

МАТЕРІАЛЫ

КЪ ИЗУЧЕНІЮ

МЕТЕОРОЛОГІИ.

СОСТАВЪ ВОЗДУХА. — ВѢДЕНІЕ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
ТЕПЛОТЫ, ПОЛУЧАЕМОЙ ОТЪ СОЛНЦА. — ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА.

СОСТАВЛЕНО

В. ГОЛИЦЫНЫМЪ,

ПО ЛЕКЦІЯМЪ, ЧИТАНЫМЪ

М. РЫКАЧЕВЫМЪ,

въ Николаевской Морской Академіи въ 1885 году.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія Морскаго Министерства, въ Главномъ Адмиралтействѣ.

1887.

МАТЕРІАЛЫ
КЪ ИЗУЧЕНІЮ
МЕТЕОРОЛОГІИ.

Составъ воздуха. — Распределение на земной поверхности
теплоты, получаемой отъ солнца. — Температура воздуха.

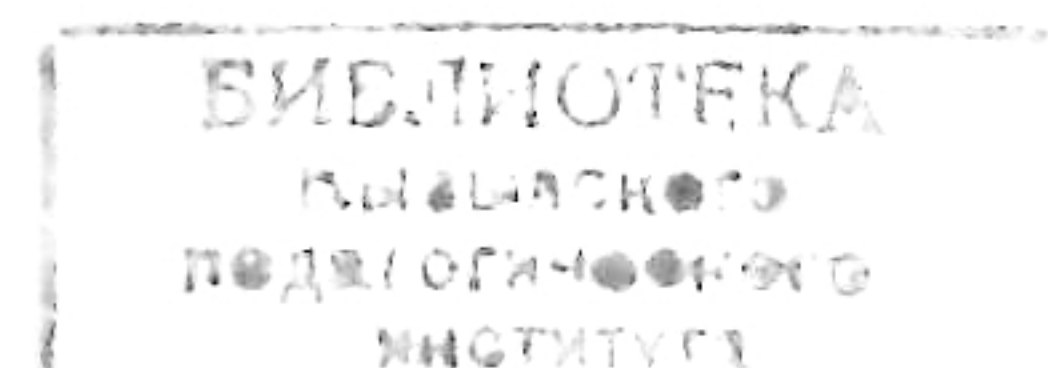
составлено

В. ГОЛИЦЫНЫМЪ,

по лекціямъ, читаннымъ

М. А. РЫКАЧЕВЫМЪ,

въ Николаевской Морской Академіи въ 1885 году.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія Морскаго Министерства, въ Главномъ Адмиралтействѣ.

1887.

162730

к

22744-11

Списокъ

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Эти записки составлены мною по лекціямъ, читаннымъ М. А. Рыкачевымъ, помощникомъ Директора Главной Физической Обсерваторіи, въ Николаевской Морской Академіи въ 1885 году. Содержаніе ихъ раздѣлено на три главы: первая глава касается состава воздуха, вторая распредѣленія на земной поверхности теплоты, получаемой отъ солнца, и третья—температуры воздуха. Несмотря на то, что въ нихъ разработаны только эти три отдѣльныхъ вопроса метеорологіи, записки эти представляютъ нѣкоторымъ образомъ законченное цѣлое и потому, надѣюсь, могутъ быть полезны для лицъ интересующихся метеорологіей, какъ пособіе для болѣе подробнаго изученія нѣкоторыхъ отдѣловъ этой науки. Въ виду этого я и рѣшился ихъ опубликовать подъ заглавіемъ: «Матеріалы къ изученію метеорологіи». Сжатость и въ нѣкоторыхъ мѣстахъ отрывочность изложенія объясняются самымъ характеромъ этой работы, которая представляетъ въ сущности ничто иное, какъ собраніе отдѣльныхъ лекцій. Записки эти просмотрѣны и одобрены М. А. Рыкачевымъ, подъ руководствомъ котораго я и работалъ, и которому за все его содѣйствіе считаю долгомъ принести свою искреннюю благодарность.

В. Голицынъ.

ГЛАВА I.

СОСТАВЪ ВОЗДУХА.

Открытіе составныхъ частей воздуха.

Воздухъ главнымъ образомъ состоитъ изъ смѣси 21 частей по объему кислорода (O) съ 79 частями азота (N). Точнѣе на 20,8 частей кислорода приходится 79,2 частей азота по объему или, выражая все въ единицахъ вѣса на 23 части по вѣсу кислорода приходится 77 частей азота, эта пропорція по всѣмъ собраннымъ наблюденіямъ остается постоянною во всѣхъ частяхъ земнаго шара, какъ на уровнѣ океановъ, такъ и на разныхъ высотахъ и во всякое время дня и года, отступленія отъ приведенныхъ данныхъ хотя и замѣчались, но они были самыя лишь незначительныя, за рѣдкими исключеніями въ гротахъ или закрытыхъ мѣстахъ.

