъ съ другими гигрометрами. Если напр. наблюдаемъ на гигрометрѣ Соссюра 60^0 при температурѣ 20^0, то найдемъ изъ нашей таблицы (§ 210) $e = 0{,}90$ и слѣдственно упругость паровъ находящихся въ воздухѣ или

$$a = \frac{0{,}90.60}{100} = 0{,}54''$$

а точка росы, соотвѣтствующая этой упругости находится почти при 13^0. Гигрометръ Соссюра удобенъ къ употребленію; но для точности онъ требуетъ поправки, потому что расширеніе волоса не пропорціонально увеличенію влажности. Впрочемъ онъ имѣетъ еще ту большую невыгоду, что со временемъ волосъ мало по малу теряетъ свою чувствительность къ влажности, такъ что если по прошествіи одного года опять опредѣлять точки 0 и 100, какъ прежде, то онѣ будутъ ближе находиться одна отъ другой, нежели прежде. По этому необходимо отъ времени до времени повѣрять дѣленіе этого гигрометра.

§ 215.

Таблица упругости паровъ показываетъ намъ въ какой мѣрѣ упругость ихъ увеличивается съ повышеніемъ температуры и въ самомъ дѣлѣ упругость при 200° уже почти въ 39 разъ больше упругости атмосфернаго воздуха, такъ что если вода будетъ болѣе и болѣе нагрѣваться въ сосудѣ закрытомъ со всѣхъ сторонъ, то пары достигаютъ наконецъ до такой степени упругости, что сосудъ, если даже стѣнки его и изъ крѣпкаго металла, лопнетъ. Въ самомъ дѣлѣ атмосферный воздухъ давитъ на 1 квадратный дюймъ съ силою 16,2 фунтовъ, слѣд. давленіе паровъ при 200° на 1 дюймъ почти равно 632 фунтамъ. — Итакъ посредствомъ паровъ можно произвести самыя большія силы и если мы распорядимся ими такъ, чтобъ онѣ произвели желаемое дѣйствіе, то будемъ имѣть весьма сильныя машины. Такія машины называются *паровыми*. Мы не можемъ здѣсь войти въ подробности устройства этихъ машинъ, но ограничимся только показаніемъ возможности произвесть посредствомъ паровъ правильное движеніе.

Для этого представимъ себѣ пустой желѣзный цилиндръ AB, въ которомъ движется плотный поршень Q (фиг. 266); стержень его QP проходитъ чрезъ крышку цилиндра, такъ что ни воздухъ ни пары не могутъ проходить между ними. Изъ цилиндра верху и внизу выходятъ 2 трубки, которыя можно открывать и закрывать кранами C и C′; обѣ трубки соединяются въ одну F проходящую въ крышку котла L, содержащаго воду до MN, которая снизу можетъ быть нагрѣваема; съ другой стороны тоже идутъ двѣ трубки вверху и внизу, имѣющія краны D и D′ и открывающіяся въ резервуаръ K, окруженномъ холодною водою, изъ котораго безпрерывно вы-

тягивается воздухъ посредствомъ особеннаго насоса. Сосудъ K называется *сгустителемъ*. Если представимъ себѣ, что весь приборъ не содержитъ въ себѣ нисколько воздуха, поршень Q находится вверху и всѣ краны закрыты и только открытъ кранъ C, то пары поднимающіеся изъ кипящей въ котлѣ воды войдутъ въ цилиндръ надъ поршнемъ и своею упругостію будутъ давить его внизъ, пока онъ дойдетъ до B. Если теперь закроемъ кранъ C, откроемъ вмѣстѣ C′ и D, то пары находящіеся надъ Q, войдутъ чрезъ D въ пустой сгуститель K и превратятся въ воду, потому что сгуститель охлаждается окружающею водою. Отъ этого на сторонѣ A поршня происходитъ пустое пространство и какъ вмѣстѣ съ этимъ пары войдутъ чрезъ C′ подъ поршень, то они поднимутъ его до A. Въ это мгновеніе C′ и D закрываются и открываются C и D′; отъ этого находящіеся подъ поршнемъ пары будутъ выходить чрезъ D′ въ сгуститель и осадятся тамъ, пары же выходящіе изъ котла чрезъ открытый кранъ C будутъ давить поршень внизъ. Когда онъ дойдетъ до B, тогда закрываются опять краны C и D′, а C′ и D открываются, слѣд. поршень опять пойдетъ вверхъ, какъ прежде и т. д., такимъ образомъ производится парами правильное движеніе поршня вверхъ и внизъ съ силою, которая зависитъ отъ поверхности поршня и температуры паровъ, и легко можетъ быть вычислена. Въ самомъ дѣлѣ пусть поверхность поршня будетъ $=1$ квадратному футу, температура паровъ 80^0, тогда упругость ихъ будетъ $=30''$ т. е. $2\frac{1}{2}$ фунтамъ, слѣд. давленіе равно будетъ ртутному столбу, имѣющему 1 квадратный футъ въ основаніи и $2\frac{1}{2}$ фута въ высоту т. е. вѣсу $2\frac{1}{2}$ кубическихъ футовъ ртути. Одинъ кубическій футъ воды вѣситъ около 70 ф., а ртуть въ $13\frac{1}{2}$ разъ тяжелѣе воды слѣд. $2\frac{1}{2}$ кубическихъ футовъ ртути будутъ вѣсить $\frac{5}{2} \cdot 70 \cdot \frac{27}{2} = 2562\frac{1}{2}$ ф. или 59 пудовъ $2\frac{1}{2}$ фунта. Съ этою силою поршень будетъ

давить вверхъ и внизъ. Движеніе стержня QP поршня въ ту и въ другую сторону можетъ быть или прямо употреблено для приведенія въ дѣйствіе машинъ, какъ напр. для движенія насосовъ, или оно можетъ быть измѣнено въ вращательное движеніе подобно тому какъ въ токарномъ станкѣ движеніе, которое мы производимъ ногою, измѣняется въ вращательное движеніе. Такое вращательное движеніе производятъ паровыя машины напр. въ пароходахъ.

Можно было бы также заставить дѣйствовать пары на одну сторону поршня, между тѣмъ какъ остающіеся пары на другой сторонѣ не входятъ въ сгуститель K, но черезъ краны D и D′ непосредственно разсѣваются въ воздухъ. Однако тогда каждый разъ нужно съ этой стороны преодолѣть давленіе воздуха, и пары должны имѣть въ котлѣ гораздо высшую температуру для того чтобъ они сперва могли противодѣйствовать давленію воздуха и, кромѣ того еще, пріобрѣсти перевѣсъ надъ нимъ для движенія машины; еслибъ напр. температура паровъ была 80°, то упругость паровъ былабъ равна упругости воздуха и слѣд. поршень не имѣлъ бы никакого движенія; дабы онъ при такой величинѣ могъ двигаться съ силою прежде вычисленною = 39 пуд. $2\frac{1}{2}$ фун., температура паровъ должна быть 97° потому что въ этомъ случаѣ упругость ихъ вдвое больше атмосфернаго противнаго давленія, а слѣд. дѣйствующею силою еще останется какъ прежде одно простое атмосферное давленіе. Такія машины, дѣйствующія *противъ* атмосфернаго давленія, называютъ машинами *съ высокимъ давленіемъ*; онѣ требуютъ большаго жару, нежели обыкновенныя паровыя машины *низкаго давленія*, но за то не требуютъ сгустителя со всѣми принадлежащими къ нему приборами, какъ напр. насоса для того чтобъ содержать его всегда пустымъ, холодной воды, для охлажденія его и проч.; слѣд. онѣ требуютъ меньше

пространства и бываютъ легче. По этому болѣе всего употребляютъ ихъ тогда, когда и самая машина должна переноситься съ мѣста на мѣсто; напр. всѣ *паровозы* суть машины съ высокимъ давленіемъ.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

О ЛУЧИСТОМЪ ТЕПЛОРОДѢ.

§ 216.

Мы уже разсматривали теплородъ въ 2 состояніяхъ, именно: какъ свободный теплородъ, дѣйствующій на термометръ и накопляющійся въ тѣлахъ болѣе или менѣе смотря по теплоемкости ихъ, — и какъ скрытный теплородъ. Теперь мы перейдемъ къ 3-му состоянію его, въ которомъ онъ является *лучистымъ теплородомъ*. Въ этомъ состояніи теплородъ подобно свѣту выходитъ изъ тѣла въ видѣ лучей и распространяется по прямымъ линіямъ на весьма большія пространства въ незамѣтно короткое время. Примѣръ такого лучистаго теплорода представляютъ солнечные лучи, также огонь въ каминахъ и т. д. Лучи теплорода отражаются отъ зеркалъ по тѣмъ же законамъ, какъ и лучи свѣта; это мы чувствуемъ, когда лѣтомъ проходимъ вблизи бѣлой стѣны, сильно освѣщенной солнцемъ. Однако самымъ разительнымъ образомъ доказывается, какъ существованіе лучистаго теплорода, такъ и его отраженіе по тѣмъ же законамъ, какъ и свѣтъ, посредствомъ слѣдующаго опыта, придуманнаго Пиктетомъ: два вогнутыя металлическія зеркала (фиг. 267) ставятъ одно противъ другаго, какъ AB и FG на разстояніи отъ 10 до 20 футовъ такъ что оптическія оси ихъ совпадаютъ по линіи CD;

C и D суть главные ихъ фокусы. Въ C ставятъ горячее тѣло, напр. раскаленные угли или сосудъ съ горячею водою; теплота выходитъ лучами во всѣ стороны, слѣд. идетъ и къ зеркалу AB; эти лучи выходятъ изъ главнаго фокуса C, отражаются, подобно лучамъ свѣта, параллельно оси зеркала и падаютъ такимъ образомъ на другое зеркало FG, которымъ они собираются въ главный фокусъ его D. Если въ D поставить термометръ, то онъ весьма быстро будетъ подниматься, между тѣмъ, какъ выше и ниже D онъ показываетъ температуру воздуха; если въ металлической рѣшетчатой коробкѣ, наполненной раскаленнымъ углемъ, въ C будемъ сильно раздувать мѣхомъ угли, то въ D загорается даже кусокъ сѣры, хотя онъ находится въ такомъ большомъ разстояніи отъ C. Это явленіе происходитъ какъ при 3, такъ и при 10 и при 20 футахъ разстоянія обѣихъ зеркалъ, только при большемъ разстояніи нужно тщательнѣе устанавливать зеркала. Если между зеркалами поставимъ ширму, то тотчасъ нагрѣваніе прекращается, какъ то и надобно было ожидать. — Если въ C положимъ вмѣсто теплаго тѣла холодное, напр. кусокъ льду, а въ D поставимъ термометръ, то найдемъ что ртуть термометра тотчасъ понизится на нѣсколько градусовъ. Это замѣчательное явленіе привело къ теоріи лучистаго теплорода, которая извѣстна подъ именемъ *подвижнаго равновѣсія* и содержитъ въ себѣ ключь ко многимъ явленіямъ. По ней всякое тѣло безпрерывно выпускаетъ изъ себя лучами теплородъ, котораго количество зависитъ отъ температуры тѣла и его поверхности; чѣмъ больше температура, тѣмъ больше въ каждое мгновеніе выходитъ лучей изъ тѣла.

Что поверхность имѣетъ вліяніе на количество выходящаго лучистаго теплорода, доказывается обыкновенно слѣдующимъ образомъ. На пустомъ мѣдномъ кубѣ одну внѣшнюю сторону оставляютъ полированною а противоположную

ей матовою, потомъ ставятъ кубъ между шарами дифференціальнаго термометра (§ 200) полированною стороною къ A (фиг. 254), а матовою къ B и наполняютъ его кипяткомъ; тотчасъ будетъ видно, что капля *m* въ трубкѣ CD подвигается къ C, а этимъ доказывается, что шарикъ B принимаетъ отъ матовой стороны больше тепла, нежели шарикъ A отъ полированной. Капля *m* еще болѣе подвигается, если матовая сторона будетъ покрыта сажею, отъ чего она становится еще шероховатѣе. Но если матовая поверхность испускаетъ изъ себя больше теплоты, то съ другой стороны она и поглощаетъ въ себя въ томъ же отношеніи больше лучистой теплоты, когда она бываетъ подвержена ей. Это можно доказать подобнымъ образомъ, если въ кубѣ обѣ стороны сдѣлаемъ равно шлифованными, шарикъ же A покроемъ позолотою, а B сажею; опятя капля *m* будетъ подвинута къ C, потому что шаръ B поглотитъ больше теплоты, между тѣмъ, какъ позолоченный, слѣд. полированный, отразитъ большую часть.

И такъ по изложенной теоріи, если многія тѣла находятся въ комнатѣ и температура ихъ будетъ одинакова, то это происходитъ не отъ того, что находящаяся въ нихъ теплота остается въ томъ же состояніи, но наоборотъ они безпрестанно испускаютъ изъ себя лучи теплорода во всѣхъ направленіяхъ и температура ихъ не понижается только потому, что всѣ они въ каждое мгновеніе столько же получаютъ теплоты, сколько испускаютъ изъ себя. Если напр. одно изъ нихъ имѣетъ передъ прочими весьма полированную поверхность, то хотя оно меньше испускаетъ изъ себя лучей, нежели прочія, но за то оно въ томъ же отношеніи принимаетъ въ себя меньше выходящихъ изъ другихъ тѣлъ лучей и по этому удерживаетъ свою температуру. Предположивши это, легко объяснить почему кусокъ льду въ опытѣ съ двумя вогнутыми зеркалами понижаетъ термометръ; въ самомъ дѣлѣ термо-

метръ въ D испускаетъ лучи къ зеркалу FG, которые падаютъ на AB и въ C соединяются на льдѣ; ледъ съ своей стороны также испускаетъ свои лучи къ AB, которые падаютъ на FG и соединяются въ D на шарикѣ термометра. Но количество лучей испускаемыхъ термометромъ больше количества лучей, выходящихъ изъ льда, потому что температура термометра выше; слѣд. термометръ получаетъ отъ своего зеркала меньше лучей, нежели сколько испускаетъ на него, и по этому онъ необходимо долженъ охлаждаться.

§ 217.

Разсмотримъ теперь нѣкоторыя явленія, объясняющіяся изъ изложенной теоріи подвижнаго равносѣсія лучистаго теплорода. Наша земля, какъ и всѣ другія тѣла, безпрестанно испускаетъ изъ себя въ небесныя пространства лучи теплорода. Если небо пасмурно, то земля опять получаетъ часть лучей отъ облаковъ, хотя и въ меньшемъ количествѣ, потому что температура облаковъ меньше температуры земли; если же небо ясно, то вверху нѣтъ тѣла, отъ котораго лучи возвращались бы опять къ землѣ, а поэтому земля безпрерывно теряетъ свою теплоту безъ возпагражденія, и слѣд. должна сдѣлаться холоднѣе. Это мы находимъ въ самомъ дѣлѣ ночью; но днемъ солнце противудѣйствуетъ этому охлажденію, и, по причинѣ большей своей температуры, даетъ землѣ гораздо больше теплоты, нежели сколько оно само получаетъ отъ земли; отъ этого въ ясные дни земля больше нагрѣвается, нежели въ пасмурные. Лѣтомъ, когда дни такъ долги и солнце такъ сильно грѣетъ по причинѣ большей высоты надъ горизонтомъ, дѣйствіе солнца сильнѣе; по этому лѣтомъ температура въ ясные дни у насъ бываетъ больше, нежели въ пасмурные. Зимою напротивъ солнце только нѣсколько часовъ бываетъ надъ горизонтомъ и то такъ низко

что оно мало грѣетъ; слѣд. въ это время охлажденіе отъ лучеиспусканія, особенно въ длинныя ночи, гораздо болѣе имѣетъ перевѣсу и потому ясные дни зимой суть и холоднѣйшіе. И такъ ясность дней не есть слѣдствіе холода, какъ иногда говорятъ, но наоборотъ холодъ есть слѣдствіе яснаго неба; еще меньше луна, которая какъ само собою разумѣется видима бываетъ только въ ясные дни, есть причина холода, но морозы и ясное сіяніе луны суть слѣдствія одной и тойже причины, т. е. ясности неба.

Когда въ лѣтніе вечера послѣ ясныхъ дней небо бываетъ чисто и воздухъ спокоенъ, то отъ лучеиспусканія теплоты отъ земли къ небесному пространству происходитъ сильное охлажденіе ея, между тѣмъ какъ эта причина мало только дѣйствуетъ на охлажденіе самого воздуха, потому что по опыту извѣстно, что чѣмъ прозрачнѣе тѣло, тѣмъ меньше оно испускаетъ теплоты. По этому охлажденная поверхность земли находится въ воздухѣ, въ которомъ при высокой температурѣ предъидущаго дня растворено большое количество водяныхъ паровъ; отъ этого должно произойти то, что мы замѣчаемъ вообще когда холодное тѣло поставлено бываетъ въ тепломъ и влажномъ воздухѣ; на немъ осаждается влага, точно также какъ на охлажденномъ шарикѣ Даніелева гигрометра и по тѣмъ же причинамъ, которыя тамъ изложены; эта влага собирается на тѣлахъ не увлаживаемыхъ водою въ видѣ капель и въ этомъ видѣ мы знаемъ явленіе подъ именемъ *росы*. По этому очевидно, почему роса образуется преимущественно въ ясныя и особенно въ тихія ночи; во время вѣтренныхъ ночей росы не бываетъ, потому что отъ вѣтру слои воздуха всегда перемѣшиваются, такъ что они по перемѣнно приходятъ въ прикосновеніе съ землею и прежде нежели охладятся до того, чтобъ осадить пары въ видѣ воды, опять уносятся. Если часть земной поверхности покроемъ

чѣмъ нибудь, напр. раскинемъ палатку, то отъ ней лучи опять возвратятся къ землѣ; она подъ палаткою не такъ сильно охладится и тамъ не будетъ росы, какъ это доказывается и опытомъ. Тѣла съ шероховатою поверхностію, напр. бумага, больше покрываются россю, нежели тѣла съ гладкою поверхностію, напр. полированныя металлическія пластинки, потому что отъ шероховатости поверхности увеличивается способность тѣлъ испускать теплоту въ видѣ лучей и вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается и охлажденіе. Наконецъ легко понять отъ чего роса, когда часть земной поверхности покрыта бываетъ стекломъ, образуется также и подъ стекломъ, если прибавимъ, что лучи теплорода проходятъ чрезъ прозрачныя тѣла подобно лучамъ свѣта.

Ночное лучеиспусканіе теплоты къ ясному небу есть причина того, почему весною въ ясныя ночи растенія часто терпятъ отъ мороза, между тѣмъ какъ термометръ въ воздухѣ не показываетъ ниже 0, и легко понять, какимъ образомъ можно предохранить ихъ отъ этого, покрывая ихъ чѣмъ нибудь. Дабы въ такія ясныя ночи предохранить полевые плоды отъ вреднаго вліянія холода на высокихъ равнинахъ южной Америки, разводятъ огонь изъ сырыхъ кустарниковъ со стороны вѣтра, такъ что обильно освобождающійся дымъ вѣтромъ уносится на поля и помрачаетъ небо,—средство, которое и у насъ опытными земледѣльцами иногда употребляется. Наконецъ такимъ образомъ объясняется употребляемое въ Остъ-Индіи искуственное добываніе льда. Въ ясныя тихія ночи, выставляютъ подъ открытымъ небомъ воду въ весьма плоскихъ и низкихъ сосудахъ, не муравленныхъ, съ шероховатою поверхностію, положенныхъ на солому; утромъ предъ восхожденіемъ солнца находятъ воду замерзшею. Сосуды съ шероховатою поверхностію испускаютъ лучистую теплоту къ ясному небу чрезъ слои воды, покрывающія ихъ, и

отъ земли получаютъ весьма малый притокъ теплоты по причинѣ очень худой теплопроводности соломы; такъ что вмѣстѣ съ ними находящаяся въ нихъ вода охлаждается ниже 0 и въ слѣдствіе того замерзаетъ.

§ 218.

Лучи теплорода не только распространяются по прямымъ линіямъ и отражаются подобно свѣту, но они имѣютъ почти и всѣ другія свойства общія съ свѣтомъ; они преломляются въ разныхъ срединахъ, подвержены двойному преломленію и поляризаціи и показываютъ явленіе совершенно сходное съ разложеніемъ свѣта на цвѣты. Но существенное различіе, между лучами теплорода и лучами свѣта, состоитъ въ томъ, что изъ тѣхъ срединъ, которыя весьма прозрачны для свѣта, нѣкоторыя почти не проходимы для теплоты, и наоборотъ нѣкоторыя средины совершенно не прозрачныя пропускаютъ значительное количество теплородныхъ лучей. Такъ какъ нѣкоторыя прозрачныя тѣла пропускаютъ лучи только извѣстныхъ цвѣтовъ, напр. зеленыя стекла зеленые лучи, красныя красные лучи, такъ и большая часть тѣлъ пропускаетъ теплородные лучи особеннаго рода, а другіе удерживаетъ; напр. квасцы, столькоже прозрачное тѣло какъ и стекло, не пропускаютъ почти ни одного теплороднаго луча, выходящаго изъ кипящей воды, напротивъ пропускаютъ много, выходящихъ изъ аргантовой лампы: черное стекло, изъ котораго дѣлаются черныя зеркала, совершенно не прозрачно даже для сильнѣйшихъ лучей солнечнаго свѣта, однако чрезъ него проходятъ теплые лучи лампы; наконецъ есть одно тѣло, и до сихъ поръ только одно, каменная соль, которая пропускаетъ всѣ лучи теплорода въ равной степени, изъ какого бы источника они не происходили, и изъ всѣхъ ихъ поглощаетъ только весьма малую часть

Слѣд. одна только каменная соль для теплыхъ лучей есть то, что совершенно прозрачное тѣло для свѣта; по этому зажигательное стекло изъ каменной соли даетъ въ своемъ фокусѣ весьма значительную теплоту даже отъ земныхъ источниковъ теплоты, напр. отъ пламени камина. Это различное отношеніе лучей теплорода къ лучамъ свѣта приводитъ насъ въ необходимость означить способность лучей теплорода проходить черезъ тѣло такимъ словомъ, которое соотвѣтствуетъ слову прозрачный; для этого избрали слово *діапермическій* (*diathermane*). Обыкновенное стекло легко только пропускаетъ лучи выходящіе изъ весьма сильныхъ источниковъ теплоты, напр. изъ солнца, лучи же выходящіе изъ слабыхъ источниковъ пропускаетъ труднѣе. На этомъ основывается то, что наши садовники сажаютъ весною тѣ овощи, которые должны созрѣть скорѣе, въ ящикахъ и закрываютъ стеклами, которыя обращены къ солнцу. Солнечные теплородные лучи легко проходятъ чрезъ стекло, нагрѣваютъ землю въ ящикахъ, между тѣмъ какъ лучи, выходящіе изъ нагрѣтой земли слишкомъ слабы для того, чтобъ пройти чрезъ стекло и такимъ образомъ теплота собирается подъ стеклами до того, что ненужно бываетъ нагрѣвать ящиковъ.

Когда солнечный лучь преломляется призмою изъ каменной соли, то получается призматическій спектръ съ извѣстными цвѣтами; если въ каждомъ изъ цвѣтовъ поставимъ термометръ, то найдемъ, что онъ менѣе всего нагрѣвается въ фіолетовомъ, а въ другихъ цвѣтахъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше они приближаются къ красному концу спектра. Но замѣчательно, что и въ красномъ цвѣтѣ термометръ нагрѣвается не наибольшимъ образомъ: температура еще увеличивается въ темномъ пространствѣ за краснымъ цвѣтомъ и достигаетъ здѣсь наибольшей величины на такомъ разстояніи отъ краснаго конца спектра, на какое отстоитъ по другую сторону зеленый

цвѣтъ. Слѣд. въ солнечныхъ лучахъ есть, теплородные лучи, которые преломляются гораздо менѣе красныхъ лучей свѣта и они находятся въ немъ въ большемъ количествѣ, нежели другіе болѣе преломляющіеся теплородные лучи; и такъ *спектръ теплоты* отличенъ отъ *спектра цвѣтовъ*. Если вмѣсто призмы изъ каменной соли, возмемъ обыкновенную кронгласовую призму, то надобно вспомнить, что кронгласъ не діатермическій, такъ сказать не прозраченъ, для этихъ наименѣе преломляющихся лучей теплорода; отъ того ихъ недостаетъ въ спектрѣ изъ кронгласовой призмы и наибольшая теплота находится въ красномъ цвѣтѣ. Наконецъ призма изъ воды даже для теплородныхъ лучей, преломляющихся также какъ красный цвѣтъ, не проходима; слѣд. термометръ здѣсь показываетъ весьма мало теплоты и желтый цвѣтъ имѣетъ наибольшую теплоту. И такъ положеніе наибольшей теплоты въ спектрѣ зависитъ отъ существа призмы. Призма изъ флинтгласа даетъ наибольшую теплоту не много внѣ краснаго конца спектра, только не такъ далеко отъ него, какъ въ призмѣ совершенно діатермической изъ каменной соли. Долго не знали какъ изъяснить это явленіе и только въ послѣднее время Меллони открылъ причину его въ діатермическомъ свойствѣ прозрачныхъ тѣлъ.

ГЛАВА ШЕСТАЯ.

ОБЪ ИСТОЧНИКАХЪ ТЕПЛОТЫ.

§ 219.

Солнечные лучи составляютъ главный источникъ теплоты на землѣ; теплородные лучи солнца и лучи его свѣта подлежатъ подобнымъ законамъ и по сему количеству

теплородныхъ лучей, падающихъ на извѣстную поверхность, опредѣляется также, какъ количество лучей свѣта, т. е. оно находится въ обратномъ отношеніи съ квадратами разстояній солнца, и въ прямомъ съ синусами угловъ, составляемыхъ падающими лучами съ поверхностію; но такъ какъ разстояніе солнца отъ земли въ продолженіи года измѣняется весьма мало, то разность въ дѣйствующихъ лучахъ незамѣтна, и нагрѣваніе зависитъ только отъ косвенности, подъ которою лучи падаютъ; отъ этого происходитъ разность нагрѣванія подъ тропиками, гдѣ солнце въ полдень стоитъ почти прямо надъ головою жителей, и подъ большими широтами, гдѣ оно не много только возвышается надъ горизонтомъ; отъ этого же происходитъ разность солнечной теплоты у насъ лѣтомъ и зимою, когда высота солнца измѣняется отъ 55° до 7°. Впрочемъ съ этимъ соединяются еще два обстоятельства, отъ которыхъ разность временъ года у насъ дѣлается еще замѣтнѣе; первое состоитъ въ большой долготѣ дней лѣтомъ нежели зимою, второе въ томъ, что, при низкомъ положеніи солнца, лучи его проходящіе чрезъ нижнія части атмосферы, гдѣ эта средина менѣе прозрачна, весьма ослабляются и притомъ теплородные лучи болѣе, нежели лучи свѣта, потому что воздухъ и пары не столько діатермически, сколько прозрачны. Впрочемъ косвенностію солнечныхъ лучей опредѣляется только количество лучей, падающихъ на извѣстную плоскость, нагрѣваніе же зависитъ также отъ свойства тѣлъ, на которыя падаютъ лучи. Чѣмъ прозрачнѣе тѣла, тѣмъ болѣе проходитъ чрезъ нихъ солнечныхъ лучей безъ нагрѣванія; чѣмъ больше отражается лучей, тѣмъ меньше нагрѣваніе. По этому черныя тѣла нагрѣваются больше, бѣлыя меньше, темныя больше, нежели свѣтлыя; по этому въ жаркое лѣто носятъ свѣтлое платье и пр.

Второй источникъ теплоты представляютъ *химическія соединенія*, къ которымъ преимущественно относится такъ

называемое горѣніе тѣлъ, потому что, какъ мы уже видѣли, оно есть ничто иное, какъ соединеніе горящаго тѣла съ кислородомъ. Однако не только при собственномъ горѣніи, но и при многихъ другихъ химическихъ соединеніяхъ освобождается теплота, напр. при соединеніи воды съ сѣрною кислотою, при раствореніи металловъ въ кислотахъ и проч. Обыкновенно соединеніе горючаго тѣла съ кислородомъ начинается не ранѣе, какъ когда температура его значительно увеличена; мы говоримъ тогда, что надобно его *зажигать*. Когда первыя части отъ зажиганія соединились, то при этомъ соединеніи освобождается столько теплорода, что прикасающіяся части отъ этой теплоты соединяются; тѣ зажигаютъ такимъ же образомъ слѣдующія и такъ тѣло продолжаетъ горѣть.

Если струю водороднаго газа пропустимъ въ атмосферный воздухъ, то онъ не соединится съ кислородомъ воздуха, но для этого нужно приблизить къ нему раскаленное тѣло. Если же пустимъ струю водорода на платиновую поверхность, лучше всего на такъ называемую губчатую платину (т. е. платину въ видѣ мелкаго порошка, получаемаго чрезъ обжиганіе соединенія платины и нашатыря), то платина нагрѣвается до того, что наконецъ она накалится и съ своей стороны зажжетъ газъ. Этимъ свойствомъ губчатой платины пользуются въ извѣстномъ водородномъ огнивѣ, въ которомъ водородъ изъ резервуара протекаетъ чрезъ отверстіе крана на губчатую платину, пока онъ не загорится. Тоже свойство платины имѣютъ и другіе металлы въ чистомъ и въ мелкораздробленномъ состояніи, именно: Палладій, Родій, Иридій и пр., также и другія тѣла, какъ уголь, стекло и проч., только ихъ должно прежде нагрѣть до 200°. Въ чемъ состоитъ это удивительное свойство, это до сихъ поръ еще несовершенно объяснено.

Третій источникъ теплоты есть *жизнь животныхъ* и производимая ею теплота называемая также

животною теплотою. Мы уже знаемъ нѣкоторыя слѣдствія ея.

Четвертый источникъ теплоты есть *сжатіе тѣлъ* и *треніе;* послѣднее вѣроятно происходитъ отъ сжатія частицъ, которыя трутся одна объ другую. Извѣстно, что дикіе народы достаютъ себѣ огонь посредствомъ тренія разнородныхъ деревъ; извѣстно также, что ударъ стали о твердой кремень производитъ искру, потому что отъ сильнаго тренія частицы стали отрываются острымъ кремнемъ, и при этомъ такъ сильно трутся, что раскаляются и горятъ въ кислородѣ воздуха. Также если сильно сжать газы, то они нагрѣваются; есть огниво, состоящее изъ маленькаго пустаго цилиндра, на днѣ закрытаго, въ которомъ двигается поршень; на внутреннемъ концѣ поршня прикрѣплено не много труту. Если скоро вдвинемъ поршень въ цилиндръ, такъ чтобъ воздухъ въ цилиндрѣ вдругъ сильно сжался, то трутъ загорится. Если сдѣлаемъ это въ стекляномъ цилиндрѣ и въ темнотѣ, то въ сжатомъ газѣ появляется свѣтъ зависящій отъ зажиганія масла, которымъ намазанъ поршень.

Появленіе теплоты при сжатіи газовъ зависитъ отъ того, что газы при большей плотности имѣютъ теплоемкость меньше нежели прежде; количество теплоты, которое прежде сжатія нужно было для того, чтобъ газъ показывалъ напр. температуру комнаты въ 14°, послѣ сжатія уже слишкомъ велико для этого; слѣд. она какъ свободная теплота дѣйствуетъ на термометръ или на зажиганіе трута, если она при быстромъ сжатіи не имѣетъ времени для того, чтобъ выйти чрезъ проводники — поршень и цилиндръ. Изъ этого наоборотъ слѣдуетъ, что при расширеніи газа, теплоемкость его становится больше и что слѣд. прежнее количество теплорода недостаточно для показанія температуры 14° и въ слѣдствіе этого, при расширеніи газовъ, температура ихъ должна понижаться.

Въ этомъ можемъ убѣдиться если изъ подъ колокола посредствомъ воздушнаго насоса вытянемъ воздухъ и поставимъ туда весьма чувствительный термометръ, при первомъ взмахѣ насоса термометръ упадаетъ иногда на 8° ниже прежняго стоянія.

Пятый источникъ теплорода есть *частичное дѣйствіе волосности.* Если мелкій порошокъ или песокъ смочить водою, то при всасываніи воды въ промежутки порошка освобождается теплота, обыкновенно въ незначительномъ количествѣ, но иногда температура увеличивается на 8°.

Наконецъ о 6-мъ источникѣ теплоты т. е. объ электричествѣ, мы будемъ говорить послѣ.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ.

О ЯВЛЕНІЯХЪ ВЪ НАШЕЙ АТМОСФЕРѢ, ЗАВИСЯЩИХЪ ОТЪ ТЕПЛОТЫ.

§ 220

Отъ теплоты происходятъ на земной поверхности явленія, которыя имѣютъ на нашу физическую жизнь самое существеннос вліяніе, потому что отъ нихъ зависятъ *климаты* разныхъ странъ. Чтобъ ясно представить себѣ расположеніе теплоты на землѣ мы должны имѣть въ виду положеніе земли въ отношеніи къ солнцу. И такъ представимъ себѣ шаръ, имѣющій въ діаметрѣ 12,000 верстъ, который столь быстро обращается около своей оси, что каждая точка на экваторѣ проходитъ $^5/_7$ версты въ секунду, а подъ большими широтами все меньше и меньше, и что этотъ шаръ окруженъ шарообразною воздушною оболочкою, которой плотность съ увеличеніемъ разстоянія

отъ земли уменьшается и которая участвуетъ въ скорости вращенія самаго шара. Шаръ обращаясь такимъ образомъ вмѣстѣ съ воздушною оболочкою, движется вмѣстѣ съ нею около солнца, по эллиптическому мало отступающему отъ круговаго пути въ такой плоскости, къ которой ось земли наклонена подъ 67°. Отъ наклоненія оси, какъ извѣстно изъ Физической Географіи, зависятъ времена года. Во время нашего лѣта, когда сѣверная часть оси наклоняется къ солнцу, земля находится въ части своей орбиты, болѣе отдаленной отъ солнца и движется съ меньшею скоростію; во время нашей зимы напротивъ она движется въ ближайшей къ солнцу части орбиты и съ большею скоростію; отъ этого происходитъ, что солнце остается почти 8 днями болѣе на сѣверной, нежели на южной сторонѣ экватора. Все это можно предполагать извѣстнымъ изъ Географіи.

Мы уже упоминали, что малое измѣненіе въ разстояніи солнца не имѣетъ никакого замѣтнаго вліянія на измѣненіе нагрѣванія и свѣрхъ того наибольшее удаленіе солнца въ наше лѣто вознаграждается тѣмъ, что солнце долѣе остается въ сѣверномъ полушаріи; но главное вліяніе на нагрѣваніе происходитъ отъ большаго или меньшаго угла, составляемаго солнцемъ съ плоскостію горизонта, и отъ этого зависитъ разность поясовъ, жаркаго или тропическаго, умѣренныхъ и холодныхъ. Если ANBS представляетъ шаръ земной (фиг. 26), NS ось его, AB экваторъ, CD и C′D′ поворотные круги, EF и E′F′ полярные круги, то внутри тропиковъ между CD и C′D′ воздухъ будетъ нагрѣтъ наиболѣе, менѣе между поворотными и полярными кругами т. е. между CD и EF, а между CF и N и между E′F′ и N′ онъ будетъ самый холодный. Отъ большей теплоты воздуха между тропиками, нежели внѣ тропиковъ, происходитъ тоже, что бываетъ, когда двери теплой комнаты будутъ отворены во внѣшній холодный

воздухъ; воздухъ внизу будетъ стремиться изъ холоднаго пространства въ теплое, а вверху изъ теплаго въ холодное. Отъ этого внизу послѣдуетъ теченіе воздуха отъ обоихъ полюсовъ земли къ экватору, а вверху отъ экватора къ полюсамъ; но такъ какъ мы живемъ на днѣ воздушнаго океана, то въ сѣверномъ полушаріи будетъ имѣть постоянный сѣверный вѣтръ, а на южномъ постоянный южный; но здѣсь нужно принять еще въ разсужденіе слѣдующее обстоятельство. Если представимъ себѣ на сѣверномъ полушаріи между двумя меридіанами воздухъ, текущій отъ сѣвера къ югу, то онъ течетъ какъ будто въ руслѣ, мало помалу расширяющемся, потому что разстояніе между меридіанами по мѣрѣ приближенія къ экватору дѣлается больше; напротивъ вверху воздухъ течетъ изъ болѣе широкаго русла въ менѣе широкое; слѣд. верхнее теченіе должно понижаться, такъ что наконецъ оно достигнетъ дна т. е. поверхности земли и этимъ удержитъ противное, нижнее теченіе; слѣд. нижнее сѣверное теченіе воздуха начнется не отъ самаго полюса, но отъ какой нибудь средней широты, до экватора; верхнее же южное начиная отъ экватора болѣе и болѣе будетъ понижаться, пока наконецъ, дальше къ сѣверу отъ начала сѣвернаго нижняго теченія, оно не достигнетъ до поверхности; отъ этого болѣе къ сѣверу произойдетъ внизу южное теченіе. Подобное разсужденіе только въ обратномъ порядкѣ можно приложить и къ южному полушарію; южный нижній вѣтръ начнется подъ какою нибудь южною широтою, а верхній сѣверный достигнетъ до поверхности земли подъ широтою немного большею. Приложенная фигура 269 представляетъ земной шаръ съ своею атмосферою; ось его NS, а экваторъ AB; линіи *пнор* стрѣлками показываютъ направленіе воздушныхъ теченій.

Такимъ образомъ происходилобъ это явленіе, еслибъ земля не обращалась около своей оси; но такъ какъ она

обращается съ запада на востокъ, то отъ этого и явленіе измѣняется. Частицы нижняго воздуха въ сѣверномъ полушаріи стремясь къ югу идутъ изъ страны, гдѣ онѣ, при обращеніи земли, имѣютъ меньшую скорость отъ запада къ востоку, въ такую страну, гдѣ скорость движенія частицъ къ востоку на земной поверхности бываетъ больше; слѣд. онѣ въ началѣ отстанутъ къ западу отъ земли, пока отъ дѣйствія тренія не получатъ скорости находящихся здѣсь частицъ и въ отношеніи къ намъ, которые движемся вмѣстѣ съ твердою поверхностію земли, эти отстающія частицы должны дѣйствовать какъ восточный вѣтръ; но такъ какъ первоначальное движеніе воздуха было сѣверное, то соединенное движеніе будетъ казаться *сѣверо-восточнымъ вѣтромъ*; подобнымъ образомъ на южномъ полушаріи это движеніе покажется *юго-восточнымъ вѣтромъ*. Наоборотъ, такъ какъ частицы воздуха, идущія отъ экватора къ полюсу приходятъ въ такую страну, гдѣ скорость вращенія меньше, то верхнее теченіе воздуха въ сѣверномъ полушаріи будетъ казаться *вѣтромъ юго-западнымъ*, а въ южномъ полушаріи *сѣверо-западнымъ*. По этому въ нашей фигурѣ для вѣрнаго изображенія явленій мы должны дать этимъ теченіямъ косвенное направленіе, сѣвернымъ отъ сѣверо-востока къ юго-западу, южнымъ отъ юго-востока къ сѣверо-западу. Но мы здѣсь должны еще принять въ разсужденіе другое обстоятельство т. е. способность земной поверхности согрѣваться, смотря по свойству ея. Здѣсь мы находимъ, что твердая земля согрѣвается солнечными лучами болѣе, нежели вода и въ этомъ состоитъ существенная причина, почему теплоты на сѣверномъ полушаріи вообще больше, нежели на южномъ, какъ показали наблюденія; слѣд. линія раздѣленія равныхъ количествъ теплоты лежитъ на сѣверъ отъ экватора; посему и граница между обоими теченіями воздуха въ сѣверномъ и южномъ

полушаріяхъ лежитъ не на экваторѣ, но нѣсколько къ сѣверу отъ него.

Всѣ эти явленія выведенныя теоретически, подтверждаются въ природѣ извѣстнымъ явленіемъ *пассатныхъ вѣтровъ*, которые въ продолженіи цѣлаго года въ Атлантическомъ и Тихомъ океанахъ дуютъ правильно въ сѣверномъ полушаріи отъ сѣверо-востока, въ южномъ отъ юго-востока. На сѣверѣ граница ихъ лежитъ подъ 4^0 и здѣсь подъ широтою нѣсколькихъ градусовъ находится поясъ, который называется *поясомъ безвѣтрія* и есть слѣдствіе столкновенія обѣихъ теченій воздуха. Но хотя направленіе вѣтра въ продолженіи всего года постоянно, однако положеніе этого пояса измѣняется. Во время нашего лѣта, когда сѣверное полушаріе нагрѣвается сильнѣе южнаго, поясъ безвѣтрія поднимается нѣсколько къ сѣверу въ обоихъ океанахъ, но не столь много, чтобъ нижній край его перешелъ чрезъ прежнее положеніе верхняго; вовремя нашей зимы, когда южное полушаріе нагрѣвается больше, онъ подвигается къ югу, но и тогда сѣверный край не переступаетъ чрезъ лѣтнее положеніе южнаго края. Отъ этого движенія, въ земляхъ лежащихъ на границахъ пояса, въ продолженіи полугода дуютъ вѣтры сѣверо-восточный или юго-восточный (смотря потому, лежатъ ли они на сѣверной или южной границѣ пояса), а другую половину года бываетъ безвѣтріе, которое сопровождается сильными дождями и называется тамъ *дождливымъ временемъ*, между тѣмъ какъ во время пассатныхъ вѣтровъ почти всегда бываетъ ясная погода. Иначе происходитъ движеніе пояса безвѣтрія въ Индѣйскомъ океанѣ, потому что тамъ къ сѣверу отъ экватора обстоятельства отличны отъ тѣхъ, которыя находятся къ югу. Именно къ сѣверу отъ него лежитъ весьма обширная твердая земля — Азія, а къ югу водяная поверхность Индѣйскаго океана. Отъ этого во время нашего лѣта сѣверная твердая половина согрѣвается

солнцемъ несравненно больше, нежели южная поверхность океана во время нашей зимы; посему поясъ безвѣтрія, раздѣляющій оба пассатные вѣтры, такъ много подвигается лѣтомъ къ сѣверу, что далеко переходитъ сѣверную зимнюю границу свою и оставляетъ за собою къ югу полуострова Восточной Индіи; такимъ образомъ эти страны лежатъ въ лѣтнюю половину года т. е. съ Апрѣля до Октября въ юго-восточномъ пассатѣ. Но переходя за экваторъ этотъ вѣтръ идетъ изъ страны, гдѣ частицы воздуха имѣютъ большую скорость движенія къ Востоку, въ такую страну, гдѣ эта скорость меньше; слѣд. изъ юго-восточнаго онъ перемѣнится въ юго-западный (такъ какъ верхнее теченіе сѣвернаго полушарія); по этому въ странахъ около Малабарскаго и Карамандельскаго береговъ постоянно дуютъ отъ Апрѣля до Октября юго-западные вѣтры, съ Октября до Апрѣля сѣверо-восточные. Если такимъ образомъ направленія постоянныхъ вѣтровъ одинъ разъ въ годъ измѣняются въ противоположныя, то вѣтры называются *Муссонами*. Слѣд. они происходятъ также, какъ пассатные, только съ тѣмъ различіемъ, что Муссоны зависятъ отъ большой удободвижимости пояса безвѣтрія, происходящей отъ расположенія твердой земли въ отношеніи къ морю.