Кромѣ кислорода и азота въ болѣе значительной степени въ составъ воздуха входитъ угольный ангидридъ или такъ называемая углекислота (CO_2) въ предѣлахъ отъ 0,0003 до 0,0004 по объему. Количество углекислоты въ воздухѣ подвержено небольшимъ колебаніямъ.

Кромѣ этихъ газовъ, которые, только при особыхъ искусственныхъ и трудно осуществимыхъ условіяхъ, могутъ переходить въ жидкое состояніе, въ составъ воздуха входитъ большее или меньшее количество водяныхъ паровъ, которые напротивъ, часто при обыкновенныхъ условіяхъ переходятъ въ метеорную воду. Но мы здѣсь, не будемъ разсматривать явленія, обусловливаемыя присутствіемъ водяныхъ частицъ въ атмосферѣ, а займемся только болѣе постоянными, составными частями воздуха.

Составъ атмосферы до послѣдней четверти прошлаго вѣка совсѣмъ не былъ извѣстенъ. Воздухъ считался тогда тѣломъ простымъ, и только послѣ открытія въ 1774 году ⁽¹⁾ *Пристли* (Priestley) и *Шелл* (Schell) кислорода, послѣдній изъ нихъ указалъ на то, что атмосферный воздухъ состоитъ изъ двухъ отдѣльныхъ газовъ: изъ кислорода и изъ какого-то другаго газообразнаго тѣла, получившаго впоследствии названіе азота; причемъ первый точно опредѣлившій составъ атмосферы былъ знаменитый французскій химикъ Лавуазье (Lavoisier).

Углекислота открыта Гельмономъ (Helmont) еще въ 1664 году, но только столѣтіе спустя въ 1774 ⁽²⁾ *Берманн* открылъ присутствіе углекислоты въ атмосферѣ, принимая ее тѣмъ не менѣе всетаки за простое тѣло. Два года спустя, а именно въ 1776 году ⁽³⁾ Лавуазье доказалъ, что углекислота также состоитъ изъ двухъ простыхъ тѣлъ находящихся въ химическомъ соединеніи.

О кислородѣ и азотѣ.

Займемся сначала главнѣйшими составными частями атмосферы: кислородомъ и азотомъ.

Приборы, служащіе для опредѣленія состава воздуха, называются вообще эвдиометрами. Изъ многочисленныхъ способовъ опредѣленія относительнаго содержанія кислорода и азота въ воздухѣ, упомянемъ лишь о слѣдующихъ.

1) *Способъ простаго эвдиометра*. Берутъ трубку, запаянную съ одного конца и раздѣленную на части равныхъ объемовъ, вводятъ въ нее нѣкоторый объемъ воздуха и опускаютъ незапаянный конецъ трубки въ ртуть. Въ трубку затѣмъ вводится снизу черезъ ртуть, тѣло, легко поглощающее кислородъ, напримѣръ фосфоръ, какъ это дѣлали Ашаръ, Бертолетъ, Пар-

⁽¹⁾ Kopp. Geschichte d. Chemie u. Lehrbuch d. Meteorologie v. Dr. Ernst Erhardt Schmid. Leipzig 1860.

⁽²⁾ ⁽³⁾ Kopp. Geschichte d. Chemie u. Lehrbuch d. Meteorologie v. Dr. Ernst Erhardt Schmid. Leipzig, 1860.

ротъ и др. Когда кислородъ поглотится, причемъ фосфоръ перестаетъ свѣтиться, оставшійся газъ—азотъ, займетъ при той-же температурѣ и томъ-же давленіи меньшій объемъ, который, по удаленіи фосфора, и опредѣляется при помощи дѣленій эвдиометрической трубки. Зная прежній объемъ, занимаемый воздухомъ, и новый объемъ оставшагося азота, будемъ имѣть необходимыя данныя для опредѣленія состава воздуха.

Недостатокъ этого способа, по замѣчанію Бертолета, заключается въ томъ, что въ азотѣ остаются послѣ опыта въ газообразномъ состояніи частицы фосфора, присутствіе которыхъ вредитъ точности наблюденій.

2) *Способъ эвдиометра Вольты* заключается въ томъ, что въ эвдиометрическую трубку вводится опредѣленный объемъ воздуха, и нѣсколько меньшій объемъ водорода. Пусть сумма объемовъ этихъ газовъ будетъ V. Пропуская затѣмъ сквозь трубку электрическую искру (эвдиометръ Вольты имѣетъ для этого особое приспособленіе), водородъ заключенный въ трубкѣ, соединяется съ кислородомъ воздуха и даетъ воду, которая и займетъ едва замѣтный для глаза объемъ ⁽¹⁾. Если мы теперь опредѣлимъ объемъ оставшагося газа (водорода и азота) и назовемъ его чрезъ V, то въ виду того, что вода (H₂O) состоитъ изъ двухъ частей водорода и одной части кислорода по объему, то $\frac{1}{3}$ (V—v) покажетъ какой объемъ кислорода приходится на данный объемъ воздуха. Нужно только ввести достаточное количество водорода, чтобы весь кислородъ при пропусканіи искры былъ поглощенъ. Разсчитать это не трудно; кислородъ занимаетъ въ воздухѣ менѣе $\frac{1}{4}$ всего объема, поэтому достаточно ввести объемъ водорода, равный половине объема воздуха, чтобы быть увѣреннымъ въ томъ, что весь заключавшійся въ эвдиометрѣ кислородъ войдетъ въ составъ образующейся воды.

При этомъ способѣ наблюденій нужно принять предосторожность, чтобы при взрывѣ, сопровождающемъ химическое

⁽¹⁾ Вода занимаетъ почти въ 2000 разъ меньшій объемъ, чѣмъ сумма объемовъ составляющихъ воду газовъ: кислорода и водорода.

соединеніе кислорода и водорода, часть газовъ не вышла-бы наружу сквозь ртуть. Для устраненія возможности подобнаго случая, приборамъ этимъ даютъ нѣсколько болѣе сложное устройство; одинъ изъ лучшихъ приборовъ такого рода былъ устроенъ Гей-Люссакомъ (Gay-Lussac).

3) *Въ способъ Дебермейера* взрывъ газовъ при химическомъ ихъ соединеніи устраненъ. Дебермейеръ въ простой эвдиометръ содержащій воздухъ и половинный объемъ водорода, вводитъ губчатую платину, имѣющую замѣчательное свойство способствовать медленному (безъ взрыва) химическому соединенію кислорода и водорода. Черезъ болѣе, или менѣе продолжительное время, напр. черезъ сутки, весь кислородъ соединится съ водородомъ, образуя воду; оставшійся объемъ газа дастъ, какъ и въ предыдущемъ способѣ, возможность найти объемъ кислорода, соотвѣтствующій первоначальному объему воздуха. Вслѣдствіе образованія воды въ эвдиометрѣ получается послѣ опыта, кромѣ азота и водорода, еще нѣкоторое количество водяныхъ паровъ, которое можно опредѣлить или при помощи гигрометра Реньо или, осушая газъ однимъ изъ извѣстныхъ приѣмовъ. Само собою разумѣется, что при опредѣленіи объемовъ газовъ нужно наблюдать показанія термометра и барометра и приводить наблюдаемый объемъ къ нормальнымъ: температурѣ и давленію.

При этихъ предосторожностяхъ способы Вольты и Дебермейера могутъ дать надежные результаты, что и подтверждается наблюденіями Бунзена ⁽¹⁾, Реньо ⁽²⁾ и другихъ. Тѣмъ не менѣе оба эти способа обладаютъ тѣмъ принципиальнымъ недостаткомъ, что по нимъ опредѣляется количество только одного газа-кислорода, тогда какъ было-бы весьма важно для контроля получить самостоятельно и азотъ.

4) *Бруннеръ* (Brunner) ⁽³⁾ пропускалъ воздухъ, по освобожденіи его отъ водяныхъ паровъ и углекислоты, черезъ

⁽¹⁾ Liebig, Poggendorff u. Wöhler. Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie. Band 2 Art. Eudiometer. Braunschweig 1842.

⁽²⁾ Ann. de chimie et de physique. Ser. 3; t. 26 p. 310.

⁽³⁾ Pogg. Ann. 27; 1.

трубку, наполненную мелкими опилками желѣза, которая онъ во время опыта накаливалъ. Кислородъ воздуха при высокой температурѣ соединяется непосредственно съ желѣзомъ, и по увеличенію вѣса желѣзныхъ опилокъ можно судить о томъ, сколько кислорода приходится на извѣстный объемъ пропущеннаго сквозь трубку воздуха. Оставшійся азотъ собирался въ аспираторѣ, гдѣ количество его также самостоятельно измѣнялось. Этотъ способъ хорошъ еще тѣмъ, что позволяетъ при измѣреніяхъ пользоваться значительною массою воздуха, чѣмъ уменьшается вредное вліяніе разныхъ ошибокъ наблюденій. Впослѣдствіи Бруннеръ замѣнилъ желѣзные опилки фосфоромъ.