Мы находимся подъ среднею широтою на той границѣ, гдѣ начинается сѣверовосточный пассатный вѣтръ, и гдѣ онъ стѣсняется верхнимъ понижающимся юго-западнымъ; если этотъ послѣдній сильнѣе, то стѣсненіе начинается прежде т. е. къ югу отъ насъ; если же онъ слабъ, то далѣе т. е. сѣвернѣе; отъ этого мы находимся то въ нижнемъ теченіи, то въ верхнемъ понижающемся, слѣд. у насъ дуетъ то сѣверо-восточный то юго-западный вѣтръ. Въ самомъ дѣлѣ если сощитаемъ дни, въ которые дуютъ различные вѣтры, то найдемъ, что оба эти вѣтра имѣютъ значительный перевѣсъ передъ всѣми другими, особенно

юго-западный; этимъ доказывается, что мы чаще находимся къ сѣверу отъ той точки, гдѣ понижающееся верхнее теченіе доходитъ до поверхности земли. Остальные вѣтры напр. западный, сѣверозападный, и пр. суть у насъ только переходные вѣтры одного главнаго направленія въ другое. И такъ у насъ то явленіе, которое въ Восточной Индіи въ видѣ Муссоновъ наблюдается только одинъ разъ въ годъ, повторяется весьма часто, и такъ какъ тамъ сѣверовосточной Муссонъ переходитъ въ югозападный въ Апрѣлѣ, поворачиваясь чрезъ Востокъ и Югъ, а югозападный въ Октябрѣ въ сѣверовосточный черезъ Западъ и Сѣверъ, такъ и у насъ замѣтили, что измѣненіе вѣтровъ происходитъ по большей части по этому же направленію.

Такимъ образомъ изъясняются явленія вѣтровъ, какъ они представляются наблюденію, изъ большаго нагрѣванія земли подъ тропиками, изъ обращенія земли около оси и изъ расположенія твердой земли въ отношеніи къ океану.

§ 221.

Изъ положенія земли относительно къ солнцу выводится, какъ мы уже видѣли, разность жаркаго, умѣренныхъ и холодныхъ поясовъ, смотря по полуденной высотѣ, которой достигаетъ солнце надъ горизонтомъ. Но эти высоты весьма различны въ различныя времена года, слѣд. и нагрѣваніе бываетъ различно. Между тропиками разность временъ года почти незамѣтна, потому что тамъ солнце мало отдаляется отъ зенита, и долгота дня въ продолженіи всего года почти равна 12 часамъ; напротивъ подъ средними широтами разность эта весьма велика, потому что лѣтомъ при высшемъ стояніи солнца надъ горизонтомъ бываютъ и долгайшіе дни, а зимою при нисшемъ кратчайшіе. Отъ этого происходитъ, что у насъ лѣтомъ теплота немогно только отступаетъ отъ безпрестанной теплоты

между тропиками; напротивъ зимою разность нашихъ температуръ отъ тронических ихъ бываетъ тѣмъ больше. Подъ полярными широтами разность опять будетъ меньше, впрочемъ всегда довольно значительна; здѣсь одну половину года солнце бываетъ безпрерывно подъ горизонтомъ, а другую безпрерывно надъ горизонтомъ, но всегда оно стоитъ такъ низко, что оно мало грѣетъ, несмотря на безпрерывное присутствіе его.

Если захотимъ опредѣлить общее количество теплоты въ какомъ нибудь мѣстѣ въ продолженіи всего года, то очевидно одного только наблюденія термометра одинъ разъ въ годъ для этого недостаточно, потому что лѣтомъ мы нашли бы у насъ температуру почти туже самую, какъ и подъ тропиками, напротивъ зимою разность былабъ чрезвычайно велика; изъ этого слѣдуетъ что, если мы желаемъ найти вообще отношенія между количествами теплоты въ двухъ какихъ нибудь мѣстахъ, то мы должны взять среднюю теплоту обоихъ мѣстъ, которую мы найдемъ, принимая въ разсужденіе теплоту всѣхъ дней. Но даже и въ продолженіи одного дня теплота бываетъ весьма различна; утромъ передъ восхожденіемъ солнца она есть наименьшая, въ 2 часа пополудни наибольшая, если только этой правильности не препятствуютъ облака, дождь, измѣненіе направленія вѣтровъ и проч. По этому раждается вопросъ, какъ должно находить среднюю температуру дня? Для этого должно бы было наблюдать температуру по крайней мѣрѣ всякой часъ, сложить полученныя 24 температуры и сумму раздѣлить на 24; полученное количество даетъ среднюю температуру, т. е. ту, которая еслибы продолжалась цѣлый день, далабъ туже сумму въ теченіи дня, какая получается отъ соединенія всѣхъ вмѣстѣ температуръ, существовавшихъ на самомъ дѣлѣ. Въ весьма не многихъ мѣстахъ сдѣлапъ такой рядъ наблюденій въ каждый часъ дня, въ продолженіи нѣсколькихъ лѣтъ, при содѣйствіи многихъ

наблюдателей, ибо легко видно, какъ трудно и даже невозможно эту задачу рѣшить одному только наблюдателю. Но при этихъ рядахъ наблюденій нашли, что туже среднюю температуру можно также получить, избирая нѣкоторые опредѣленные часы дня для этихъ наблюденій и взявъ среднее изъ нихъ, напр. 4 и 10 часовъ днемъ и ночью; но легче всего и при всемъ томъ согласно съ среднею температурою, получаемою изъ 24 наблюденій, можно найти среднюю температуру дня, если въ продолженіи его брать среднюю изъ самой *высшей* и самой *нисшей* температуры. Чтобъ можно было удобнѣе дѣлать это наблюденіе употребляютъ такъ называемые термометрографы, изъ которыхъ самый извѣстный и простой изобрѣтенъ Рутерфордомъ. Для наблюденія наибольшей температуры служитъ ртутный термометръ съ трубкою, которая немного шире нежели въ обыкновенномъ термометрѣ, и въ которой въ пустомъ пространствѣ находится стальной или стеклянный цилиндръ DB (фиг. 270) немного тоньше трубки, и по этому могущій въ ней передвигаться взадъ и впередъ. Сперва ставятъ термометръ прямо, такъ чтобъ DB вмѣстѣ съ ртутью опустился внизъ, и потомъ кладутъ его горизонтально. Если температура увеличивается, то расширяющаяся ртуть, получившая отъ волосности выпуклую поверхность и поддерживая ее съ нѣкоторою силою, подвигаетъ впередъ стальной цилиндръ до тѣхъ поръ пока она не достигнетъ наибольшей температуры въ продолженіи дня; послѣ этого она опять отходитъ назадъ и оставляетъ цилиндръ DB на томъ мѣстѣ, гдѣ онъ находился при наибольшей температурѣ; такъ что конецъ его B, даже и послѣ, показываетъ эту наибольшую температуру дня. Для наименьшей температуры употребляютъ спиртовой термометръ (фиг. 271); внутри спирта находится стеклянный цилиндръ DB, который доводятъ до самаго конца спирта и послѣ кладутъ термометръ горизон-

тально. Если температура понижается, то спиртъ сжимается. Отъ волосности на поверхности спирта происходитъ вогнутость, какъ показываетъ фигура, которую удерживаетъ жидкость съ нѣкоторою силою, и этимъ не даетъ цилиндру DB выйти изъ спирта, но увлекаетъ его вмѣстѣ до тѣхъ поръ, пока термометръ въ продолженіи дня не достигнетъ наименьшей температуры. Съ этого времени спиртъ начинаетъ опять расширяться, но DB остается въ немъ на своемъ мѣстѣ и концомъ D показываетъ какая была наименьшая температура въ продолженіи дня. Посредствомъ этихъ двухъ приборовъ нужно одинъ только разъ въ день, напр. въ 10 часовъ утра, смотрѣть на термометры и тогда узнаемъ изъ положенія цилиндровъ наибольшую температуру предшествующаго дня и наименьшую настоящаго; послѣ опять въ каждомъ термометрѣ цилиндръ DB нужно опускать до поверхности ртути и спирта, поставляя ихъ вертикально, и такимъ образомъ приготовить термометры для слѣдующаго дня.

Такимъ образомъ можно съ достаточною точностію найти среднюю температуру дня; если сложимъ среднія температуры всѣхъ дней въ мѣсяцѣ и раздѣлимъ сумму на число дней, то получимъ среднюю температуру каждаго мѣсяца. Если опять сложимъ эти температуры и сумму раздѣлимъ на 12, то получимъ среднюю температуру года. Для того чтобъ результаты, получаемые въ различныхъ мѣстахъ, можно было сравнивать между собою, согласились и у насъ всегда считать дни по новому стилю, употребляемому во всѣхъ иностранныхъ государствахъ, ибо въ противномъ случаѣ напр. среднюю температуру нашего Генваря нельзя бы было сравнить съ среднею температурою тогоже мѣсяца напр. въ Парижѣ, а это сравненіе есть цѣль опредѣленія среднихъ температуръ. — Нашли, что среднія температуры различныхъ годовъ для одного и того же мѣста мало (на 1 или 2 градуса) разнятся между

собою, какъ бы велика ни была разность температуръ отдѣльныхъ дней, потому что большія температуры одного дня при сложеніи съ меньшими другаго уравниваются. Если среднія температуры многихъ годовъ въ одномъ и томъ же мѣстѣ сложимъ и раздѣлимъ ихъ на число годовъ, то получимъ *среднюю температуру* мѣста.

§ 222.

Такъ какъ солнце есть единственная причина измѣненія температуры на земной поверхности, то можнобъ было думать, что въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ измѣненія положенія солнца одинаковы, слѣд. подъ одними и тѣми же параллельными кругами, и среднія температуры должны быть одни и тѣже; но въ самомъ дѣлѣ происходитъ другое и мы это тотчасъ увидимъ, сравнивая среднія температуры слѣдующихъ мѣстъ, опредѣленныя прямо изъ наблюденій:

			среднія температуры		
			года	лѣта	зимы
Въ Сѣверной Америкѣ					
подъ широтою	57°	Наинъ	— 2,9	+ 6,0	—14,8
Въ Норвегіи . .	60°	Бергенъ	+ 6,5	+11,8	+ 1,8
Въ Швеціи . . .	59°	Стокгольмъ	+ 4,5	+13,0	— 2,9
Въ Россіи . . .	60°	С. Петерб.	+ 3,0	+12,9	— 5,9
	56°	Казань	+ 1,5	+13,9	—11,5
	53°	Барнаулъ	+ 1,4	+13,2	—11,3

Всѣ эти мѣста лежатъ между 50° и 60° сѣверной широты; но хотя Наинъ въ Сѣверной Америкѣ лежитъ 5 градусами южнѣе Бергена въ Норвегіи, однако тамъ средняя температура 9,4 градусами ниже чѣмъ въ Бергенѣ. Въ Стокгольмѣ она ниже двумя градусами, въ Петербургѣ 3,5, въ Казани 5, въ Барнаулѣ 5, хотя Барнаулъ 7° южнѣе Бергена.

Изъ этого видно, что температура въ Норвегіи сравнительно гораздо выше, нежели во внутрѣнности Азіи, а самая меньшая температура находится въ сѣверной Америкѣ. Дабы легче можно было представить себѣ распредѣленіе температуръ въ разныхъ мѣстахъ земной поверхности, соединяютъ всѣ мѣста, гдѣ средняя температура одинакова, линіями, которыхъ кривизна показываетъ это распредѣленіе. Эти линіи извѣстны подъ именемъ *изотермическихъ*. Еслибъ напр. хотѣли получить изотермическую линію $6^0,3$, то она должна пройти чрезъ Бергенъ въ Норвегіи, отсюда она понижается по обѣ стороны, потому что въ Азіи и въ Америкѣ должно приближаться къ экватору гораздо больше, чтобы получить туже самую температуру. Наблюденія показали, что та самая линія, которая въ Норвегіи проходитъ чрезъ 60^0 широты, въ Сѣверной Америкѣ проходитъ чрезъ 42^0, во внутренности Азіи чрезъ 45^0. Если N представляетъ сѣверной полюсъ земли (фиг. 272), ACBF земной экваторъ, AN меридіанъ проходящій чрезъ средину Америки, NB меридіанъ чрезъ Азію, NC чрезъ западный берегъ Норвегіи, и NF меридіанъ въ Тихомъ океанѣ, то изотермическая линія 5^0 будетъ имѣть видъ *abcf*. Ея большее сѣверное уклоненіе находится въ Норвегіи и въ Тихомъ Океанѣ, наибольшее южное уклоненіе въ сѣверной Америкѣ и во внутренности Азіи. Фигура этой линіи состоитъ какъ бы изъ двухъ круговъ, переходящихъ одинъ въ другой, которыхъ центры представляютъ P и p. Еслибъ проведена была изотермическая линія чрезъ -10^0, то она состоялабъ въ самомъ дѣлѣ изъ 2 нѣсколько разтянутыхъ въ длину круговъ, какъ показываетъ фигура, изъ котораго обстоятельства слѣдуетъ, что наибольшій холодъ находится не въ полюсахъ земли, но въ двухъ точкахъ въ P и p. Это въ самомъ дѣлѣ справедливо, и въ сѣверномъ полушаріи мы имѣемъ 2 *полюса наибольшаго холода*, изъ которыхъ одинъ самый сильный

находится во внутренности Америки къ западу отъ Баффинова залива, другой слабѣйшій лежитъ къ сѣверу отъ сѣверо-восточныхъ береговъ Азіи въ Ледовитомъ морѣ. Среднюю температуру этихъ полюсовъ можно предположить около—20°, между тѣмъ, какъ средняя температура подъ экваторомъ = + 22°.

Теперь спрашивается, какая же причина этого неправильнаго распредѣленія теплоты, когда положеніе земли относительно солнца должно бы было производить совсѣмъ другое? Мы находимъ изъясненіе этого явленія въ свойствѣ земной поверхности, смотря по тому твердая ли она или покрыта водою. Вода океановъ нагрѣвается съ меньшею скоростію и съ меньшею силою, нежели твердая земля, потому что вода много отражаетъ отъ себя теплоты; по этому лѣтняя теплота меньше на морѣ и на берегахъ морскихъ, нежели во внутренности материковъ. Напротивъ охлажденіе поверхности воды зимою гораздо меньше охлажденія твердой земли, потому что какъ скоро частицы воды на поверхности охлаждаются чрезъ прикосновеніе съ воздухомъ, то по причинѣ большаго своего удѣльнаго вѣса онѣ опускаются внизъ, а еще неохладившіяся поднимаются вверхъ; кромѣ того вода гораздо меньше теряетъ чрезъ лучеиспусканіе, нежели твердая земля, по причинѣ гладкой своей поверхности. И такъ на морѣ разность между температурами лѣта и зимы гораздо будетъ меньше, нежели во внутренности материковъ, но вмѣстѣ и средняя температура будетъ больше по причинѣ большей разности между зимними температурами, въ сравненіи съ разностію между лѣтними. Въ метеорологіи согласились для *зимней температуры* брать среднюю температуру мѣсяцовъ: Декабря, Генваря и Февраля, а для *температуры лѣта* температуру мѣсяцевъ: Іюня, Іюля и Августа (всегда по новому стилю); такъ нужно понимать означенныя въ нашей табличкѣ температуры лѣта и зимы, и мы

тотчасъ видимъ большую разность между такъ называемымъ *морскимъ* или *береговымъ климатомъ* и *климатомъ материковъ*. Если напр. сравнимъ Барнаулъ и Бергенъ, то найдемъ, что температура лѣта въ первомъ мѣстѣ 1°,4 больше нежели на Норвежскихъ берегахъ; напротивъ температура зимы 13°,1 ниже, такъ что меньшую среднюю температуру Барнаула очевидно должно приписать нисшей температурѣ зимы. Разность между температурою лѣта и зимы въ Бергенѣ 10°, въ Барнаулѣ 24,°5; первый имѣетъ береговой климатъ, а послѣдній климатъ материковъ. Такъ какъ Европа представляетъ какъ бы западный берегъ Азіи, въ который глубоко врѣзываются моря, напр. Балтійское море, Средизежное и Черное, по этому Европа, особливо западная, имѣетъ береговой климатъ, напротивъ внутренняя Азія и внутренняя Сѣверная Америка имѣютъ климатъ материковъ; къ этому присоединяется еще то, что въ Европѣ преимущественно дующіе юго-западные вѣтры изъ теплѣйшихъ странъ проходятъ чрезъ поверхность водъ Атлантическаго Океана, слѣд. приносятъ теплѣйшій воздухъ, между тѣмъ какъ въ Азіи и въ Америкѣ высокіе хребты горъ останавливаютъ юго-западное теченіе воздуха. Таковы причины, производящія весьма выгодное для Европы раздѣленіе теплоты въ сѣверномъ полушаріи; для узнанія расположенія теплоты въ южномъ полушаріи мы еще не имѣемъ довольно наблюденій.

§ 223.

Кромѣ этихъ общихъ причинъ различнаго распредѣленія теплоты есть еще одна, которая хотя больше относится къ мѣстности, однако имѣетъ большое вліяніе; это есть возвышеніе мѣста надъ поверхностію океана. Когда на воздушномъ шарѣ поднимаются въ атмосферу, или когда восходятъ на высокую гору, то находятъ, что температура

становится меньше и меньше. Хотя многоразличныя наблюденія такого рода показали, что съ увеличиваніемъ высоты, величина пониженія температуры не всегда и не вездѣ одна и таже, однако для средняго уменьшенія, отъ котораго другія незначительно различаются, можно принимать, что при повышеніи на 700 футовъ термометръ Реомюра показываетъ температуру 1^0 градусомъ ниже, нежели внизу въ тоже самое время.

И такъ на высокихъ горахъ температура снизу вверхъ уменьшается, точно такъ какъ и съ увеличеніемъ широты; отъ этого происходитъ, что при восхожденіи на горы мы проходимъ также, только съ большею быстротою, всѣ климаты, которыя мы встрѣтимъ когда идемъ отъ подошвы горъ къ сѣверу, и если высокая гора находится въ жаркомъ климатѣ, то при восхожденіи на нее мы пройдемъ всѣ поясы земные. Такимъ образомъ Гумбольдтъ во время своихъ путешествій на горы подъ тропиками, поднимаясь до высоты 500 тоазовъ нашелъ страну пальмовыхъ и пизанговыхъ растѣній, за тѣмъ до высоты 1330 слѣдуетъ страна древообразныхъ папоротниковъ, отсюда до 1400 тоазовъ слѣдуютъ дубы и другія растущія въ нашемъ климатѣ высокоствольныя деревья, но при 1400 тоазахъ тѣже деревья растутъ ниже, а при 1540 тоазахъ совершенно прекращается прозябеніе ихъ, и за ними слѣдуютъ кустарники, простирающіеся до 1700 тоазовъ; отъ 1700 до 2100 слѣдуютъ такъ называемыя альпійскія растенія. Между 2100 и 2358 тоазами растутъ только травы и еще выше слѣдуютъ тайнобрачныя растенія, лишаи и проч.; наконецъ при 2464 тоазахъ и выше царствуетъ вѣчная зима и вѣчные снѣга, какъ подъ полюсами земли.

Высота, гдѣ на горахъ начинается снѣгъ, не тающій даже во время теплыхъ лѣтнихъ мѣсяцевъ, или *снѣжная линія*, спускается тѣмъ ниже къ землѣ, чѣмъ больше будемъ удаляться отъ экватора; между тропиками она находится

на высотѣ 15800 русскихъ футовъ, подъ широтою 30° на 13700, подъ 45° на 8640 подъ 70° на 2700 и далѣе къ полюсу она достигаетъ наконецъ поверхности земли. Приведенныя нами числа суть среднія ариѳметическія изъ различныхъ наблюденій, сдѣланныхъ подъ одною и тою же широтою; но впрочемъ въ этихъ высотахъ находятся вспомогательныя неправильности, которыя частію зависятъ отъ того, что изотермическія линіи не параллельны параллельнымъ кругамъ, частію отъ положенія покатости горы, такъ что на южной покатости снѣжная линія лежитъ выше нежели на сѣверной, частію отъ наклоненія покатости, а также и отъ того, уединена ли гора или находится посреди большаго хребта; въ первомъ случаѣ снѣжная линія лежитъ выше, нежели въ послѣднемъ, потому что здѣсь большая масса высоко поднимающихся горъ охлаждаетъ окружающій воздухъ гораздо больше, такъ что въ продолженіи лѣта таетъ снѣгу меньше, нежели когда гора стоитъ уединенно.

Спрашивается теперь, отъ чего температура уменьшается съ высотою? Мы знаемъ, что солнечные лучи больше всего грѣютъ тогда, когда они на пути своемъ задерживаются, слѣд. тѣмъ меньше, чѣмъ прозрачнѣе тѣло, на которое они падаютъ; по этому воздухъ, при прохожденіи чрезъ него солнечныхъ лучей, мало нагрѣвается, напротивъ поверхность земли весьма сильно. Температура небеснаго пространства, въ которомъ движется земля съ своею атмосферою, безъ сомнѣнія весьма низка, вѣроятно ниже—40°R, потому что безъ этого температура полюсовъ холода на поверхности земли была бы выше найденной. И такъ атмосфера представляетъ, такъ сказать, газообразное море, которое снизу находится въ прикосновеніи съ теплымъ дномъ, а вверху съ холоднымъ пространствомъ, и мы видимъ здѣсь тоже обстоятельство, которое имѣетъ мѣсто, когда въ сосудѣ кипятимъ воду, подогрѣвая дно

его; по этому можно было бы думать, что и здѣсь такимъ же образомъ, нагрѣтыя частицы воздуха безпрестанно поднимаются, а холодныя опускаются, и вся воздушная масса должна мало по малу достигнуть равномѣрной температуры; но различіе состоитъ въ томъ, что здѣсь нагрѣвается *газъ*, а въ сосудѣ *капельная жидкость*. Между тѣмъ какъ нагрѣтыя частицы газа поднимаются въ атмосферу, онѣ расширяются, потому что приходятъ на высоты, гдѣ давленіе становится меньше. Но извѣстно, что при расширеніи теплоемкость газовъ дѣлается больше, т. е. они требуютъ большаго количества теплоты для того, чтобы показывать туже температуру какъ прежде: по этому температура ихъ при расширеніи понижается и такимъ образомъ поднимающіяся частицы воздуха скоро теряютъ свою высокую температуру, которою онѣ обязаны солнечной теплотѣ. Напротивъ понижающіяся холодныя частицы воздуха сжимаясь пріобрѣтаютъ меньшую теплоемкость и слѣд. температура ихъ повышается. Такимъ образомъ внизу температура всегда останется выше, нежели въ верху въ атмосферѣ.

§ 224.

Вопросъ, какимъ образомъ измѣняется температура во внутренности земли, можно рѣшить помощію термометра съ длинною трубкою, которую наполняютъ спиртомъ, для того чтобъ отъ большаго количества ртути приборъ не сдѣлался слишкомъ тяжелымъ; шарикъ этого термометра впускаютъ въ землю на различныя глубины и каждый день наблюдаютъ температуру его. Это сдѣлано въ нѣкоторыхъ мѣстахъ и найдено, что въ нашихъ ширстахъ термометръ, котораго шарикъ углубляется подъ землею ниже 3 футовъ, въ продолженіи сутокъ постоянно показываетъ одну и туже температуру, но что эта температура измѣняется отъ

одного дня до другаго; и такъ время года здѣсь еще имѣетъ вліяніе, но это вліяніе становится тѣмъ меньше, чѣмъ больше увеличивается глубина шарика; наконецъ когда глубина будетъ превышать 50 футовъ, то температура, даже въ теченіи цѣлаго года, не измѣняется болѣе. И такъ на этой, или на большей глубинѣ, слой земли болѣе неподверженъ вліянію временъ года; слой, гдѣ это вліяніе начинаетъ быть не замѣтнымъ, называется *слоемъ постоянной температуры*. Сія температура почти сходна съ среднею температурою мѣста наблюденія. Если углубимся ниже этого слоя во внутренность земли, низходя напр. въ рудники, то увидимъ, что термометръ также остается постояннымъ въ теченіи года, но эта постоянная высота будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше будемъ углубляться, и приблизительно можно принять, что для каждыхъ 100 футовъ термометръ повышается на 1°R; впрочемъ на разныхъ мѣстахъ это правило значительно измѣняется. Если позволимъ себѣ разсуждать дальше такимъ же образомъ, то мы должны заключить, что внутренность земли находится въ расплавленномъ состояніи; ибо температура, при которой плавится напр. желѣзо, по новѣйшимъ опытамъ не выше 1300°R; слѣд. если температура постоянно увеличивается по нашему правилу, то мы должны уже на глубинѣ 130000 футовъ или около 37 верстъ найти температуру плавленія желѣза; но діаметръ земли равенъ почти 12000 верстъ, по этому отсюда слѣдовало бы что огромное расплавленное ядро земли окружено только не значительною, въ отношеніи къ нему, тонкою корою. Хотя и не доказано чтобы температура увеличивалась въ постоянномъ отношеніи, но такъ какъ и другія геогностическія наблюденія говорятъ въ пользу мнѣнія о раскаленномъ жидкомъ ядрѣ земномъ, то изложенное мнѣніе теперь вообще принято. Лава вулкановъ есть ничто иное какъ изверженіе этой раскаленной жидкой массы земли на поверхность

ея. Принимая это, далѣе заключаютъ, что при сотвореніи земли весь шаръ земной былъ въ раскаленномъ жидкомъ состояніи и окруженъ не океаномъ, но огромною атмосферою, въ которой всѣ водяныя частицы теперешнихъ океановъ отъ большаго жара были растворены въ видѣ паровъ. Отъ этого земля видимая съ другихъ небесныхъ тѣлъ должна была казаться подобною кометамъ, которыя также представляются намъ состоящими изъ плотнѣйшаго ядра и газообразной оболочки. Отъ вращенія около оси своей эта жидкая масса земли приняла видъ пара сжатаго при полюсахъ, который видъ она и теперь имѣетъ. Отъ движенія въ холодномъ пространствѣ земля охлаждалась мало по малу и очевидно что тогда прежде всего затвердѣла поверхность; между тѣмъ какъ земля мало по малу теряла свою первоначальную теплоту, водяныя частицы осаждались наконецъ на поверхность ея и образовали море. Но внутренняя жидкая масса давимая сжатіемъ отъ охлажденія земной коры, часто выходила черезъ трещины на поверхность, или если она не находила трещинъ, то поднимала кору въ видѣ свода, пока не разрывала ее и поднималась черезъ разрывы; отъ этого произошли на землѣ неровности, горы и долины. При такомъ насильственномъ поднятіи твердой коры земли море должно было отбрасываться съ ужасною силою и наводнять прежнія сухія мѣста, при этомъ множество органическихъ твореній погибало, и покрыто было твердыми частями осаждавшимися изъ воды при спокойномъ состояніи ея; въ самомъ дѣлѣ еще и теперь мы находимъ въ нѣдрѣ земли ихъ остатки, которые, какъ напр. каменный уголь, окаменелости, цѣлые скелеты и проч. своимъ необыкновеннымъ и теперь нигдѣ не находимымъ видомъ приводятъ насъ въ удивленіе.

Видимое исключеніе изъ закона увеличенія температуры вмѣстѣ съ глубиною представляетъ море. Въ немъ нашли, что температура съ глубиною уменьшается. Между

тропиками посредствомъ особеннаго прибора, открывающагося при погруженіи въ воду и при поднятіи запирающагося дѣйствіемъ особеннаго устройства, изъ глубины доставали воду, которая едва показывала 2^0, тогда какъ температура на поверхности была 20^0 и еще больше. Но причина этого заключается въ удободвижимости водяныхъ частицъ, отъ чего холодныя частицы постоянно должны течь по дну морскому отъ полюса къ экватору, между тѣмъ какъ теплыя стекаютъ отъ экватора къ полюсу. Если бы начиная отъ дна морскаго можно было спуститься въ глубину земли, то безъ сомнѣнія нашли бы приращенія температуры, какъ вездѣ во внутренности земли.

§ 225.

Мы видѣли, что вода испаряется при всякой температурѣ и что по этому атмосфера всегда наполнена водяными парами. Если количество ихъ такъ велико, что они приближаются къ состоянію насыщенія, то малѣйшее охлажденіе воздуха достаточно для того, чтобы произвести осажденіе паровъ. Когда это бываетъ, то воздухъ наполняется водяными шариками, чрезъ это теряетъ свою прозрачность и является въ видѣ *тумана* или *облака*. Находясь на какой нибудь высокой горѣ внутри облака, мы замѣчаемъ совершенно тоже самое явленіе, какъ если мы находимся на поверхности земли, окруженные туманомъ. По этому *туманъ* есть *облако* висящее надъ самою поверхностію земли, или *облако* есть *туманъ* плавающій въ воздухѣ на большой высотѣ. Какъ ни разнообразенъ бываетъ видъ облаковъ, однако отличаютъ нѣкоторые главные ихъ виды, которые означаютъ именами: Cirrhus, Cumulus, Stratus. Cirrhus (*перистыя* облака) суть бѣлыя легкія жилки, которыми подернуто бываетъ небо, когда послѣ ясныхъ дней оно начинаетъ помрачаться. Они образуютъ

продолговатыя полоски и весьма способствуютъ образованію тѣхъ круговъ около солнца и луны, которыхъ происхожденіе въ ледяныхъ кристаллахъ мы уже разсматривали. По этому вѣроятно, что перистыя облака состоятъ не изъ водяныхъ пузырьковъ, какъ туманъ и прочія облака, но изъ весьма тонкихъ ледяныхъ иголокъ; это подтверждается нѣкоторымъ образомъ и большею высотою ихъ предъ прочими облаками (около 20000 фут.) и бѣлымъ видомъ ихъ.— Cumulus (*кучевыя* облака) исключительно замѣчаются весною и лѣтомъ; они суть отдѣльныя полушарообразныя густыя бѣлыя облака, которыя такъ часто въ ясные лѣтніе дни являются утромъ и въ 2 или въ 3 часа пополудни бываютъ самыя густыя, а вечеромъ опять пропадаютъ и оставляютъ небо яснымъ.—Stratus (*слоистыя* облака) составляютъ облака иногда замѣчаемыя въ видѣ туманной стѣны; это есть однородная сѣрая облачная масса, ограниченная вверху чистымъ небомъ почти по горизонтальной линіи.— Кромѣ этихъ трехъ главныхъ видовъ различаютъ еще роды облаковъ, составленные изъ описанныхъ; между ними важнѣйшія: Cirrho-cumulus (*перисто-кучевыя*) въ общежитіи извѣстны подъ именемъ *барашковъ* и Cumulo-stratus (*слоисто-кучевыя*), если кучевыя накопляются такъ густо, что между ними нигдѣ нельзя видѣть голубаго неба; сюда принадлежатъ тучи во время грозы.

Есть двѣ главныя причины, отъ которыхъ осаждающіеся пары образуются въ облака, именно 1) охлажденіе теплаго, влажнаго воздуха безпрестанно поднимающагося отъ земли въ ясные дни и 2) смѣшеніе двухъ родовъ воздуха различныхъ температуръ.

1). Мы уже видѣли, что отъ сильнаго нагрѣванія земной поверхности лѣтомъ должно происходить безпрестанное возхожденіе нижняго теплаго воздуха и пониженіе верхняго холоднаго; при этомъ противоположномъ движеніи воздухъ раздѣляется на столбы, такъ что подлѣ восхо-

дящаго теплаго столба, находится холодный нисходящій. Восходящіе столбы смѣшаны съ большимъ количествомъ паровъ и когда они охлаждаются частію отъ собственнаго расширенія, частію отъ прикосновенія съ холоднѣйшими частицами, то частицы паровъ сгущаются и образуютъ *облака*, и слѣд. должны казаться въ видѣ отдѣльныхъ массъ на чистомъ небѣ и въ этомъ-то причина кучевыхъ облаковъ, которыя только тогда происходятъ, когда есть восходящее теченіе; поэтому они замѣчаются только лѣтомъ, а подъ большими широтами, покрытыми всегда снѣгомъ, ихъ совершенно не находятъ. Другое явленіе отъ тойже причины, представляютъ слои тумановъ, которые мы лѣтомъ ввечеру замѣчаемъ на влажныхъ лугахъ. Изъ этихъ луговъ отъ дѣйствія дневной теплоты поднимается большое количество паровъ, которые почти насыщаютъ находящійся тамъ воздухъ; если вечеромъ температура его понижается и самая почва теряетъ свою теплоту отъ лученспусканія, тогда часть паровъ осаждается и въ слѣдствіе этого происходитъ туманъ.

2). Что бы видѣть вліяніе второй причины, т. е. смѣшенія двухъ родовъ воздуха различныхъ температуръ, на осажденіе паровъ, мы возьмемъ примѣръ. Предположимъ, что воздухъ при температурѣ 20^0 смѣшивается съ такимъ же количествомъ другаго воздуха при температурѣ 10^0 и что оба количества воздуха такъ обильно наполнены водяными парами, что почти насыщены ими. Тогда по таблицѣ (стр. 434) упругость паровъ въ первомъ воздухѣ будетъ $=0{,}90$, а второмъ $=0{,}42$; слѣд. послѣ смѣшенія средняя упругость $=0{,}66$, а температура смѣси $=15^0$. Но при 15^0 по той же таблицѣ, даже при возможно наибольшемъ насыщеніи, могутъ существовать только тѣ пары, которыхъ упругость есть 0,62, слѣд. послѣ смѣшенія часть паровъ должна перейти въ жидкое состояніе. И такъ видно, что при смѣшеніи пары осаждаются потому, что упругость

ихъ возрастаетъ въ гораздо скорѣйшемъ отношеніи, нежели температура, такъ что средняя изъ обѣихъ упругостей бываетъ больше той, которая соотвѣтствуетъ средней температурѣ. Но мы уже видѣли, что въ верхнихъ частяхъ атмосферы происходитъ безпрестанное теченіе воздуха отъ экватора къ полюсамъ, а въ нижнихъ отъ полюса къ экватору; на предѣлахъ этихъ теченій смѣшиваются оба воздушные тока, холодный съ сѣвера, а теплый съ юга; слѣд. если прежде смѣшенія они оба сильно наполнены были влажностію, то на границахъ смѣшенія пары должны сгущаться, и прежде являться въ видѣ перистыхъ облаковъ, при чемъ тонкія жилки ихъ показываютъ направленіе обоихъ воздушныхъ теченій. При усиленіи осажденія паровъ, и когда къ этому присоединяется еще первая причина— теченіе теплаго воздуха вверхъ — происходятъ облака перисто-кучевыя и другіе роды ихъ.

§ 226.

Хотя каждый шарикъ сгущенныхъ въ облако паровъ тяжелѣе воздуха, однако при своемъ паденіи онъ встрѣчаетъ большое сопротивленіе воздуха, и по этому онъ будетъ плавать въ немъ, какъ скоро еще какая нибудь другая сила будетъ противодѣйствовать паденію. Эта сила находится частію въ восходящихъ теченіяхъ воздуха, частію въ нагрѣваніи облаковъ солнечными лучами съ верхней стороны; ибо когда солнечные лучи встрѣчаютъ въ облакахъ предметъ болѣе непрозрачный нежели воздухъ, то они нагрѣваютъ его болѣе, вся масса воздуха въ облакахъ будетъ легче окружающаго воздуха, слѣд. она будетъ подниматься и увлечетъ съ собою водяныя частицы. Очевидно, что это бываетъ и при пасмурномъ небѣ, потому что верхнія части облаковъ всегда освѣщаются солнцемъ; обѣ эти причины ночью не существуютъ, по этому облака ночью понижаются и бываютъ ближе къ землѣ.

Когда сгущеніе будетъ сильнѣе, то водяныя частицы увеличиваются, и поэтому скорѣе понижаются. Такъ какъ при пониженіи они бываютъ холоднѣе воздуха, въ которомъ движутся, то на нихъ будутъ осаждаться пары изъ воздуха, какъ они осаждаются на охлажденномъ шарѣ Даніелева гигрометра; отъ этого капли при паденіи увеличиваются, падаютъ съ большею скоростію и достигаютъ до земли въ видѣ *дождя*. Изъ этого объясненія слѣдуетъ, что на высокихъ мѣстахъ должно выпадать дождя меньше, нежели на низкихъ, и это въ самомъ дѣлѣ подтверждается опытами. Такъ напр. на плоской кровлѣ Обсерваторіи въ Парижѣ въ продолженіи года выпадетъ дождя въ отношеніи 6 : 7 меньше нежели на улицѣ, которая находится 90 фут. ниже. Въ Іоркѣ на Соборѣ, который 213 футами выше улицы, выпадаетъ дождя $^1/_3$ меньше, нежели на улицѣ. Чтобы опредѣлить количество выпадающаго дождя употребляютъ такъ называемый *Омброметръ* (дождемѣръ). Открытый сосудъ AB (фиг. 273), котораго отверстіе заключаетъ ровно 1 квадратный футъ, внизу оканчивается воронкообразно въ стеклянную трубку CD, которая можетъ закрываться краномъ D, и начиная отъ него вверхъ раздѣлена на кубическіе дюймы и части его. Приборъ ставится на открытомъ воздухѣ и послѣ дождя измѣряется количество воды въ трубкѣ, а потомъ вода черезъ кранъ выливается прочь. Такимъ образомъ узнаютъ, сколько кубическихъ дюймовъ дождя выпадаетъ на одинъ кубическій футъ. Подобный же приборъ служитъ и для измѣренія выпавшаго количества снѣгу, только послѣ окончанія паденія его нужно внести приборъ въ теплую комнату, чтобы растаялъ снѣгъ и вода вошла въ трубку. Количество дождя не выражается кубическими дюймами, но обыкновенно изъ нихъ вычисляется, какъ высоко стояла бы выпавшая дождевая вода въ сосудѣ AB, если бы до самаго низу онъ былъ цилиндрическій, и означаютъ эту

высоту. Такъ напр. говорятъ, что выпавшее у насъ въ продолженіи года количество дождя и снѣгу (который предполагается растаявшимъ) равно 18 дюймамъ; по предъидущему это значитъ тоже что: если бы выпавшее у насъ количество дождя или снѣгу (въ растаявшемъ состояніи) оставалось на землѣ, не всасываясь въ землю или не теряясь чрезъ испареніе, то въ продолженіи года оно составило бы слой воды глубиною въ 18 дюймовъ. Такимъ образомъ опредѣляли количество дождя подъ различными широтами и нашли, что отъ экватора къ полюсу оно уменьшается. Между тропиками толщина водянаго слоя отъ дождя равно 70″, на Малабарскихъ островахъ даже 120″, между тѣмъ какъ въ Римѣ 30″, въ Германіи 27″, въ Англіи 30″, въ Петербургѣ 18″. Но число дождливыхъ дней наоборотъ увеличивается отъ экватора къ полюсамъ. Количество дождя 70″ подъ тропиками накопляется въ теченіи 3 мѣсяцевъ, между тѣмъ какъ у насъ въ Петербургѣ 18″ дождя падаютъ, если сложить всѣ дождливые дни, въ теченіи 6 мѣсяцевъ. Изъ этого слѣдуетъ, что дождевыя капли между тропиками гораздо гуще и крупнѣе падаютъ нежели у насъ; причину этому очевидно нужно искать въ большемъ количествѣ водяныхъ паровъ, находящихся въ тепломъ тропическомъ воздухѣ и осаждающихся на падающихъ холодныхъ каплахъ. Вообще легко усмотрѣть, что гдѣ температура выше, слѣд. больше освобождается паровъ, тамъ должно быть больше и количество выпадающаго дождя.

Снѣгъ есть тоже что дождь, съ тѣмъ только различіемъ, что первые упадающіе шарики воды бываютъ замерзшіе; на нихъ осаждаются пары нисшихъ воздушныхъ слоевъ и тотчасъ замерзаютъ въ тоненькія иглы, изъ которыхъ состоятъ снѣжинки.

Крупа есть также замерзшія дождевыя капли, но тогда, когда они уже достигли значительной величины.

Градъ есть явленіе, которому еще не найдено основательнаго объясненія, хотя много придумано для того гипотезъ. Онъ образуется въ жаркое время года, преимущественно вмѣстѣ съ грозою и состоитъ изъ кругловатыхъ ледяныхъ кусковъ, которые иногда достигаютъ величины куринаго яйца и въ срединѣ имѣютъ снѣгообразное ядро; около него лежатъ концентрическіе ледяные слои, которые очевидно произошли отъ осажденія паровъ на внутреннее ядро. Передъ паденіемъ града слышенъ часто особеннаго рода шумъ, который кажется происходитъ отъ ударенія градинъ одной о другую. Прежде градъ считали за явленіе, на образованіе котораго имѣетъ большое вліяніе электричество, именно Вольта предложилъ эту гипотезу образованія его, которая нашла многихъ послѣдователей. Въ слѣдствіе этой теоріи думали устранить вредное для земледѣльцевъ паденіе града посредствомъ *градоотводовъ*, подобныхъ громовымъ отводамъ, которые ставили на поляхъ въ большомъ количествѣ и которые должны были разряжать электричество облаковъ и черезъ это дѣлать невозможнымъ образованіе града. Теперь не считаютъ электричества за причину града, и въ самомъ дѣлѣ есть случаи, когда отъ града пострадали преимущественно мѣста снабженныя градоотводами; по этому градоотводы должны быть оставлены какъ дорогія и безполезныя орудія.

Смерчь есть также не совершенно изъясненное явленіе, состоящее въ слѣдующемъ: облако спускается внизъ въ видѣ воронки; когда это бываетъ на морѣ, то подъ нимъ сильно волнуется вода, поднимается вверхъ также въ видѣ обратной воронки до тѣхъ поръ, пока вершины обѣихъ воронокъ, водянаго и облачнаго, соединяются и составляютъ столбъ, котораго вершина находится въ облакахъ, а основаніе на поверхности моря. Въ столбѣ замѣчается спиралеобразное движеніе воды вверхъ и внизъ.

Когда смерчь является надъ твердою землею, то вмѣсто воды поднимается облако пыли и все явленіе движется впередъ; если смерчи достигаютъ деревьевъ, то они часто вырываютъ ихъ изъ земли, поднимаютъ ихъ на воздухъ и далеко разбрасываютъ; они даже срываютъ кровли съ домовъ и вообще увлекаютъ ужасною силою всѣ предметы попадающіеся имъ.

ОТДѢЛЕНІЕ ТРЕТІЕ.

О МАГНЕТИЗМѢ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

О ДѢЙСТВІИ И О ВОЗБУЖДЕНІИ МАГНЕТИЗМА ВЪ ЖЕЛѢЗѢ И ВЪ СТАЛИ.

§ 227.

Есть желѣзная руда, имѣющая замѣчательное свойство притягивать къ себѣ желѣзо. Такое свойство называютъ *магнетизмомъ*, а желѣзную руду *магнитнымъ камнемъ*. Въ этой рудѣ находится желѣзо соединенное съ небольшимъ количествомъ кислорода. Но эту способность притягивать желѣзо можно и искуственно сообщить закаленной сталѝ; мы увидимъ послѣ какимъ образомъ, а теперь достаточно для насъ знать, что въ самомъ дѣлѣ существуютъ такіе *стальные искуственные магниты*, какъ называютъ ихъ для отличія отъ *естественныхъ магнитовъ*, которые сами собою получили магнетизмъ въ нѣдрахъ земли. Такъ какъ искуственнымъ магнитамъ можно дать форму удобнѣйшую для опытовъ нежели естественнымъ, то мы при описаніи послѣдующихъ опытовъ всегда будемъ говорить объ искуственныхъ магнитахъ.