5) *Буссеню* (Boussingault) и *Дюма* (Dumas) произвели большой рядъ точныхъ наблюденій при посредствѣ слѣдующаго прибора. Стекланный шаръ довольно значительныхъ размѣровъ имѣетъ отверстіе съ краномъ; къ этому отверстию можетъ быть привинчена трубка съ двумя кранами на концахъ. Трубку наполняютъ мелко — раздробленною предварительно взвѣшенной металлическою мѣдью. Привинтивъ затѣмъ трубку и отворивъ краны, изъ шара и изъ трубки вытягиваютъ воздухъ; раскаливъ затѣмъ мѣдь, отворяютъ наружный кранъ трубки и пропускаютъ черезъ нее въ шаръ воздухъ, который предварительно осушаютъ и освобождаютъ отъ углекислоты. Весь кислородъ воздуха соединится тогда въ трубкѣ съ мѣдью, все-же остальное пространство занято будетъ азотомъ. Закрывъ наружный кранъ, взвѣшиваютъ весь приборъ; послѣ чего вытягиваютъ изъ него азотъ и снова повторяютъ взвѣшивание. Уменьшеніе вѣса прибора и дастъ вѣсъ заключавшагося въ немъ азота; количество-же кислорода опредѣляется взвѣшиваніемъ одной только трубки до и послѣ опыта.

Процентное
содержаніе
кислорода и
азота на раз-
ныхъ высо-
тахъ.

Перейдемъ теперь къ результатамъ самихъ наблюденій.

Первымъ дѣломъ представляется вопросъ: измѣняется-ли процентное содержаніе кислорода и азота съ высотой?

Для разъясненія этого вопроса имѣемъ слѣдующія данныя:

А.

Выводы Буссенго ⁽¹⁾ из большого числа наблюдений.

Мѣсто наблюдений.	В ы с о т а.	Процентное содержание кислорода по объему.
Съ горы Санта-фе де Богота въ S.-Америкѣ.	2650 метр.	20,65
Ибаке	1323	20,70
Марикита	548	20,77

В. ⁽¹⁾

Наблюдения 20—24 июля 1841 г.

Наблюдатели.	Мѣсто наблюдений.	Высота въ метрахъ.	Процентное содержание кислорода по вѣсу.
Буссенго и Дюма	Парижъ.	146	23,04
Бруннеръ.	Бернъ.	574	22,95
Мартинсъ и Браве	Фаульгорнъ.	2683	22,97

С.

Исследования Леви ⁽²⁾.

Мѣсто наблюдений.	В ы с о т а	Процентное содержание кислорода по объему.
Надъ Атлант. Океан. въ 1847 г.	0	20,945 (средн. 11 набл.).
Въ S. Америкѣ, въ 1848 г.	0—242	21,019 (ср. 5 набл.).
Санта фе де Богота въ 1850 г.	2645	21,015 (ср. 14 набл.).

⁽¹⁾ Ann. de chimie et de physique Ler. III. t. 2. p. 281, p. 301.

⁽²⁾ Ann. de chimie et de physique Ler. 3; t. 34; p. 17, 22, 26 et 27.

Числа таблицы А, какъ будто указываютъ на то, что количество кислорода съ уменьшеніемъ высоты увеличивается; таблица-же В, показываетъ совершенно обратное, хотя самыя перемѣны въ этихъ числахъ и весьма незначительны. Числа Леви не выдѣляютъ никакого закона, а потому основываясь на всѣхъ этихъ данныхъ, мы можемъ заключить, что *процентное содержание кислорода на всѣхъ высотахъ одинаково*. Къ этому-же выводу приводятъ результаты менѣе точныхъ наблюдений Гейлюссака надъ образцами воздуха, добытаго съ разныхъ высотъ. Замѣтимъ еще, что колебанія въ отдѣльныххъ опредѣленіяхъ въ томъ-же мѣстѣ превышаютъ тѣ перемѣны, которыя наблюдались при опредѣленіи процентнаго содержанія кислорода на различныхъ высотахъ.

Процентное содержание кислорода и азота въ разныхъ мѣстностяхъ.

Остается-ли составъ атмосферы постояннымъ въ разныхъ частяхъ земнаго шара?

Только что приведенныя числа свидѣтельствуютъ о постоянствѣ состава атмосферы въ разныхъ мѣстностяхъ. Но въ подтвержденіе этого положенія можно привести еще и слѣдующія числа, которыя въ предѣлахъ точности самихъ наблюдений даютъ тотъ же результатъ.

Наблюдатели.	Мѣсто наблюдений.	Процентное содержание кислорода по вѣсу.
Буссенго и Дюма. (апр., май, июль, сент. 1841 г.).	Парижъ . . .	23,01
Леви. (ноябр.—дек. 1841 г.).	Копенгагенъ . .	23,02
Леви. (май, авг. 1841 г.).	Н-Нѣмецкое море.	22,89

Наблюдения Леви.

Мѣсто наблюдений.	Процентное содержание кислорода по объему.
Парижъ.	21,01
Атлантическій океанъ .	20,95
Южная Америка . . .	21,02

Все прежнія надежныя наблюденія: Де-Марти въ Испаніи⁽¹⁾, Дэви въ Бристолѣ, Бедока въ Гвинее, Гей-Люссака и Гумбольдта въ Парижѣ, Купфера въ Казани указываютъ также на то, что кислородъ вездѣ занимаетъ въ воздухѣ 21 часть по объему.

И такъ, на основаніи сказаннаго, мы заключаемъ, что *относительное количество кислорода и азота въ разныхъ частяхъ земнаго шара вообще остается чувствительно неизмѣннымъ.*

Случайныя и мѣстныя отклоненія отъ этого правила однако встрѣчаются: такъ напримѣръ, Бишовъ нашелъ, что воздухъ въ одной каменно-угольной копѣ содержалъ 22,92% кислорода по объему, а во впадинахъ ледниковъ воздухъ выдѣляющійся изъ трещинъ, содержитъ только 10,22 % кислорода; это послѣднее обстоятельство объясняется тѣмъ, что при низкой температурѣ кислородъ болѣе растворяется въ снѣговой водѣ и въ снѣгу, чѣмъ азотъ; а потому воздухъ проходя черезъ длинный холодный ледникъ, и отдаетъ ему большое количество кислорода.

Дыханіе животныхъ, вліяніе растеній, процессъ разложенія органическихъ веществъ, вулканическія изверженія, сжиганіе топлива и пр. должны несомнѣнно вліять на составъ атмосферы; однако это вліяніе чувствительно только въ закрытыхъ мѣстахъ, а на открытомъ воздухѣ оказывается совершенно ничтожнымъ. Даже въ госпиталяхъ, въ театрахъ, при большомъ скопленіи людей, составъ воздуха мѣняется весьма мало. Пробовали опредѣлять процентное содержаніе кислорода въ театрѣ до и послѣ представленія и получили лишь ничтожную разницу.

Мѣняется-ли процентное содержаніе кислорода съ временами года? Для рѣшенія этого вопроса, приведемъ слѣдующія данныя.

⁽¹⁾ Въ 1790 г. Gilb. Ann. 19; 389.

Наблюденія Буссенго и Дюма въ Парижѣ въ 1841 г.

Число наблюдений.	М ѣ с я ц и.	Процентное содержаніе кислорода по вѣсу.
3	Апрѣль . .	23,00
3	Іюль . . .	23,03
2	Сентябрь .	22,97

Наблюденія Леви на Санта-фе де Боюта.

Число наблюдений.	М ѣ с я ц и.	Процентное содержаніе кислорода по вѣсу.
2	Мартъ и Апрѣль	21,01
2	Май. . . .	20,99
2	Іюнь и Іюль	21,00
2	Августъ . .	21,02
7	Сентябрь .	21,02

Эти числа наглядно свидѣтельствуютъ о томъ, что *процентное содержаніе кислорода не мѣняется съ временами года.*

Постоянно-ли относительное количество кислорода днемъ и ночью?

Для рѣшенія этого вопроса мы имѣемъ средніе выводы изъ наблюденій Буссенго и Дюма и нѣкоторыя другія данныя.

Наблюденія Буссенбо и Дюма въ Парижѣ 20—24 Іюля 1831 г.

В р е м я.	Процентное содержаніе кислорода по вѣсу.
20 Іюля { 1 ¹ / ₂ —5 } 24 » { 10 —2 } дни.	23,06
11 ¹ / ₂ вечера.	23,00

Процентное
содержаніе
кислорода и
азота въ раз-
ные времена
года.

Наблюдения Мартина и Браве в Берн.

В р е м я.	Процентное содержаніе кислорода по вѣсу.
Днемъ	22,96
11 часовъ вечера . .	22,89

Средніе выводы изъ наблюдений Леви в Атлантическомъ океанѣ.