Предположимъ, что имѣемъ искуственный магнитъ, и пусть онъ будетъ цилиндрическій NS (фиг. 274) длиною

въ 3 дюйма, а толщиною въ $^1/_4$ дюйма, котораго концы округлены. Возмемъ кусокъ желѣза, напримѣръ маленькой ключикъ K, и держа магнитъ въ горизонтальномъ положеніи приблизимъ ключикъ къ концу N магнита; она тотчасъ притянется концемъ N и будетъ висѣть на немъ, когда притягательная сила магнита преодолѣетъ тяжесть ключа. Если станемъ подвигать на магнитѣ ключь дальше къ срединѣ, то онъ все еще будетъ поддерживаться, но когда будемъ отрывать его, то увидимъ, что притягательная сила магнита болѣе и болѣе ослабѣваетъ. Когда передвигая ключь дойдемъ до B, то найдемъ, что магнитъ болѣе не въ состояніи держать ключа, однако замѣтимъ, что онъ все еще притягивается, только сила притяженія здѣсь слабѣе вѣса ключа. Если послѣдній передвинемъ до самой средины въ A, то здѣсь ключь уже совершенно не притягивается; далѣе на другой сторонѣ отъ A притяженіе опять начнется, въ B′, на разстояніи отъ A равномъ разстоянію B отъ A, сила будетъ опять такъ велика, что она можетъ держать ключь и отсюда возрастаетъ болѣе и болѣе до другаго конца S. Слѣдовательно магнитная сила имѣетъ самую большую величину на концахъ магнита, въ срединѣ же его она равна 0. Точки магнита N и S, притягивающія желѣзо сильнѣе прочихъ, называются *полюсами* его, а совершенно не дѣйствующая точка A *безразличною точкою.*

Существованіе полюсовъ и точки безразличія можно также доказать, погрузивши магнитъ въ желѣзные опилки; вынимая его увидимъ, что опилки пристаютъ въ видѣ большой кисти на концахъ магнита, но слабѣе близъ средины, и наконецъ въ самой срединѣ A совсемъ ихъ незамѣтно. Но еще лучше для опредѣленія точекъ наибольшаго притяженія дѣлаютъ опытъ такъ: на столъ кладутъ магнитъ и покрываютъ его листомъ бумаги горизонтально лежащимъ, потомъ разсыпаютъ по бумагѣ немного желѣз-

ныхъ опилковъ; если пальцемъ ударить слегка по бумагѣ, такъ чтобы частицы желѣза подскочили вверхъ, то при паденіи онѣ расположатся мало по малу, согласно съ притяженіемъ находящагося подъ бумагою магнита и составятъ такимъ образомъ фигуру, показанную въ чертежѣ (фиг. 275), гдѣ линія NS, означенная точками, показываетъ магнитъ лежащій подъ бумагою. Изъ этого видно что линіи, по которымъ располагаются опилки и которыя называются *магнитными кривыми линіями*, направлены къ двумъ точкамъ N и S, которыя и суть наиболѣе притягивающіе полюсы, слѣд. они лежатъ не на самыхъ концахъ магнита, но въ *нѣкоторомъ разстояніи отъ концовъ къ срединѣ*. Мы увидимъ послѣ, почему желѣзные опилки располагаются въ видѣ линіи. Послѣдній опытъ показываетъ, что магнитное притяженіе дѣйствуетъ даже сквозь другія тѣла, въ нашемъ случаѣ сквозь бумагу, и это въ самомъ дѣлѣ доказывается также для всѣхъ другихъ тѣлъ; когда магнитъ дѣйствуетъ на желѣзо, то все равно, находится ли между магнитомъ воздухъ, стекло, дерево или другое вещество, дѣйствіе будетъ совершенно того же рода и совершенно такойже силы; только когда между ними находится желѣзо, то притяженіе измѣняется, потому что магнитъ дѣйствуетъ и на это желѣзо. — Кромѣ желѣза мы знаемъ еще два металла, *Кобальтъ* и *Никкель*, которые имѣютъ магнитныя свойства.

§ 228.

Теперь разсмотримъ, какъ полюсы двухъ магнитовъ дѣйствуютъ другъ на друга. Для этого повѣсимъ бумажную трубочку C (фиг. 276) на шелковинку AB и вложимъ въ нее магнитную полосу NS, такъ чтобы она висѣла горизонтально. Тотчасъ увидимъ, что магнитъ начинаетъ обращаться, потомъ около нѣкотораго положенія будетъ

колебаться туда и сюда, какъ горизонтальный маятникъ, и наконецъ въ этомъ положеніи придетъ въ покой. Мы замѣтимъ тогда, что одинъ конецъ его N обращенъ къ сѣверу, а другой S къ югу, и какъ бы потомъ мы ни обращали магнитъ, онъ всегда самъ собою опять приходитъ въ это положеніе. Тоже самое бываетъ и со вторымъ магнитомъ N′S′, если его вкладываютъ въ бумажную трубочку вмѣсто NS. Полюсы обращенные къ сѣверу называютъ *сѣверными полюсами*, а другіе *южными*. Если каждый изъ сѣверныхъ полюсовъ означимъ чертою и опять одинъ магнитъ NS повѣсимъ на шелковинкѣ, и къ сѣверному полюсу его N приблизимъ сѣверный полюсъ другаго N′, то конецъ N висящаго магнита будетъ отталкиваться полюсомъ N′, также S оттолкнется полюсомъ S′; напротивъ N будетъ притянутъ южнымъ полюсомъ S′, а S концемъ N′. Изъ этого слѣдуетъ что:

1. Каждый магнитъ имѣетъ два полюса разнородные, изъ которыхъ одинъ называется *сѣвернымъ полюсомъ*, а другой *южнымъ*.

2. Одноименные полюсы двухъ магнитовъ отталкиваются, напротивъ разноименные притягиваются.

Наконецъ посредствомъ тщательныхъ опытовъ нашли, что:

3. Отталкиваніе и притяженіе двухъ какихъ нибудь частицъ магнита совершаются въ обратномъ отношеніи квадратовъ разстояній.

Если магнитную полосу, имѣющую два полюса N и S и безразличную точку A, по срединѣ разломимъ на двѣ половины, то не найдемъ, чтобъ одна половина ея имѣла только одинъ полюсъ сѣверный, а другая только южный; но въ самое мгновеніе разлома въ половинѣ съ сѣвернымъ полюсомъ появится въ A новый полюсъ южный, въ половинѣ же съ южнымъ полюсомъ окажется при A

новый сѣверный полюсъ. Слѣд. весь магнитъ какъ будто былъ составленъ изъ двухъ магнитовъ вдвое кратчайшихъ его, которые соединившись противоположными полюсами, дѣйствующими другъ на друга, такъ измѣнили дѣйствіе сихъ послѣднихъ, что въ A весь магнетизмъ исчезъ и дѣйствуютъ только остальные полюсы другихъ концевъ. Каждую половину можно опять разломить на двое и мы получимъ 4 совершенные магнита, каждый съ однимъ сѣвернымъ и съ однимъ южнымъ полюсомъ; такимъ образомъ можно раздѣлять магниты далѣе и далѣе и мы приведены будемъ къ слѣдующимъ заключеніямъ:

4. Каждый магнитъ состоитъ изъ безчисленнаго множества *магнитныхъ элементовъ*, которыхъ одноименные полюсы всѣ обращены въ одну сторону.

5. Когда два разноименные полюса равной силы тѣсно будутъ соединены другъ съ другомъ, то въ мѣстѣ соединія они будутъ дѣйствовать какъ бы они не имѣли магнетизма.

Если желѣзный цилиндръ AB приблизимъ къ сѣверному полюсу N магнита (фиг. 277), то онъ будетъ притягиваться; если потомъ къ концу его B приблизимъ другой желѣзный цилиндръ A′B′, то онъ также будетъ притягиваться концомъ B желѣза и когда посредствомъ приближенія магнитной полоски, повѣшенной, какъ мы выше показали, на шелковинкѣ, изслѣдуемъ свойство магнетизма въ B, которымъ производилось притяженіе то найдемъ, что въ B находится сѣверный магнетизмъ, какъ въ полюсѣ магнита N. Какъ скоро отдалимъ желѣзо AB отъ N, то найдемъ, что оно не сохраняетъ своего магнетизма и что конецъ N ни сколько не потерялъ своей силы, между тѣмъ какъ тотъ же самый полюсъ N, когда желѣзо AB находилось въ прикосновеніи съ нимъ, дѣйствовалъ слабѣе на отклоненіе близко къ нему повѣшенной магнитной полоски, нежели

безъ приложенія AB. Предъидущимъ доказывается, что изъ N въ AB нисколько не перешло магнетизма, но что онъ былъ *возбужденъ* въ AB; слѣдовательно должно допустить, что въ желѣзѣ, и при немагнитномъ состояніи его, существовали магнетизмы сѣверный и южный, но только въ *несвободномъ* состояніи. Такъ какъ мы уже прежде принуждены были допустить, что противоположные магнетизмы уничтожаются другъ другомъ въ своемъ дѣйствіи, то простѣе всего принимать, что мы не замѣчаемъ присутствія магнетизма въ желѣзѣ при не магнитномъ состояніи его только отъ того, что противоположные магнетизмы находятся въ каждой желѣзной частицѣ въ равной степени и удерживаютъ другъ друга въ какомъ то *связанномъ состояніи*, которое препятствуетъ имъ дѣйствовать наружу, подобно какъ напр. въ поваренной соли мы не замѣчаемъ свойствъ ни хлора ни натрія, изъ которыхъ соль составлена, или лучше подобно какъ въ Алгебрѣ отъ сложенія количествъ $+a$ и $-a$ получаемъ 0.

И здѣсь также, какъ при изслѣдованіяхъ о теплородѣ и о свѣтѣ, воображаютъ себѣ, что притягательная сила въ магнитахъ принадлежитъ нѣкоторому *веществу*, находящемуся въ стали и желѣзѣ, и по причинѣ удобнаго разложенія магнетизма въ желѣзѣ при приближеніи его къ магниту и удобнаго уничтоженія магнетизма послѣ отдаленія желѣза отъ магнита, предполагаютъ, что это вещество есть *жидкость*.

§ 229.

И такъ по этой теоріи въ каждой частицѣ желѣза или въ каждомъ элементѣ его существуютъ двѣ магнитныя жидкости, одна *сѣверная*, другая *южная*, обѣ въ равномъ количествѣ; частицы одной и тойже жидкости отталкиваются, частицы разнородныхъ жидкостей притягиваются.

При обыкновенномъ состоянiи желѣза, обѣ жидкости въ каждой частицѣ такъ сильно притягиваются и въ слѣдствiе того такъ связываются, что онѣ вовсе не дѣйствуютъ наружу; но если приблизимъ желѣзо къ полюсу магнита, напр. сѣверному, то въ каждомъ элементѣ южная жидкость притягивается, а сѣверная отталкивается; отъ этого часть ихъ разлагается, смотря по разлагающей силѣ полюса магнита, южныя жидкости въ каждомъ элементѣ приближаются къ магниту, и тамъ ослабляютъ дѣйствiе его, какъ мы видѣли изъ опыта, между тѣмъ какъ сѣверныя скопляются къ отдаленнѣйшимъ отъ магнита концамъ элементовъ и всѣ вмѣстѣ производятъ на этомъ концѣ желѣза сѣверный полюсъ, который дѣйствуетъ на приближенное къ нему другое желѣзо совершенно, какъ самъ магнитъ. При отдаленiи же желѣза разлагающая сила уничтожается, разложенныя разнородныя магнитныя жидкости каждаго элемента свободно слѣдуютъ своему взаимному притяженiю, соединяются и желѣзо опять дѣлается не магнитнымъ.

По этой теорiи легко понять, отъ чего желѣзныя опилки располагаются по направленiю магнитныхъ кривыхъ линiй (фиг. 275). Въ самомъ дѣлѣ каждая опилинка въ присутствiи магнита получаетъ магнетизмъ, слѣдовательно два полюса; эти разнородные полюсы притягиваются; по этому опилки соединяются своими полюсами и составляютъ такимъ образомъ линiи.

Если повторимъ тотъ же опытъ, который мы изложили въ предъидущемъ параграфѣ, но съ тѣмъ различiемъ, что приблизимъ къ полюсу магнита N вмѣсто желѣзнаго такойже цилиндръ AB изъ закаленной стали, то увидимъ другое явленiе, именно стальной цилиндръ вначалѣ вовсе не притягивается, особенно если въ магнитѣ полюсъ N не весьма силенъ, но мало по малу начинается притяженiе и возрастаетъ до опредѣленной степени, впрочемъ прiобрѣ-

тепный магнетизмъ слабѣе магнетизма обнаруживающагося въ желѣзѣ; но за то при удаленіи отъ N сталь AB сохраняетъ этотъ магнетизмъ. По этому въ стали какая та сила противодѣйствуетъ въ началѣ опыта разложенію магнитныхъ жидкостей и послѣ соединенія ихъ; слѣдовательно эта сила противодѣйствуетъ вообще движенію магнитныхъ жидкостей въ элементахъ стали, какъ напр. треніе сопротивляется движенію тѣлъ. Эту силу мы назовемъ *задерживательною силою;* она дѣлаетъ существенное различіе между желѣзомъ, въ которомъ она равна нулю или почти 0, и сталью, въ которой она тѣмъ больше, чѣмъ больше сталь закалена. — Имѣя въ виду эту силу легко объяснить явленія намагничиванія стали. Въ самомъ дѣлѣ при приближеніи стальнаго цилиндра AB (фиг. 278) къ магнитному полюсу N послѣдній разлагаетъ естественныя магнетизмы стали, но задержательная сила противодѣйствуетъ сему разложенію и по этому оно совершается медленно и оканчивается тогда, когда сумма дѣйствій задержирательной силы и взаимныхъ притяженій разложенныхъ магнетизмовъ *n* и *s* каждаго элемента не придетъ въ равновѣсіе съ разлагающею силою магнитнаго полюса N. Если отдалимъ полюсъ N, то раздѣленные магнетизмы *n* и *s* будутъ взаимно притягиваться, какъ и въ желѣзѣ, но здѣсь задерживательная сила сопротивляется движенію ихъ и слѣд. соединенію. Если количество ихъ такъ велико, что взаимное притяженіе ихъ можетъ преодолѣть задерживательную силу, то они соединяются до тѣхъ поръ, пока притяженіе еще не соединившихся магнетизмовъ не будетъ равно силѣ задерживательной; тогда больше не будетъ никакого соединенія. Въ этомъ случаѣ говорятъ, что элементы намагничены до насыщенія или, если это происходитъ во всѣхъ элементахъ, сталь намагничена до *насыщенія*. Слѣд. намагничиваніе до насыщенія есть самая высшая степень *остающагося магнетизма*, который можно

дать куску стали и тѣмъ большая степень, чѣмъ больше сила задерживательная, слѣд. чѣмъ больше *закалена сталь*.

§ 230.

Однимъ приближеніемъ стальной полосы къ полюсу N магнита, даже непосредственнымъ прикосновеніемъ, не льзя намагнитить ее до насыщенія, развѣ только въ томъ случаѣ, когда полоса весьма мала и полюсъ N весьма силенъ, какъ напр. шитьевныя иголки посредствомъ одного прикосновенія къ сильному магниту можно въ самомъ дѣлѣ намагнитить до насыщенія.

Когда же должно намагничивать большія стальныя полосы, то нужно употреблять другіе способы. Прежде дѣлали это посредствомъ такъ называемаго *простаго натиранія*, состоящаго въ томъ, что одинъ конецъ магнита ставятъ перпендикулярно къ одному концу горизонтальной, намагничиваемой стальной полосы, и проводятъ его до другаго конца; потомъ отнимаютъ магнитъ и ставятъ его снова на первый конецъ и повторяютъ натираніе нѣсколько разъ по одному и тому же направленію; но и этотъ способъ производитъ только слабую степень магнетизма и теперь употребляютъ по этой причинѣ всегда способъ *двойнаго натиранія*, которое производится двоякимъ образомъ:

I. Намагничиваемую полосу AB кладутъ горизонтально (фиг. 279); по срединѣ ея ставятъ 2 магнитныя полосы SN и S′N′ какъ показано въ фигурѣ, въ наклонномъ положеніи такъ, что сѣверный полюсъ одной N лежитъ близъ южнаго полюса S′ другой; потомъ, держа ее всегда въ томъ же наклоненіи, въ одно время одну проводятъ къ A, и вмѣстѣ другую къ B. На концахъ обѣ полосы поднимаютъ вверхъ, и потомъ опять кладутъ на средину и такимъ

образомъ повторяютъ дѣйствіе нѣсколько разъ; послѣ этого переворачиваютъ полосу AB такъ, чтобы нижняя сторона ея лежала къ верху и опять натираютъ. Тогда на конецъ B, на которомъ поднимается вверхъ *южный* полюсъ S', окажется *сѣверный полюсъ*, а на конецъ A, гдѣ поднимается сѣверный полюсъ N, окажется *южный*. Этотъ способъ двойнаго натиранія принадлежитъ Дюгамелю.

II. Полосы NS и N'S', также какъ и въ *Дюгамелевомъ* способѣ, ставятъ по срединѣ; между ними кладутъ небольшой кусочикъ дерева, который держитъ ихъ всегда въ одномъ разстояніи, и проводятъ оба вмѣстѣ сперва къ A, потомъ назадъ къ B, потомъ опять къ A и такимъ образомъ нѣсколько разъ; наконецъ идя отъ B къ срединѣ останавливаютъ и здѣсь поднимаютъ оба магнита; также и здѣсь въ A оказывается южный полюсъ, въ B сѣверный. Этотъ способъ принадлежитъ *Эпинусу* и преимущественно употребляется для намагничиванія толстыхъ полосъ; напротивъ Дюгамелевымъ способомъ получается правильнѣйшее раздѣленіе магнетизма и онъ заслуживаетъ предпочтеніе для тонкихъ полосокъ.

Но при обоихъ способахъ можемъ гораздо больше усилить дѣятельность, если по продолженію AB положимъ еще два сильные магнита такъ, чтобы A лежалъ на сѣверномъ полюсѣ, а B на южномъ; это показано въ фигурѣ въ N_0 и S_0.

Когда хотятъ сдѣлать сильный магнитъ, то составляютъ его изъ многихъ тонкихъ полосъ, у которыхъ всѣхъ одноименные полюсы обращены въ одну сторону; такое соединеніе называется *магнитною системою* и также, если въ ней очень много полосъ, *магнитнымъ магазиномъ*. Концы всѣхъ полосъ обыкновенно соединяются мягкимъ желѣзомъ, которое отъ этого намагничивается и на своемъ концѣ показываетъ общій всѣмъ полюсъ. Фигура 280 показываетъ такую систему изъ 8 полосъ, которыя

можно видѣть расположенными въ два слоя, въ каждомъ по 4, какъ показано въ I сверху, въ II съ боку. A и B суть желѣзные куски или *оправы*. Такія оправы употребляются и въ естественныхъ магнитахъ. Если напр. NS (фиг. 281) есть естественный магнитъ, N сѣверная половина и S южная, то желѣзные пластинки вправляются AM съ одной стороны и BN съ другой, которыя объ концами выдаются въ A и B. Тогда A представляетъ сѣверный полюсъ, а B южный, C кусокъ желѣза притягиваемый ими; къ нему при D привѣшиваютъ чашку, на которую можно класть гири, для того чтобы опредѣлить, какъ сильно магнитомъ притягивается желѣзо C, называемое обыкновенно *якоремъ*, по причинѣ формы, которую давали этому желѣзу въ прежнія времена.—Оправленному такимъ образомъ естественному магниту соотвѣтствуютъ искуственные подковообразные, изъ которыхъ одинъ представленъ въ фиг. 282 въ I спереди, въ II съ боковъ. Онъ состоитъ изъ 5 отдѣльныхъ подковообразныхъ магнитовъ, какъ видно въ фигурѣ II, лежащихъ одинъ на другомъ, но такъ, что средній концами своими выдается больше всѣхъ. Эти подковы сжаты вмѣстѣ тисками; MN есть притянутый якорь, на который можно повѣсить чашку.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

О МАГНЕТИЗМѢ ЗЕМНАГО ШАРА.

§ 231.

Мы видѣли въ § 228, что, если повѣсимъ магнитную стрѣлку такъ, что бы она могла свободно двигаться въ горизонтальной плоскости около вертикальной оси, то она сама собою принимаетъ направленіе отъ сѣвера къ югу.

Можно установить стрѣлку другимъ образомъ; для этого въ срединѣ A (фиг. 283) находится маленькая шляпка, которою стрѣлка NS кладется на остріѣ, стоящемъ на подставкѣ AB.

Если кромѣ того стрѣлка движется внутри круга раздѣленнаго на градусы, на которомъ можно видѣть положеніе ея, то этотъ приборъ называется *компасомъ*, инструментомъ, какъ извѣстно, весьма полезнымъ для мореплаванія. Впрочемъ стрѣлка, когда опредѣлимъ направленіе ея съ точностію, не прямо обращается съ сѣвера на югъ, но въ нѣкоторыхъ мѣстахъ сѣверный конецъ отклоняется къ западу, а въ другихъ къ востоку. Такъ напр. въ Петербургѣ отклоненіе къ западу $=6^0$, въ Москвѣ $=3^0$ З., въ Казани $=2^0 1/2$ В, въ Парижѣ $=19^0$ З. и проч. Вообще въ Атлантическомъ Океанѣ отклоненіе западное, въ Тихомъ Океанѣ восточное. Это отклоненіе стрѣлки называется *магнитнымъ склоненіемъ*. Оно весьма различно не только въ различныхъ мѣстахъ, но, по точнымъ изслѣдованіямъ, измѣняется и въ одномъ и томъ же мѣстѣ съ теченіемъ времени. Такъ напр. въ Парижѣ въ 1580 году склоненіе было 11^0 восточное; съ того времени оно уменьшалось; въ 1666 году сдѣлалось $=0$ т. е. стрѣлка прямо обращена была къ сѣверу; потомъ оно увеличивалось къ западу до 1814 года, въ которомъ оно было $22^0 1/2$; и послѣ того оно уменьшается каждогодно на нѣсколько минутъ. Кромѣ того магнитная стрѣлка значительно измѣняетъ свое положеніе и въ продолженіи дня; именно она движется къ западу съ утра до 2 часовъ, а съ 2 часовъ до вечера къ востоку такъ, что разность между положеніями стрѣлки утромъ и въ 2 часа лѣтомъ простирается у насъ до $\frac{1^0}{4}$ а зимою до $\frac{1^0}{10}$. Наконецъ магнитная стрѣлка подвержена еще совершенно неправильнымъ мгновеннымъ отклоненіямъ, часто простирающимся до 1^0 или

2°, которыя особенно бываютъ сильны при появленіи сѣвернаго сіянія.

Склоненіе магнитной стрѣлки компаса показываетъ, къ какой сторонѣ свѣта обращенъ сѣверный конецъ магнитной стрѣлки; но оно не показываетъ намъ, подъ какимъ угломъ дѣйствуетъ магнитное притяженіе земли, отъ котораго зависитъ склоненіе, потому что въ компасѣ стрѣлка такъ уравновѣшивается, что она можетъ только двигаться въ горизонтальной плоскости. Если же устроимъ стрѣлку такъ, что бы она могла двигаться около горизонтальной оси въ вертикальной плоскости, проходящей черезъ направленіе стрѣлки въ компасѣ, и если прежде намагничиванія уравновѣсимъ ее такъ, чтобы центръ тяжести ея совпадалъ съ ссью вращенія и слѣд. стрѣлка при всякомъ положеніи относительно къ горизонту оставалась въ равновѣсіи, то равновѣсіе это будетъ тотчасъ нарушено, какъ скоро стрѣлка будетъ намагничена. Напр. въ Петербургѣ сѣверный конецъ ея наклоняется подъ 71° къ горизонту, въ Москвѣ подъ 69°; уголъ составленный направленіемъ магнитной притягательной силы земли съ горизонтальною линіею называется *магнитнымъ наклоненіемъ*. И такъ *склоненіе* и *наклоненіе* опредѣляютъ направленіе магнитной силы земли; первое показываетъ положеніе такъ называемаго *магнитнаго меридіана* (т. е. плоскости проведенной вертикально черезъ направленіе компасной стрѣлки), въ противоположность *географическому меридіану* (т. е. плоскости, проведенной вертикально черезъ земные полюсы); напротивъ наклоненіе показываетъ направленіе силы къ этой плоскости. — Наклоненіе весьма различно на различныхъ мѣстахъ земли; есть одна линія, окружающая землю недалеко отъ экватора, и имѣющая съ нимъ двѣ общія точки пересѣченія, на которой наклоненіе есть 0 т. е. гдѣ

стрѣлка наклоненія горизонтальна; эта линія называется *магнитнымъ экваторомъ*. Къ сѣверу отъ него сѣверный конецъ стрѣлки наклоняется къ землѣ, а къ югу южный; слѣд. въ южномъ полушаріи притягивается сѣверный магнетизмъ, а въ сѣверномъ южный; по сему мы должны допустить, что въ сѣверномъ полушаріи заключается свободный *южный* магнетизмъ, а въ южномъ свободный *сѣверный*. Французы по этому находятъ естественнѣе называть свободный магнетизмъ въ сѣверномъ полушаріи *сѣвернымъ магнетизмомъ*, а свободный магнетизмъ въ южномъ полушаріи *южнымъ*; при этомъ предположеніи магнетизмъ конца стрѣлки обращеннаго къ сѣверу есть *южный*, ибо онъ притягивается сѣвернымъ магнетизмомъ земли, и Французы называютъ этотъ конецъ или этотъ полюсъ стрѣлки: *pole austral*, между тѣмъ какъ мы называемъ его сѣвернымъ; другой же полюсъ называютъ: *pole boréal*, который у насъ называется южнымъ.

Наклоненіе вообще увеличивается съ широтою какъ въ сѣверномъ такъ и въ южномъ полушаріи и доказано существованіе точки въ сѣверномъ полушаріи и другой въ южномъ, гдѣ наклоненіе есть 90^0, т. е. гдѣ стрѣлка наклоненія стоитъ совершенно вертикально, или гдѣ притягательная магнитная сила дѣйствуетъ вертикально.

Эти точки называютъ *магнитными полюсами* и при этомъ представляютъ себѣ землю большимъ магнитомъ съ двумя полюсами, однимъ сѣвернымъ и другимъ южнымъ. На сѣверномъ, находящемся въ сѣверной Америкѣ подъ широтою 70^0, въ самомъ дѣлѣ посредствомъ опытовъ нашли наклоненіе 90^0; существованіе южнаго доказывается увеличиваніемъ наклоненія при приближеніи къ нему со всѣхъ сторонъ.

Въ тѣхъ странахъ, гдѣ лежатъ эти полюсы, *притягательная магнитная сила* земли есть наибольшая, какъ видно изъ того, что если стрѣлку наклоненія вывесть изъ

вертикальнаго ея положенія, то она гораздо будетъ здѣсь скорѣе совершать свои колебанія, нежели въ другихъ мѣстахъ, гдѣ наклоненіе меньше 90^0; на магнитномъ экваторѣ колебанія самыя медленныя. Подобнымъ образомъ мы видѣли, что ускореніе колебаній маятника по мѣрѣ приближенія къ полюсамъ земли, показываетъ, что тяжесть на полюсахъ сильнѣе, нежели въ другихъ мѣстахъ.

И такъ изъ всего сказаннаго видно, что земля наша въ самомъ дѣлѣ дѣйствуетъ какъ большой магнитъ, котораго южный полюсъ находится въ сѣверной Америкѣ, а сѣверный на югъ отъ Новой Голландіи. Весьма замѣчательно, что по крайней мѣрѣ сѣверный магнитный полюсъ земли почти совершенно совпадаетъ съ полюсомъ наибольшаго холода въ сѣверной Америкѣ. (стр. 472).

§ 232.

Если земной шаръ можно считать за большой магнитъ, то онъ долженъ дѣйствовать и на мягкое желѣзо, какъ магнитъ т. е. если въ какомъ нибудь мѣстѣ держать желѣзный прутъ близко къ направленію магнитной силы, слѣд. по направленію стрѣлки наклоненія или близко къ нему, напр. вертикально, то онъ сдѣлается магнитнымъ и внизу будетъ сѣверный полюсъ, а вверху южный; если вдругъ перевернемъ прутъ такъ, чтобы верхній конецъ былъ внизу, а нижній вверху, то магнетизмъ превратится, внизу будетъ опять сѣверный, вверху южный полюсъ. — Когда корабль въ морѣ, то на немъ обыкновенно находятся большія желѣзныя массы, напр. пушки, которыя всѣ на нижнемъ концѣ будутъ имѣть сѣверный полюсъ и на верхнемъ южный отъ дѣйствія земли и по этому могутъ имѣть вліяніе на компасъ находящійся на кораблѣ; это дѣйствіе будетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше магнитная сила земли въ томъ мѣстѣ, гдѣ находится корабль и

отъ того происходитъ найденое на многихъ корабляхъ отклоненіе компасной стрѣлки отъ такого положенія, которое соотвѣтствуетъ склоненію въ этомъ мѣстѣ; оно называется *девіяціею;* вліяніе ея особенно замѣтно вблизи магнитныхъ полюсовъ земли. Барловъ предложилъ средство уничтожить вліяніе сего уклоненія тѣмъ, что въ слѣдствіе особенныхъ, произведенныхъ нарочно для этого опытовъ, желѣзный кругъ устанавливается такъ что онъ, посредствомъ магнетизма возбужденнаго въ немъ землею, также сильно дѣйствуетъ на стрѣлку, какъ и другія желѣзныя массы, но только въ противоположную сторону. Такъ какъ съ увеличеніемъ магнитной силы и магнетизмъ въ желѣзномъ кругѣ увеличивается въ томъ же отношеніи какъ въ другихъ желѣзныхъ частяхъ, производящихъ девіяцію, то всегда будетъ происходить вознагражденіе. Этотъ *вознаградительный кругъ Барлова* въ самомъ дѣлѣ весьма много уменьшаетъ девіяцію, когда онъ употребляется какъ слѣдуетъ.

ОТДѢЛЕНІЕ ЧЕТВЕРТОЕ.

ОБЪ ЭЛЕКТРИЧЕСТВѢ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО ОТЪ ТРЕНІЯ.

§ 233.

Если будемъ тереть кусокъ смолы или сургуча шерстяною матеріею, или стеклянную трубку кожею, на которой наложена цинковая амальгама, то находятъ, что они притягиваютъ легкія тѣла; вмѣстѣ съ тѣмъ отъ нихъ распространяется особенный запахъ, весьма похожій на фосфорный, и когда приближается къ этимъ тѣламъ лице, то на немъ производится такое ощущеніе, какъ будто на лице падаетъ паутина; наконецъ находятъ, что когда палецъ приближенъ будетъ къ такой стеклянной или смоляной трубкѣ, то изъ нея выходятъ съ нѣкоторымъ трескомъ маленькія искры. Всѣ эти свойства показываютъ, что стекло и смола находятся въ другомъ состояніи, нежели въ которомъ они обыкновенно бываютъ; тогда эти тѣла называются *наэлектризованными*, а то что оказывается въ нихъ при этомъ состояніи, называется *электричествомъ*.

Если наэлектризованную стеклянную трубку приведемъ въ прикосновеніе съ металлическимъ прутомъ, который держимъ въ рукѣ, и если будемъ проводить имъ по трубкѣ взадъ и впередъ, то трубка скоро потеряетъ все

электричество; если же вмѣсто металлическаго прута возмемъ стеклянную полочку, и съ этою трубкою будемъ тереть, то наэлектризованная стеклянная трубка удержитъ все свое электричество, какъ будто къ ней ничто не прикасалось. И такъ стекло и металлъ относятся къ наэлектризованному тѣлу различно; первое не проводитъ черезъ себя электричества, а металлъ проводитъ его въ руку, которою его держимъ, послѣ чего чрезъ человѣческое тѣло оно теряется въ землю. По этому стекло называютъ *непроводникомъ*, а металлъ *проводникомъ* электричества. Всѣ другія тѣла раздѣляютъ на проводники и непроводники, но въ весьма различной степени. Самые хорошіе проводники суть металлы; посредственные проводники суть уголь, солома, камни, дерево, преимущественно сырое, бузинная сердцевина, жидкости, особенно вода и кислоты и т. д. Такъ называемые непроводники суть: стекло, смола, шелкъ, сухой воздухъ и проч.

Если прикрѣпимъ металлическій шарикъ къ стеклянной палочкѣ, и держа ее въ рукѣ, приблизимъ шарикъ къ наэлектризованной стеклянной трубкѣ, то часть электричества перейдетъ изъ нее въ металлическій шарикъ, но дальше изъ него не распространяется, потому что стекло и воздухъ, какъ худые проводники, препятствуютъ этому; тоже самое бываетъ, когда шарикъ изъ металла, или, чтобы онъ былъ еще легче, изъ бузинной сердцевины повѣсимъ на шелковинкѣ; такой шарикъ называется *уединеннымъ*. Если бузинный шарикъ, уединенный на шелковинкѣ, приблизимъ къ наэлектризованной стеклянной трубкѣ, то онъ прежде будетъ притянутъ ею, и тогда часть электричества перейдетъ изъ стекла въ него; послѣ этаго замѣчаютъ, что шарикъ сильно отталкивается стекломъ назадъ; если такимъ же образомъ уединимъ другой удободвижимый бузинный шарикъ, наэлектризуемъ его посредствомъ наэлектризованнаго стекла и потомъ приблизимъ его къ первому,

то оба они будутъ отталкиваться другъ другомъ. Тоже самое бываетъ, когда оба шарика получаютъ электричество отъ смоляной палочки. Отсюда мы должны заключить, что два электричества, *взятыя изъ одного и тогожс источника, взаимно отталкиваются.*

На этомъ свойствѣ основано устройство такъ называемыхъ *электроскоповъ*, или *электрометровъ*, изъ которыхъ особенно 3 употребительны:

1. *Соломенный электроскопъ* Вольты состоитъ изъ 2 соломенокъ *mn* и *m′n′* (фиг. 284), которыя посредствомъ двухъ мѣдныхъ колечекъ повѣшены внутри стекляннаго сосуда на проволокѣ AB, оканчивающейся въ верху шарикомъ A. Когда шарикъ A прикасается къ наэлектризованному тѣлу, то электричество распространяется чрезъ проволоку AB на соломенки; слѣдовательно онѣ взаимно оттолкнутся, и примутъ положеніе *m′v′* и *mv*. Обыкновенно внизу соломенокъ находится раздѣленная на градусы дуга MN, на которой можно видѣть большій, или меньшій уголъ, составляемый соломенками, и слѣд. можно опредѣлить большую, или меньшую степень сообщеннаго электричества.

2. Въ *Бенетовомъ электроскопѣ* вмѣсто соломенокъ находятся тонкія полоски изъ листоваго золота, которыя легче ихъ и при томъ лучше проводятъ электричество; впрочемъ онъ устроенъ совершенно также, какъ и предъидущій, но чувствительнѣе его. Иногда беруть только одну полоску изъ листоваго золота, а вмѣсто другой употребляютъ неподвижную проволоку; тогда получается половина угла отклоненія.

3. Третій *электроскопъ* есть *Бокспергеровъ*; онъ еще чувствительнѣе предшествующихъ, мы опишемъ его и объяснимъ послѣ.

Всѣ эти три прибора показываютъ только, больше ли находится въ какомъ нибудь тѣлѣ электричества, или

меньше, но они не означаютъ, *во сколько разъ* количество электричества больше въ одномъ случаѣ, нежели въ другомъ; по этому ихъ приличнѣе называть *электроскопами*, нежели *электрометрами*. До сихъ поръ мы имѣемъ одинъ только настоящій *электрометръ*, такъ называемые *электрическіе крутительные вѣсы Кулона* (Coulomb), но здѣсь мы должны опустить ихъ описаніе.

Если возмемъ металлическій шаръ, наэлектризуемъ его и коснемся къ нему другимъ уединеннымъ металлическимъ шаромъ такой же величины, то электрометръ покажетъ въ обоихъ шарахъ одинаковое количество электричества, слѣд. электричество равномѣрно раздѣляется между обоими шарами. Если же одинъ шаръ будетъ больше другаго, то въ первый перейдетъ больше электричества, нежели во второй; точные опыты показали, что это раздѣленіе бываетъ не въ отношеніи поверхностей, а въ меньшемъ содержаніи, напр. когда два шара, поверхности которыхъ относятся какъ 1 : 2, касаются другъ друга, то шаръ, вдвое меньшій получитъ болѣе $\frac{1}{3}$ существующаго электричества. Впрочемъ количество электричества, при раздѣленіи между двумя шарами, на большемъ шарѣ всегда возрастаетъ по мѣрѣ того, какъ діаметръ его увеличивается; по этому если одинъ шаръ чрезвычайно великъ въ срѣвненіи съ другимъ, то все почти электричество перейдетъ въ большій шаръ, и по этому маленькій будетъ казаться не наэлектризованнымъ. Отъ сего происходитъ, что на землѣ всѣ наэлектризованные проводники, сообщающіеся съ землею, тотчасъ теряютъ свое электричество; ибо шаръ земной въ отношеніи къ другимъ тѣламъ можно считать за безконечно большой. Когда такимъ образомъ изъ какого нибудь тѣла извлекается все электричество, то это тѣло называется *разряженнымъ*.

§ 234.

Всѣ до сихъ поръ упомянутыя свойства принадлежатъ равнымъ образомъ электричеству при треніи стекла и смолы; слѣд. можно бы было думать, что въ нихъ находится электричество одного рода; но не трудно убѣдиться въ противномъ. Мы уже видѣли, что два бузинные шарика, уединенные на шелковинкѣ и оба наэлектризованные натертымъ стекломъ, или оба натертою смолою, отталкиваются взаимно. Но если одинъ шарикъ получитъ свое электричество отъ смолы, другой же отъ стекла, то они взаимно притягиваются. Слѣд. электричество смолы содержится къ электричеству стекла совсемъ иначе, нежели какъ электричество смолы къ самому себѣ, или электричество стекла къ самому себѣ; по этому мы должны допустить одно электричество *стеклянное*, другое, отличное отъ него электричество *смоляное*; частицы одного и тогоже электричества отталкиваются, напротивъ разнородныя электричества притягиваются. Если сѣру потеръть, напр. кожею, то она также наэлектризовывается, какъ смола, напротивъ трущая кожа получаетъ электричество стекла; изъ этого видно, что наименованіе стекляннаго электричества и смоляного не удобно, потому что есть много еще другихъ тѣлъ, оказывающихъ точно такія же явленія, какія мы видимъ въ стеклѣ и въ смолѣ; по этому наименованія сіи оставлены, и перваго рода электричество называютъ *положительнымъ*, втораго рода *отрицательнымъ*, первое означается $+E$, второе $-E$. Причина этого означенія состоитъ въ томъ, что если даютъ одному тѣлу два равныя количества $+E$ и $-E$, то они соединяются между собою такъ, что въ тѣлѣ незамѣтно нисколько электричества или, какъ обыкновенно пишутъ, $0E$, какъ въ алгебрѣ $+a$ и $-a$ сложенныя вмѣстѣ даютъ 0. Отношеніе двухъ родовъ электричества сходно съ отношеніемъ сѣвернаго и южнаго

магнетизмовъ, съ тѣмъ только различіемъ, что электричество можетъ распространяться свободно черезъ всю длину проводниковъ своихъ, между тѣмъ какъ магнетизмъ движется только въ магнитныхъ элементахъ. Подобно тому какъ въ намагниченномъ желѣзѣ и стали и прежде намагничиванія находятся большія количества магнетизма, но въ такомъ отношеніи, что количество сѣвернаго совершенно равно количеству южнаго, такъ и тѣла, называемыя неэлектрическими, содержатъ въ себѣ значительныя количества электричества, но въ нихъ +E совершенно равно—E; эти электричества столь сильно соединены между собою, что существованіе ихъ можно узнать не иначе какъ если они отдѣлены другъ отъ друга. Треніе есть средство произвесть это раздѣленіе, впрочемъ не изъяснимымъ до сихъ поръ для насъ образомъ и притомъ такъ, что на одномъ изъ трущихся тѣлъ получается избытокъ +E, а на другомъ —E; слѣд. когда стеклянную трубку тремъ амальгамированною кожею, то на стеклѣ получается +E, а на кожѣ —E, но только это послѣднее тотчасъ проходя чрезъ нашу руку теряется въ земномъ шарѣ, потому что кожа и рука суть проводники электричества; такимъ же образомъ шерстяная матерія при треніи смолы получаетъ +E, которое тотчасъ уходитъ въ землю, между тѣмъ какъ —E остается на смолѣ, какъ на худомъ проводникѣ. Если уединимъ металлическую пластинку, укрѣпляя ее на стеклянной рукояткѣ и потремъ ее шелковою матеріею, то она наэлектризуется, какъ въ этомъ можно удостовѣриться посредствомъ электроскопа. Если же потремъ ее другою металлическою пластинкою, то электричество не обнаружится, потому что возбужденныя на обѣихъ пластинкахъ электричества опять соединяются, попричинѣ хорошей проводимости обѣихъ пластинокъ. И такъ отъ треніе всѣ тѣла электризуются, съ тѣмъ только различіемъ, что хорошіе проводники должно изолировать, дабы получить

въ нихъ электричество, и чтобы по крайней мѣрѣ одно изъ трущихся тѣлъ было худой проводникъ, дабы раздѣленныя треніемъ электричества не соединились тотчасъ опять; слѣд. если читаемъ иногда въ прежнихъ сочиненіяхъ о физикѣ, что нѣкоторыя тѣла, электризующіяся отъ тренія, суть *идіоэлектрическія*, а другія нѣтъ, то это значитъ тоже, что: нѣкоторыя тѣла суть худые проводники электричества, другія хорошіе.

Если станемъ изслѣдовать, какія тѣла получаютъ отъ тренія +E и какія —E, то найдемъ, что это зависитъ отъ трущихся тѣлъ, такъ что одно и тоже тѣло, если его трутъ различными тѣлами можетъ получить +E и —E. Такъ напр. стекло электризуется положительно, если его потерѣть амальгамою, и отрицательно, если потерѣть шерстью живой кошки. Но какое изъ двухъ трущихся тѣлъ бываетъ заряжено +E и какое —E, это можно рѣшить только посредствомъ опытовъ, которые показали что малѣйшее измѣненіе поверхности тѣла измѣняетъ это отношеніе.—Такъ напр. полированное стекло въ отношеніи къ шелку есть электроположительное, а матовое, электроотрицательное. Посредствомъ многихъ опытовъ найдено, что всѣ тѣла могутъ быть расположены въ одинъ рядъ, въ которомъ всѣ послѣдующія въ отношеніи къ предъидущимъ при треніи дѣлаются электроотрицательными. Этотъ рядъ, для самыхъ обыкновенныхъ тѣлъ, есть слѣдующій:

\+

1. Мѣхъ кошки
2. Полированное стекло
3. Шерстяная матерія
4. Дерево
5. Бумага.
6. Шелкъ.
7. Гуммилакъ.
8. Матовое стекло.

—

§ 235.

Основываясь на прежде сказанномъ, составили себѣ слѣдующую теорію электричества: 1. Есть два рода электри-

чества, которыя мы представляемъ себѣ въ видѣ двухъ жидкостей, по причинѣ большой ихъ удободвижимости; одну называютъ *положительною*, другую *отрицательною*.

2. Частицы однородныхъ электричествъ отталкиваются, разнородныхъ притягиваются и притомъ это притяженіе и отталкиваніе происходитъ такъ, что дѣйствіе этихъ силъ прямо пропорціонально количеству дѣйствующихъ электричествъ и обратно пропорціонально квадратамъ разстояній дѣйствующихъ другъ на друга частицъ.

3. Въ каждомъ тѣлѣ находится большое количество обоихъ электричествъ, но обыкновенно столько же $+E$ сколько и $-E$, которыя взаимно связываются. Тогда говорятъ, что тѣло въ отношеніи къ электричеству, находится *въ естественномъ состояніи*. Треніе есть средство раздѣлить эти электричества между двумя трущимися тѣлами, такъ что одна часть естественнаго электричества разлагается, изъ нихъ $+E$ переходитъ на одно, $-E$ на другое тѣло.

4. Тѣла имѣютъ различную способность проводить электричество, и это надобно разумѣть слѣдующимъ образомъ: въ слѣдствіе взаимнаго отталкиванія частицы свободнаго электричества въ наэлектризованномъ тѣлѣ стремятся удалиться другъ отъ друга какъ можно болѣе, но наэлектризованныя тѣла, приведенныя въ прикосновеніе съ электризованными, пропускаютъ чрезъ себя эти электрическія частицы болѣе или менѣе; они представляютъ больше или меньше *сопротивленія*; чѣмъ это послѣднее больше, тѣмъ проводникъ хуже, чѣмъ меньше сопротивленіе, тѣмъ лучше проводникъ.