В р е м я.	Процентное содержаніе кислорода по объему.
Днемъ	21,06
Ночью	20,96

Все эти наблюдения согласно даютъ измѣненія въ ту-же сторону и указываютъ несомнѣнно на тотъ законъ, что *ночью процентное содержаніе кислорода меньше, чѣмъ днемъ*, хотя эта разница въ абсолютной величинѣ своей и весьма незначительна. Подобное явленіе находится повидимому въ связи и даже до нѣкоторой степени объясняется тѣмъ обстоятельствомъ, что ночью процентное содержаніе углекислоты въ воздухѣ нѣсколько увеличивается, какъ мы это впоследствии и увидимъ.

Такое постоянное соотношеніе между количествами кислорода и азота въ воздухѣ на разныхъ высотахъ, въ разныхъ странахъ и въ разныя времена года и сутокъ наводитъ невольнo на мысль: дѣйствительно-ли эти два газа находятся въ атмосферѣ въ простомъ лишь смѣшеніи? не находятся-ли они въ дѣйствительности въ химическомъ соединеніи? Такое предположеніе съ перваго взгляда хотя и кажется правдоподобнымъ, но на самомъ дѣлѣ оно не основательно, какъ это можно видѣть изъ слѣдующихъ соображеній.

Во-первыхъ, кислородъ и азотъ въ атмосферѣ не утрачиваютъ каждый своихъ отличительныхъ свойствъ и по этому

удѣльный вѣсъ, упругость и т. д. сухаго воздуха получаются совершенно по тому-же закону, по какому эти элементы должны-бы были получиться при простомъ смѣшеніи двухъ газовъ. При химическомъ-же соединеніи двухъ газовъ, образуется всегда новое тѣло, обладающее уже отличительными, ему одному лишь присущими, физическими свойствами, чего въ воздухѣ мы именно и не замѣчаемъ.

Во-вторыхъ, при химическомъ соединеніи двухъ газовъ, выделяется теплота; при соединеніи-же кислорода и азота въ той-же пропорціи, въ какой эти газы находятся въ атмосферѣ, никакого повышенія температуры не замѣчается, не смотря на то что полученный, такимъ образомъ газъ обладаетъ всѣми свойствами атмосфернаго воздуха.

Въ-третьихъ, самымъ неоспоримымъ доказательствомъ, что азотъ и кислородъ въ воздухѣ находятся въ простомъ лишь смѣшеніи, служитъ то, что составъ воздуха можно произвольно измѣнять путемъ просачиванія чрезъ каучукъ или посредствомъ дѣйствія растворяющихъ веществъ.

Укажемъ здѣсь также и на поглощеніе воздуха водою. Если-бы воздухъ представлялъ химическое соединеніе кислорода съ азотомъ, то эти составные элементы содержались-бы въ той-же пропорціи и въ поглощенномъ водою воздухѣ; однако опытъ показываетъ, что воздухъ выделяемый изъ воды, содержитъ въ себѣ кислородъ и азотъ въ иной пропорціи, чѣмъ въ самой атмосферѣ; по опредѣленіямъ Бунзена воздухъ выкипаченный изъ воды, насыщенной при 1° Ц., содержитъ 34,9 частей по объему кислорода и 65,1 частей азота. Это прямо указываетъ на то, что эти газы поглощаются водою каждый самостоятельно, что возможно только въ томъ случаѣ, если въ самой атмосферѣ эти газы находятся въ простомъ смѣшеніи.

И такъ кислородъ и азотъ не находятся въ воздухѣ въ химическомъ соединеніи. Посмотримъ-же теперь, какъ можно объяснить себѣ такое постоянное соотношеніе между этими двумя составными элементами атмосфернаго воздуха.

Если-бы газы были непроницаемы одинъ для другаго подобно капельнымъ жидкостямъ, тогда, по закону гидроста-