Изъ этихъ четырехъ законовъ объясняются явленія электричества отъ тренія. Вопервыхъ изъ взаимнаго отталкиванія электрическихъ жидкостей одного и того же рода слѣдуетъ, что въ уединенномъ проводникѣ электричество должно распространяться только по *поверхности*. Въ самомъ

дѣлѣ представимъ себѣ одинъ наэлектризованный и уединенный металлическій шаръ A (фиг. 285) и предположимъ на время, что электричество распространено по всюду во внутренности равномѣрно. Если представимъ себѣ одну частицу его M и около ея шарообразную поверхность *mnp* касающуюся большаго шара A въ *m*, то M очевидно съ одинаковою силою будетъ отталкиваема всѣми частицами одноименной электрической жидкости, находящимися внутри шарообразной поверхности *mnp*, слѣд. она будетъ въ равновѣсіи. Но на нее дѣйствуютъ еще всѣ электрическія частицы находящіяся внѣ *mnp*, отталкивая ее, и отъ этого необходимо произойдетъ равнодѣйствующая сила, которая будетъ толкать частицу M отъ центра къ окружности *m*. Слѣд. она и будетъ двигаться туда. Тоже самое можно сказать и о другихъ частицахъ, слѣд. всѣ онѣ будутъ стремиться къ поверхности и будутъ стараться выттн изъ шара, и вышли бы въ самомъ дѣлѣ, еслибъ воздухъ не представлялъ имъ большаго сопротивленія. Но какъ бы велико ни было это сопротивленіе, однако электричество можетъ мало по малу преодолѣть оное; и въ самомъ дѣлѣ мы находимъ, что всякое наэлектризованное тѣло мало по малу теряетъ въ воздухѣ свое электричество тѣмъ болѣе, чѣмъ влажнѣе воздухъ и чѣмъ менѣе оно сгущено. Подъ воздушнымъ насосомъ электричество проведенное въ пустое пространство теряется весьма скоро. Если тѣло не есть шаръ, а имѣетъ цилиндрическую форму съ закругленными концами, какъ AB (фиг. 286), то и здѣсь электрическія частицы стараются какъ можно болѣе отдалиться другъ отъ друга и потому онѣ скопляются въ большомъ количествѣ на концахъ A и B. Чѣмъ тоньше цилиндръ или чѣмъ острѣе концы его A и B, тѣмъ значительнѣе сіе накопленіе электричества и наконецъ при совершенно острома концѣ скопится электричества такъ много, что воздухъ не будетъ въ состояніи преодолѣть его стремленія и

электричество съ большою скоростію выходитъ чрезъ остроконечіе. Доказательство этому видимъ въ *Франклиновомъ колесѣ*. Двѣ проволоки AF и BD (фиг. 287. I) сложенны на крестъ и прикрѣплены на маленькой пластинкѣ C; въ ней внизу находится шляпка, какъ въ компасной стрѣлкѣ, которою она кладется на тонкое стальное остроконечіе; отъ этого весь приборъ можетъ легко вертѣться въ горизонтальной плоскости ADFB около C. Концы всѣхъ проволокъ, какъ показано въ фигурѣ, подъ прямымъ угломъ загнуты въ одну сторону и заострены; фиг. II представляетъ приборъ со стороны; GC есть остроконечіе уединенное стеклянною ножкою GK. Если колесо чрезъ остріе GC зарядимъ электричествомъ, то оно выходитъ изъ остроконечій и здѣсь оказывается тоже, что бываетъ при истеченіи жидкостей при Сегнеровомъ колесѣ (§ 89); колесо обращается по направленію стрѣлки.

Чтобы получить черезъ треніе электричество въ большемъ количествѣ и съ большею легкостію, употребляютъ электрическую машину. Обыкновенное ея устройство представлено въ фигурѣ 288. Она состоитъ изъ 3 главныхъ частей:

1. Изъ *натираемаго тѣла* т. е. стекляннаго круга AB, имѣющаго по срединѣ мѣдную горизонтальную ось C, которою онъ съ обѣихъ сторонъ лежитъ на уединяющихъ стеклянныхъ ножкахъ CM, и посредствомъ рукоятки можетъ обращаться около C.

2. Изъ *трущаго тѣла*, состоящаго изъ двухъ кожаныхъ подушекъ F набитыхъ конскимъ волосомъ, которыя покрыты на поверхности своей амальгамою изъ 2 частей ртути и 1 части цинка; они плотно прилегаютъ съ обѣихъ сторонъ къ стеклянному кругу, такъ что когда его обращаютъ, то онъ сильно трется объ нихъ. Подушки посредствомъ металлическихъ частей сообщены съ метал-

ческимъ шарикомъ K, который прикрѣпленъ къ уединяющей стеклянной ножкѣ KN.

3. Изъ *Кондуктора* т. е. металлическаго цилиндра DG съ закругленными концами; на одномъ изъ этихъ концовъ находится вилкообразная металлическая часть, которая столько захватываетъ кругъ съ обѣихъ сторонъ, сколько натирается подушками F; на внутренней сторонѣ вилки, обращенной къ стеклу, находятся маленькія остроконечія. Кондукторъ служитъ для принятія электричества возбужденнаго въ стеклѣ.

Когда обращается кругъ, то стекло между подушками наэлектризовывается положительно; на подушкахъ столько же возбуждается —E, и скоро распространяется и на шарикъ K. Если бы это электричество отрицательное оставалось всегда въ шарикѣ и въ подушкахъ, то при дальнѣйшемъ обращеніи круга оно соединилось бы съ +E, возбужденнымъ въ кругѣ, и слѣд. уменьшило бы это послѣднее. По этому —E нужно провесть въ землю изъ шарика, соединяя K съ землею посредствомъ металлической цѣпи или прикасаясь къ нему рукою. Тогда +E, возбужденное при F, остается на стеклѣ до тѣхъ поръ пока не пройдетъ чрезъ остроконечіе въ кондукторъ и соберется тамъ. По мѣрѣ того какъ количество электричества въ кондукторѣ становится больше, частицы его отталкиваются сильнѣе, по этому онѣ стремятся болѣе и болѣе преодолѣть давленіе воздуха, а слѣд. увеличивается и часть его, которая переходитъ въ воздухъ. Когда въ продолженіи полнаго обращенія круга выходящее изъ кондуктора въ воздухъ количество электричества будетъ равно количеству возбужденному треніемъ круга, то кондукторъ будетъ получать въ каждое мгновеніе столько электричества, сколько онъ его теряетъ, слѣд. тогда онъ достигнетъ наибольшаго заряженія. Изъ этого видно, что одна и таже машина можетъ заряжать кондукторъ въ различной степени, смотря по тому,

проводитъ ли окружающій воздухъ электричество хуже или лучше и въ самомъ дѣлѣ электрическія машины слабѣе дѣйствуютъ во время сырой погоды, нежели во время сухой.

Посредствомъ электрической машины обыкновенно производятъ различные опыты, которые по большей части служатъ игрушками и легко могутъ быть изъяснены изъ выше сказаннаго. Когда кто нибудь уединяетъ себя, становясь на скамейку съ стеклянными ножками и наложитъ руку на кондукторъ, то онъ представляетъ какъ будто продолженіе конлуктора и по этому при обращеніи круга также наэлектризовывается, какъ самый кондукторъ. Такъ какъ электричество сообщается и волосамъ этой особы, то они будутъ отталкиваться, какъ соломенки электроскопа, отъ этого волосы станутъ дыбомъ. Если другая особа касается какого нибудь мѣста наэлектризованной особы, то она получаетъ искру какъ изъ кондуктора.

Если въ нѣкоторомъ разстояніи отъ кондуктора A поставимъ металлическій шаръ B сообщающійся съ землею, и между ними повѣсимъ на шелковинкѣ легкій полый металлическій шарикъ C, то при обращеніи круга шарикъ C будетъ притянутъ къ A, получитъ отъ него +E и потомъ оттолкнется до того, что коснется шара B, гдѣ его +E уйдетъ въ землю; по этому онъ опять будетъ притянутъ кондукторомъ A и такимъ образомъ онъ безпрестанно будетъ двигаться туда и сюда. Это движеніе туда и сюда особенно часто употребляется для забавы, наприм. въ электрическомъ звонѣ, въ электрической пляскѣ, въ электрическихъ качеляхъ и проч.

На явленіи электрической искры основывается такъ называемая электрическая иллюминація. Если электричество проходитъ чрезъ воздухъ изъ одного проводника въ другой, то оно является въ видѣ искры. Теперь если къ заряженному кондуктору A (фиг. 289) приблизится проводникъ

abcdf, состоящій изъ многихъ проводниковъ *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, раздѣленныхъ промежутками воздуха, и если послѣдній проводникъ *e* будетъ сообщенъ съ землею посредствомъ проводящей цѣпи *ef*, то электричество перескочитъ изъ A въ *a*, а потомъ въ *b*, далѣе въ *c*, *d*, *e* и наконецъ идетъ черезъ *e f* въ землю; при каждомъ переходѣ электричества видна будетъ искра. Къ тому же посредствомъ точныхъ опытовъ доказано, что электричество движется даже скорѣе свѣта, слѣдовательно всѣ искры будутъ видимы въ одно время. Если устроимъ проводникъ такъ, чтобы промежутки составляли какую нибудь фигуру, то при каждомъ переходѣ электричества вся фигура будетъ видна въ цѣтѣ искръ. Обыкновенно для составленія фигуры наклеиваютъ на стеклѣ оловянную полоску и даютъ ей желаемую форму; потомъ поперечно разрѣзываютъ ее ножечкомъ; вездѣ, гдѣ такимъ образомъ прерванъ оловянный проводникъ, покажется искра.

О дѣйствіи электричества чрезъ вліяніе.

§ 236.

Если къ кондуктору электрической машины, заряженному положительнымъ электричествомъ, котораго конецъ A представленъ въ фиг. 290, приблизимъ другой, уединенный на стеклянной ножкѣ D кондукторъ BC, на двухъ концахъ котораго висятъ по 2 бузинныхъ шарика на проводящихъ льняныхъ нитяхъ или проволокахъ, то найдемъ, что оба бузинные шарика будутъ отталкиваться; слѣд. въ обоихъ находится свободное электричество. Если стеклянную трубку потремъ такъ, чтобъ она получила +E и приблизимъ ее къ шарикамъ въ B, то она притянетъ ихъ, напротивъ оттолкнетъ висящіе въ C, слѣд. въ B находится свободное —E, а въ C свободное +E. Причину этого

легко можно видѣть. Въ кондукторѣ ВС находятся естественныя электричества; +Е кондуктора А притягиваетъ къ себѣ изъ ВС часть —Е, между тѣмъ какъ равная часть +Е будетъ оттолкнута; слѣд. —Е будетъ скопляться при В, +Е при С, до тѣхъ поръ пока взаимное притяженіе ихъ не будетъ въ равновѣсіи съ отдѣляющею силою электричества въ А. Если коснемся пальцемъ къ кондуктору ВС, то шарики въ С перестаютъ отталкиваться, а въ В нѣтъ; слѣд. +Е уходитъ въ землю, но —Е, по причинѣ притяженія +Е на А, потеряло эту способность распространяться, или, какъ говорятъ, оно *связано* электричествомъ +Е въ А. Если потомъ отдалимъ ВС отъ А, то шарики въ В и С будутъ расходиться и оба заряжены —Е; если коснемся пальцемъ до ВС, то онъ будетъ разряженъ. Итакъ —Е при отдаленіи его отъ связующаго +Е въ А дѣлается свободнымъ и дѣйствуетъ какъ обыкновенно. Это дѣйствіе на разстояніи называется *вліяніемъ;* оно производится какъ въ нашемъ опытѣ чрезъ воздухъ, такъ и чрезъ всякой другой непроводникъ; черезъ проводники же дѣйствіе измѣняется, потому что въ проводникахъ, лежащихъ между дѣйствующими другъ на друга тѣлами, также происходитъ явленіе вліянія. По этому не должно смѣшивать слѣдующія явленія: *электрическая жидкость* свободно распространяется только чрезъ проводники, но *притягательная* и *отталкивательная силы ея* также хорошо дѣйствуютъ и чрезъ непроводники, подобно тому какъ притяженіе желѣза къ магниту оказывается чрезъ всѣ тѣла и только отъ лежащей между магнитомъ и желѣзомъ желѣзной пластинки измѣняется это притяженіе, потому что пластинка сама дѣлается магнитною.

На дѣйствіи электричества чрезъ вліяніе основываются различные приборы, которые мы разсмотримъ подробнѣе.

§ 224.

Лейденская Банка.

Представимъ себѣ горизонтальный металлическій кругъ AB (фиг. 291) на стеклянной ножкѣ C, на немъ стеклянный кругъ DF большаго діаметра и на послѣднемъ другой металлическій кругъ GK подобный первому. Соединимъ AB съ землею, GK съ кондукторомъ электрической машины и потомъ станемъ вертѣть кругъ ея. Положительное электричество кондуктора распространяется на кругъ GK и если бы не было AB, то кондукторъ и кругъ GK наэлектризовывались бы такъ сильно, что наконецъ въ каждое мгновеніе, по причинѣ не совершенной непроводимости воздуха, они теряли бы столько +E, сколько электрическая машина даетъ кондуктору. Предположимъ что это бываетъ тогда, когда на GK скопились 1000 частей +E. Такъ какъ вблизи GK находится кругъ AB сообщенный съ землею, то эти 1000 частей +E разложутъ посредствомъ вліянія естественное электричество въ AB, оттолкнутъ въ землю +E, а притянутъ къ себѣ —E какъ можно ближе къ поверхности стекла и удержатъ его въ связанномъ состояніи. Если бы 1000 частей +E въ GK могли соединиться съ —E въ AB, то онѣ связали бы 1000 частей —E; но такъ какъ онѣ отстоятъ отъ нижняго круга на толщину стекла, то 1000 +E могутъ связать только меньшую часть —E, которая зависитъ отъ разстоянія круговъ. Предположимъ, что при данной толщинѣ стекла DF онѣ могутъ связать $\frac{9}{10}$ своего собственнаго количества, слѣд. 900 частей —E въ AB. При связываніи противоположныхъ электричествъ, они связываются взаимно, слѣд. 900 частей —E на AB опять съ своей стороны свяжутъ $\frac{9}{10}$ своего собственнаго количества на GK, слѣд. 810 частей. Такимъ образомъ хотя на AB находятся

1000 частей +E, но изъ нихъ 810 связаны, т. е. *не оказываютъ никакого стремленія выйти въ воздухъ*, а только 190 частей оказываютъ это стремленіе. Слѣдовательно кругъ GK еще не будетъ вполнѣ заряженъ, и онъ можетъ изъ кондуктора заимствовать еще 810 частей +E, пока опять на немъ будетъ 1000 частей свободныхъ. Но эти 810 частей снова дѣйствуютъ на AB, какъ прежде дѣйствовали 1000: они связываютъ $\frac{9}{10}$ своего собственнаго количества на AB, слѣд. 729; но эти 729 свяжутъ $\frac{9}{10}$ своего количества на GK, т. е. 656, посему изъ прибывшаго электричества останется только 154 свободнымъ, что съ прежними 190 составитъ 344. По этому изъ кондуктора опять выходитъ въ кругъ GK новое +E, пока на GK не будетъ 1000 частей свободнаго электричества. Тогда по нашему предположенію кругъ GK и кондукторъ, также какъ и безъ присутствія AB, будетъ столько получать электричества изъ машины, сколько они теряютъ въ воздухъ и въ этомъ случаѣ заряженіе бываетъ наибольшее. При нашемъ предположеніи не трудно опредѣлить, какъ велико въ этомъ случаѣ количество электричества вообще на обоихъ кругахъ; въ самомъ дѣлѣ, если означимъ сумму свободнаго и связаннаго положительнаго электричества на GK черезъ x, то по предъидущему связанное —E на AB будетъ $\frac{9x}{10}$, а связанное этимъ количествомъ +E на GK будетъ $\frac{9}{10} \cdot \frac{9}{10} \cdot x = \frac{81}{100} x$, слѣд. свободное +E будетъ $x - \frac{81}{100} x = \frac{19}{100} x$, и какъ это количество должно выразить чрезъ 1000, то

$$\frac{19}{100} x = 1000,$$

изъ чего получимъ $x = 5263$.

По этому связаннаго —E на нижнемъ кругѣ будетъ $\frac{9}{10}$. 5263 = 4737. И такъ мы находимъ:

На кругѣ GK. . . .	+E	свободнаго	1000	Всего 5263
		связаннаго	4263	
На кругѣ AB. . . .	—E	связаннаго	4737	

Теперь если прекратить сообщеніе съ землею и коснуться проволокою къ нижнему кругу AB, потомъ другимъ концемъ проволоки къ GK, то противоположныя электричества найдутъ для себя путь къ соединенію и при этомъ произойдетъ сильнѣйшая искра, сопровождаемая значительнымъ трескомъ. Что бы безопаснѣе можно было разрядить этотъ приборъ, употребляютъ такъ называемой *разрядникъ* т. е. двѣ сдѣланныя изъ мѣди проволоки AD и AC (фиг. 292) съ шариками на концахъ, которые посредствомъ шарнѣра укрѣплены на стеклянной рукояткѣ B и могутъ открываться какъ ножки циркуля. Разрядникъ берутъ за стеклянную рукоятку, приводятъ D въ прикосновеніе съ нижнимъ кругомъ AB и приближаютъ C къ верхнему кругу GK.

Если для заряженія вышеописаннаго прибора употребляютъ сильную электрическую машину, то кругъ GK можетъ получить значительное количество свободнаго электричества, прежде нежели онъ столько будетъ терять въ воздухѣ +E, сколько въ каждое мгновеніе получаетъ изъ машины; въ такомъ же отношеніи и связанныя электричества GK и AK дѣлаются сильнѣе, и въ слѣдствіе того увеличивается стремленіе верхняго +E и нижняго —E соединиться чрезъ стекло. Такимъ образомъ можетъ случиться, что стекло не въ состояніи сопротивляться этой притягательной силѣ; тогда происходитъ соединеніе ихъ или разряженіе черезъ стекло и оно при этомъ разбивается. Но часто сопротивленіе представляемое стекломъ на поверхности его отъ G чрезъ D до A, не смотря на бо́льшее разстояніе по этому направленію, меньше нежели сквозь

стекло, потому что поверхность стекла часто бываетъ немного влажна; тогда приборъ разряжается этимъ путемъ, производя сильную искру и стеклянная пластинка остается невредимою. Заряженіе банки до появленія этой искры называется *перезаряженіемъ* ея. Но этого можно избѣжать, если круги GK и AB сдѣлать больше, потому что тогда поверхность, отдающая электричество воздуху, будетъ больше. Очевидно, что въ этихъ случаяхъ и количество связанныхъ электричествъ будетъ больше, но поелику они распространены по большей поверхности, то притяженіе въ одной какой набудь точкѣ не будетъ довольно сильно, чтобы имъ соединиться чрезъ стекло, а при разряженіи искра получается гораздо больше.

Если же напротивъ электрическая машина весьма слаба, то верхній кругъ скоро зарядится свободнымъ +E до наибольшей степени т. е. воздухъ скоро столько будетъ отнимать электричества, сколько получается изъ электрической машины и слѣд. связываемыя на GK и AB электричества въ томъ же отношеніи будутъ слабѣе. Тогда большій размѣръ круговъ GK и AB ничего не помогаетъ, потому что чѣмъ больше GK, тѣмъ меньше будетъ отъ потери въ воздухѣ напряженіе свободнаго и связаннаго электричества на GK, и слѣд. количество связанныхъ электричествъ не измѣняется; изъ этого слѣдуетъ, что поверхности AB и GK данной величины требуютъ для полнаго заряженія GK соотвѣтствующую электрическую машину. Приборъ нашъ будетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше поверхности GK и AB, но это справедливо только при предположеніи, что при этомъ дѣйствуетъ соотвѣтственная имъ электрическая машина.

Справедливость вышеизложеннаго объясненія взаимнаго связыванія электричествъ на GK и AB весьма разительно доказывается слѣдующимъ образомъ: приборъ заряжается какъ обыкновенно, потомъ сообщеніе съ кондукторомъ и

землею прекращается, такъ что весь приборъ остается уединеннымъ. Тогда количество положительнаго электричества на GK будетъ больше количества отрицательнаго на AB; нѣкоторая часть перваго будетъ свободна, а послѣднее все связано, и въ самомъ дѣлѣ, если коснемся до AB, то не получимъ искры, если же коснемся до GK, то получимъ ее. Но отъ этого часть связаннаго прежде —E на AB сдѣлается свободною, потому что количество связывающаго +E на GK уменьшилось, слѣд. если теперь коснемся до AB, то мы должны получить искру; это бываетъ и на самомъ дѣлѣ. Отъ этого опять часть электричества на GK сдѣлается свободною и такимъ образомъ касаясь поперемѣнно сверху, снизу, сверху, снизу и т. д. мы получимъ мелкія искры отъ содержащихся тамъ свободныхъ электричествъ, пока наконецъ оба круга совершенно потеряютъ свое электричество и будутъ разряжены.

Съ какою силою связанныя электричества на обѣихъ поверхностяхъ стекляннаго круга притягиваются, видно изъ того, что когда приборъ заряженъ и уединенъ, то можно верхній кругъ KG отнять отъ стекла (для этого онъ долженъ имѣть особенную рукоятку), и потомъ отнять стеклянный кругъ, взявши его за край при D; тогда найдутъ, что обѣ металлическія пластинки не имѣютъ электричества. Если же положить ихъ опять другъ на друга какъ прежде, то прикасаясь разрядникомъ къ GK и AB получаютъ сильную искру какъ прежде. Этимъ доказывается, что оба электричества отъ сильнаго взаимнаго притяженія плотно прилегаютъ къ стеклу, а не къ металлу.

§ 238.

Когда хотятъ употребить большіе круги GK и AB, то приборъ устроенный такъ, какъ прежде показано, бываетъ неудобенъ; для большей удобности вмѣсто налагаемыхъ

круговъ, наклеиваютъ на противоположныя стороны стеклянной доски тонкіе оловянные листы; для сбереженія пространства берутъ не плоскую стеклянную доску, но стеклянную банку какъ FACB (фиг. 293), оклеенную внутри листовымъ оловомъ GKL, и такъ же снаружи, какъ показываетъ ACB; пробка F закрываетъ банку, чрезъ нее проходитъ мѣдная проволока ED, имѣющая наверху шарикъ, а внизу цѣпь находящуюся въ прикосновеніи съ внутреннею оловянною поверхностію. Очевидно, что здѣсь обѣ обкладки дѣйствуютъ какъ прежде GK и AB (фиг. 291); внутренняя, которая можетъ чрезъ DE сообщаться съ кондукторомъ, соотвѣтствуетъ верхнему кругу GK, внѣшняя, которую можно соединить съ землею держа ее въ рукѣ или ставя на столъ, соотвѣтствуетъ нижнему кругу AB. Банку разряжаютъ прикладывая одну ножку разрядника ко внѣшней оболочкѣ, а другую къ шарику E. Въ такомъ видѣ приборъ называется *Лейденскою банкою или Клейстовою банкою*; первое названіе заимствовано отъ мѣста, гдѣ прежде былъ сдѣланъ опытъ, второе отъ самаго изобрѣтателя прибора.

Если имѣютъ сильную электрическую машину, которую, по предъидущему, можно соединить съ большею поверхностію, то соединяютъ много такихъ банокъ, такъ что внѣшнія ихъ оболочки соединяются между собою оловянными полосками, а шарики E металлическими прутами: чрезъ то всѣ внутреннія оболочки составляютъ какъ бы одну поверхность, а внѣшнія другую. Тогда количество сызываемыхъ скопленныхъ электричествъ сильно увеличивается, слѣд. и искра при разряженіи.

Такое соединеніе многихъ Лейденскихъ банокъ какъ бы въ одну большую, называется *электрическою батареею*.

Дѣйствія этихъ батарей весьма сильны и состоятъ въ слѣдующемъ. При разряженіи разрядникомъ искра бываетъ

весьма яркаго бѣлаго цвѣта и выскакиваетъ съ значительнымъ трескомъ, который при сильной батареи похожъ на выстрѣлъ изъ пистолета.

Если разрядить батарею проволокою, то она нагрѣвается тѣмъ болѣе, чѣмъ она тоньше; если она весьма тонка, то плавится, даже когда она сдѣлана изъ платины. Золото въ весьма тонкомъ видѣ, какъ напр. пластинка изъ такъ называемаго листоваго золота, не только плавится, но даже улетучивается. Если при этомъ положить его между двумя листками бумаги, то оно показывается на нихъ въ видѣ фіолетоваго порошка.

Если батарея будетъ разряжена чрезъ дерево, то оно расщепляется; колода картъ пробивается насквозь, и то въ такомъ направленіи, какъ будто она изъ средины была прострѣлена въ обѣ стороны.

Спиртъ, эѳиръ, порошокъ гарпуса, если насыпать ихъ на хлопчатую бумагу, загораются когда чрезъ нихъ разрѣжается батарея. Порохъ загорается только тогда, когда онъ смѣшанъ съ металлическими опилками; безъ этого онъ только разбрасывается; впрочемъ порохъ можно зажечь также не смѣшивая съ опилками, если разряженіе производится посредствомъ мокрой нити.

Если разрядимъ маленькую лейденскую банку посредствомъ нашего тѣла, касаясь одною рукою до внѣшней оболочки, а другою до шарика, то мы почувствуемъ сильное сотрясеніе, которое особенно замѣтно въ рукахъ и въ груди. Если зарядъ силенъ, то ударъ нестерпимъ и сильную батарею нельзя разрядить своимъ тѣломъ безъ вреда для здоровья. Такими разряженіями можно даже убивать маленькихъ животныхъ.

§ 239.

Конденсаторъ.

Конденсаторъ собственно есть такой же приборъ, какъ лейденская банка, только цѣль его другая; лейденская банка служитъ для того, чтобы усилить обыкновенное напряженіе электричества въ кондукторѣ электрической машины, а конденсаторъ употребляется для усиленія весьма слабыхъ количествъ электричества, которыя безъ него не показываются электроскопомъ. Онъ можетъ употребляться вмѣстѣ съ каждымъ изъ трехъ описанныхъ нами электроскоповъ (§ 233). Если проводникъ, имѣющій значительную поверхность, заряженъ электричествомъ весьма слабымъ и если онъ будетъ сообщенъ съ шариками электроскопа, то часть электричества перейдетъ въ электроскопъ; но эта часть въ сравненіи со всѣмъ электричествомъ будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ поверхность электроскопа будетъ меньше поверхности наэлектризованнаго проводника, и легко можетъ быть, что переходящая часть будетъ такъ мала, что соломенки или листочки золота не будутъ расходиться. Если же употребимъ нашъ приборъ (фиг. 291) и соединимъ GK съ электроскопомъ и вмѣстѣ съ проводникомъ, а AB сообщимъ съ землею, то изъ проводника перейдетъ тогда гораздо больше электричества, нежели прежде, потому что большая часть его будетъ связана, точно также какъ изъ кондуктора гораздо больше электричества собирается на кругѣ GK, нежели безъ круга AB. Однако электричество въ GK связано и по этому не дѣйствуетъ на электроскопъ; но если же вдругъ отдалимъ AB, то связь прекращается и все скопленное на GK электричество дѣйствуетъ какъ свободное на электроскопъ.

Основываясь на этой теоріи обыкновенно устроиваютъ конденсаторъ слѣдующимъ образомъ (фиг. 294). Совершенно

плоскій кругъ GK придѣлывается къ электроскопу FM и потомъ покрывается уединяющимъ смоляным лакомъ; одинъ шарикъ C не покрытъ лакомъ и соединенъ посредствомъ проволоки CG съ кругомъ, потомъ на этотъ кругъ кладется совершенно подобный ему AB, который на нижней поверхности также покрытъ лакомъ и снабженъ стеклянною рукояткою D. Когда хотятъ удостовѣриться, имѣетъ ли какой нибудь проводникъ хотя малое количество электричества, тогда касаются проводникомъ къ шарику C, между тѣмъ какъ верхній кругъ AB соединяютъ съ землею, прикладывая къ нему палецъ. Послѣ отнимаютъ проводникъ и палецъ, и поднимаютъ AB за рукоятку D. Въ это мгновеніе все электричество на GK, которое прежде связано было отъ —E верхняго круга, сдѣлается свободнымъ и соломенки или листки золота въ электроскопѣ будутъ расходиться.

Такъ какъ усиливающее дѣйствіе конденсатора основывается на томъ, что онъ изъ тѣла, которое безъ него передаетъ электроскопу мало электричества, привлекаетъ къ себѣ какъ можно большее его количество, то видно, что его можно употребить съ большею выгодою для узнанія электричества въ проводникахъ съ большими поверхностями. Если бы мы хотѣли напр. испытать электричество проводника, который самъ не больше электроскопа, то онъ и безъ конденсатора отдалъ бы половину своего электричества, а конденсаторъ произведетъ только то, что изъ другой половины перейдетъ еще часть; слѣд. онъ даже не въ состояніи удвоить дѣйствіе простаго электроскопа. Напротивъ хорошіе конденсаторы при прикосновеніи съ большими, но мало электризованными, поверхностями, даютъ стократное и еще большее увеличиваніе.

§ 240.

Электрофоръ.

Электрофоръ состоитъ изъ металлическаго блюда ABC (фиг. 295), которое сверху покрыто слоемъ смолы D, и изъ металлическаго круга EF, который посредствомъ стеклянной рукоятки G можно класть на смоляную поверхность и поднимать отъ ней. Смоляная поверхность электризуется отрицательно посредствомъ тренія шелковою матеріею, или еще лучше кошечьимъ мѣхомъ или посредствомъ ударовъ лисьимъ хвостомъ. Если потомъ на наэлектризованную смоляную плоскость положимъ кругъ EF, то онъ прикоснется къ нѣкоторымъ болѣе выдающимся частицамъ смолы и отниметъ у нихъ электричество, такъ что онъ будетъ лежать на этихъ не электризованныхъ частицахъ, и слѣд. отъ другихъ наэлектризованныхъ будетъ отдаленъ уединяющимъ воздушнымъ слоемъ. Если теперь коснемся къ EF пальцемъ, то —E въ D черезъ вліяніе свяжетъ +E въ кругѣ, а соотвѣтствующее —E оттолкнетъ въ землю; если потомъ отнимемъ палецъ и посредствомъ рукоятки G подымемъ кругъ EF, то его +E сдѣлается свободнымъ и мы изъ круга получимъ искру. Если опять положимъ его на смоляной кругъ, коснемся къ нему пальцемъ и опять поднимемъ, то изъ него какъ прежде получимъ искру, при чемъ электричество въ D отъ этого ни мало не ослабится, потому что всѣ эти положительныя электричества верхняго круга происходили отъ разложенія естественныхъ электричествъ этого круга.

Но кромѣ того приборъ этотъ имѣетъ ту выгоду, что онъ остается заряженнымъ даже въ продолженіи года, потому что при наложеніи верхняго круга на электризованную смоляную поверхность отрицательное электричество смолы и положительное верхняго круга связываются, слѣд.

не теряются въ воздухѣ. Отъ этого заимствовано названіе *Электрофора.*

Можно употреблять смоляной кругъ электрофора и для другихъ опытовъ, которые извѣстны подъ именемъ *Лихтенберговыхъ фигуръ.* Лейденскую банку заряжаютъ +E, берутъ ее за внѣшнюю обкладку и шарикомъ внутренней обкладки какъ будто начертываютъ фигуру на смоляномъ кругѣ; тогда на всѣхъ частицахъ, лежащихъ близко отъ фигуры распространяется положительное электричество, на другихъ же нѣтъ, по причинѣ непроводимости смолы, но электризованныя части дѣйствуютъ на прилежащія посредствомъ вліянія. Если сквозь волосяное сито просѣемъ порошокъ гарпіуса или semen Lucopodii, то этотъ порошокъ, проходя чрезъ сито, будетъ наэлектризованъ отрицательно; по этому онъ притянется и сядетъ на всѣ частицы смолы, имѣющія +E и будетъ оттолкнутъ имѣющими —E. Такимъ образомъ начерченная на смолѣ фигура сдѣлается видимою, и притомъ по обѣимъ сторонамъ ея примѣчаются какъ будто лучи. Если же фигуру произвесть отрицательнымъ электричествомъ, то она не имѣетъ лучей, но будетъ составлена изъ маленькихъ кучекъ порошка. Въ этихъ двоякаго рода фигурахъ Лихтенберга, въ положительныхъ и отрицательныхъ, заключается существенная разность обоихъ родовъ электричества, между тѣмъ какъ во всѣхъ другихъ обстоятельствахъ можно различить оныя только взаимнымъ дѣйствіемъ другъ на друга. Другой отличительный признакъ состоитъ въ томъ, что если какой нибудь проводникъ заостренный наэлектризовается въ темнотѣ, то электричество выходитъ изъ острія въ видѣ кисти, если оно положительное, и въ видѣ звѣзды, если оно отрицательное.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

ОБЪ АТМОСФЕРНОМЪ ЭЛЕКТРИЧЕСТВѢ.

§ 241.

Если испаряется вода совершенно чистая, то при этомъ не открывается никакого слѣда электричества; если же вода содержитъ въ растворѣ соляныя частицы или другія постороннія тѣла, то при испареніи сосудъ съ водою электризуется отрицательно, а изъ этого слѣдуетъ, что выходящіе пары должны имѣть свободное положительное электричество. Такъ какъ всѣ воды на земной поверхности содержатъ въ растворѣ соли и землистыя частицы, то изъ этого слѣдуетъ, что всѣ находящіеся въ атмосферѣ пары наэлектризованы положительно. Если на открытомъ воздухѣ ставятъ чувствительный электроскопъ, который снабженъ остроконечіемъ для удобнѣйшаго принятія электричества, то находятъ въ самомъ дѣлѣ, что во время ясной погоды онъ всегда показываетъ +E, которое очевидно есть электричество, поднимающееся вмѣстѣ съ парами. Впрочемъ ясныя показанія этого электричества можно замѣчать только на чистомъ полѣ; воздухъ на улицахъ городовъ или даже въ комнатѣ скоро теряетъ свое электричество при поверхности земли, по причинѣ многихъ находящихся на ней высокихъ предметовъ проводящихъ электричество въ землю. Когда пары сгущаются въ маленькіе шарики, чтобы составить облака, то сіи послѣдніе также принимаютъ это положительное электричество, и такъ какъ пары при переходѣ въ жидкое состояніе сильно сгущаются, то и электричество получитъ гораздо большее напряженіе. Такимъ образомъ понятно, отъ чего, если образованіе облаковъ происходитъ мгновенно, напряженіе электричества достигаетъ до такой ужасной силы, какъ оно бываетъ во время

грозы.—Труднѣе изъяснить, отъ чего электричество облаковъ иногда наблюдается положительное, иногда отрицательное; легче всего къ тому ведетъ дѣйствіе чрезъ вліяніе. Въ самомъ дѣлѣ если облако A, не содержащее никакого свободнаго электричества, находится вблизи другаго облака B сильно наэликтризованнаго +E, то естественное электричество облака A разложится, положительная часть его будетъ оттолкнута, а отрицательная будетъ притянута къ B. Послѣднее находится въ связанномъ состояніи, первое положительное въ свободномъ; и такъ оно будетъ выходить мало по малу въ воздухъ, и такимъ образомъ на облакѣ A остается избытокъ —E, которое дѣлается свободнымъ, когда A отдаляется отъ B.

Мы узнаемъ свойство электричества какого нибудь облака, когда оно проходитъ надъ электроскопомъ, который снабженъ длиннымъ притягивающимъ прутомъ. Сильное же напряженіе электричества въ облакахъ узнаютъ лучше всего, если пускаютъ бумажный змѣй, въ шнурокъ котораго вучена проволока. Если нижній конецъ этого шнурка привяжемъ къ шару, уединенному стекломъ и приблизимъ къ этому шару другой сообщенный съ землею, то, когда надъ летающимъ змѣемъ будетъ проходить облако, увидимъ, что изъ одного шара въ другой выскакиваютъ искры, которыя во время грозы часто имѣютъ въ длину нѣсколько футовъ, и какъ молнія переходятъ зигзагами и съ сильнымъ трескомъ. Подобными опытами Франклинъ прежде всѣхъ доказалъ тождество молніи и электрическихъ искръ, и послѣ его эти опыты повторены были многими. Впрочемъ они опасны, когда приборы устроены не такъ, чтобы наблюдатель могъ далеко находиться отъ обоихъ шариковъ, между которыми выскакиваютъ искры. Въ С. Петербургѣ физикъ Рихманъ былъ жертвою подобныхъ опытовъ.

§ 242.

Когда облако A сильно заряженное положительнымъ электричествомъ (фиг. 296) приблизится къ предмету MN находящемуся на землѣ, то оно необходимо будетъ оказывать на него вліяніе, оно притянетъ къ себѣ —E, и оттолкнетъ въ землю +E. Чѣмъ болѣе приближается облако; тѣмъ болѣе становится количество скопленнаго наверху отрицательнаго электричества, такъ что наконецъ сопротивленіе воздуха не можетъ преодолѣть притяженія этихъ электричествъ, и они соединяются чрезъ него; тогда происходитъ молнія. Электричества соединяются тѣмъ путемъ, по которому сопротивленіе воздуха есть наименьшее; этотъ путь обыкновенно не есть прямой, но онъ опредѣляется распредѣленіемъ лучше проводящихъ паровъ, такъ что молнія представляетъ извилистую линію *зигзага*. Изъ явленій вліянія мы знаемъ, что количество —E проводника MN, по причинѣ большаго разстоянія облака оказывающаго вліяніе, гораздо меньше количества +E въ облакѣ, слѣдовательно при соединеніи обоихъ т. е. во время молніи, необходимое для насыщенія +E количество отрицательнаго электричества должно мгновенно выйти изъ земли, и этотъ мгновенный притокъ есть то, что представляетъ опасность при ударѣ молніи.

Но мы видѣли, что когда сильная лейденская батарея разряжается разрядникомъ или какимъ нибудь хорошимъ проводникомъ, то она производитъ только искру; если же она разряжается слишкомъ тонкою проволокою или деревомъ или другимъ какимъ нибудь худымъ проводникомъ, то это вещество разрушается, если же оно горючее, то загорается; и такъ если мы хотимъ сдѣлать безвреднымъ ударъ молніи, то мы должны только сдѣлать такъ, чтобы самый верхній конецъ M, на которой падаетъ молнія, былъ въ непрерывномъ соединеніи съ землею, посредствомъ

металлическаго хорошаго проводника. На этомъ основывается устройство *громовыхъ отводовъ*.

§ 243.

Если фигура 297 представляетъ зданіе, на которомъ находятся двѣ дымовыя трубы M и N и если къ нему приближается облако съ +E, то на всѣхъ верхнихъ частяхъ зданія скопится —E отъ вліянія облака, и это будетъ не только въ металлическихъ частяхъ, но и въ каменныхъ, напр. въ каменныхъ трубахъ, потому что опыты въ маломъ видѣ показываютъ, что обыкновенный кирпичь довольно хорошо проводитъ электричество при медленномъ дѣйствіи вліянія, какъ бываетъ при приближеніи облака, внутреннюю обкладку лейденской банки можно зарядить также хорошо, сообщивъ внѣшнюю обкладку съ землею посредствомъ кирпича, какъ и посредствомъ руки. Зависитъ только отъ того, между которымъ мѣстомъ верхнихъ частей зданій и облака сопротивленіе воздуха будетъ наименьшее, тамъ прежде всего послѣдуетъ ударъ; но такъ какъ этого нельзя знать, то должно (по § предъидущему) всѣ верхнія части зданія соединить съ землею хорошими проводниками. Если кровля металлическая напр. изъ листоваго желѣза или цинка, то нужно только одну часть кровли соединить съ землею, потому что тогда и всѣ другія будутъ соединены съ нею; если же она состоитъ изъ худыхъ проводниковъ, каковы камень, дерево, солома, тогда весь верхній край ея обкладываютъ металлическими листами, напр. свинцовыми или желѣзными, или также вдоль всего верхняго края проводятъ желѣзную полосу и соединяютъ ее металлическимъ шестомъ съ землею. Очевидно, что тоже самое необходимо дѣлать и съ дымопроводными трубами; такъ какъ онѣ на верхнемъ концѣ обыкновенно обкладываются листовымъ желѣзомъ, то эти листы на каждой

трубъ соединяютъ съ проводящимъ шестомъ или другими металлическими частями, которыя уже соединены съ нимъ. Подобнымъ образомъ должно поступать и со всѣми другими частями зданія, выдающимися изъ кровли.

Вмѣсто того чтобы проводить металлическія полосы черезъ всю кровлю и всѣ выдающіяся части ея, ставятъ также на одномъ или на нѣсколькихъ мѣстахъ кровли длинные желѣзные шесты какъ *ab*; верхнимъ концамъ ихъ даютъ видъ остроконечія, основываясь на томъ законѣ, что на остроконечіяхъ электричество, противное электричеству облаковъ, скопляется въ большемъ количествѣ, слѣд. молнія скорѣе упадаетъ на остріе, нежели на какое нибудь другое мѣсто кровли. Но это зависитъ, какъ мы видѣли, не только отъ количества скопляющагося электричества, но также и отъ сопротивленія воздуха между скопившимися электричествами; поелику легко можетъ случиться, что сопротивленіе между какимъ нибудь другимъ мѣстомъ кровли и облакомъ столь будетъ мало, что это сопротивленіе не только уравновѣситъ большое скопленіе электричества на остріѣ, но и возметъ перевѣсъ надъ нимъ, то молнія можетъ тогда упасть на кровлю. И въ самомъ дѣлѣ есть примѣры тому, что молнія близъ такихъ шестовъ упадала не на нихъ, а на кровлю, съ значительнымъ вредомъ для зданія. Впрочемъ обыкновенно принимаютъ, что такой остроконечный отводъ предохраняетъ отъ удара кругообразное около себя пространство, котораго радіусъ равенъ двойной длинѣ шеста, и по этому опредѣляютъ высоту и число притягивающихъ шестовъ на зданіи.

Если заостренные притягивающіе шесты въ отношеніи къ безопасности зданія и не приносятъ той пользы, какую отъ нихъ ожидаютъ, то они могутъ быть полезны въ другомъ отношеніи, потому что скопляющееся на нихъ въ большемъ количествѣ электричество соединяется мало по

малу безъ удара съ противоположнымъ электричествомъ облаковъ; въ этомъ состоитъ, какъ мы выше видѣли, дѣйствіе остроконечій. Такимъ образомъ они устраняютъ или по крайней мѣрѣ ослабляютъ удары. Но если зданіе покрыто металлическими листами, то въ немъ находится такъ много острыхъ краевъ, что отъ этого оно безъ сомнѣнія не меньше разряжаетъ облако какъ и остроконечные притягивающіе шесты; по этому послѣдніе для металлическихъ кровель не приносятъ существенной пользы, но увеличиваютъ только цѣну отводовъ.

Предохранивши такимъ образомъ всѣ верхнія части кровли или притягивающими шестами или еще лучше металлическою обкладкою, нужно выполнить еще второе условіе — хорошее соединеніе оныхъ частей съ землею. Если кровля обложена металломъ, то нужно только нижніе концы ея соединять съ землею. Для этого берутъ или мѣдные шесты или мѣдныя цѣпи или свинцовыя полосы, обыкновеннѣе же всего желѣзные шесты CF, которые посредствомъ винтовъ и гаекъ свинчиваются вмѣстѣ и идутъ до самой земли. Толщина ихъ должна быть въ разрѣзѣ не менѣе половины квадратнаго дюйма. Они прикрѣпляются къ стѣнѣ желѣзными скобками и нижніе концы ихъ проводятъ въ землю до такой глубины, чтобы эти концы всегда находились въ влажной землѣ, или еще лучше ихъ проводятъ въ рѣку, если она находится вблизи, или въ колодезь, если онъ не высыхаетъ лѣтомъ. Если же этого по близости не имѣется, то проводятъ шестъ въ землю до глубины 2-хъ сажень и на это мѣсто спускаютъ воду, вытекающую изъ кровельныхъ трубъ. Такимъ образомъ конецъ его, обыкновенно раздѣляющійся на три вѣтви, какъ показано въ фигурѣ, находится всегда во влажной землѣ, которая гораздо лучше проводитъ электричество, нежели сухая.

Дѣйствіе производимое такимъ образомъ устроеннымъ отводомъ должно понимать слѣдующимъ образомъ: большая

шать земнаго электричества должна мгновенно устремлять-ся въ верхнія части зданія, чтобы насытить совершенно электричество облаковъ. Въ зданіяхъ снабженныхъ отводами это можетъ случиться двоякимъ образомъ, или чрезъ этотъ металлическій проводникъ, или чрезъ самое зданіе. Но доказано, что при быстромъ стремленіи электричество раздѣляется по двумъ путямъ, обратно пропорціонально сопротивленію ими представляемому, такъ что если сопротивленіе одного въ 10 разъ больше сопротивленія другаго, то первымъ путемъ проходитъ $\frac{1}{11}$, а вторымъ $\frac{10}{11}$ всего стремящагося электричества. Такъ какъ сопротивленіе самаго зданія, состоитъ ли оно изъ камня или изъ дерева, въ сравненіи съ сопротивленіемъ металлическихъ отводовъ, бываетъ чрезвычайно большое, то почти все электричество идетъ черезъ громовой отводъ, а только малѣйшая часть его черезъ самое зданіе. Изъ этого видно что совсемъ не необходимо содержать громовой отводъ въ отдаленіи отъ зданія посредствомъ непроводниковъ, напр. посредствомъ стеклянныхъ частей; электричество въ незначительномъ количествѣ никогда не оставитъ хорошаго проводника, что бы пройти черезъ худой.

Громъ, сопровождающій обыкновенно молнію, есть ничто иное какъ трескъ, который замѣчается всегда, когда выскакиваетъ электрическая искра, но только первой сильнѣе послѣдняго во столько разъ, во сколько молнія сильнѣе электрической искры, производимой нашими машинами. Этотъ трескъ только при большой близости молніи, когда напр. она падаетъ на предметъ близко находящійся, рѣзко прекращается, какъ трескъ искры изъ электрической машины, обыкновенно же сопровождается долго повторяющимися раскатами. Эти послѣдніе мы слышимъ какъ отголосокъ или эхо самаго удара, отражающагося отъ облаковъ и отъ предметовъ находящихся на землѣ. Что громъ

слышенъ бываетъ *послѣ* молніи, происходитъ отъ того, что свѣтъ почти въ одно мгновеніе доходитъ до насъ, а звукъ на каждые 1100 футовъ требуетъ одной секунды; точно такимъ же образомъ когда въ отдаленіи отъ насъ стрѣляютъ изъ пушки, то мы видимъ вспышку прежде нежели слышимъ выстрѣлъ. Если сосчитать число секундъ проходящихъ между блескомъ молніи и ударомъ грома, то можно изъ этого опредѣлить разстояніе грозы, помножая число секундъ на 1100 футовъ, какъ мы уже видѣли (§ 128). Если иногда видна бываетъ молнія безъ грома (тогда она называется *зарницею*), то это вѣроятно происходитъ отъ того, что явленіе находится въ большомъ разстояніи отъ насъ.

ГЛАВА ТРЕТІЯ.

О ГАЛЬВАНИЗМѢ.

§ 244.

Италіанскій Анатомъ Гальвани случайно открылъ въ 1790 году, что мертвая лягушка, приготовленная такъ, что бы кожа была снята съ позвоночнаго хребта и съ заднихъ ногъ, приходитъ въ сильное содраганіе, когда конецъ становой жилы касается къ мѣдной, а одна нога къ цинковой палочкѣ и потомъ оба конца металлическихъ палочекъ приходятъ въ прикосновеніе другъ съ другомъ. Такъ какъ тѣже содраганія производятся и дѣйствіемъ электричества въ приготовленной такимъ образомъ лягушкѣ, то Гальвани заключилъ, что въ описанномъ опытѣ дѣйствующая причина есть электричество. Онъ думалъ, что источникъ его заключается въ организмѣ лягушки и будто бы въ нервахъ становой жилы содержится одно электричество

свободное, а въ нервахъ ногъ другое; что по сему они могутъ быть разряжены металлическимъ прутомъ и произвести содраганія. Напротивъ соотечественникъ его Вольта предложилъ мнѣніе, что источникъ электричества заключается въ мѣстахъ прикосновеній двухъ металловъ, что видно изъ того, что сотрясеній или совсемъ не бываетъ или они бываютъ очень слабы, когда металлическая дуга, соединяющая становую жилу съ ногами, состоитъ изъ одного и тогоже металла. Лягушка по мнѣнію Вольты служитъ только весьма чувствительнымъ электроскопомъ. Теперь вездѣ принято мнѣніе Вольты, по крайней мѣрѣ въ томъ отношеніи, что источникъ электричества должно искать не въ самой лягушкѣ, а въ металлахъ. Но нѣкоторые причину его полагаютъ не въ прикосновеніи металловъ, но въ окисленіи цинка, когда онъ прикасается къ влажной поверхности лягушки. Какая бы ни была этому причина, прикосновеніе ли металловъ или окисленіе цинка, возбужденное такимъ образомъ электричество называется *Гальванизмомъ*. Въ слѣдующемъ мы будемъ держаться мнѣнія Вольты.

Вольта первый показалъ, что если 2 металла касаются одинъ другаго, то отъ этого возбуждается электричество, которое можно примѣтить посредствомъ конденсатора. Возмемъ конденсаторъ, котораго круги сдѣланы изъ мѣди и положимъ его на чувствительный электроскопъ, потомъ возмемъ 2 кружка совершенно подобные кружкамъ конденсатора, но только не покрытые лакомъ; каждый изъ нихъ снабженъ стекляною рукояткою и одинъ ZZ′ сдѣланъ изъ цинка, другой КК′ изъ мѣди (фиг. 298). Возмемъ кружокъ ZZ′ за рукоятку, но такъ что бы самый кружокъ касался руки и слѣд. былъ въ соединеніи съ землею, потомъ возмемъ КК′ за уединенную рукоятку, коснемся цѣлою поверхностію его ко всей поверхности КК′, поднимемъ его вверхъ и коснемся имъ къ нижнему кружку конден-

сатора, между тѣмъ какъ верхній кружокъ его сообщенъ съ землею. Потомъ положимъ его опять на ZZ′ и нѣсколько разъ сряду, наприм. 10 разъ, повторимъ поднятіе и прикосновеніе къ конденсатору; если поднимемъ тогда кругъ конденсатора, то соломенки или пластинки золота въ электроскопѣ будутъ расходиться и приближеніе къ электроскопу или натертаго сургуча или стекла показываетъ, что въ этомъ случаѣ мы получили —E. Если этотъ опытъ повторимъ въ томъ же порядкѣ, съ тѣмъ только различіемъ, что бы мѣдь была въ соединеніи съ землею, а цинкъ былъ поднимаемъ, и если употребимъ конденсаторъ изъ цинка, для того что бы при разряженіи конденсатора цинковой кружокъ не прикасался къ кружку изъ другаго металла, съ которымъ бы онъ также могъ произвести электричество, то получимъ въ электроскопѣ такоеже сильное электричество, но въ этомъ случаѣ оно будетъ +E *). Изъ этихъ опытовъ слѣдуетъ, что когда мѣдь прикасается къ цинку, тогда цинкъ получаетъ положительное электричество, а мѣдь отрицательное и притомъ на поверхности прикосновенія обоихъ металловъ находится сила, которая не позволяетъ электричеству верхняго металла перейти черезъ нижній въ землю, хотя тамъ будетъ совершенное соединеніе. И такъ мы вмѣстѣ съ Вольтою разсматриваемъ это явленіе слѣдующимъ образомъ: при прикосновеніи мѣди и цинка естественное равновѣсіе электричествъ въ обоихъ металлахъ нарушается, положительное переходитъ на цинкъ, отрицательное на мѣдь и это продолжается до тѣхъ поръ, пока наконецъ взаимное притяженіе раздѣленныхъ противоположныхъ электричествъ

---

*) Точное изслѣдованіе этого предмета показываетъ, что во второмъ опытѣ можно употребить и прежній конденсаторъ изъ мѣдныхъ кружковъ, но изъясненіе причины этого повело бы насъ слишкомъ далеко.

уравновѣситъ раздѣляющую силу. Эта раздѣляющая сила, о которой мы больше ничего не знаемъ, называется *электровозбудительною силою*. Она обнаруживается между всѣми металлами взятыми по два, но во всѣхъ въ различной степени и мы здѣсь, какъ и для электричества отъ трения, можемъ расположить всѣ металлы въ рядъ, въ которомъ каждый изъ предъидущихъ металловъ въ отношеніи къ послѣдующимъ при прикосновеніи дѣлается электроотрицательнымъ. Для обыкновенныхъ металловъ этотъ порядокъ есть слѣдующій:

—Платина, серебро, мѣдь, латунь, желѣзо, олово, цинкъ +.

Электровозбудительная сила между двумя металлами тѣмъ больше, чѣмъ дальше они отстоятъ другъ отъ друга въ этомъ ряду, слѣд. больше для платины и цинка, слабѣе для олова и цинка. Такъ какъ платина и серебро слишкомъ дороги, то обыкновенно для гальваническихъ опытовъ употребляютъ мѣдь и цинкъ. Кромѣ того Вольта допустилъ, и это послѣ доказано было опытами, что электровозбудительная сила двухъ, какихъ нибудь металловъ, равна суммѣ электровозбудительныхъ силъ всѣхъ находящихся между ними въ ряду металловъ. Такъ напр. электровозбудительная сила мѣди и цинка равна суммѣ электровозбудительныхъ силъ мѣди и латуни, латуни и желѣза, желѣза и олова, олова и цинка; изъ этого слѣдуетъ, что когда мѣдный кружокъ лежитъ на цинковомъ, то столько на цинкѣ получается +E, а на мѣди —E, сколько мы получили бы при наложеніи на мѣдный кружокъ латуни, на латунь желѣза, на желѣзо олова, а на олово цинка. Вообще если многія металлическія пластинки лежатъ одна на другой, то внѣшнія на обоихъ концахъ показываютъ совершенно тоже электричество и такой же силы, какъ будто бы онѣ лежали непосредственно одна на другой.

§ 245.

Основываясь на этомъ мнѣніи, Вольта устроилъ приборъ извѣстный подъ именемъ *Вольтова столба*, который гораздо сильнѣе обнаруживаетъ описанныя выше простыя явленія. Онъ нашелъ изъ опытовъ, что жидкости, именно вода и слабыя кислоты въ прикосновеніи съ металлами не имѣютъ никакой или имѣютъ весьма незначительную электровозбудительную силу въ сравненіи съ силою, имѣющею мѣсто между металлами, напр. мѣдью и цинкомъ. Онъ назвалъ эти тѣла *проводниками втораго порядка*, и поступилъ при построеніи своего столба слѣд. образомъ. Онъ клалъ мѣдный кружокъ горизонтально на столъ, на него цинковой кружокъ, а на этотъ послѣдній кружокъ сукна или папки смоченный слабою кислотою; еще мѣдь, цинкъ и папковой кружокъ и т. д. Фигура 301 показываетъ такой столбъ изъ 4 паръ, гдѣ Z означаетъ цинкъ, K мѣдь и S папковый кружокъ. Предположимъ теперь, что электровозбудительная сила одной пары цинка и мѣди такъ велика, что еслибы цинкъ былъ въ соединеніи съ землею, то на мѣди скопилось бы количество —1, между тѣмъ какъ +E цинка уходитъ въ землю; это значитъ тоже, что электровозбудительная сила столь велика, что она уравновѣшиваетъ стремленіе электричества —1 выйти изъ K черезъ цинкъ въ землю. Такъ какъ на первой парѣ лежатъ еще 3 пары, то —1 мѣди K распространится по всѣмъ наложеннымъ на нее кружкамъ, по тому что всѣ они суть проводники; но отъ этого количество на самомъ кружкѣ K уменьшится; слѣд. электровозбудительная сила между Z и K возбудитъ въ K новое —E, такъ что на кружкѣ K опять будетъ —1, потому что только въ этомъ случаѣ электровозбудительная сила уравновѣшиваетъ стремленіе —1 перейти въ землю. Слѣд. если бы дѣйствовала одна электровозбудительная сила пары ZK, то на цинкѣ Z, по причинѣ соединенія его

съ землею, находилось бы 0E, на K и на всѣхъ лежащихъ на немъ кружкахъ —1. Но между K′ и Z′ дѣйствуетъ также электровозбудительная сила, +E уходитъ внизъ слѣд въ землю, а —1 вверхъ, пока отъ дѣйствія второй пары не будетъ на K спять —1. Если подобнымъ образомъ будемъ разсуждать и при другихъ парахъ Z″ K″ и Z‴ K‴, изъ которыхъ всѣ нижнія цинковыя пластинки отдаютъ землѣ возбужденное въ нихъ электричество, а всѣ верхнія получаютъ —1, то найдемъ слѣдующія дѣйствія:

Обнаруживается отъ электровозбудительной силы паръ:

	ZK	Z′K′	Z″K″	Z‴K‴	сумма
на K	—1	0	0	0	—1
K′. . . .	—1	—1	0	0	—2
K″. . . .	—1	—1	—1	0	—3
K‴. . . .	—1	—1	—1	—1	—4

И такъ если дѣйствіе одной пары кружковъ Z и K лежащихъ одинъ на другомъ состоитъ въ томъ, что K получаетъ количество —1, то сила въ столбѣ состоящемъ изъ 4 паръ, на верхнемъ мѣдномъ кружкѣ будетъ —4, а сила столба изъ 100 паръ на верхнемъ мѣдномъ будетъ —100; слѣд. вообще сила въ n парахъ будетъ $-n$. Начиная отъ верхняго конца свободное —E внизу уменьшается больше и больше, а въ самомъ низу равна 0. Электроскопъ это въ самомъ дѣлѣ показываетъ, если соединить его съ различными мѣстами столба.

Если бы порядокъ металловъ былъ обратный первому, т. е. мѣдь лежала внизу, а цинкъ вверху во всѣхъ парахъ, то посредствомъ подобныхъ разсужденій мы нашли бы, что для n паръ напряженіе положительнаго электричества на верхнемъ полюсѣ въ n разъ сильнѣе, нежели въ каждой парѣ отдѣльно.

Если поставимъ 2 столба, каждый напр. изъ 100 паръ, одинъ подлѣ другаго, но такъ что бы въ одномъ KZ

(фиг. 300) мѣдный кругъ каждой пары лежалъ *подъ* цинковымъ, а въ другомъ Z′K′ *надъ* цинковымъ; то столбъ KZ на верхнемъ концѣ будетъ показывать +100, столбъ Z′K′ —100, между тѣмъ какъ изъ перваго проводится въ землю столько же —E, сколько изъ втораго +E; слѣд. если концы K и Z′ соединимъ между собою посредствомъ проволоки, то сообщеніе съ землею мы можемъ уничтожить не измѣняя ничего въ явленіи каждаго столба; ибо вмѣсто того, что бы столбъ ZK отдавалъ свое —E землѣ, а столбъ Z′K′ равное ему свое +E также землѣ, теперь оба эти количества соединяются между собою и по этому уничтожаются. Слѣд. Z всегда будетъ имѣть +100, а K′ всегда —100. Очевидно, что вмѣсто того чтобы соединить K и Z′ посредствомъ металла, можно бы было столбъ Z′K′ концемъ Z′ приложить непосредственно къ K; отъ этого мы получили бы столбъ ZK″ изъ 200 паръ, который на обоихъ концахъ уединенъ. И здѣсь также свободное +E начиная отъ конца Z уменьшается до средины K, гдѣ оно равно 0; далѣе внизъ является —E, которое при K″ также сильно, какъ вверху +E, т. е. $=-100$; слѣд. уединенный Вольтовъ столбъ въ каждой половинѣ своей показываетъ тѣже явленія, которыя замѣчаются въ неуединенномъ столбѣ по всей длинѣ его, и притомъ напряженіе при 200 парахъ на каждомъ концѣ равно только 100, или для n паръ $= \frac{1}{2} n$, слѣд. вдвое меньше, нежели въ неуединенномъ столбѣ на одномъ верхнемъ концѣ. И эти явленія доказаны также посредствомъ электроскопа; но употребляя при этомъ конденсаторъ, нужно принимать въ разсужденіе нѣкоторыя обстоятельства, основывающіяся на точной теоріи конденсатора, и о которыхъ здѣсь мы не будемъ упоминать; если же эти обстоятельства берутся во вниманіе, то опыты совершенно бываютъ согласны съ наблюденіями.

§ 246.

Въ предъидущемъ § мы видѣли, какимъ образомъ на верхнемъ концѣ Вольтова столба, находящагося въ сообщеніи съ землею, открывается свободное электричество, котораго напряженіе зависитъ отъ числа паръ, свойство же его отъ того, вверху или внизу мѣднаго кружка лежитъ цинковый; въ первомъ случаѣ +E, а во второмъ —E свободны. Если изъ верхняго конца извлечемъ электричество прикосновеніемъ, то столбъ тотчасъ получаетъ опять свое электричество; ибо источникъ его, прикосновеніе металловъ, не прекращается. Такимъ образомъ мы имѣемъ приборъ, который безпрерывно показываетъ свободное электричество, и это явленіе продолжалось бы вѣчно, если бы металлическіе кружки, особенно цинковые, въ плоскости прикосновенія съ жидкостію, не измѣнялись скоро отъ химическаго дѣйствія жидкости и не переходили въ окиселъ и если бы притомъ папковые кружки не высыхали. Дабы избѣжать этого неудобства Замбони употребилъ другаго рода проводники, и вмѣсто жидкости, взялъ сухую бумагу. Онъ обложилъ одну сторону ея фальшивымъ серебромъ (т. е. цинковымъ листомъ), другую фальшивымъ золотомъ (мѣдью), вырѣзалъ изъ этой бумаги кружки и положилъ нѣсколько ихъ тысячъ такъ, что одна сторона каждаго изъ нихъ, напримѣръ обложенная мѣдью, обращена была внизъ; въ такомъ случаѣ лежали одинъ на другомъ мѣдь, бумага, цинкъ, мѣдь, бумага, цинкъ и т. д. слѣд. когда нижній конецъ соединенъ былъ съ землею, на верхнемъ концѣ получалось свободное —E. Такой сухой столбъ по имени изобрѣтателя называется *Замбоніевымъ столбомъ*. Онъ сначала крѣпко связывается шелковыми нитями, потомъ кладется въ стеклянную трубку, которая снизу снабжается мѣдною ножкою касающеюся нижняго металлическаго листа, а верху мѣднымъ шарикомъ, который

посредствомъ мѣдной шейки своей касается верхняго металлическаго листа. Если два такихъ столба, изъ которыхъ одинъ имѣетъ вверху цинковый полюсъ, а другой вверху мѣдный, поставимъ на столъ, какъ показано въ фигурѣ 301, то въ A напр. всегда будетъ свободное +E, а въ B всегда свободное —E, которыя сами по себѣ всегда возобновляются, когда онѣ извлечены бываютъ прикосновеніемъ; если между ними повѣсимъ уединенный удобоподвижный маятникъ, напр. дугу M, прикрѣпленную къ тонкому стеклянному пруту MN, который колеблется около C и приведемъ его въ прикосновеніе съ A, то M получитъ +E, будетъ отталкнутъ отъ A и привлеченъ къ B; здѣсь онъ получитъ столько —E, что свое +E насыщено будетъ совершенно, и тогда на немъ останется еще свободное —E; отъ этого шаръ опять будетъ отталкнутъ отъ B къ A и такимъ образомъ маятникъ будетъ качаться туда и сюда, такъ что движеніе это можетъ продолжаться цѣлые мѣсяцы и годы. Посему такое устройство называется гальваническимъ *perpetuum mobile*.

Но гораздо полезнѣйшее приложеніе Замбоніева столба находимъ въ устройствѣ *Боненберіерова электроскопа* (фиг. 302), о которомъ мы уже упомянули въ § 233 какъ о самомъ чувствительномъ электроскопѣ, а котораго устройство мы теперь можемъ объяснить. Цилиндрическій стеклянный сосудъ MN вверху имѣетъ мѣдную крышку, къ которой привинчены два Замбоніевы столба AC и BD; одинъ AC внизу имѣетъ полюсъ +E, а другой BD внизу полюсъ —E. Оба они соединены верхними концами посредствомъ металлической крышки такъ, что оба вмѣстѣ собственно представляютъ уединенный Вольтовъ столбъ, но котораго дѣйствіе таково, какое оказываютъ два столба сообщенные съ землею, какъ мы видѣли (§ 215). На срединѣ въ крышку ввинчивается стеклянная труба, сквозь

которую проходитъ уединенная такимъ образомъ мѣдная проволока PF. На концѣ ея виситъ полоска вырѣзанная изъ листоваго золота FG; наверху ставится кружокъ конденсатора KL, для того чтобы увеличить чувствительность прибора. Листъ золота G равно притягивается къ C и къ D и слѣд. онъ будетъ оставаться по срединѣ, когда онъ не наэлектризованъ; но какъ скоро сообщимъ ему черезъ кружокъ KL не много электричества и оно будетъ напр. положительное, то G будетъ притянуто концемъ D и отталкнуто концемъ C; слѣд. листъ золота будетъ двигаться къ D. Если бы электричество сообщенное G было отрицательное, то движеніе послѣдовало бы къ C. Когда сообщенное электричество довольно сильно, то листъ золота ударяется въ одну или въ другую сторону. Отъ того, что листъ съ одной стороны притягивается, а съ другой отталкивается, этотъ электроскопъ превосходитъ всѣ другіе въ чувствительности. Вмѣстѣ съ тѣмъ Боненбергеровъ электроскопъ имѣетъ то преимущество предъ другими, что отъ движенія листка золота въ ту или другую сторону, тотчасъ можно знать, какое находится въ немъ электричество, положительное или отрицательное. Знаки + на B и — на A показываетъ тотчасъ, что, если движеніе происходитъ къ D, то электроскопу сообщено +E, если же къ C, то въ электроскопѣ заключается —E.

О гальваническихъ цѣпяхъ.

§ 247.

Если мѣдную пластинку CK (фиг. 303) и параллельно ей стоящую цинковую AZ соединимъ между собою проволокою ABC, то, какъ мы уже видѣли выше, изъ какого бы металла ни состояла проволока, обѣ пластинки получатъ одинаковое электрическое напряженіе; Z показываетъ +E,

з на K будетъ —E. Если между обѣими пластинками положимъ палку смоченную слабою кислотою, или, еще лучше, если погрузимъ объ пластинки въ сосудъ MN, наполненный слабою кислотою, то оба электричества соединяются между собою черезъ жидкость. Если для простоты положимъ, что соединительная проволока состоитъ изъ мѣди, то послѣ соединенія электричествъ черезъ жидкость электровозбудительная сила въ мѣстѣ прикосновенія мѣдной проволоки съ цинковою пластинкою при A возбудитъ новое +E на Z и —E на K; эти электричества опять соединяются черезъ жидкость и такимъ образомъ оба электричества и безпрестанно будутъ возбуждаться и опять исчезать и слѣд. безпрестанно +E будетъ стремиться по направленію AZKCB, а —E по противоположному направленію. Это явленіе называется *гальваническимъ токомъ*, а приборъ простою *гальваническою цѣпью*. Такъ какъ направленіе отрицательнаго электричества противоположно направленію положительнаго, то можно знать направленіе сего послѣдняго, если извѣстно направленіе перваго; по этому для простоты согласились означать только направленіе *положительнаго тока*, тогда само собою разумѣется, что отрицательный токъ имѣетъ направленіе противоположное. Направленіе положительнаго тока на фигурѣ означено стрѣлою. Здѣсь не обращается вниманіе на то, гдѣ собственно происходитъ соединеніе обоихъ электричествъ; ибо если бы напр. они соединялись на цинковой пластинкѣ AZ, то въ проволокѣ собственно будетъ существовать отрицательный токъ, который имѣетъ направленіе противоположное направленію стрѣлы; но изъ опыта извѣстно, что отрицательный токъ во всемъ дѣйствуетъ какъ положительный, если онъ идетъ по противоположному направленію; слѣд. для послѣдствій все равно, означимъ ли стрѣлою, какъ въ фигурѣ, направленіе положительнаго тока или обратною стрѣлою направленіе отрицательнаго.

Если двѣ пары изъ цинка и мѣди ZK и ZK′ (фиг. 304), соединимъ между собою мѣдными проволоками AB и A′B′, какъ показано въ фигурѣ, и каждую пару погрузимъ въ особенный сосудъ съ жидкостію, то мы получимъ гальваническую цѣпь, составленную изъ двухъ паръ. Въ точкахъ прикосновенія мѣдныхъ проволокъ съ цинкомъ въ B и B′ дѣйствуетъ электровозбудительная сила и въ обѣихъ парахъ безпрестанно гонитъ +E черезъ жидкость вправо, а −E влѣво и оба электричества безпрестанно соединяются тамъ, гдѣ они встрѣчаются. Слѣд. положительный токъ описываетъ круговой путь, какъ показываетъ стрѣла и вмѣсто этого пути можно бы было въ какомъ нибудь мѣстѣ представить себѣ отрицательный токъ въ противоположную сторону; отъ этого не измѣнилось бы слѣдствіе.

Вмѣсто двухъ паръ можно употребить 3, 4 и вообще n; въ которыхъ во всѣхъ цинкъ обращенъ въ одну сторону, а мѣдь въ другую; тогда получится сложная гальваническая цѣпь. Фиг. 305 представляетъ 5 парную цѣпь, гдѣ ZK, Z′K′, Z″K″ и проч. суть одинаковымъ сбразомъ расположенныя мѣдныя и цинковыя пластинки, погруженныя въ сосуды I, II, III и проч. съ жидкостію и соединенныя проволоками ab, $a'b'$, $a''b''$ и проч; чтобы узнать направленіе тока, нужно только обращать вниманіе на то мѣсто, гдѣ дѣйствуетъ электровозбудительная сила, т. е. гдѣ мѣдь и цинкъ касаются другъ другу, слѣд. на b или b' и проч.; вездѣ +E будетъ стремиться отъ мѣди къ цинку, слѣд. у насъ вправо; по сему токъ будетъ имѣть направленіе показанное стрѣлою.

§ 248.

Если вмѣсто какой нибудь соединяющей проволоки, напр. ab' возмемъ другое тѣло, которое оказываетъ не слишкомъ большое сопротивленіе, тогда токъ прой-

детъ черезъ тѣло и произведетъ въ немъ весьма замѣчательныя явленія. Что бы понять это лучше, напередъ нужно опредѣлить, отъ чего собственно зависитъ *сила тока*. Очевидно она можетъ зависить отъ двухъ обстоятельствъ, 1) отъ того, съ какимъ напряженіемъ электровозбудительная сила раздѣляетъ электричества при прикосновеніи двухъ металловъ, 2) отъ того, съ какою легкостію токъ проходитъ черезъ тѣла составляющія цѣпь. Опытами доказано, что сила тока прямо пропорціональна *суммѣ всѣхъ электровозбудительныхъ силъ* и обратно пропорціональна *суммѣ всѣхъ сопротивленій*; или если силу тока означимъ черезъ K, сумму всѣхъ электровозбудительныхъ силъ черезъ F, сумму всѣхъ сопротивленій черезъ L, то получимъ

$$K = \frac{F}{L}$$

Изъ этого слѣдуетъ, что если мы сохранимъ въ нашей 5 парной цѣпи туже величину пластинокъ, тоже разстояніе ихъ другъ отъ друга, употребимъ вездѣ туже жидкость и совершенно равныя соединительныя проволоки ab, $a'b'$ и проч, то токъ будетъ также силенъ, какъ и въ одной парѣ; ибо хотя вмѣсто одной электровозбудительной силы мы имѣемъ 5, слѣд. F въ 5 разъ больше, но за то, если сопротивленіе одной пары вмѣстѣ съ проволокою примемъ за L, то при 5 парахъ сопротивленіе будетъ равно пятикратному сопротивленію L По этому K въ этомъ случаѣ будетъ $= \frac{5F}{5L} = \frac{F}{L}$ т. е. токъ въ обоихъ случаяхъ будетъ равносиленъ.

Если въ какой нибудь цѣпи вмѣсто одной проволоки ab вставимъ другой худшій проводникъ, то отъ этого сумма сопротивленій, или L, увеличится, слѣд. токъ сдѣлается слабѣе; если это вновь введенное сопротивленіе означимъ черезъ l, то токъ сдѣлается слабѣе въ отношеніи $L + l : L$.

Когда l весьма мало въ сравненіи съ L, тогда сумма $L+l$ будетъ немного только больше L, слѣд. ослабленіе будетъ весьма мало; если напр. $L=1000$ и $l=1$, то токъ ослабится въ отношеніи какъ 1001 : 1000, т. е. только на $\frac{1}{1001}$; но если бы было $L=1000$ и l тоже $=1000$, то токъ сдѣлался бы слабѣе во столько разъ, во сколько 2000 больше 1000, слѣд. вдвое слабѣе.

Ежели бы $L=1$ и $l=1000$, тогда токъ сдѣлался бы въ 1001 разъ слабѣе, слѣд. можетъ быть во все былъ бы незамѣтенъ. По этому нужно стараться всегда брать цѣпь такую, чтобъ сопротивленіе ея въ сравненіи съ сопротивленіемъ того тѣла, черезъ которое хотятъ провести токъ, не было значительно меньше, т. е. тѣмъ больше паръ нужно брать для цѣпи, чѣмъ хуже проводникъ, черезъ который хотятъ пропустить токъ. Найдено, что проволоки проводятъ токъ тѣмъ хуже, чѣмъ меньше ихъ поперечный разрѣзъ и чѣмъ они длиннѣе; слѣд. если вмѣсто ab взята будетъ проволока очень тонкая и длинная, то нужно употреблять многопарную цѣпь, когда хотятъ, чтобъ токъ въ ней былъ силенъ. Но какъ бы много мы въ этомъ случаѣ ни брали паръ, мы не можемъ получить токъ сильнѣе того, который происходитъ и отъ одной пары съ соединительною проволокою ab, но при введеніи худаго проводника къ этому наибольшему току мы можемъ только приблизиться, увеличивая болѣе и болѣе число паръ.

Если вмѣсто соединительной проволоки, напр. ab, возмемъ другой проводникъ также хорошо пропускающій токъ, то сила тока останется прежняя и тогда, какъ мы видѣли, все равно, употребимъ ли одну пару или 5 или 100 паръ; но можно значительно усилить токъ, увеличивая металлическую поверхность паръ. Опыты показали, что часть сопротивленія L, принадлежащая парамъ и жидкости (слѣд. все L за исключеніемъ сопротивленія соединительныхъ прово-

локъ) ослабляется въ томъ отношеніи, въ какомъ увеличивается поверхность паръ и лежащаго между ними слоя жидкости. Но такъ какъ это сопротивленіе гораздо значительнѣе сопротивленія соединительныхъ проволокъ, обыкновенно довольно толстыхъ, то самая большая часть сопротивленія L (можно принять, что все L) уменьшается пропорціонально увеличиванію поверхностей. Если напр. предположимъ, что L состоитъ изъ сопротивленія паръ равнаго 1000 и сопротивленія соединительныхъ проволокъ равнаго 1 такъ, что слѣд. L=1001, то при удвоеніи поверхности паръ сумма эта сдѣлается 501, слѣд. почти вдвое меньше и потому токъ сдѣлается вдвое сильнѣе; изъ сего видно, что если токъ долженъ проходить черезъ хорошіе проводники, то онъ почти не усиливается отъ увеличиванія числа паръ, но весьма усиливается отъ увеличиванія поверхности паръ. Такимъ образомъ мы находимъ два главные закона для гальванической цѣпи:

1) Когда хотятъ дѣйствовать сильнымъ токомъ на весьма *худой проводникъ* и хотятъ черезъ него провести токъ, тогда выгодно какъ можно больше увеличивать *число паръ*. Увеличиваніе же поверхности паръ помогаетъ въ этомъ случаѣ мало, потому что отъ этого уменьшается только сопротивленіе самыхъ паръ, которое въ этомъ случаѣ составляетъ малѣйшую часть всего сопротивленія.

2) Когда дѣйствуютъ на весьма *хорошій проводникъ*, тогда увеличиваніе числа паръ мало приноситъ пользы, но токъ весьма усиливается отъ увеличиванія *поверхности паръ*.

Изъ этого слѣдуетъ, что для среднихъ проводниковъ равно хорошо увеличивать какъ поверхность паръ, такъ и число ихъ. Разсмотрѣвши это, мы теперь покажемъ устройство цѣпи, при которомъ она производитъ свои дѣйствія лучшимъ образомъ.

§ 249.

Самая простая цѣпь употребляется въ видѣ одной пары, какъ показываетъ фиг. 306 въ разрѣзѣ. ABC есть мѣдная пластинка, FG амальгамированная цинковая, которая съ обѣихъ сторонъ окружена мѣдью, и деревянными клинышками *mm'm''* поддерживается такъ, что цинкъ нигдѣ не касается мѣди, отстоя отъ нея на $1\frac{1}{2}$ линіи. На верхнихъ краяхъ мѣди и цинка вдѣлываются мѣдныя чашечки F и D, въ которыхъ находится нѣсколько ртути. Весь приборъ погружается въ четыреугольный сосудъ MNO съ слабою кислотою. Если соединимъ цинкъ и мѣдь мѣдною проволокою, погружаемою въ ртуть чашекъ F и G, то получимъ простую замкнутую цѣпь. Электровозбудительная сила дѣйствуетъ при F, гонитъ +E къ цинку, а отсюда черезъ жидкость къ мѣди, между тѣмъ какъ —E черезъ мѣдь и жидкость идетъ по направленію противоположному. Слѣд. направленіе положительнаго тока показывается въ проволокѣ стрѣлою. Простую пару, въ которой цинкъ окружается мѣдью съ двухъ сторонъ, называютъ *Вульстеновымъ элементомъ*, по имени изобрѣтателя Вульстена (Wollaston). Для полученія сложныхъ гальваническихъ цѣпей обыкновенно соединяютъ много такихъ Вульстеновыхъ элементовъ подобнымъ образомъ, какъ въ фигурѣ 305 соединены 5 паръ; для этого раздѣляютъ четыреугольное деревянное или лучше фаянсовое корыто перегородками на отдѣленія, находящіяся такимъ образомъ одно подлѣ другаго, но уединенныя посредствомъ непроводниковъ; въ каждомъ отдѣленіи находится растворенная водою кислота, и въ каждое погружается Вульстеновъ элементъ. Если соединимъ въ этихъ элементахъ цинкъ первой пары съ мѣдью второй, цинкъ второй пары съ мѣдью третьей и т. д., то получимъ сложную цѣпь подобную изображенной въ фигурѣ 305, только число паръ въ такихъ приборахъ обыкновенно

больше 5. Но мы можемъ также всѣ цинки и всѣ мѣди соединить между собою, тогда получимъ простую цѣпь, которой поверхность во столько разъ больше поверхности одной пары, сколько есть паръ; по прежде сказанному эту цѣпь особенно хорошо употреблять тогда, когда мы хотимъ провести токъ чрезъ хорошій проводникъ.

Всѣ эти цѣпи, называемыя по своимъ элементамъ, Вульстеновыми, имѣютъ ту невыгоду, что онѣ короткое время только дѣйствуютъ съ полною силою, но спустя полчаса онѣ теряютъ болѣе половины своей силы.

Этотъ недостатокъ можно устранить, если употребить для составленія цѣпи жидкости двоякаго рода, которыя отдѣляются одна отъ другой какимъ нибудь скважистымъ веществомъ, напр. пузыремъ животныхъ или лучше немуравленною глиняною перегородкою, и которыя такимъ образомъ смѣшиваются весьма медленно. Въ цѣпяхъ Даніеля (Daniel) одна изъ сихъ жидкостей есть насыщенный растворъ мѣднаго купороса, другая растворъ серной кислоты; въ первую погружается мѣдь, во вторую цинкъ. Такой элементъ представленъ въ фигурѣ 307. KLL′K′ представляетъ мѣдный цилиндрическій сосудъ, въ который входитъ второй меньшій сосудъ BDD′B′ изъ слабо обожженной не муравленной глины, такъ что между стѣнками обоихъ сосудовъ остается узкое кольцеобразное пространство толщиною около 2 линіи, въ которое наливается растворъ мѣднаго купороса. Въ глиняный сосудъ ставится амальгамированный цинковой цилиндръ ZEE′Z′, такъ что между нимъ и глинянымъ сосудомъ также остается кольцеобразное пространство толщиною въ 1 или 2 линіи. Отъ цинка идетъ изогнутая проволока ZFA въ сосудъ A содержащій ртуть и подобная проволока KC идетъ отъ мѣди въ сосудъ C со ртутью. Когда C соединяется съ A какимъ нибудь проводникомъ, то цѣпь замыкается.

Въ цѣпяхъ Грове (Grove) вмѣсто мѣднаго сосуда упо-

требляется стеклянный, съ тонкимъ платиновымъ листомъ, на сторонѣ платиноваго листа находится крѣпкая азотная кислота, внутри же глинянаго сосуда цинковой цилиндръ въ сѣрной кислотѣ, какъ въ цѣпяхъ Даніеля. Если нужно употребить сложную цѣпь, то нѣсколько такихъ простыхъ цѣпей соединяются вмѣстѣ посредствомъ своихъ сосудовъ со ртутью, какъ мы видѣли это прежде въ Волластоновой цѣпи. Такія цѣпи дѣйствуютъ постоянно въ продолженіи многихъ часовъ сряду. Цѣпи Грове дѣйствуютъ гораздо сильнѣе цѣпей Даніеля, но онѣ дороже стоютъ и менѣе пріятны при употребленіи, по причинѣ поднимающагося изъ нихъ, во время дѣйствія, красныхъ паровъ азотистой кислоты.

§ 250.

Явленія нагрѣванія посредствомъ тока.

Когда проводятъ токъ гальванической черезъ какую нибудь проволоку, то она нагрѣвается и если токъ имѣетъ одну и туже силу, то нагрѣваніе тѣмъ больше, чѣмъ тоньше проволока и чѣмъ хуже она проводитъ электричество; способности проводить электричество въ самыхъ употребительныхъ металлахъ слѣдуютъ одна за другою въ такомъ порядкѣ: серебро, мѣдь, латунь, желѣзо, платина, гдѣ серебро проводитъ больше, а платина меньше всѣхъ, посему для нагрѣванія обыкновенно употребляютъ желѣзныя и платиновыя проволоки. Если проволока не слишкомъ толста, то нагрѣваніе можетъ дойти до краснокаленія, бѣлокаленія, плавленія и горѣнія. Желѣзныя и стальныя проволоки горятъ лучше всего, разбрасывая въ стороны яркія искры, платина труднѣе, по причинѣ малаго химическаго сродства съ кислородомъ, но она скоро дѣлается бѣлокаленною; мѣдная проволока должна быть очень тонка для того, чтобы могла горѣть. Такъ какъ явленія каленія всегда

производятся посредствомъ проволокъ, слѣд. посредствомъ хорошихъ проводниковъ, то по предъидущему параграфу мы должны стараться объ увеличеніи поверхности паръ, а не объ увеличеніи числа ихъ, для того чтобъ получить сильное дѣйствіе. Только тогда, когда требуется накалить длинныя тонкія проволоки, представляющія большое сопротивленіе въ цѣпи, большее число паръ также имѣетъ вліяніе. По этому для опытовъ каленія особенно удобно употреблять гальваническую цѣпь съ большими парами. Каленіе особенно кажется блистательно тогда, когда цѣпь замыкается двумя заостренными кусками угля. Если токъ цѣпи силенъ, то концы углей накаливаются до бѣла и даютъ такой яркой свѣтъ, что онъ какъ солнечный, нестерпимъ для глазъ. При этомъ острія углей быстро горятъ въ воздухѣ, образуя съ кислородомъ его углекислоту. Когда острія углей ставятъ въ безвоздушное пространство, и потомъ пропускаютъ черезъ ихъ токъ, то они накаливаются безъ горѣнія. Если посыпать пороху на острія углей, то порохъ загорается при накаливаніи углей. Этимъ воспользовались для зажиганія минъ посредствомъ гальванической цѣпи, соединяя цѣпь посредствомъ длинной проволоки съ миною. Сей способъ зажиганія минъ имѣетъ предъ обыкновеннымъ ту выгоду, что воспламеніе происходитъ въ требуемое мгновеніе.

Явленія искры. Когда соединительныя проволоки замкнутой цѣпи отнимемъ прочь, то на томъ мѣстѣ, гдѣ токъ прежде всего прерывается, мы замѣчаемъ искру. Яркость и цвѣтъ ея зависятъ отъ металловъ, которые отдѣляются другъ отъ друга. Мѣдь съ мѣдью даетъ красноватую искру; если же наамальгамируемъ мѣдныя поверхности, то искра будетъ гораздо блистательнѣе и совершенно бѣлая. Этимъ уже доказывается, что въ искрѣ дѣйствуютъ частицы металла и въ самомъ дѣлѣ

съ вѣроятностію доказано, что искра есть также процессъ накаливанія; именно когда одна поверхность метэллическая отдѣляется отъ другой или приближается до прикосновенія, то это отдѣленіе или прикосновеніе происходитъ въ одной точкѣ отдѣляющихся или прикасающихся поверхностей послѣ или прежде другихъ и слѣд. есть такое мгновеніе, въ которое черезъ эту послѣднюю точку отдѣленія или первую прикосновенія проходитъ весь токъ и нагрѣваетъ здѣсь металлъ до калѣнія и горѣнія; при отдаленіи обѣихъ проволокъ амальгамированныхъ и покрытыхъ каплею ртути, сей послѣдній металлъ вытягивается въ тонкую нить, которая находится въ самыхъ благопріятныхъ для горѣнія обстоятельствахъ; отъ этого происходитъ яркая бѣлая искра. Если искра состоитъ въ горѣніи металлическихъ частей, то она требуетъ цѣпь съ большою поверхностію и не многими парами и должна быть тѣмъ сильнѣе, чѣмъ лучше проводимость соединительныхъ проволокъ, потому что тогда сопротивленіе L цѣпи будетъ меньше; это и въ самомъ дѣлѣ замѣчается въ искрѣ происходящей при заключеніи цѣпи; но напротивъ искра при открытіи цѣпи является сильнѣе тогда, когда употребляютъ для закрытія длинную проволоку, нежели когда короткую, хотя самый токъ въ первомъ случаѣ бываетъ слабѣе по причинѣ худой проводимости длинной проволоки. Найдено, что искра при открытіи цѣпи будетъ сильнѣе, когда длинную соединительную проволоку наматываютъ на цилиндръ въ видѣ спирали, а еще сильнѣе когда цилиндръ будетъ желѣзный. Причина этого состоитъ въ томъ, что при открытіи цѣпи токъ въ длинной проволокѣ прекращается, и въ ней, преимущественно когда она окружаетъ желѣзный цилиндръ, возбуждается мгновенный гальваническій токъ особеннаго рода и отъ этого тока искра является столь яркою.

§ 251.

О Химическихъ дѣйствіяхъ Гальванической цѣпи.