тики, смѣшанные газы расположились-бы горизонтальными слоями одинъ надъ другимъ, внизу лежалъ-бы самый тяжелый газъ—углекислота, надъ нимъ расположился-бы слой кислорода, а надъ ними уже азотъ. На самомъ-же дѣлѣ этого не замѣчаютъ по той простой причинѣ, что газы обладаютъ особеннымъ свойствомъ взаимнаго проникновенія, такъ что различные газы, приведенные въ соприкосновеніе другъ съ другомъ, по истеченіи нѣкотораго времени совершенно перемѣшиваются и представляютъ въ концѣ концовъ совершенно однородную смѣсь ⁽¹⁾. На основаніи этого явленія диффузіи газовъ, мы должны заключить, что каждый газъ образуетъ свою отдѣльную атмосферу совершенно независимо отъ присутствія другихъ газовъ; эти послѣдніе только замедляютъ скорость распространенія даннаго газа въ опредѣленномъ пространствѣ; при установившемся-же положеніи равновѣсія, что именно имѣетъ мѣсто въ земной атмосферѣ, можно разсматривать каждый газъ совершенно отдѣльно. Такимъ образомъ наша атмосфера состоитъ, какъ бы изъ отдѣльныхъ атмосферъ углекислоты, кислорода и азота. Допуская, что, въ случаѣ равновѣсія, каждая атмосфера располагается по слоямъ разныхъ плотностей, не трудно, зная давленіе и температуру на опредѣленной высотѣ, вычислить по законамъ Мариотта и Гей-Люссака, въ какомъ вѣсовомъ соотношеніи смѣшанные газы должны находиться на данной высотѣ.

Кемцъ ⁽²⁾ сдѣлалъ подобныя вычисленія и получилъ слѣдующія числа:

⁽¹⁾ Это явленіе называется диффузіей газовъ. Существованіе диффузіи было самымъ убѣдительнымъ образомъ доказано Бертолетомъ, жившимъ въ концѣ прошлаго и началѣ этого столѣтія. Онъ бралъ два сосуда, нижній наполнял углекислотою, а верхній кислородомъ и соединялъ ихъ потомъ вмѣстѣ помощью трубки съ краномъ черезъ нѣсколько часовъ послѣ того, какъ кранъ былъ открытъ, Бертолетъ нашелъ въ обоихъ сосудахъ совершенно однородную смѣсь обоихъ газовъ.

⁽²⁾ Lehrbuch der Meteorologie.

Высота въ парижскихъ футахъ.	А з о т ъ.	Кислородъ.	Углекислота.
0	76,913	23,012	0,075
4000	77,288	22,642	0,070
8000	77,663	22,272	0,065
16000	78,414	21,535	0,054
20000	78,789	21,163	0,048

Изъ этой таблицы видно, что процентное содержаніе кислорода и углекислоты съ увеличеніемъ высоты уменьшается, а процентное содержаніе азота наоборотъ увеличивается, при чемъ полученные разницы выходятъ изъ предѣловъ возможныхъ ошибокъ наблюденій. Въ дѣйствительности мы этого не замѣчаемъ; мы видѣли, что $\%$ содержанія газовъ входящихъ въ составъ воздуха почти одинаковъ, что можно объяснить вліяніемъ вѣтра и восходящихъ потоковъ воздуха, способствующихъ перемѣшиванію разныхъ слоевъ атмосферы.

Объ углекислотѣ (CO₂).

О наблюденіяхъ надъ углекислотой.

Присутствіе въ воздухѣ углекислоты было открыто, какъ мы видѣли, въ 1774 году Бергманомъ. Тогда и составилось представленіе о томъ, что этотъ газъ входитъ въ составъ атмосфернаго воздуха въ довольно значительномъ количествѣ, но усовершенствованные методы наблюденій не подтвердили справедливости этого заключенія. При каждомъ болѣе совершенномъ способѣ наблюденій получалось и новое число для процентнаго содержанія углекислоты въ воздухѣ и всегда менѣе предыдущаго. Любопытно прослѣдить, какъ измѣнялись получаемые результаты наблюденій надъ углекислотой въ теченіи цѣлаго столѣтія, а потому мы и приведемъ здѣсь нѣ-

сколько чиселъ, представляющихъ процентное содержаніе углекислоты въ воздухѣ, данное разными наблюдателями въ разные времена.

Гелеръ	10%.
Шель (1782)	6
Пристлей (1783)	2
Гартнеръ (1801)	1
Гумбольдтъ	1
Парротъ	0,5
Дальтонъ	0,068