Если вмѣсто соединительной проволоки употребить приборъ показанный въ фиг. 308, состоящій изъ стекляннаго сосуда ABCD, сквозь дно котораго проведены двѣ изогнутыя платиновыя проволоки *mno* и $m'n'o'$, которыхъ концы *o* и o' соединяются съ цѣпью и если потомъ нальемъ въ сосудъ воды разведенной кислотою, то токъ долженъ пройти чрезъ *opm*, потомъ черезъ воду къ m' и наконецъ черезъ $m'n'o'$ идти далѣе въ другія части цѣпи; въ этомъ случаѣ замѣчается множество пузырьковъ поднимающихся съ обѣихъ платиновыхъ проволокъ находящихся въ жидкости. Если надъ проволоками опрокинемъ маленькій колоколъ FGK съ жидкостію, то можемъ собрать поднимающіеся газообразные пузырьки и найдемъ, что они составляютъ такъ называемый гремучій воздухъ т. е. состоятъ по объему изъ двухъ частей водорода и одной кислорода. Если устроенъ приборъ такъ (фиг. 309), чтобы каждая проволока отдѣльно была покрыта особеннымъ колоколомъ, то получимъ отдѣльно пузырьки поднимающіеся съ каждой проволоки и найдемъ, что съ одной проволоки поднимаются только пузырьки водорода, съ другой пузырьки кислорода, перваго два объема, другаго одинъ объемъ; посему вода разлагается токомъ на свои составныя части и при томъ, когда положительный токъ идетъ по направленію стрѣлки, то на *m* освобождается кислородъ, на m' водородъ; кислородъ освобождается на платиновой проволокѣ, изъ которой токъ входитъ въ жидкость или на *Анодѣ*, а водородъ на проволокѣ, въ которую токъ входитъ изъ воды или на *Катодѣ*. Не принимая въ разсужденіе всей цѣпи, но только одинъ нашъ приборъ, назвали Анодъ *т положительнымъ полюсомъ*, потому что изъ него +E входитъ въ жид-

кость, а Катодъ *т' отрицательнымъ полюсомъ*, потому что отсюда выходитъ —Е, и тогда мы можемъ сказать: *кислородъ является на положительномъ полюсѣ или на Анодѣ, а водородъ на отрицательномъ или на Катодѣ.*

Если вмѣсто платиновыхъ проволокъ *т* и *т'* возмемъ проволоку, изъ другаго металла легко окисляемаго, напр. изъ мѣди, то на Катодѣ, какъ и при платиновыхъ проволокахъ, освобождается водородъ, но на Анодѣ кислородъ соединяется съ мѣдью, чтобы составить мѣдную окись, и здѣсь пузырьковъ не будетъ видно.

Такъ какъ приборъ для разложенія воды принадлежитъ къ проводникамъ средняго разряда, то по § 248 для разложенія воды равно выгодно въ цѣпи увеличивать какъ поверхность паръ, такъ и число ихъ.

Гальваническій токъ можетъ разлагать и другія химическія соединенія также какъ воду; тогда одна составная часть соединенія отдѣляется на томъ концѣ, гдѣ токъ входитъ, а другая на томъ, изъ котораго онъ выходитъ. Посредствомъ тока Деви (Davy) первый разложилъ щелочи на кислородъ и металлъ, между тѣмъ какъ онѣ прежде считаемы были за тѣла простыя.

Если токъ пропускается чрезъ приборъ состоящій изъ двухъ мѣдныхъ пластинокъ, погруженныхъ параллельно другъ другу въ сосудъ наполненный насыщеннымъ растворомъ мѣднаго купороса (т е соединенія окиси мѣди съ сѣрною кислотою), то эта соль также разлагается. На *Анодѣ* или на положительной мѣдной пластинкѣ являются вмѣстѣ *сѣрная кислота и кислородъ* окиси мѣди; кислородъ образуетъ съ мѣдью Анода мѣдную окись, которая потомъ растворяется въ сѣрной кислотѣ и образующійся такимъ образомъ новый купоросъ соединяется съ купоросомъ жидкости; на *Катодѣ* же или на отрицательной пластинкѣ является *мѣдь* въ видѣ металлической пластинки, которой толщина увеличивается по мѣрѣ продолженія дѣй-

ствія тока. Если эта толщина достигла до нѣкоторой величины, то можно отдѣлить новообразованную пластинку отъ Котода и тогда замѣчается, что сторона, которая касалась къ этой пластинкѣ, представляетъ вѣрнѣйшій отпечатокъ всѣхъ неровностей, находящихся на оной. По этому, если нарочно для Котода употребляютъ какой либо барельефъ, то можно получить отъ него посредствомъ разложенія мѣднаго купороса въ гальванической цѣпи вѣрнѣйшій, только обратный, отпечатокъ на мѣдной пластинкѣ, отъ котораго такимъ же образомъ можно получить второй отпечатокъ совершенно подобный главному барельефу. Если форма, отъ которой хотятъ получить отпечатокъ, не металлическая, а сдѣлана изъ веществъ (напр. воска, стеарина, гипса и пр.), которыя не проводятъ электричества и слѣдственно не могутъ служить Катодами, то прежде покрываютъ ихъ самымъ мелкимъ порошкомъ графита; образовавшійся отъ этого на нихъ весьма тонкій слой графита проводитъ токъ въ степени достаточной для того, чтобы на немъ осаждалась мѣдь изъ купороса.

Это приложеніе гальванизма къ искуствамъ называется *Гальванопластикою* и открыто нашимъ Академикомъ Якоби въ 1839 году.

Тоже самое явленіе, которое мы видѣли между платиновыми проволоками m и m', замѣчается и между двумя пластинками самой цѣпи, напр. въ каждомъ ящикѣ Вульстеновой цѣпи; ибо въ самомъ дѣлѣ каждый изъ такихъ ящиковъ можно считать за приборъ разложенія жидкости для другихъ частей цѣпи, потому что и здѣсь положительный токъ изъ цинка черезъ жидкость переходитъ въ мѣдь, слѣд. на цинкѣ можетъ освобождаться кислородъ, а на мѣди водородъ. Но подобно тому, какъ въ приборѣ разложенія при употребленіи мѣдныхъ проволокъ, кислородъ не освобождается въ видѣ пузырьковъ, но тотчасъ соединяется съ мѣдью въ мѣдную окись, такъ и на цинковой пластинкѣ

каждаго ящика кислородъ не освобождается въ видѣ газа, но тотчасъ соединяется съ цинкомъ въ цинковую окись, которая потомъ растворяется въ кислотѣ; на мѣди же въ самомъ дѣлѣ является водородъ въ видѣ пузырьковъ, которые поднимаются безпрестанно съ этой пластинки. Такимъ образомъ видно, какъ мало по малу слабая кислота въ гальванической цѣпи должна насытиться цинковою окисью, и это бываетъ въ самомъ дѣлѣ. Найдено, что дабы предохранить цинкъ какъ можно больше отъ порчи, должно его амальгамировать ртутью, и по этому почти нигдѣ болѣе не употребляютъ обыкновенныхъ цинковыхъ пластинокъ, но амальгамированныя. — Въ постоянныхъ цѣпяхъ Даніеля цинкъ также растворяется въ сѣрной кислотѣ, а на мѣди осаждается новая металлическая мѣдь изъ мѣднаго купороса, и можетъ также служить для гальванопластическихъ отпечатковъ.—Въ цѣпяхъ Грове водородъ, освобождающійся на платиновой пластинкѣ разлагаетъ азотную кислоту, соединяется съ частью кислорода ея, азотная кислота отъ этого измѣняется въ *азотистую*, которая въ видѣ желтыхъ паровъ поднимается изъ жидкости.

§ 252.

О дѣйствіи тока на организмъ.

Если въ цѣпь вмѣсто соединительныхъ проволокъ поставимъ наше тѣло, взявши въ обѣ руки металлическіе цилиндры и погрузивъ ихъ въ сосуды со ртутью, которыя въ соединеніи съ цинкомъ и съ мѣдью крайнихъ паръ цѣпи, тогда токъ пробѣгаетъ черезъ тѣло, проходя черезъ руку въ плечо, грудь, другое плечо и въ другую руку, и мы ощущаемъ сотрясеніе нервовъ особенно въ рукахъ и въ плечахъ. Но такъ какъ тѣло человѣческое есть весьма худой проводникъ въ сравненіи съ металлическою проволокою и даже въ сравненіи съ жидкостію ящиковъ, то въ этомъ опытѣ, по прежнему закону, требуется весьма

многопарная цѣпь, напр. 100 парная; здѣсь особенно хорошо служитъ Вольтовъ столбъ, къ полюсамъ котораго касаются руками. При этомъ поверхность паръ можетъ быть мала напр. величиною въ пятакъ. Но не смотря на многія пары сопротивленіе тѣла всегда такъ сильно, что самый токъ будетъ весьма слабъ, и какъ при всемъ томъ болѣзненное ощущеніе въ нервахъ бываетъ еще очень сильно, то изъ этого необходимо слѣдуетъ, что нервы составляютъ весьма чувствительный Гальваноскопъ. Эта чувствительность продолжается даже и нѣсколько времени послѣ смерти и по этому для гальваническихъ опытовъ прежде почти вообще употребляли недавно убитую лягушку; еще теперь она употребляется иногда для этой цѣли. Итакъ мы должны всегда помнить, что когда мы употребляемъ для сотрясенія нервовъ многопарный столбъ, то это дѣлается не потому, что наши нервы нечувствительны, но потомучто токъ весьма ослабляется нашимъ тѣломъ. Особенно сопротивленіе тѣла увеличивается сухою кожицею нашихъ рукъ, которая почти непроводитъ электричества; по сему дѣйствіе весьма усиливается, когда цилиндры, соединяющіе руки съ цѣпью, берутся намоченными руками. Что и въ человѣкѣ чувствительность нервовъ къ току продолжается долго, даже послѣ смерти, найдено посредствомъ опытовъ надъ трупомъ недавно умершаго человѣка; когда пропускали сильный токъ черезъ различныя части трупа, то онъ сгибалъ ноги или сжималъ кулаки, и грудь у него то поднималась, то опускалась, какъ будто онъ дышалъ; на лицѣ являлся ужасный судорожный смѣхъ.

§ 253.

О дѣйствіи токовъ на магнитную стрѣлку или объ Электро-магнетизмѣ.

Въ 1820 году Эрштедъ въ Копенгагенѣ открылъ, что гальванической токъ при приближеніи къ магнитной стрѣлкѣ, сильно дѣйствуетъ на отклоненіе ея. Если въ какомъ нибудь

мѣстѣ гальванической цѣпи вмѣсто обыкновенной соединительной проволоки употребимъ длинѣйшую натянутую въ направленіи магнитной стрѣлки, слѣд. отъ сѣвера къ югу, какъ AB (фиг. 310), такъ чтобы конецъ A былъ обращенъ къ сѣверу, а B къ югу и если *надъ* этою проволокою повѣсимъ магнитную стрѣлку *ns*, которая безъ тока была бы параллельна проволокѣ, то сѣверный полюсъ мгновенно отклонится къ востоку, какъ скоро токъ пройдетъ отъ B къ A, что показано стрѣлкою; напротивъ отклоненіе бываетъ къ западу, когда токъ идетъ отъ A къ B.

Если же стрѣлка находится *подъ* проволокою, какъ въ фиг. 311, то отклоненіе бываетъ къ западу, когда токъ имѣетъ направленіе стрѣлки, и къ востоку, когда онъ будетъ имѣть противное направленіе.

Итакъ отклоненія бываютъ противоположны, 1) когда направленія токовъ бываютъ обратныя и 2) если положеніе магнитной стрѣлки въ отношеніи къ положенію проволоки будетъ противоположно.

Если проволока AB будетъ имѣть вертикальное положеніе передъ сѣвернымъ полюсомъ стрѣлки, и мы пропускаемъ черезъ проволоку токъ *снизу вверхъ* (фиг. 312), какъ показываетъ стрѣлка, то *n* отклоняется къ востоку, когда же токъ идетъ *сверху внизъ*, то отклоненіе бываетъ къ западу.

Наконецъ если вертикальная проволока находится передъ *южнымъ* полюсомъ (фиг. 313) и токъ проходитъ, какъ показано стрѣлкою *снизу вверхъ*, то отклоненіе бываетъ къ западу; когда же токъ идетъ *сверху внизъ*, то къ востоку.—Итакъ и при вертикальномъ положеніи измѣняется направленіе отклоненія 1) когда токъ въ проволокѣ превращается или 2) когда положеніе проволоки бываетъ противоположно. Слѣд. всегда отклоненіе происходитъ по тому же направленію, если вмѣстѣ и положеніе проволоки и направленіе тока превращаются.

§ 254.

Если загнемъ проволоку какъ ACDE (фиг. 314), поставимъ плоскость этой фигуры вертикально по направленію магнитной стрѣлки и по срединѣ ея повѣсимъ сію послѣднюю *ns*, то, когда токъ будетъ проходить черезъ проволоку по направленію стрѣлокъ, слѣд. по направленію ACDEB, тогда часть тока AC, равно и CD, также GE и EB отклонятъ магнитную стрѣлку по одному и тому же направленію именно *къ западу*, какъ легко можно въ этомъ удостовѣриться опредѣляя по вышеизложеннымъ законамъ въ каждой изъ 4 частей проволоки направленіе отклоненія магнитной стрѣлки для горизонтальныхъ и вертикальныхъ токовъ. Еслибы токъ обратно шелъ черезъ изгибы проволоки по направленію BEDCA, то всѣ 4 части изгиба отклонили бы стрѣлку въ другую сторону т. е. *къ востоку*. Вмѣсто одного изгиба проволоки можнобъ было провести много изгибовъ одинъ подлѣ другаго; только тогда надобно сдѣлать такъ, чтобы токъ не проходилъ изъ одного изгиба въ другой со стороны, но пробѣгалъ одинъ изгибъ за другимъ по длинѣ всей проволоки. Этого достигаютъ окружая проволоки худымъ проводникомъ, напр. обматывая ихъ шелкомъ. Тогда каждый изгибъ отклонитъ стрѣлку въ одну и туже сторону, слѣд. отклоняющая сила будетъ увеличена большимъ числомъ изгибовъ. Такой приборъ называется *мультипликаторомъ*; онъ изобрѣтенъ Швейгеромъ и служитъ къ тому, чтобы, вводя его въ цѣпь, открывать существованіе даже весьма слабыхъ токовъ.

Когда мультипликаторъ отклоняетъ стрѣлку, положимъ къ западу, то сія стрѣлка придетъ въ положеніе покоя тогда, когда отклоняющая сила тока, старающаяся обратить сѣверный полюсъ прямо къ западу, придетъ въ равновѣсіе съ магнитною силою земли, направляющею стрѣлку отъ юга къ сѣверу. Чѣмъ сильнѣе токъ, тѣмъ больше прибли-

жается стрѣлка къ положенію отъ востока къ западу, и такимъ образомъ большее отклоненіе даетъ намъ мѣру большаго или меньшаго напряженія тока. Но очевидно, что отклоненіе стрѣлки можно увеличить не измѣняя тока, если ослабимъ направляющую силу земнаго магнетизма противудѣйствующаго отклоненію. Это дѣлается такъ, что въ стрѣлку *ns* (фиг. 315) вкладываютъ мѣдную проволоку *pm*, на другомъ концѣ которой утверждается совершенно равная первой стрѣлка *n's'*, но только полюсы сей послѣдней имѣютъ направленіе совершенно противоположное. Проволока *pm* привѣшивается на шелковинкѣ Гр. Такъ какъ стрѣлки *ns* и *n's'* могутъ обращаться только съ проволокою *pm* вмѣстѣ, то, прежде нежели токъ пройдетъ черезъ проволоки, вліяніе земнаго магнетизма на одну будетъ противодѣйствовать вліянію его на другую въ отношеніи къ обращенію всей системы, и если стрѣлки имѣютъ одинаковую силу магнетизма, то система болѣе не можетъ быть подвержена земному магнетизму, но будетъ приходить въ спокойное состояніе въ какомъ угодно положеніи. Если напр. вся система такъ установлена, что она направлена съ востока на западъ и именно *n* обращенъ къ западу и *s* къ востоку, то магнетизмъ земли будетъ стремиться обратить стрѣлку *ns* сѣвернымъ полюсомъ ея отъ запада къ сѣверу; но стрѣлка *n's'* въ допущенномъ положеніи системы имѣетъ съ востока на западъ противоположное положеніе, и *n'* обращенъ къ востоку; по этому стрѣлка *n's'* отъ дѣйствія земной силы будетъ стараться обращаться такъ, что ея *n'* будетъ подвигаться отъ востока къ сѣверу, отъ чего вся система должна совершить движеніе совершенно противоположное первому обращенію. Если объ эти противоположныя силы равны, то стрѣлка не будетъ имѣть никакого движенія. Тоже самое оказывается и въ другомъ какомъ угодно положеніи стрѣлокъ. Такую систему магнитныхъ стрѣлокъ, которая, хотя имѣетъ въ себѣ магнитную силу,

однако не подвержена вліянію направляющей силы земли, называютъ *астатическою системою* или *астатическою стрѣлкою*.—Если въ ней одна стрѣлка сильнѣе другой, то она опредѣляетъ направляющую силу, которая будетъ равна только разности направляющихъ силъ въ обѣихъ стрѣлкахъ; слѣд. во всей системѣ направляющая можетъ быть весьма мала. Это видно изъ того, что колебанія совершаемыя системою прежде, нежели она придетъ въ магнитный меридіанъ, весьма медленны.

Если теперь пропустимъ токъ черезъ изгибы ACDEB, то хотя онъ скажетъ на верхнюю стрѣлку дѣйствіе противоположное оказываемому на нижнюю, однако такъ какъ и положеніе полюсовъ въ этой послѣдней противоположно положенію полюсовъ въ первой, то направленіе обращенія верхней стрѣлки будетъ равно направленію движенія нижней. Слѣд. токъ будетъ отклонять обѣ стрѣлки всегда въ одну и туже сторону и очевидно сильнѣе, нежели каждую изъ нихъ особенно, потому что теперь дѣйствіе силы земли на нихъ очень слабо; поэтому даже слабый токъ произведетъ весьма сильное отклоненіе, и такой мультипликаторъ гораздо чувствительнѣе Швейгерова. Онъ первоначально устроенъ былъ Нобили, и по этому называется Нобиліевымъ мультипликаторомъ.

Этотъ мультипликаторъ имѣетъ видъ показанный въ фиг. 316. Изгибы намотаны на деревянную рамку. Магнитная стрѣлка или, если употребляется Нобиліевъ мультипликаторъ, система стрѣлокъ привѣшивается на шелковинкѣ такъ, что мѣдная проволока, на которую насажены стрѣлки, входитъ въ отверстіе сдѣланное въ верхнемъ ряду изгибовъ отодвинутыхъ немного въ сторону. На проволокѣ *pm* (фиг. 315) выше второй стрѣлки еще укрѣпленъ мѣдный показатель, который обращается вмѣстѣ съ стрѣлками и помощію кругового дѣленія, находящагося подъ концемъ его, объ показываетъ мѣру угла отклоненія. Какъ скоро концы

проволокъ A и B введены будутъ въ цѣпь, стрѣлка мгновенно отклоняется въ одну или въ другую сторону, смотря по тому, какое направленіе имѣетъ токъ въ проволокахъ; такимъ образомъ можно тотчасъ узнать направленіе тока, а по отклоненію показателя удостовѣриться въ большей или меньшей силѣ его.

§ 255.

Въ новѣйшее время много занимались тѣмъ, чтобы употреблять отклоненіе магнитной стрѣлки отъ тока вмѣсто телеграфа. Въ самомъ дѣлѣ, если концы мультипликатора, которыми онъ соединяется съ гальваническою цѣпью, сдѣлаемъ весьма длинными, соединяя ихъ съ проволоками, которыя продолжаются напр. на 10 верстъ, то цѣпь можетъ находиться въ одномъ мѣстѣ, мультипликаторъ въ 10-ти верстахъ отъ него; какъ скоро концы его сообщаются съ цѣпью, стрѣлка мультипликатора мгновенно отклонится, потому что скорость тока не меньше скорости свѣта; притомъ отклоненія можно по произволу произвести въ ту или другую сторону, смотря по тому, соединимъ ли конецъ A мультипликатора съ цинкомъ, а B съ мѣдью, или наоборотъ. Такимъ образомъ можно дать 2 знака и употребленіемъ многихъ мультипликаторовъ или повтореніемъ знаковъ, какъ это бываетъ и въ обыкновенныхъ телеграфахъ, сообщать всевозможныя предложенія изъ одного мѣста въ другое въ короткое время и, что очень важно, посредствомъ этихъ телеграфовъ можно сообщать извѣстія какъ въ ясную, такъ и въ пасмурную погоду. Только нужно помнить, что чѣмъ длиннѣе берется проволока, тѣмъ она хуже проводитъ, и тѣмъ слѣд. слабѣе бываетъ токъ; по этому въ цѣпи должно вводить тѣмъ больше число паръ, чѣмъ больше разстояніе, на которое телеграфъ долженъ дѣйствовать. По этому нужно все вниманіе преимущественно обращать на то, чтобы проволоки сдѣлать лучшими про-

водниками, т. е. нужно давать имъ большую толщину и дѣлать ихъ изъ лучшихъ металлическихъ проводниковъ, напр. изъ мѣди. Тѣмъ и другимъ условіемъ цѣна длинныхъ проволокъ увеличивается; къ этому присоединяется еще положеніе проволокъ, которые должны быть проведены подъ землею, для того чтобы предохранить ихъ отъ повреждѣнія и притомъ уединены отъ влажной земли, иначе часть тока терялась бы отъ прохожденія чрезъ сырую землю. Нынѣ занимаются устроеніемъ такого телеграфа изъ С. Петербурга въ Царское Село на разстояніи 24 верстъ въ немъ хотятъ пользоваться еще другимъ дѣйствіемъ гальваническаго тока, именно намагничиваніемъ желѣза, какъ мы увидимъ въ слѣдующемъ параграфѣ.

§ 256.

Электрическій токъ, какъ онъ дѣйствуетъ на стрѣлку отклоняя ее, подобнымъ же образомъ имѣетъ вліяніе на не намагниченное желѣзо, *возбуждая въ немъ магнетизмъ*. Если подковообразное цилиндрическое желѣзо ABC обмотаемъ въ видѣ спирали мѣдною покрытою шелкомъ проволокою, какъ показываетъ фиг. 317, а концы ея D и F соединимъ съ гальваническою цѣпью, то желѣзо мгновенно намагнитится, оно притянетъ якорь MN, и можетъ поддерживать его вмѣстѣ съ вѣсовою чашкою, на которой лежатъ тяжести; при этомъ одинъ конецъ, напр. A, получаетъ сѣверный полюсъ, а другой C южный. Когда прервемъ сообщеніе съ цѣпью, то и магнетизмъ въ желѣзѣ мгновенно прекратится, потому что возбужденные магнетизмы, не удерживаемые никакою силою, тотчасъ соединяются. Если превратимъ сообщеніе спиральной проволоки съ цѣпью, то желѣзо опять получитъ магнетизмъ въ такой же степени, только тогда въ B будетъ сѣверный полюсъ и въ A южный. И такъ желѣзо можно въ одно мгновеніе намагнитить токомъ, и въ одно мгновеніе уничтожить магнетизмъ или перемѣнить его въ противоположный.

Поелику токъ проходитъ здѣсь только черезъ мѣдную проволоку, слѣд. черезъ хорошій проводникъ, и поелику легко можно достать проволоки значительной толщины, то для этихъ опытовъ не нужно многопарной цѣпи; но весьма выгодно имѣть цѣпь съ большими парами. Такіе электромагниты, въ видѣ подковы, имѣющей въ высоту около 10 дюймовъ, считая отъ конца до высоты изгиба, могутъ легко держать отъ дѣйствія цѣпи изъ одного Вульстенова элемента, имѣющаго около 1 квадратнаго фута въ поверхности, отъ 300 до 400 фунтовъ; якорь MN сдѣлавъ безъ чашки притягивается съ большою силою на разстояніи одного дюйма. Теперь приготовляютъ электромагниты въ большемъ размѣрѣ и съ большею цѣпью, которые могутъ держать больше 2000 фунтовъ и нѣтъ никакой причины, почему при большемъ усиленіи цѣпи нельзя бы сдѣлать магнита еще сильнѣйшаго.

Когда такимъ образомъ намагничиваютъ желѣзо, прикладываютъ къ нему якорь и потомъ прекращаютъ сообщеніе съ цѣпью, то находятъ, что якорь, не смотря на прекращеніе тока, еще съ порядочною силою удерживается на желѣзѣ, даже въ продолженіи цѣлыхъ сутокъ. Когда же отрываютъ его насильно, и потомъ опять прикладываютъ къ желѣзу, то вся магнитная сила уничтожается въ немъ. Этимъ доказывается, что остающійся послѣ прекращенія тока магнетизмъ въ желѣзѣ удерживается отъ присутствія якоря. Въ самомъ дѣлѣ, если предположимъ, что отъ дѣйствія тока A сдѣлался сѣвернымъ полюсомъ, а C южнымъ и что потомъ приложенъ якорь, то въ семъ послѣднемъ возбудится въ M южный магнетизмъ, а въ N сѣверный; съ прекращеніемъ тока эти магнетизмы будутъ удерживаться притяженіемъ сѣвернаго магнетизма въ A и южнаго въ C, такъ что эти притяженія замѣнятъ задерживательную силу. Но какъ скоро якорь

будетъ отдалепъ, то это вліяніе прекращается и магнетизмы желѣза уравниваются опять до 0.

Мгновенное возбужденіе магнетизма въ желѣзѣ и возможность перемѣнить въ одно мгновеніе полюсы въ противоположные, въ новѣйшія времена подали поводъ къ многоразличнымъ опытамъ, имѣющимъ цѣлію употребить магнетизмъ какъ двигающую силу. Не входя здѣсь въ подробности, мы по крайней мѣрѣ покажемъ, на какомъ простомъ началѣ основывается это.

Представимъ себѣ неподвижный электромагнитъ ABC (фиг. 518), котораго проволоки оканчиваются въ K и L: далѣе такойже электромагнитъ DHF, но который можетъ обращаться около вертикальной оси EG и котораго проволоки суть M и N. Соединимъ K и L съ цѣпью, такъ чтобы A сдѣлать сѣвернымъ полюсомъ, а C южнымъ; потомъ соединимъ также M и N съ цѣпью, такъ, чтобы D сдѣлался сѣвернымъ полюсомъ, а F южнымъ. Тогда A и D, равно какъ F и C будутъ отталкиваться; слѣд. магнитъ LEF повернется въ ту сторону, въ которую онъ случайно уже немного былъ подвинутъ, до того что взаимно притягивающіеся полюсы, т. е. D съ C и F съ A, будутъ стоять одинъ противъ другаго. Если въ это мгновеніе перемѣнимъ сообщеніе M и N съ цѣпью, между тѣмъ какъ K и L соединены по прежнему, то полюсы въ D и F вдругъ будутъ превращены; опять одноименные полюсы будутъ одинъ противъ другаго, они взаимно оттолкнутся и магнитъ опять повернется тогда въ туже сторону, такъ что онъ снова будетъ стараться придти въ первоначальное положеніе. Но тогда полюсы въ D и F снова мгновенно превращаются, такъ что они постоянно остающимися полюсами неподвижнаго магнита будутъ отталкиваться, и такимъ образомъ круговращеніе будетъ продолжаться далѣе. Послѣ каждаго полуоборота подвижной магнитъ перемѣняетъ свои полюсы отъ того, что

соединеніе проволокъ M и N происходитъ въ обратномъ направленіи. Въ машинахъ такого рода сіл перемѣна производится посредствомъ такъ называемыхъ *Коммутаторовъ* или *Гиропроповъ*, которыхъ находится много видовъ; всѣ они устроиваются такъ, что кругообращеніе подвижнаго магнита само по себѣ производитъ перемѣну полюсовъ, безъ помощи наблюдателя; отъ этого и перемѣна всегда точно производится въ желаемое мгновеніе, хотя бы магнитъ обращался весьма скоро. Какъ устросны коммутаторы мы должны здѣсь пройти молчаніемъ; дѣйствіе ихъ совершенно соотвѣтствуетъ прибору въ паровыхъ машинахъ, посредствомъ котораго онѣ безъ посторонней помощи и въ надлежащее время открываютъ и закрываютъ краны или клапаны.

О возбужденіи Гальваническихъ токовъ посредствомъ магнетизма или объ Магнето-электричествѣ.

§ 257.

Въ 1832 году Фарадеи (Faraday) первый сдѣлалъ извѣстнымъ рядъ наблюденій, въ которыхъ онъ показалъ, что, какъ токами возбуждается магнетизмъ, такъ съ своей стороны и магнетизмъ можетъ возбудить гальваническіе токи. Простѣйшимъ образомъ удостовѣряются въ этомъ слѣдующимъ опытомъ: берутъ довольно сильный подковообразный магнитъ NMS (фиг. 319), напр. такой, который можетъ держать на якорѣ 20 фунтовъ; далѣе берутъ два желѣзные цилиндра K и L, соединяютъ ихъ съ кускомъ желѣза CD и обматываютъ ихъ въ видѣ спирали проволокою покрытою шелкомъ, которая не прерываясь обходитъ оба цилиндра и на обоихъ имѣетъ равное числѣ оборотокъ. Проволока должна быть намотана по такому направленію, какъ будтобы обороты начинались отъ одного

конца K потомъ продолжались въ томъ же направленіи около CD и наконецъ перешли въ L, или такъ, что если бы якорь KCDL можно было выпрямить въ одну линію, то есть обороты шли по одному и тому же направленію.

Когда концы A и B соединимъ съ мультипликаторомъ и потомъ мгновенно положимъ якорь KCDL на магнитъ, то стрѣлка въ мультипликаторѣ отклонится, въ доказательство того, что токъ пробѣгаетъ черезъ спираль на якорѣ и черезъ мультипликаторъ. Токъ этотъ продолжается только то время, пока якорь отъ прикосновенія къ магниту намагничивается; когда онъ, лежа на магнитѣ, остается намагниченнымъ, тогда болѣе токъ не существуетъ; но какъ скоро оторвемъ якорь и лишимъ его такимъ образомъ магнетизма, то мультипликаторъ опять покажетъ токъ, котораго направленіе противоположно первоначальному, т. е. стрѣлка отклоняется въ другую сторону. *И такъ, когда желѣзо намагничивается, то оно возбуждаетъ въ замкнутой спирали, окружающей его, мгновенный гальваническій токъ, а когда оно теряетъ свой магнетизмъ, то возбуждается мгновенный токъ противоположный первому.* Этотъ способъ возбужденія токовъ называется *индукціею*. (Induction).

Вмѣсто того чтобы отрывать и накладывать якорь KCDL, можно его обращать около оси FG; тогда онъ будетъ отходить въ одну сторону и приближаться съ другой стороны, не касаясь совершенно магнита, но все еще находясь столь близко отъ него, что въ желѣзѣ возбуждается магнетизмъ въ значительной степени. Когда обращаютъ якорь все въ одну сторону, то при каждомъ полуоборотѣ возбуждается токъ, а при слѣдующемъ за нимъ полуоборотѣ токъ противоположный первому. Если тогда соединимъ концы AB напр. проволокою, то она нагрѣется, и если это будетъ тонкая платиновая проволока, то она даже раскалится. Когда соединеніе производится

посредствомъ прибора (фиг. 308) для разложенія воды, то между проволоками m и m' вода будетъ разлагаться и при томъ на каждой проволокѣ, въ продолженіи одного полуоборота якоря, будетъ освобождаться водородъ и въ продолженіи другаго полуоборота кислородъ, такъ что на обѣихъ проволокахъ получается смѣсь изъ двухъ газовъ, не такъ какъ въ гальванической цѣпи, при дѣйствіи которой на одной проволокѣ получается только одинъ кислородъ, а на другой одинъ водородъ. Если соединенія проволоки производится посредствомъ рукъ или тѣла наблюдателя, то ощущается электрическое сотрясеніе, которое въ прилично для того устроенныхъ приборахъ можетъ быть очень сильно; наконецъ если проволоки AB будутъ соединены между собою и потомъ во время прохожденія тока опять раздѣлены, то видна бываетъ искра. И такъ этотъ магнето-электрическій токъ дѣйствуетъ совершенно подобно гальваническому; только онъ продолжается не безпрерывно, но возбуждается при каждомъ полномъ оборотѣ два раза въ противоположныхъ направленіяхъ. Подробное описаніе магнето-электрическихъ машинъ не можетъ быть здѣсь изложено; но прежде сказанное въ случаѣ надобности достаточно будетъ для того, чтобъ разсмотрѣвъ такую машину, понимать дѣйствіе ея.

О возбужденіи электричества посредствомъ нагрѣванія или о Термо-электричествѣ.

§ 258.

До сихъ поръ мы знали два источника гальваническаго тока, прикосновеніе металловъ и индукцію магнитовъ. Но есть еще третій источникъ, *нагрѣваніе* и совокупность всѣхъ относящихся сюда явленій называется *термо-электричествомъ*.

Пусть AB (фиг. 520) представляетъ пластинку изъ висмута, ACB полосу изъ мѣди припаянную въ A и B къ висмуту. Въ F ввинчено въ висмутъ остріе FD, на которомъ двигается магнитная стрѣлка NS. Если приборъ поставленъ такъ, что конецъ A обращенъ къ сѣверу, B къ югу, то стрѣлка NS приметъ положеніе параллельное AB. Очевидно, что въ дугѣ ACB не будетъ никакого гальваническаго тока; ибо хотя при A отъ прикосновенія обоихъ металловъ будетъ дѣйствовать электровозбудительная сила и заставитъ стремиться +E отъ A къ B, а —E отъ A къ C, но за то эта самая сила дѣйствуетъ также при B и гонитъ +E отъ B къ A, а —E отъ B къ C, слѣд. дѣйствуетъ противоположно прежней силѣ и такъ какъ при равенствѣ металловъ объ электровозбудительныя силы равны, то онѣ по противоположности совершенно уравновѣсятся. Если же мы въ какомъ нибудь мѣстѣ прикосновенія, напр. въ A, можемъ измѣнить электровозбудительную силу, не измѣняя силы въ B, то одинъ токъ возметъ перевѣсъ надъ другимъ и слѣд. въ дугѣ ACB будетъ имѣть мѣсто токъ, который равенъ разности обоихъ токовъ и который обнаружится отклоненіемъ стрѣлки. Это въ самомъ дѣлѣ будетъ если нагрѣемъ A чрезъ прикосновеніе къ нему рукою, или еще лучше, держа подъ нимъ въ нѣкоторомъ разстояніи лампу; тогда сѣверный конецъ стрѣлки отклонится къ востоку, а этимъ по предъидущему доказывается, что электровозбудительная сила мѣди и висмута уменьшилась отъ теплоты; но при употребленіи другихъ металловъ находятъ часто противное.

Чтобы не имѣть надобности замѣчать при каждомъ случаѣ, сдѣлалась ли электровозбудительная сила слабѣе или сильнѣе, то при опредѣленіи направленія тока въ термоэлектрическихъ цѣпяхъ обыкновенно принимаютъ нагрѣваніе за непосредственный источникъ электричества

а не за одно только измѣненіе первоначальныхъ гальваническихъ напряженій и въ такомъ случаѣ располагаютъ металлы въ такомъ порядкѣ, въ которомъ каждый предшествующій металлъ въ отношеніи къ послѣдующему за нимъ въ *нагрѣтомъ* спаѣ дѣлается электроположительнымъ; подобный рядъ мы имѣли уже для гальванизма, но здѣсь порядокъ металловъ совершенно другой, какъ видно изъ слѣдующаго:

+Сюрьма, желѣзо, серебро, цинкъ, мѣдь, платина, висмутъ—.

Самую сильную противоположность составляютъ висмутъ и сюрьма; по этому для термоэлектрическихъ токовъ обыкновенно употребляютъ эти два металла.

§ 259.

Отличительное свойство термо-электрическихъ токовъ состоитъ въ томъ, что они проходятъ только черезъ металлы, слѣд. черезъ хорошіе проводники; и этимъ только дѣлается возможнымъ то, что малая электровозбудительная сила, производимая нагрѣваніемъ, обнаруживаетъ столь значительное дѣйствіе на магнитную стрѣлку. Если бы мы хотѣли усилить это дѣйствіе тѣмъ, что открыли бы нашу цѣпь, напр. въ B, и отдѣленные здѣсь другъ отъ друга концы соединили съ мультипликаторомъ, то мы нашли бы, что отклоненіе стрѣлки отъ этого отнюдь не увеличивается, но напротивъ уменьшается. Весьма значительное въ сравненіи съ висмутомъ и мѣдною полосою сопротивленіе, представляемое во всей цѣпи длинною и тонкою проволокою мультипликатора, ослабляетъ токъ такъ сильно, что хотя онъ дѣйствуетъ на стрѣлку въ гораздо большемъ числѣ оборотовъ, однако совокупное дѣйствіе выходитъ слабѣе. Если напр. предположимъ, что мультипликаторъ имѣетъ 100 оборотовъ и что сопро-

тивленіе его вмѣстѣ съ мѣдью и висмутомъ въ 1000 разъ больше сопротивленія однихъ только послѣднихъ металловъ, то въ подобномъ случаѣ токъ сдѣлается въ 1000 разъ слабѣе, нежели безъ мультипликатора (§ 248), полагая что дѣйствуетъ одинъ только оборотъ; хотя посредствомъ этого въ 1000 разъ слабѣйшаго тока дѣйствуютъ теперь на стрѣлку мультипликатора 100 оборотовъ, между тѣмъ какъ прежде дѣйствовалъ только одинъ оборотъ, но дѣйствіе тока при всемъ томъ будетъ только $\frac{1}{10}$ прежняго дѣйствія.

По сему дабы посредствомъ мультипликатора произвести усиленіе, соединяютъ много пластинокъ изъ висмута и сюрьмы, какъ показано въ фигурѣ 321. Пусть оттѣненныя пластинки представляютъ висмутъ. а свѣтлыя сюрьму. Концы A и B этой цѣпи соединяются съ мультипликаторомъ. Когда напр. 1, 3, 5 и проч. будутъ нагрѣты, между тѣмъ какъ 2, 4, 6 и проч. останутся при своей температурѣ, то каждый нагрѣтый спай возбудитъ токъ по одному и тому же направленію, которое показываетъ стрѣлка и мы напр. при 30 такихъ парахъ получимъ электровозбудительную силу въ 30 разъ большую. Здѣсь дѣйствіе мультипликатора гораздо сильнѣе непосредственнаго дѣйствія обнаруживающагося при соединеніи одной термоэлектрической цѣпи. Въ самомъ дѣлѣ въ этомъ случаѣ сопротивленіе мультипликатора въ отношеніи къ сопротивленію цѣпи гораздо менѣе увеличивается, потому что цѣпь состоитъ изъ 60 пластинокъ — худшихъ проводниковъ, нежели проволока мультипликатора. Если предположимъ, что сопротивленіе мультипликатора въ 4 раза больше сопротивленія термо-электрической цѣпи, и что слѣд. сопротивленіе замкнутой мультипликаторомъ цѣпи въ 5 разъ больше, нежели когда бы она была замкнута непосредственно (напр. короткою толстою

проволокою) и если число оборотовъ будетъ 100, то хотя токъ въ каждомъ оборотѣ сдѣлается въ 5 разъ слабѣе въ сравненіи съ токомъ существующимъ въ одной цѣпи, но за то тогда дѣйствуютъ 100 оборотовъ, слѣд. дѣйствіе все еще будетъ въ 20 разъ сильнѣе, нежели безъ мультипликатора.

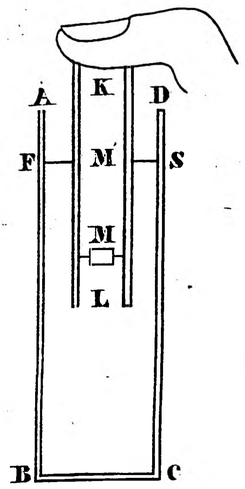
Термомультипликаторомъ называется приборъ состоящій изъ многопарной термоэлектрической цѣпи, которой концы соединены съ весьма чувствительнымъ мультипликаторомъ. Въ этой цѣпи пары лежатъ не въ одной плоскости, а составляютъ призматическій пукъ, такъ что соединенія 1, 3, 5 и проч. находятся на одномъ концѣ, 2, 4, 6 и проч. на другомъ, между тѣмъ какъ самыя пары отдѣлены одна отъ другой не проводящимъ смолистымъ веществомъ. Если одинъ конецъ термо-мультипликатора (слѣд. напр. соединенія 1, 3, 5) хотя но много нагрѣемъ, то мгновенно произойдетъ отклоненіе стрѣлки мультипликатора; посему этотъ приборъ представляетъ самый чувствительный изъ всѣхъ намъ извѣстныхъ термометровъ; онъ ясно обнаруживаетъ теплоту человѣческаго тѣла на разстояніи даже многихъ футовъ. Онъ особенно употребляется при изслѣдованіи лучистой теплоты, потому что теплородные лучи тогда непосредственно падаютъ на мѣста спаевъ 1, 3, 5 и проч. покрытыя для удобнѣйшаго принятія лучей тонкимъ слоемъ сажи, между тѣмъ какъ при обыкновенномъ или дифференціальномъ термометрѣ теплородные лучи должны проходить черезъ слой стекла т. е. черезъ тѣло несовершенно діатермитеское. Посредствомъ этого прибора Меллони сдѣлалъ относительно лучистой теплоты весьма важныя свои открытія, съ которыма мы частію уже познакомились (§ 218).

Слабость электровозбудительной силы въ термо-электрической цѣпи причиною тому, что остальныя явленія

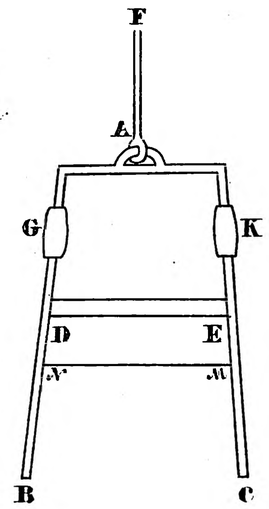
тока, напр. химическія и физіологическія, въ которыхъ вводится въ цѣпь большое сопротивленіе, до сихъ поръ еще не могли быть обнаружены; только разложеніе воды и то очень слабое, произведено было посредствомъ многопарной термо-электрической цѣпи. Но такъ какъ этимъ приборомъ можно произвести намагничиваніе желѣза, потому что токъ долженъ тогда проходить только черезъ металлическія проволоки, и этимъ магнетизмомъ, какъ было показано въ предшествующихъ параграфахъ, можно производить посредствомъ индукціи явленія искры, и также химическія и физіологическія дѣйствія: то такимъ образомъ понятно, что и эти явленія можно произвести посредствомъ термо-электричества, только не непосредственно, но при содѣйствіи магнето-электричества намагниченнаго желѣза.

КОНЕЦЪ.

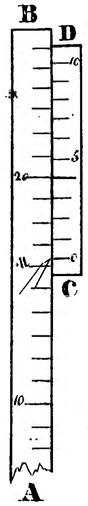
Фиг 1



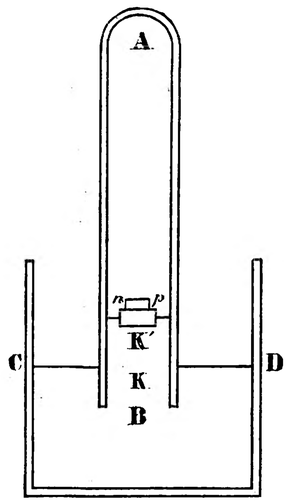
Фиг 2



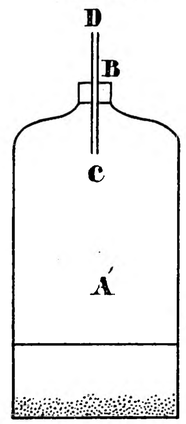
Фиг 3



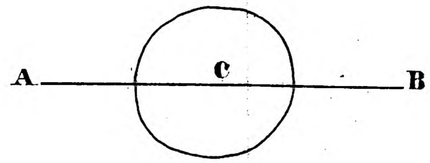
Фиг 4



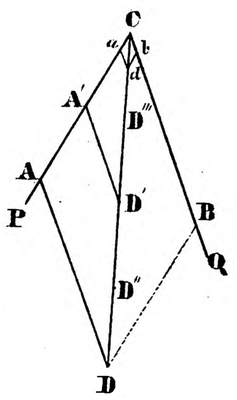
Фиг 5



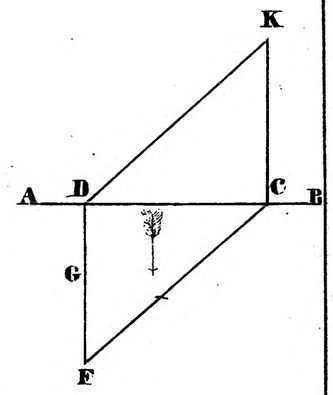
Фиг 7



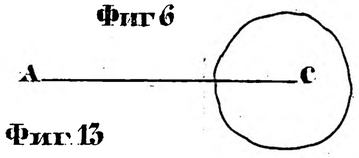
Фиг 8



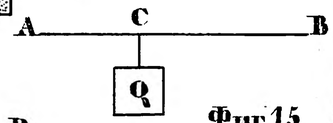
Фиг 10



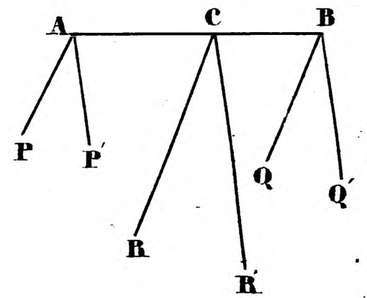
Фиг 6



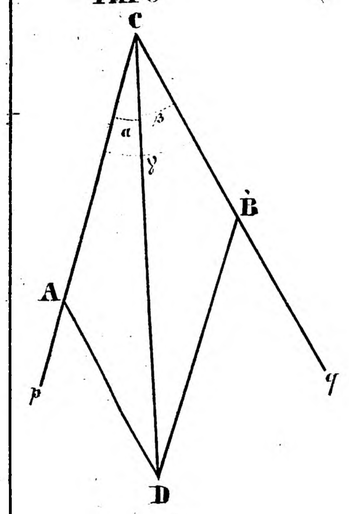
Фиг 13



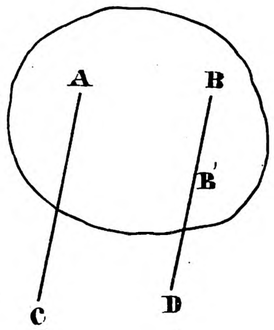
Фиг 16



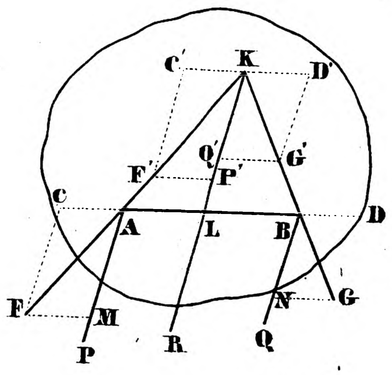
Фиг 9



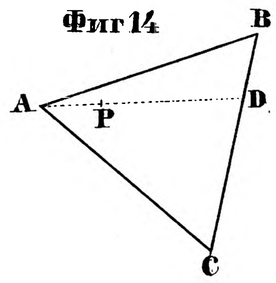
Фиг 11



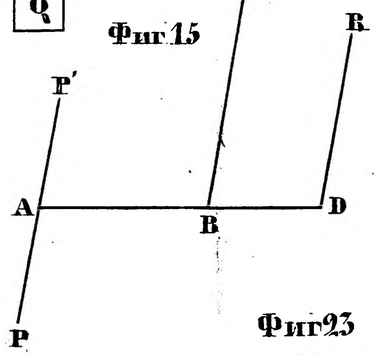
Фиг 12



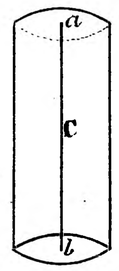
Фиг 14



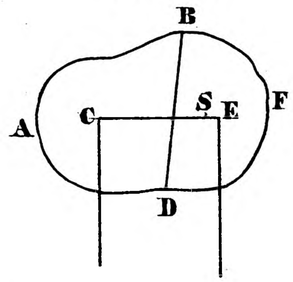
Фиг 15



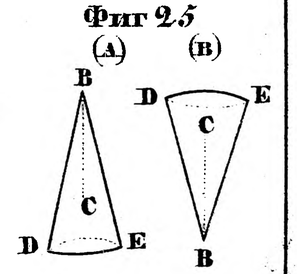
Фиг 23



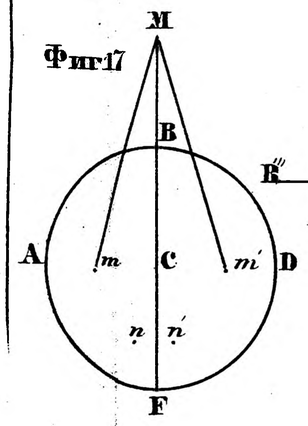
Фиг 24



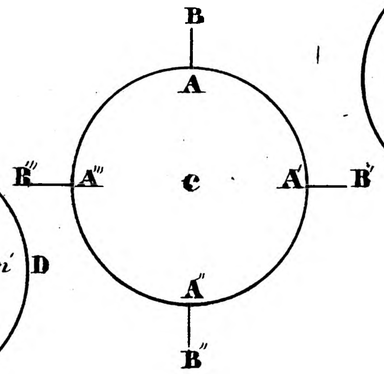
Фиг 25



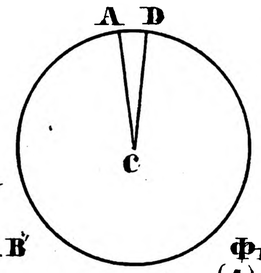
Фиг 17



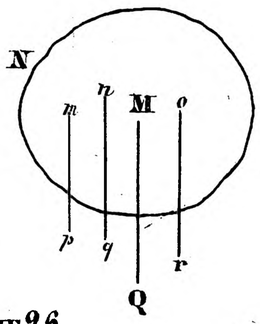
Фиг 18



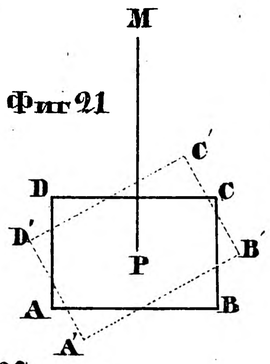
Фиг 19



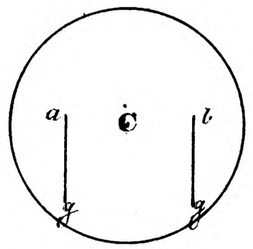
Фиг 20



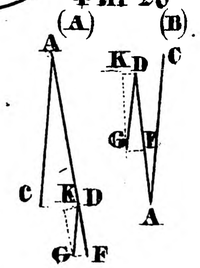
Фиг 21



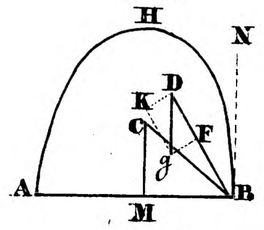
Фиг 22



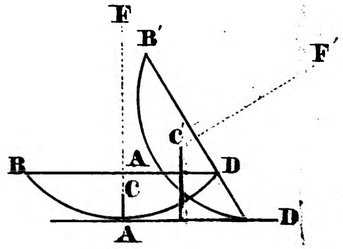
Фиг 26



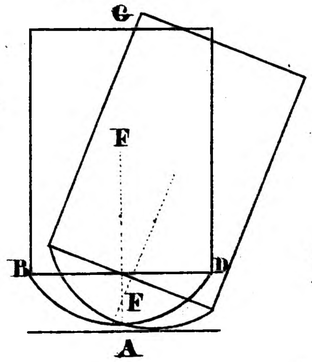
Фиг 27



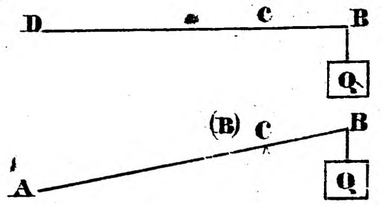
Фиг 28



Фиг 29

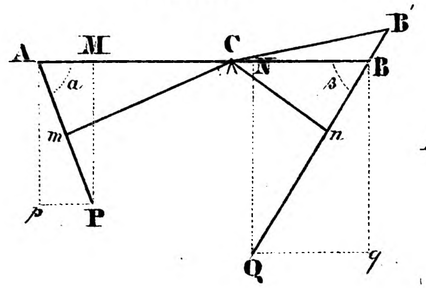


Фиг 30

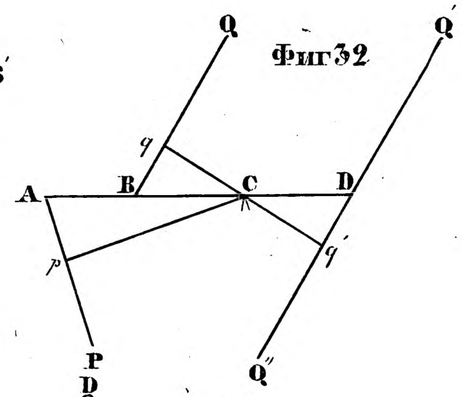


съ Фиг 31 по 65

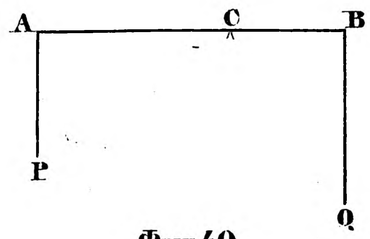
Фиг 31



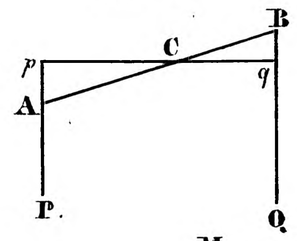
Фиг 32



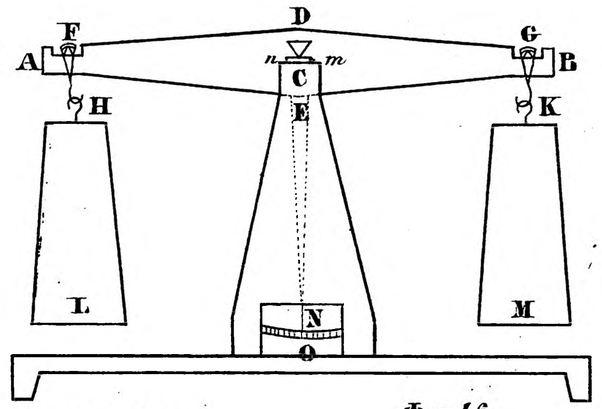
Фиг 33



Фиг 34



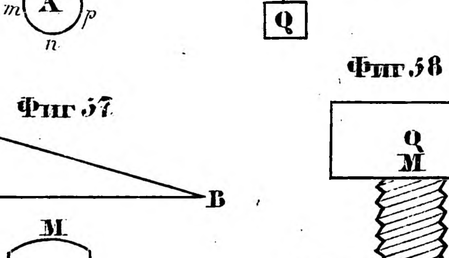
Фиг 35



Фиг 36

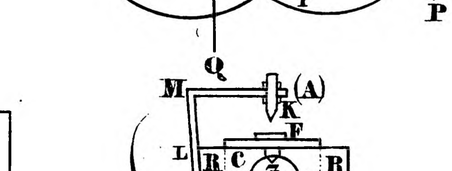
Фиг 37

Фиг 38

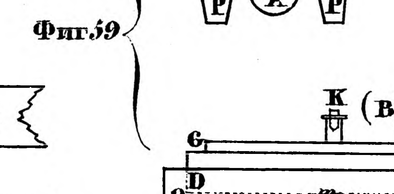


Фиг 39

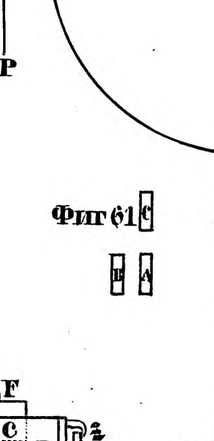
Фиг 40



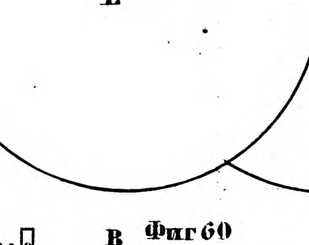
Фиг 41



Фиг 42



Фиг 43



Фиг 44

Фиг 45

Фиг 46

Фиг 47

Фиг 48

Фиг 49

Фиг 50

Фиг 51

Фиг 52

Фиг 53

Фиг 54

Фиг 55

Фиг 56

Фиг 57

Фиг 58

Фиг 59

Фиг 60

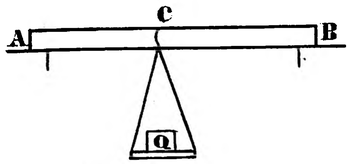
Фиг 61

Фиг 62

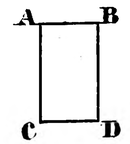
Фиг 63

Фиг 64

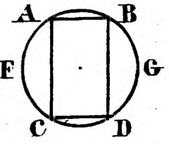
Фиг 65



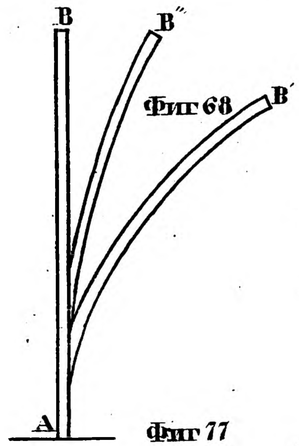
Фиг 66



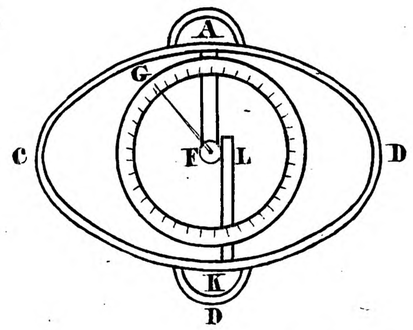
Фиг 67



Фиг 68

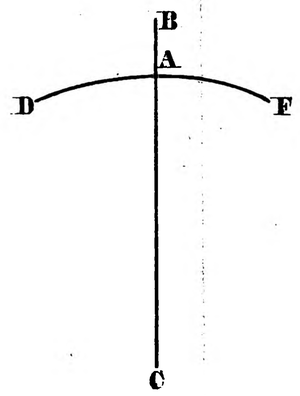


Фиг 69

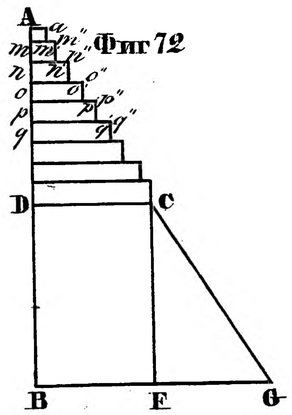


Фиг 70

Фиг 71

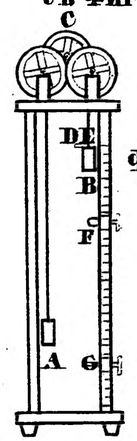


Фиг 72

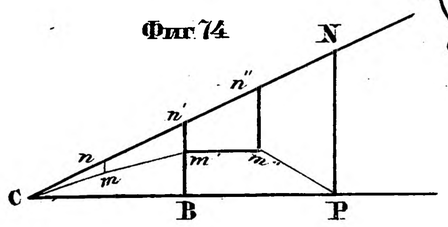


съ Фиг 65 по 98

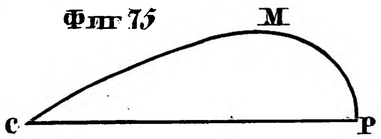
Фиг 73



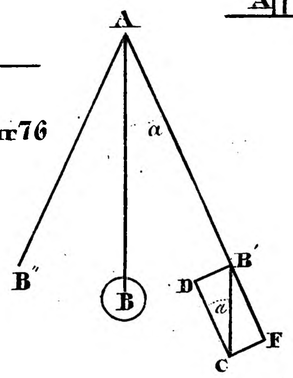
Фиг 74



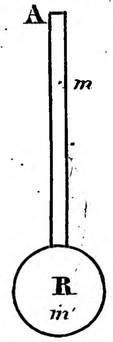
Фиг 75



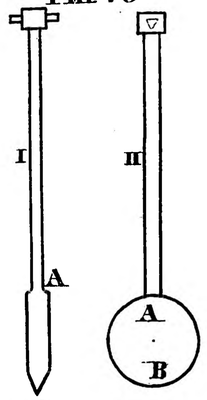
Фиг 76



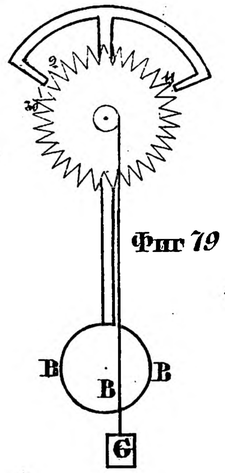
Фиг 77



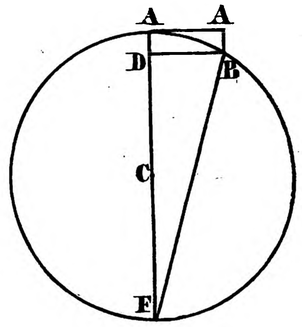
Фиг 78



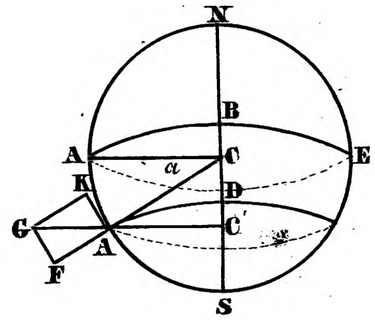
Фиг 79



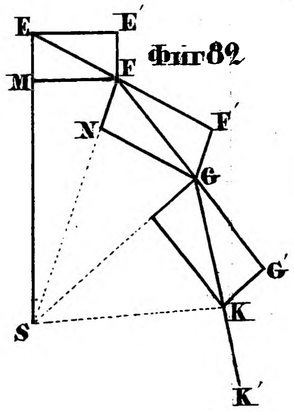
Фиг 80



Фиг 81

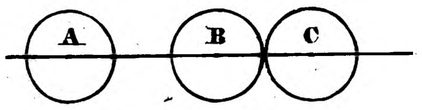


Фиг 82

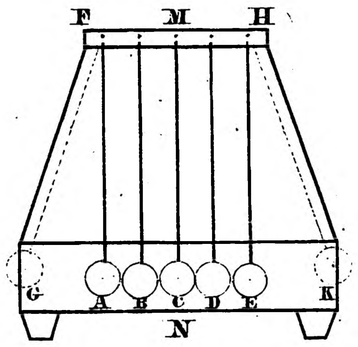


Фиг 83

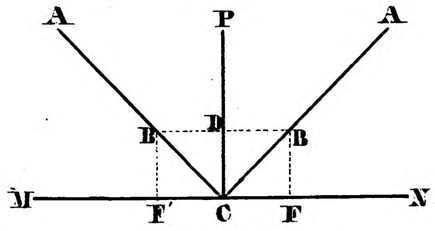
Фиг 84



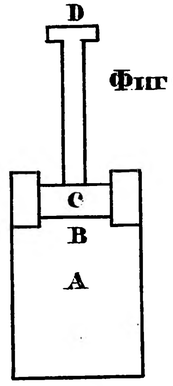
Фиг 85



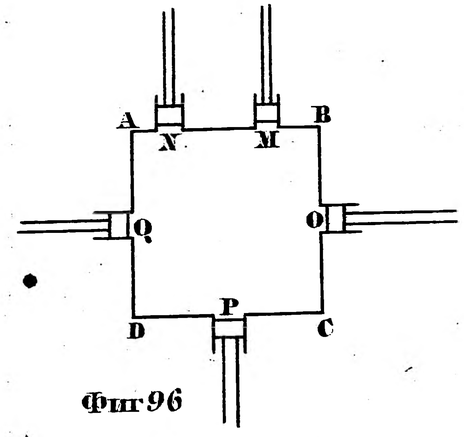
Фиг 86



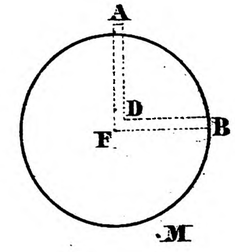
Фиг 87



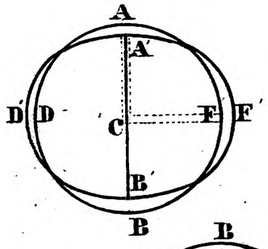
Фиг 88



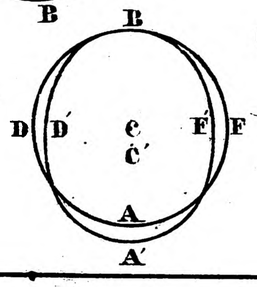
Фиг 89



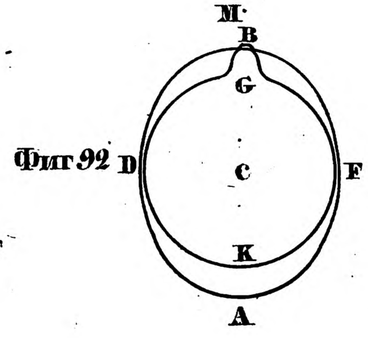
Фиг 90



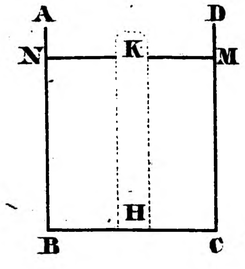
Фиг 91



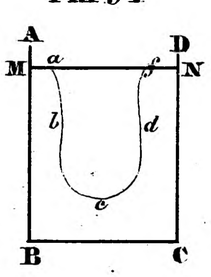
Фиг 92



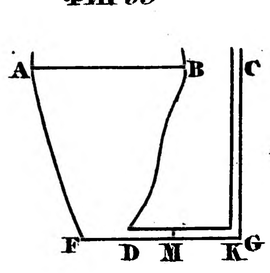
Фиг 93



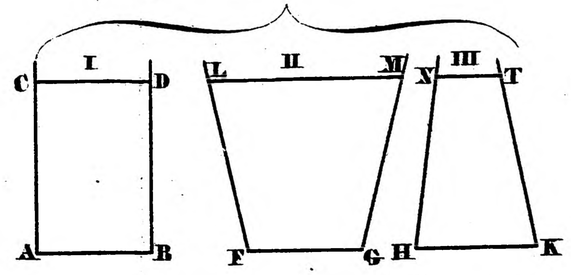
Фиг 94



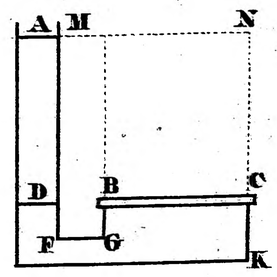
Фиг 95



Фиг 96

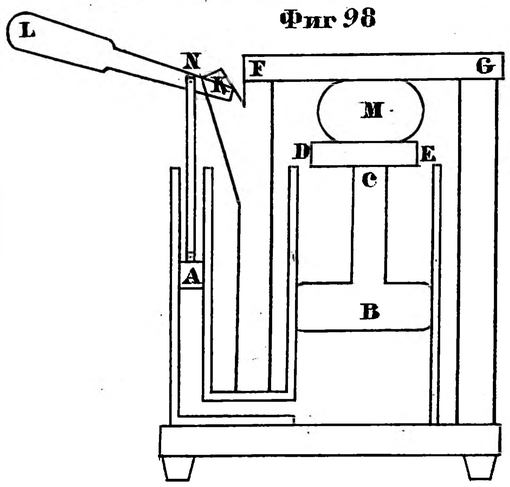


Фиг 97

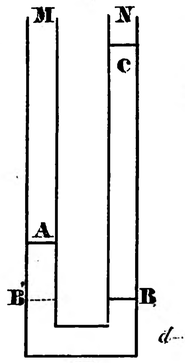


съ Фиг 98 по 130

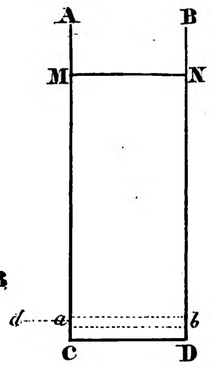
Фиг 98



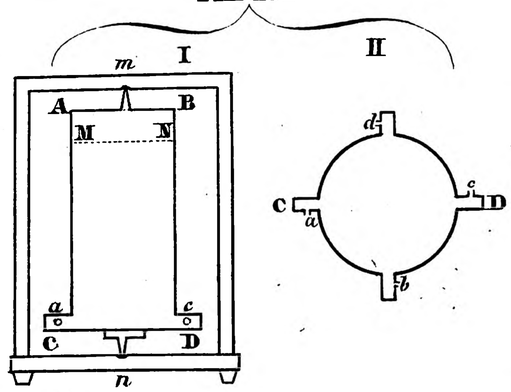
Фиг 99



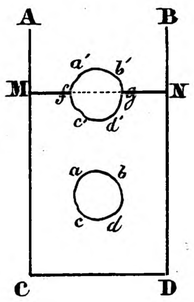
Фиг 100



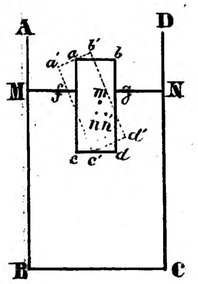
Фиг 101



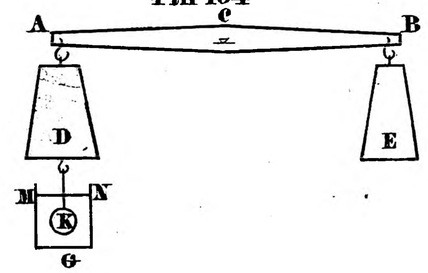
Фиг 102



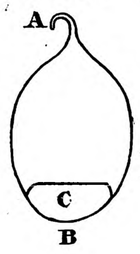
Фиг 103



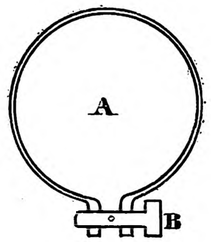
Фиг 104



Фиг 105

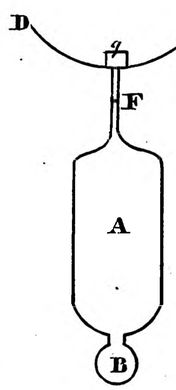


Фиг 106

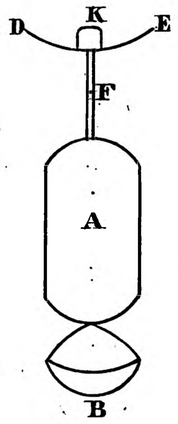


Фиг 107

Фиг 108

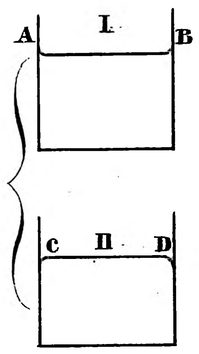


Фиг 109

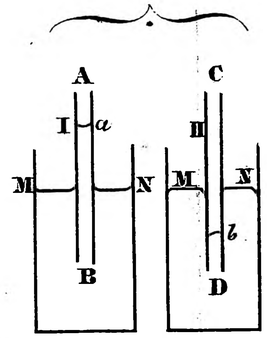


Фиг 110

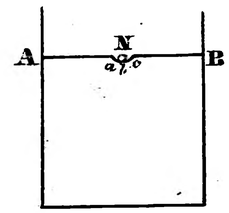
Фиг 111



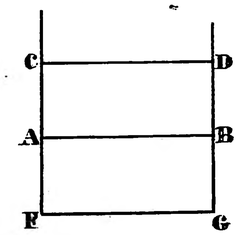
Фиг 112



Фиг 113



Фиг 114



Фиг 115

Фиг 116

Фиг 117

Фиг 118

Фиг 119

Фиг 120

Фиг 121

Фиг 122

Фиг 123

Фиг 124

Фиг 125

Фиг 126

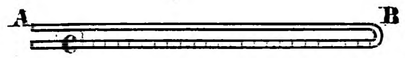
Фиг 127

Фиг 128

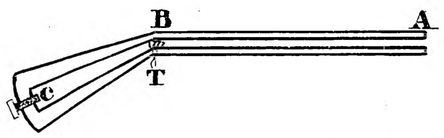
Фиг 129

Фиг 130

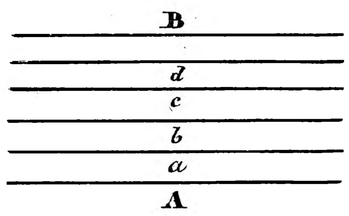
Фиг 130



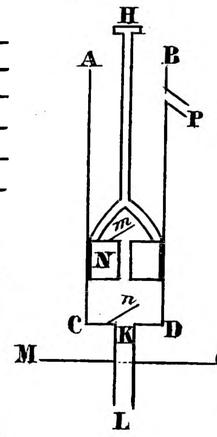
Фиг 131



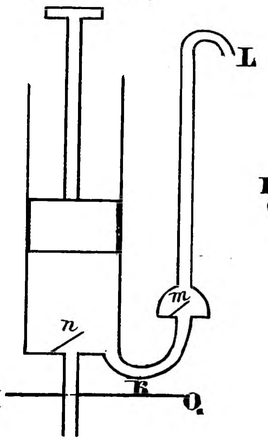
Фиг 132



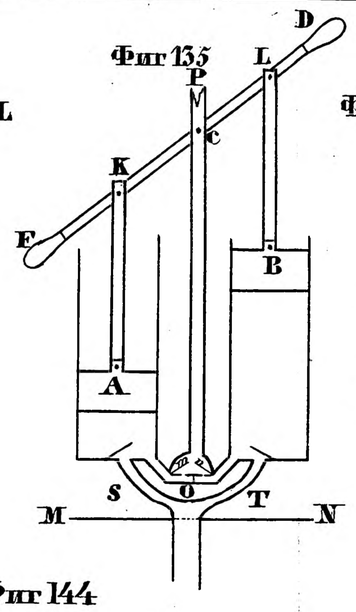
Фиг 133



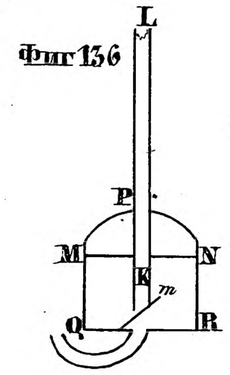
Фиг 134



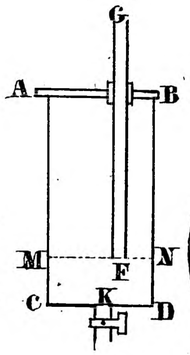
Фиг 135



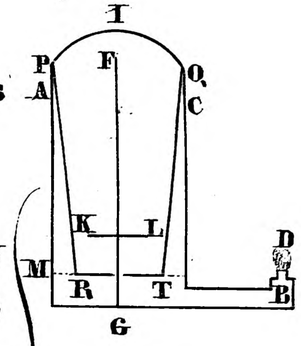
Фиг 136



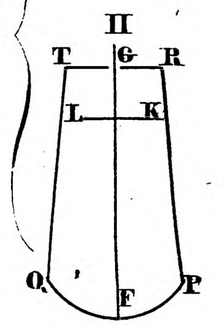
Фиг 137



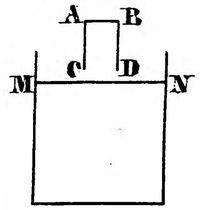
съ Фиг 130 по 162



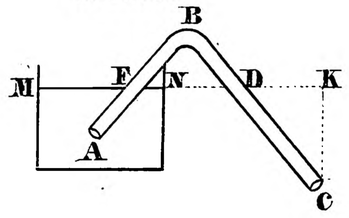
Фиг 138



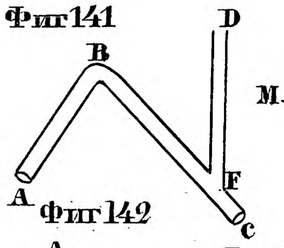
Фиг 139



Фиг 140

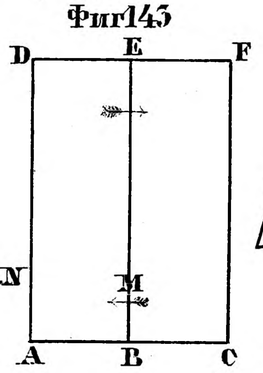


Фиг 141

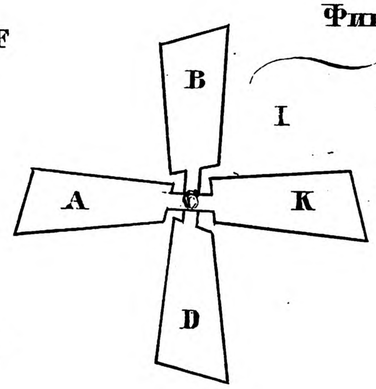


Фиг 142

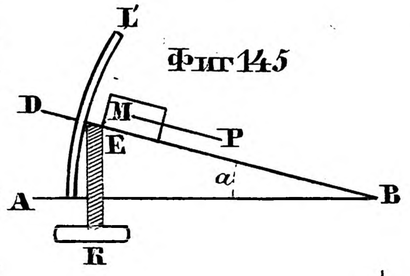
Фиг 143



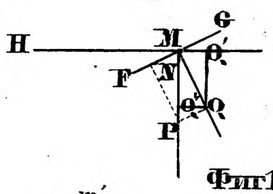
Фиг 144



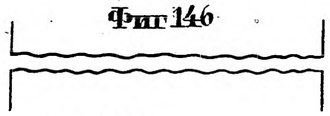
Фиг 145



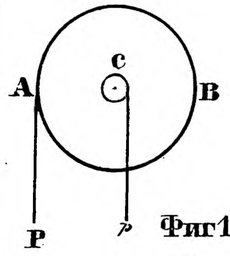
II



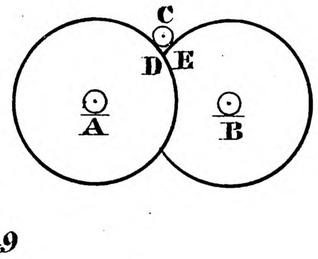
Фиг 146



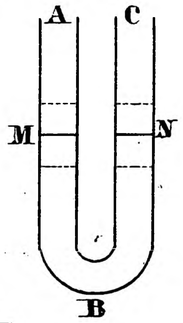
Фиг 147



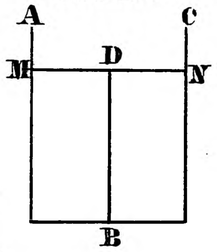
Фиг 148



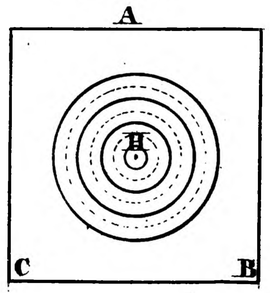
Фиг 149



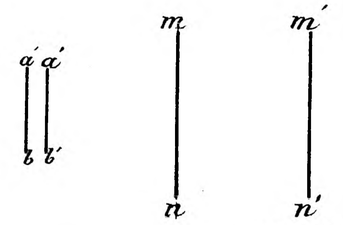
Фиг 150



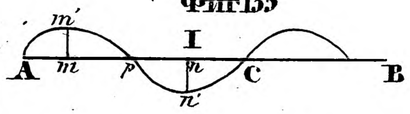
Фиг 151



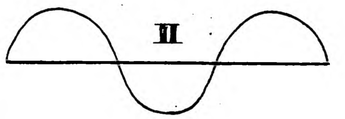
Фиг 152



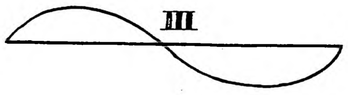
Фиг 153



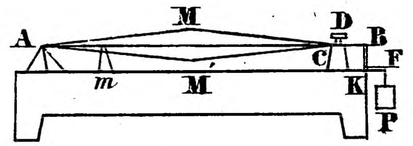
II



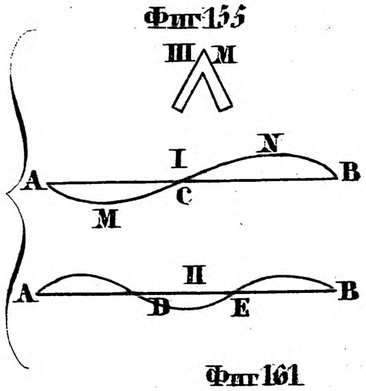
III



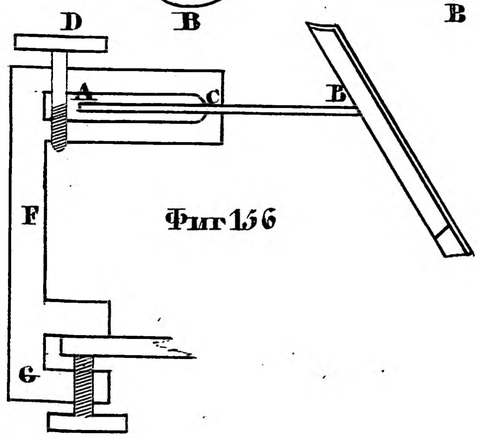
Фиг 154



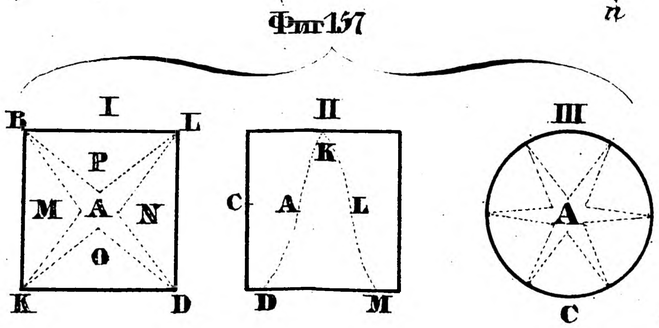
Фиг 155



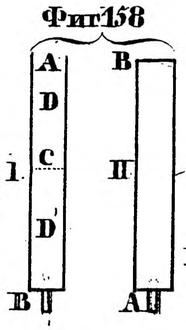
Фиг 156



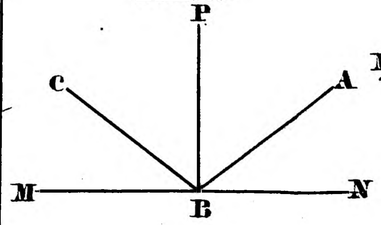
Фиг 157



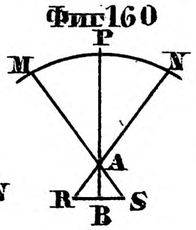
Фиг 158



Фиг 159



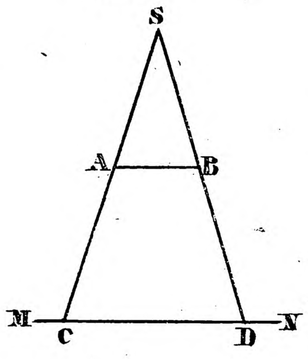
Фиг 160



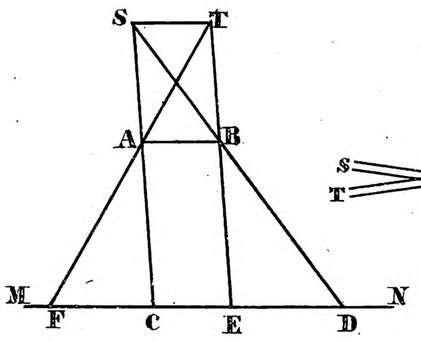
Фиг 161

съ Фиг 162 по 186

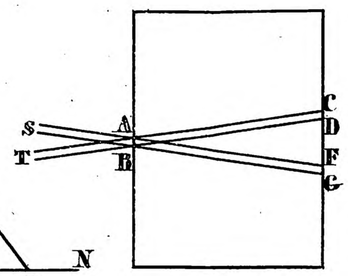
Фиг 162



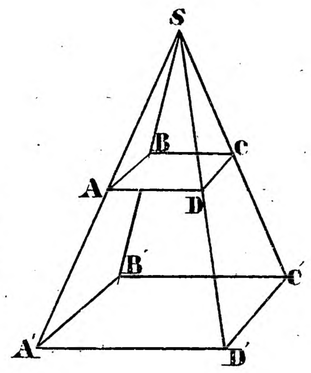
Фиг 163



Фиг 164

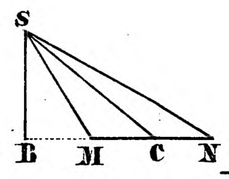


Фиг 165

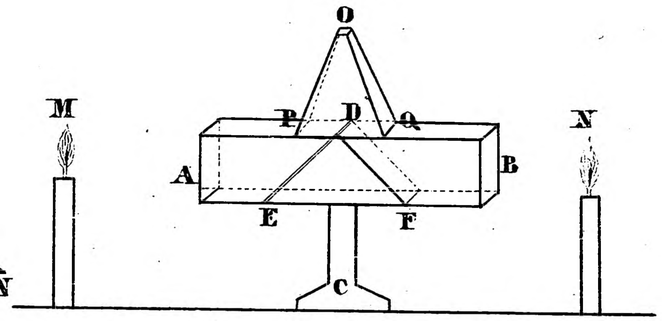


Фиг 166

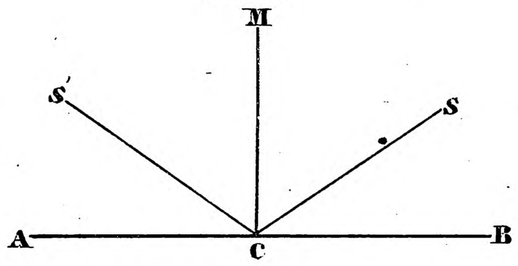
Фиг 167



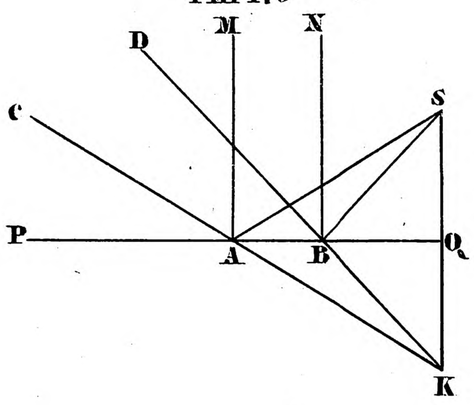
Фиг 168



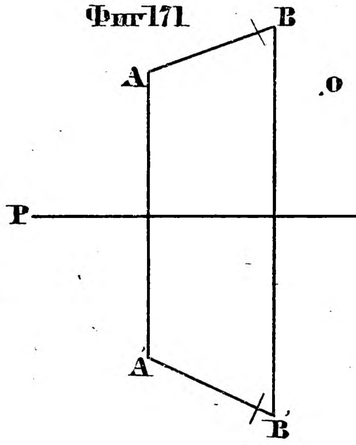
Фиг 169



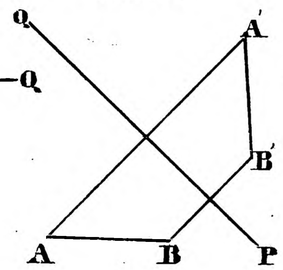
Фиг 170



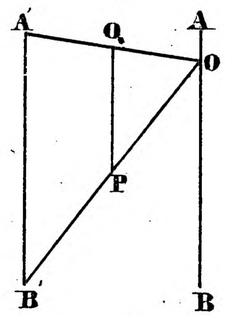
Фиг 171



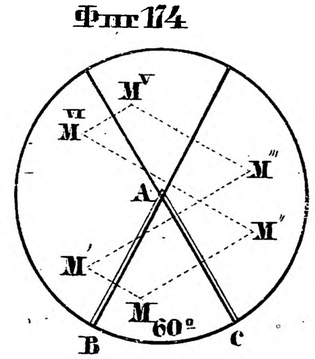
Фиг 172



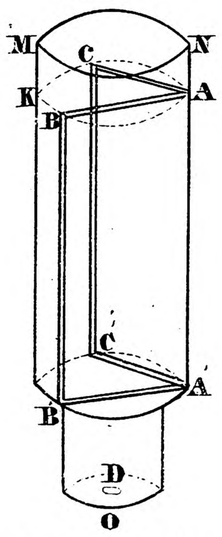
Фиг 173



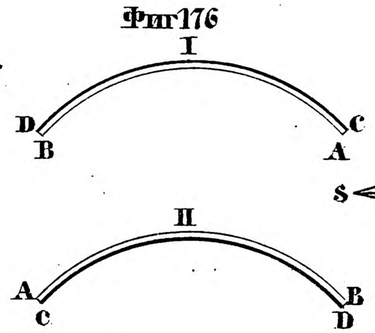
Фиг 174



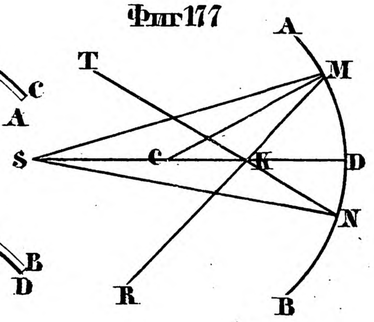
Фиг 175



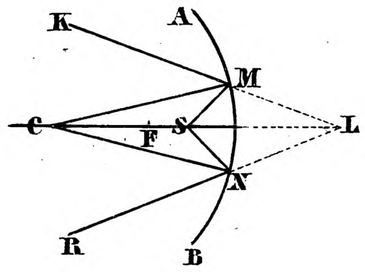
Фиг 176



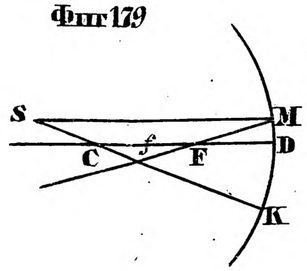
Фиг 177



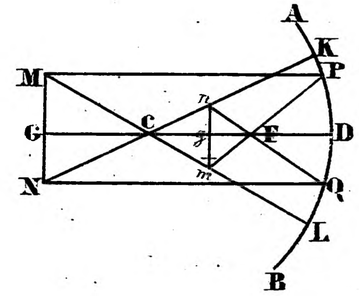
Фиг 178



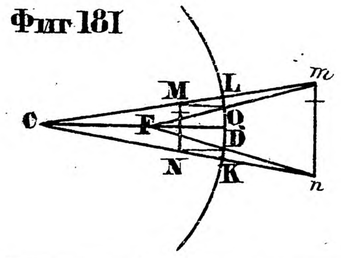
Фиг 179



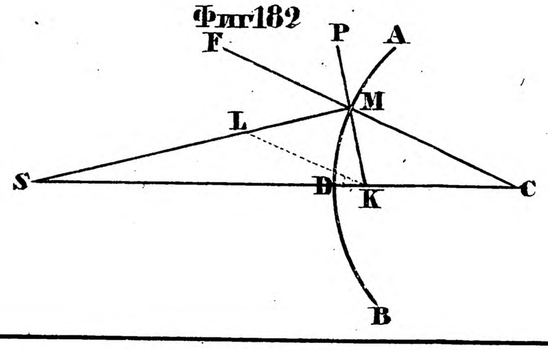
Фиг 180



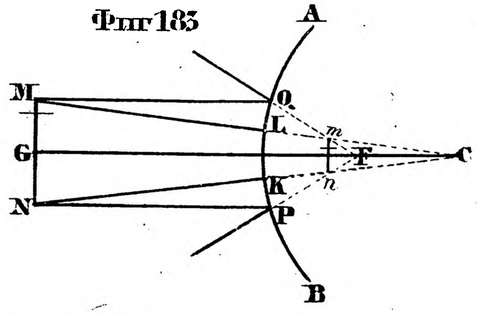
Фиг 181



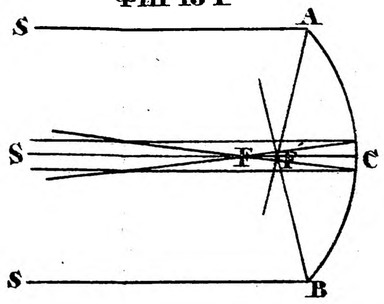
Фиг 182



Фиг 183



Фиг 184



Фиг 185

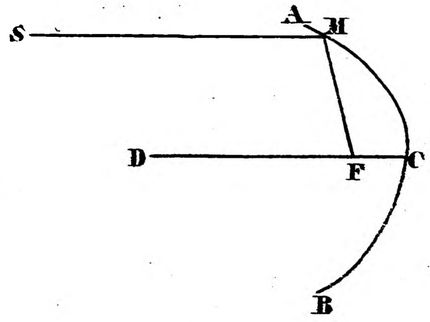


Таблица 7-я

съ Фиг. 186 по 207

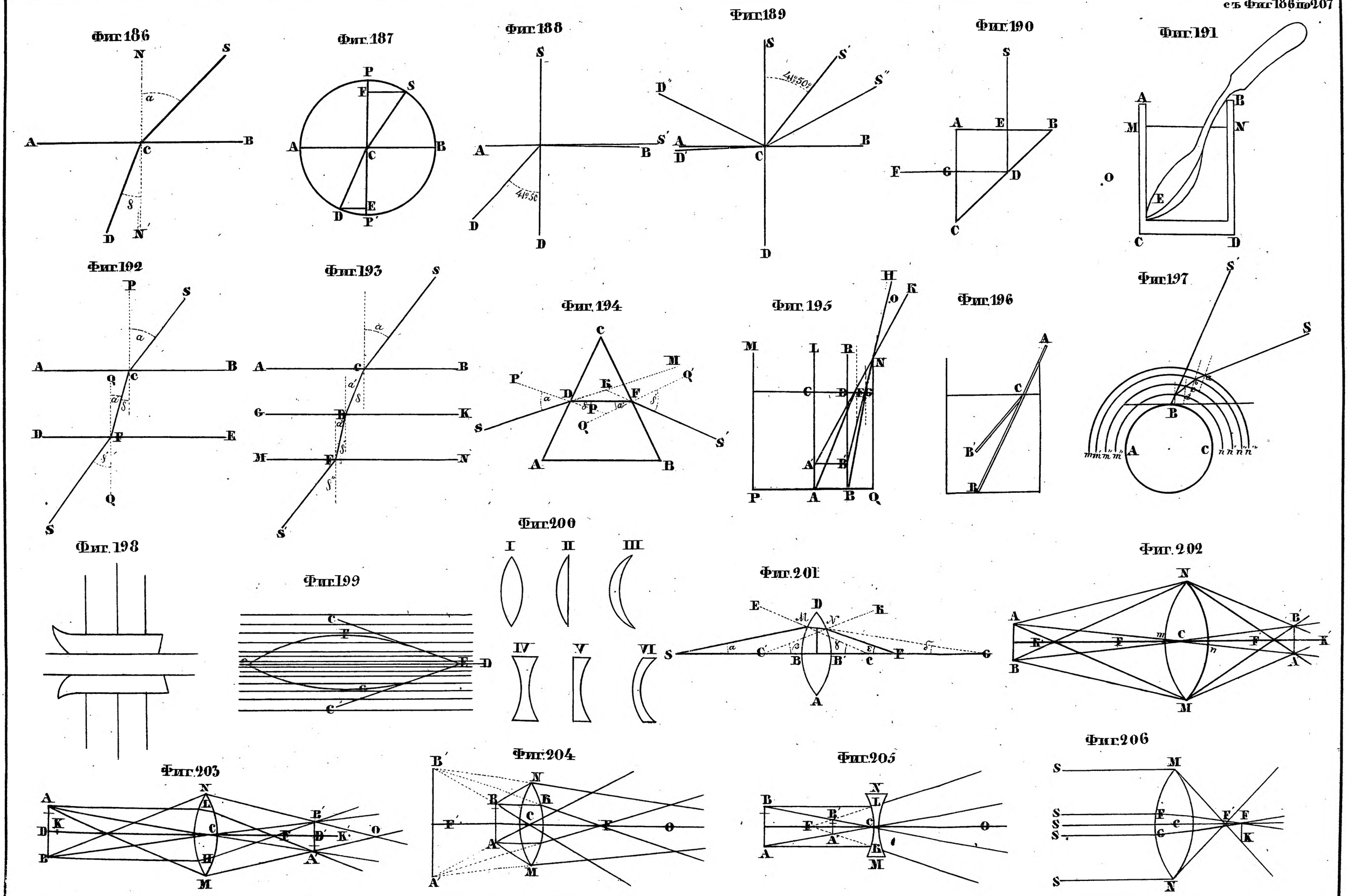
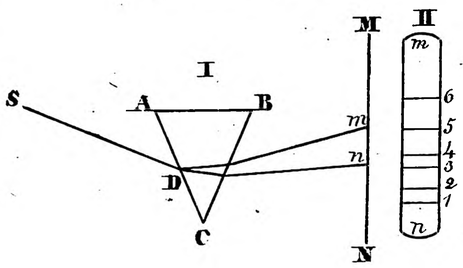


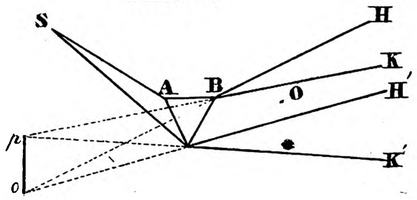
Таблица 8-я

съ Фиг. 207 по 230

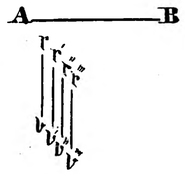
Фиг. 207



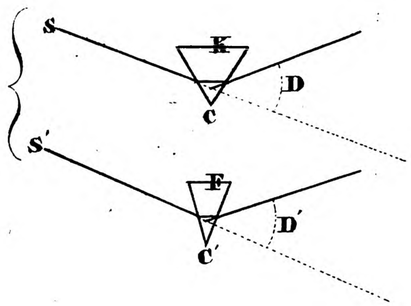
Фиг. 208



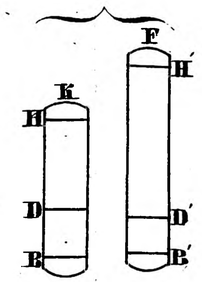
Фиг. 209



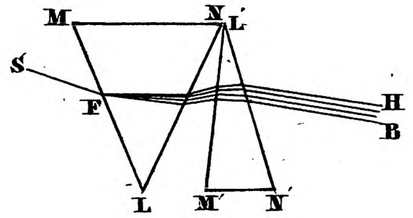
Фиг. 210



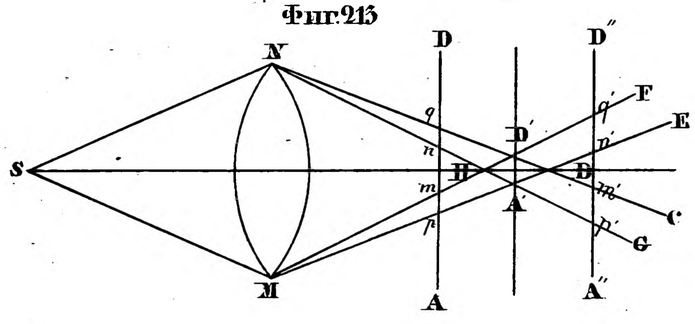
Фиг. 211



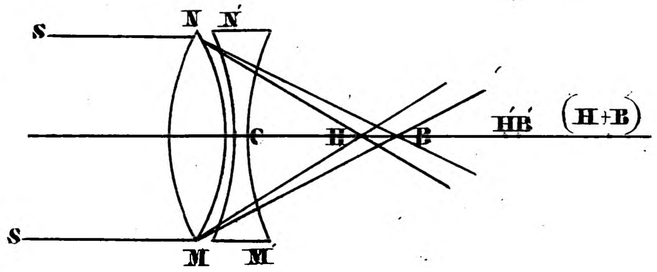
Фиг. 212



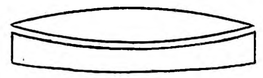
Фиг. 213



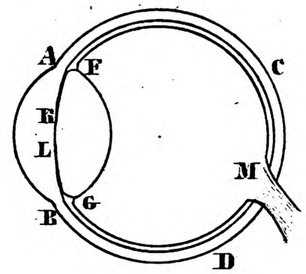
Фиг. 214



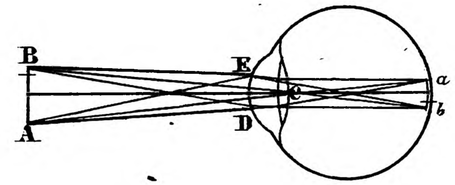
Фиг. 215



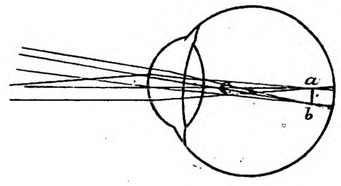
Фиг. 216



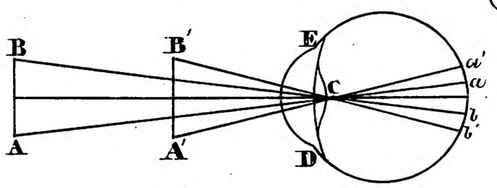
Фиг. 217



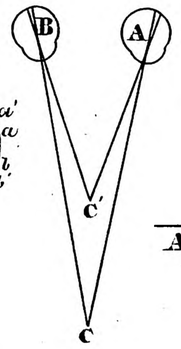
Фиг. 218



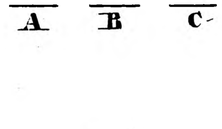
Фиг. 219



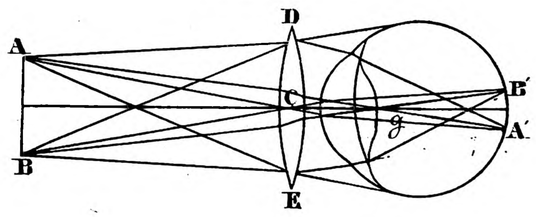
Фиг. 220



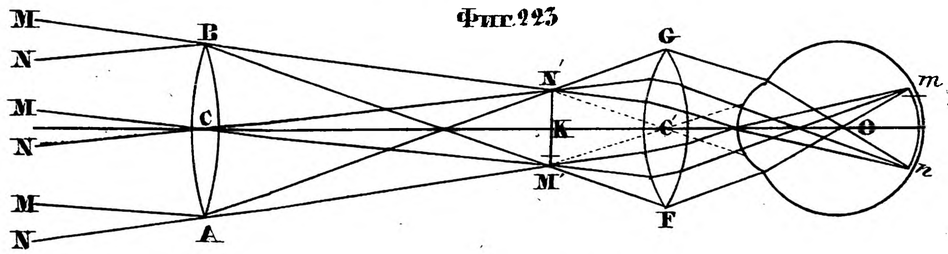
Фиг. 221



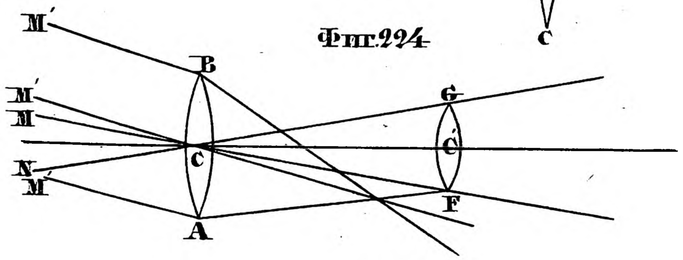
Фиг. 222



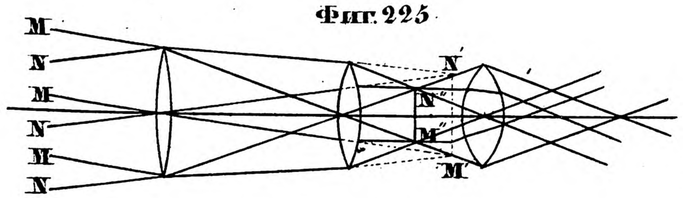
Фиг. 223



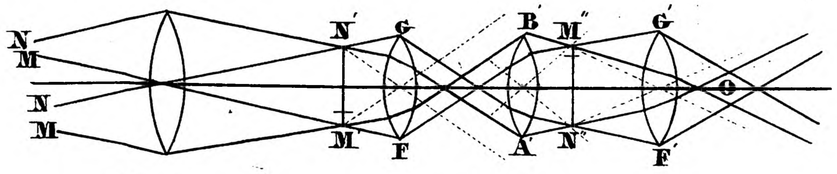
Фиг. 224



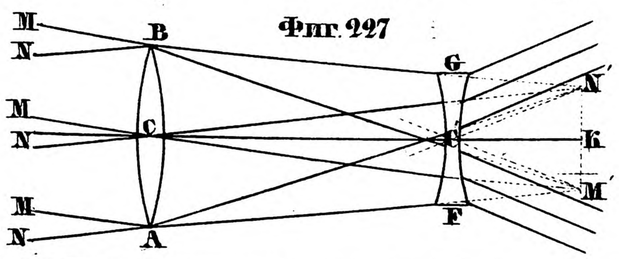
Фиг. 225



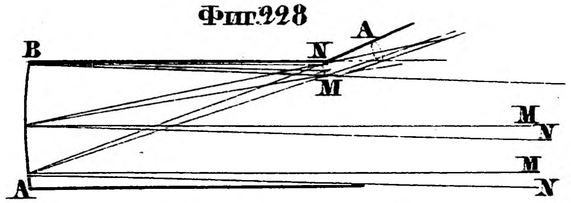
Фиг. 226



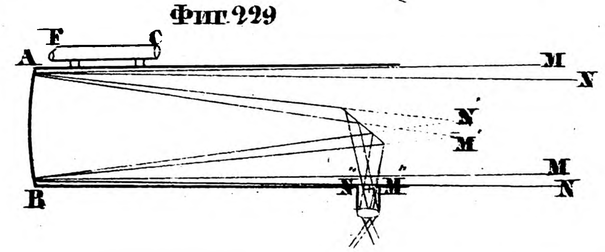
Фиг. 227



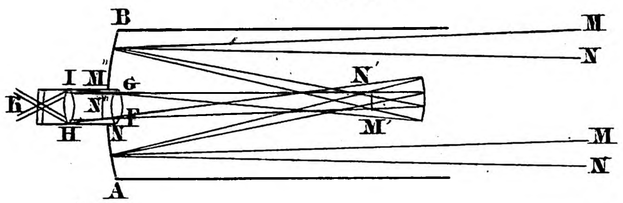
Фиг. 228



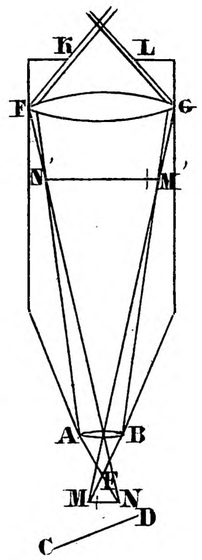
Фиг. 229



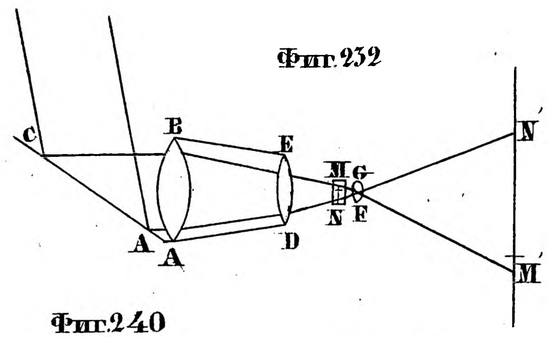
Фиг. 230



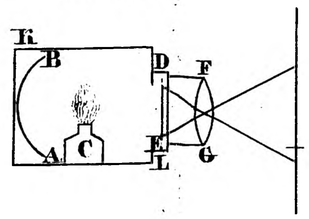
Фиг. 231



Фиг. 232

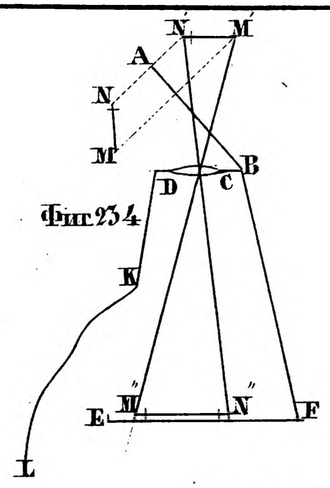


Фиг. 233

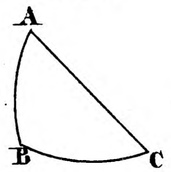


съ Фиг. 230 по 261

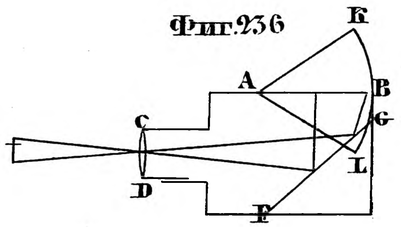
Фиг. 234



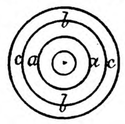
Фиг. 235



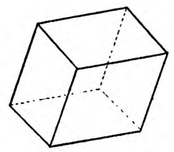
Фиг. 236



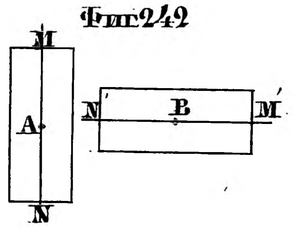
Фиг. 238



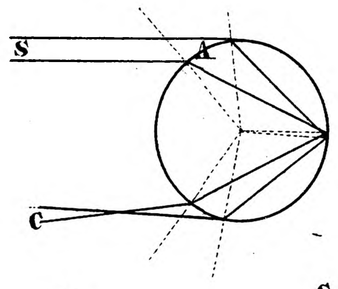
Фиг. 240



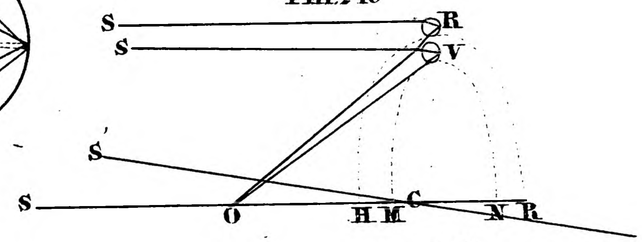
Фиг. 242



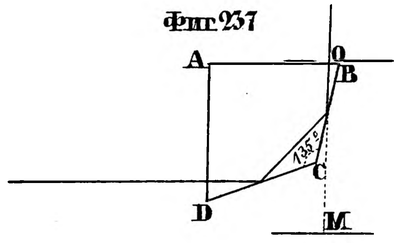
Фиг. 245



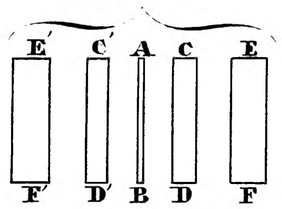
Фиг. 246



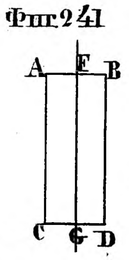
Фиг. 237



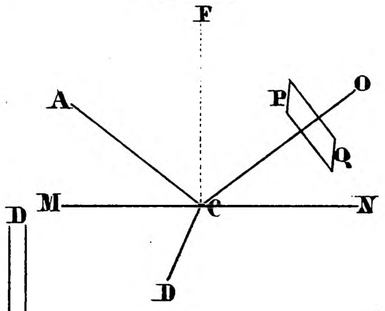
Фиг. 239



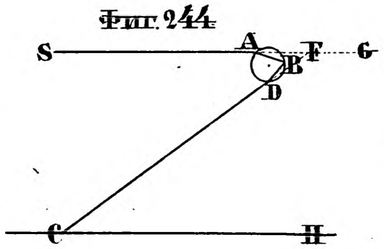
Фиг. 241



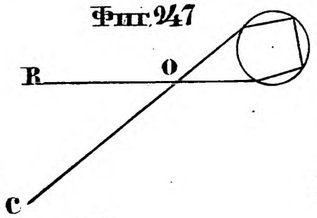
Фиг. 243



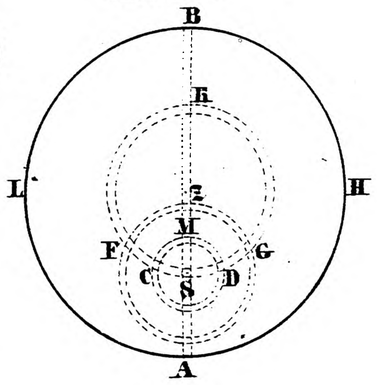
Фиг. 244



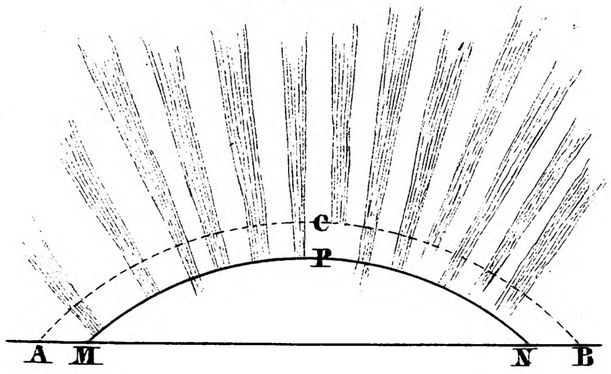
Фиг. 247



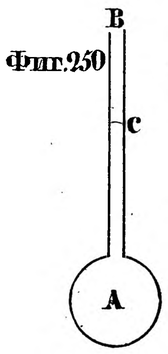
Фиг. 248



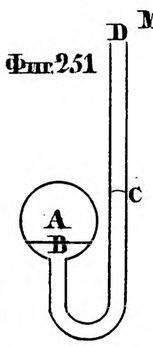
Фиг. 249



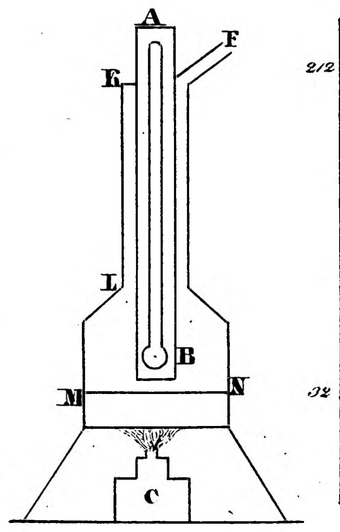
Фиг. 250



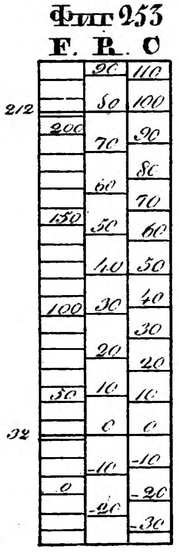
Фиг. 251



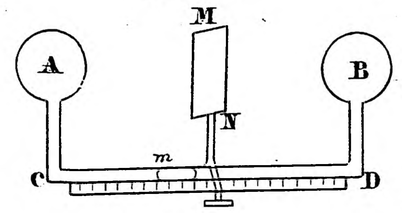
Фиг. 252



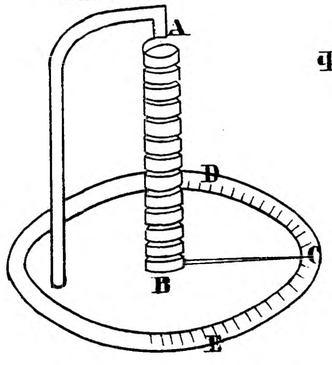
Фиг. 253



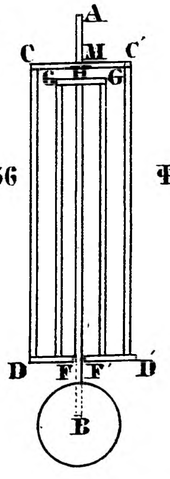
Фиг. 254



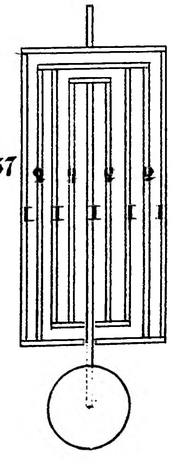
Фиг. 255



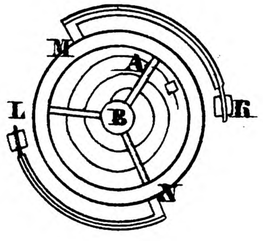
Фиг. 256



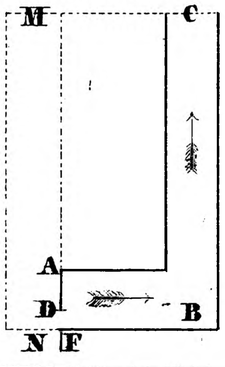
Фиг. 257



Фиг. 258



Фиг. 259



Фиг. 260

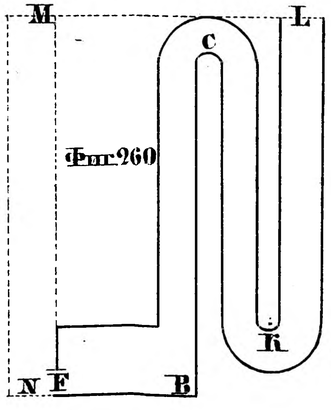
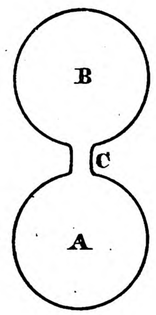
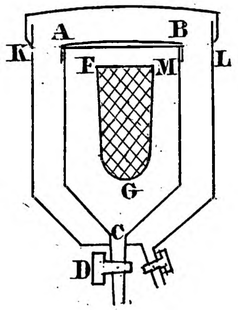


Таблица 10-я

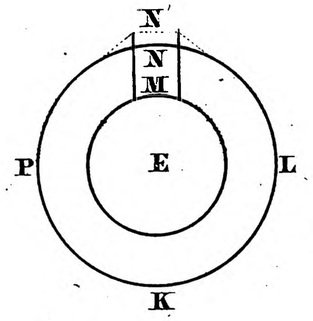
Фиг 261



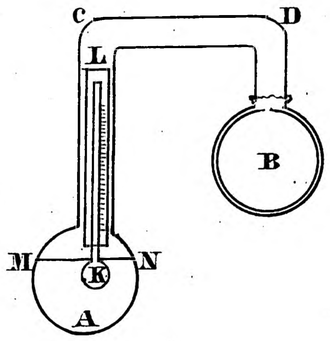
Фиг 262



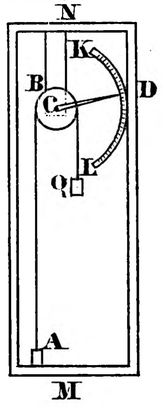
Фиг 263



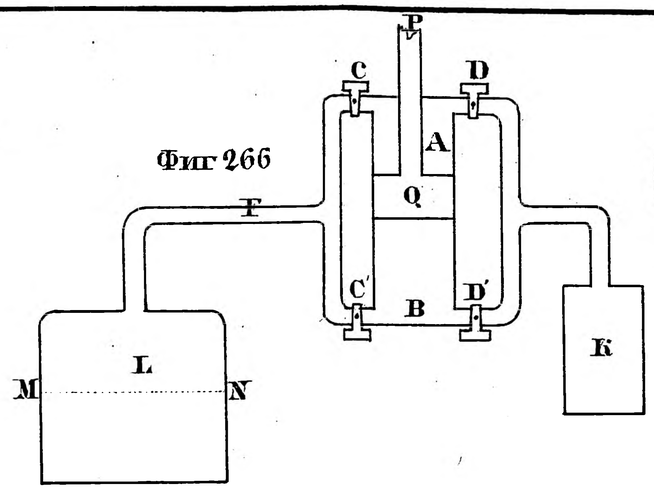
Фиг 264



Фиг 265

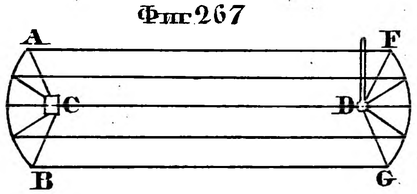


Фиг 266

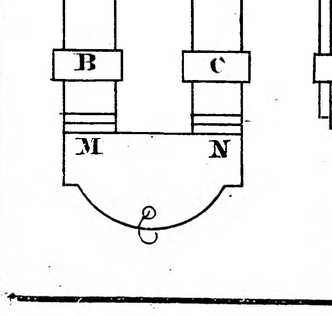


съ Фиг 261 по 293

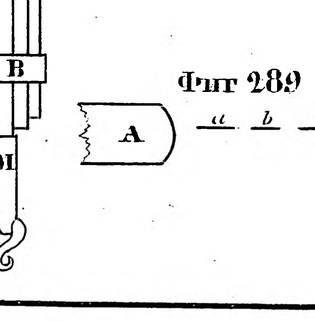
Фиг 267



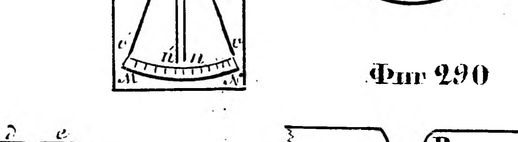
Фиг 268



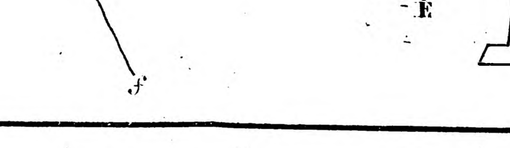
Фиг 269



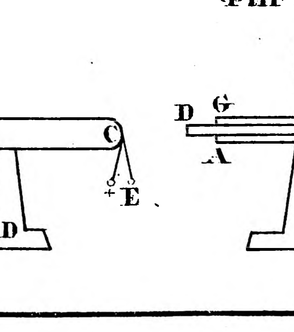
Фиг 270



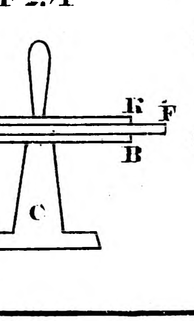
Фиг 271



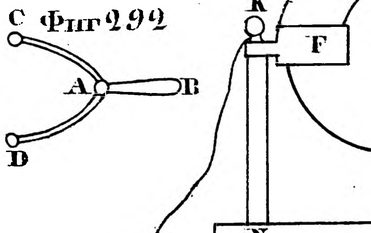
Фиг 272



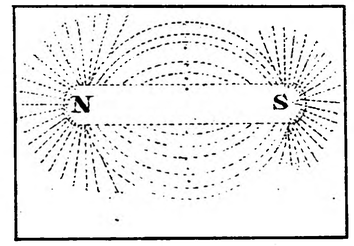
Фиг 273



Фиг 274



Фиг 275

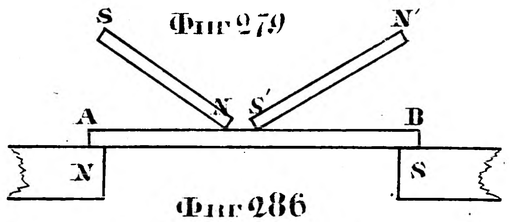


Фиг 276

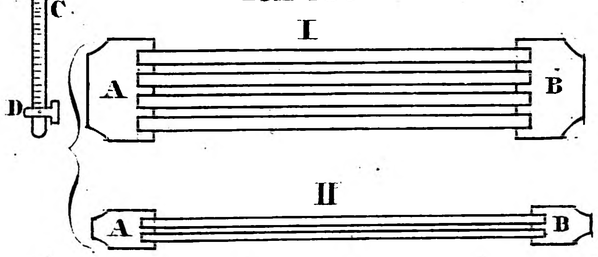
Фиг 277

Фиг 278

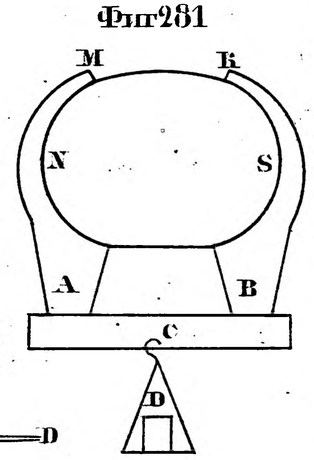
Фиг 279



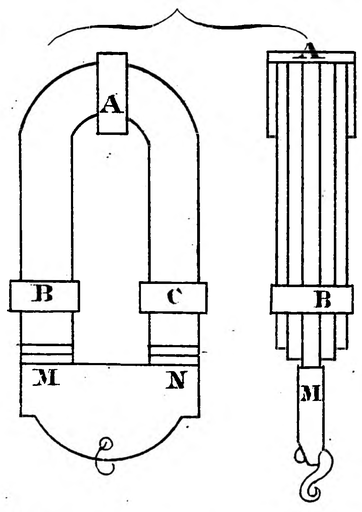
Фиг 280



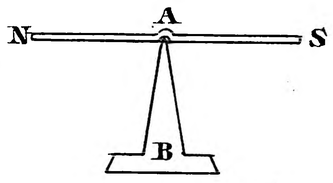
Фиг 281



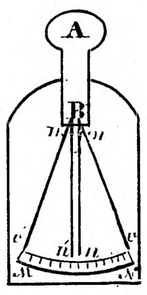
Фиг 282



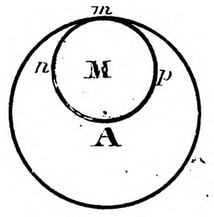
Фиг 283



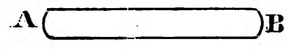
Фиг 284



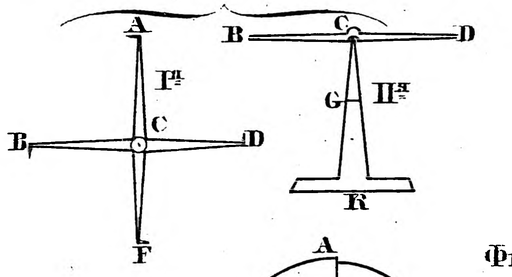
Фиг 285



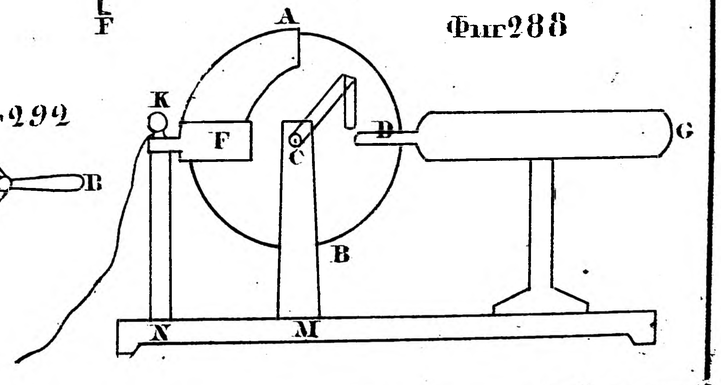
Фиг 286



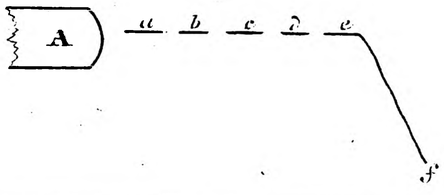
Фиг 287



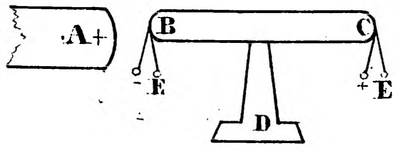
Фиг 288



Фиг 289



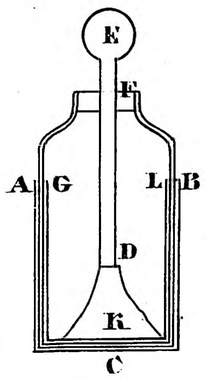
Фиг 290



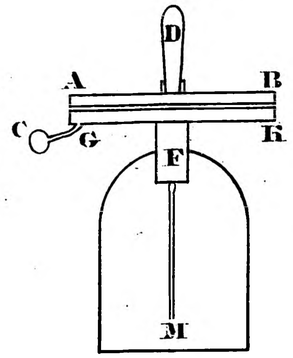
Фиг 291

Фиг 292

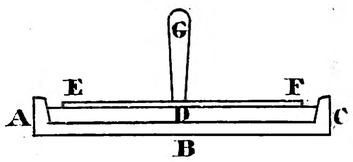
Фиг293



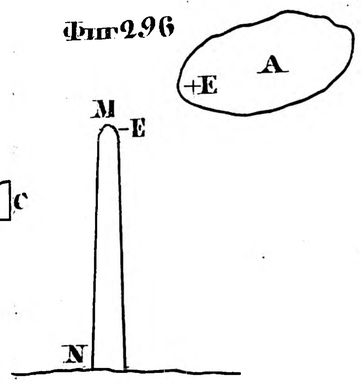
Фиг294



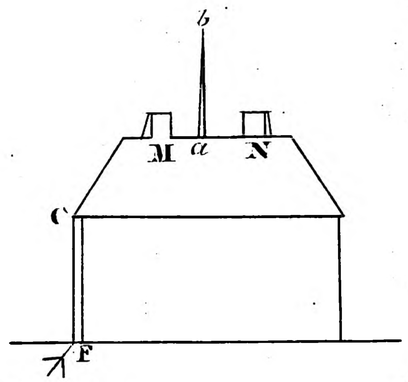
Фиг295



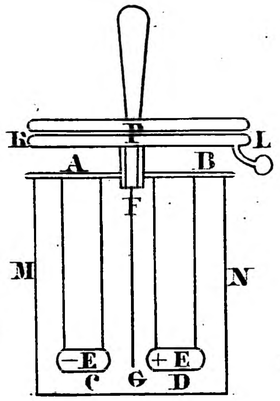
Фиг296



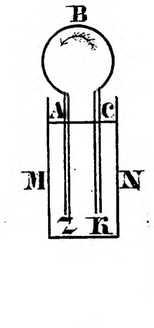
Фиг297



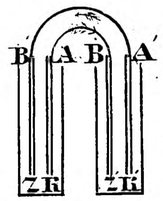
Фиг302



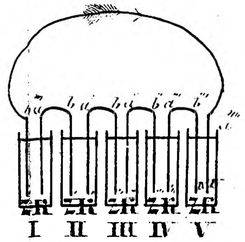
Фиг303



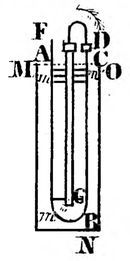
Фиг304



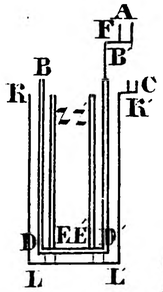
Фиг305



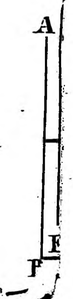
Фиг306



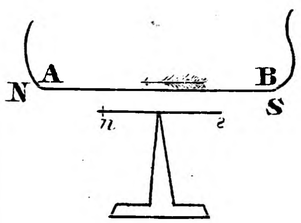
Фиг307



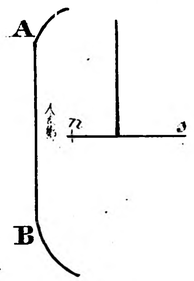
Фиг



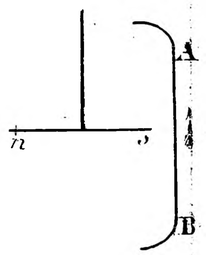
Фиг311



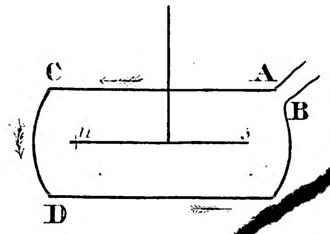
Фиг312



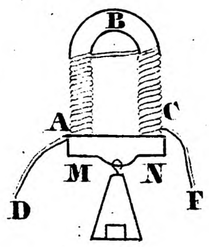
Фиг313



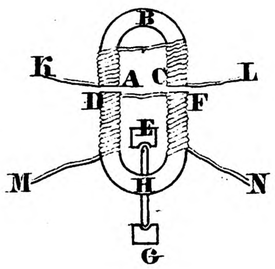
Фиг314



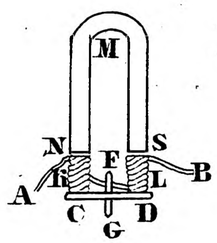
Фиг317



Фиг318



Фиг319



Фиг320