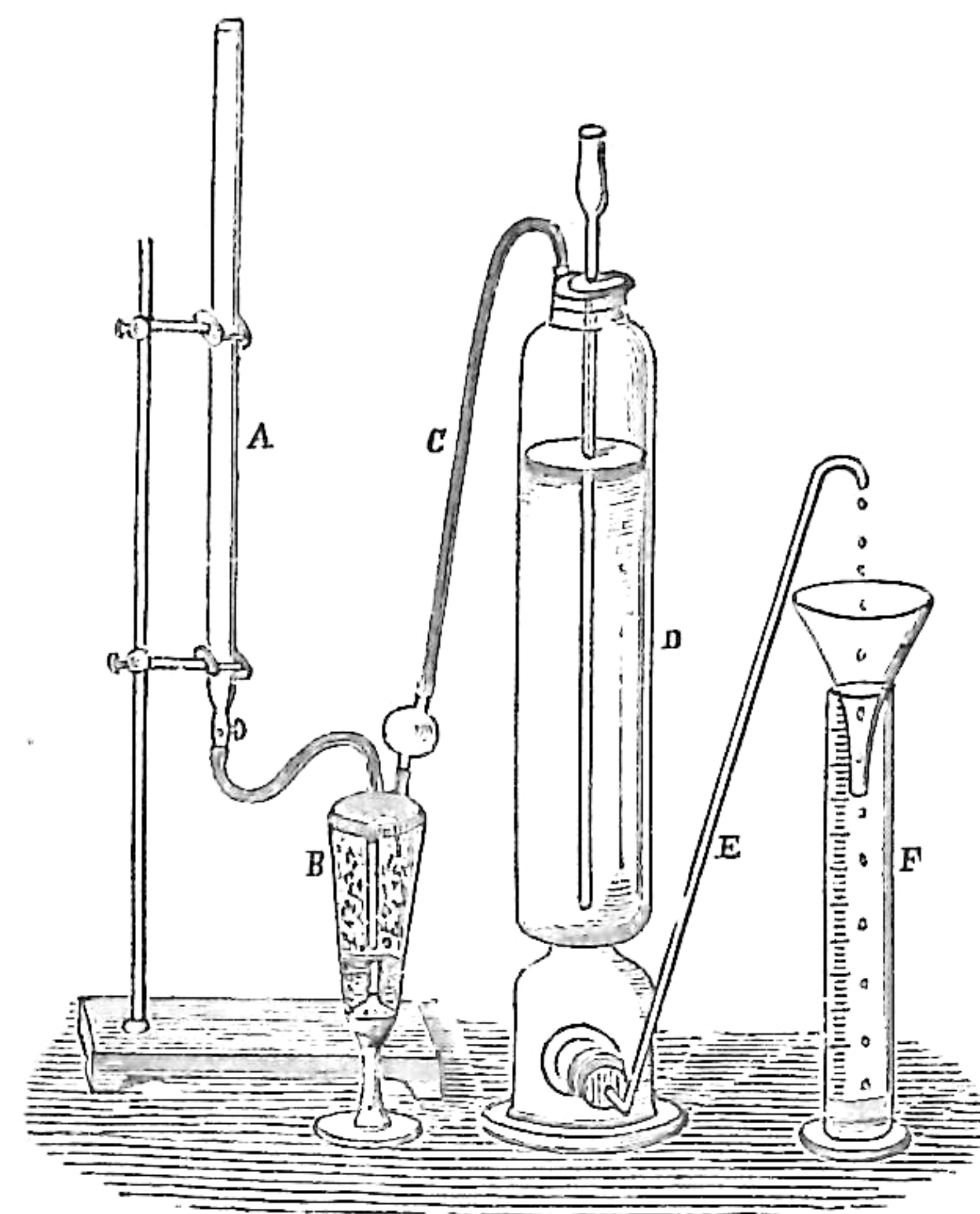
По новѣйшимъ наблюденіямъ въ Монсури. . . 0,030.

Углекислота въ составѣ атмосфернаго воздуха не представляетъ такой постоянный элементъ, какъ кислородъ и азотъ. Эти послѣдніе газы, какъ мы видѣли, вездѣ, за рѣдкими исключеніями, сохраняютъ то-же взаимное соотношеніе, процентное-же содержаніе углекислоты подвержено значительнымъ колебаніямъ: мѣстные условія оказываютъ нѣкоторое вліяніе, да и въ различные часы сутокъ процентное содержаніе углекислоты въ воздухѣ различно. Систематическія наблюденія надъ углекислотой производятся въ настоящее время на парижской метеорологической обсерваторіи Монсури; наблюденія эти начались въ 1877 году. Количество углекислоты опредѣляется тамъ ежедневно и результаты наблюденій печатаются каждый годъ въ «Annuaire de l'observatoire de Montsouris».

Самыя наблюденія производятся тамъ слѣдующимъ образомъ. Берутся три склянки, наполненные 20%-ымъ растворомъ ѣдкаго кали. Помощью особаго устройства насоса, черезъ эти три склянки послѣдовательно, сначала черезъ первую, потомъ черезъ вторую и наконецъ черезъ третью протягивается въ теченіи цѣлыхъ сутокъ воздухъ изъ атмосферы; при этомъ содержащая въ воздухѣ углекислота поглощается жидкостью въ склянкахъ, соединяясь химически съ ѣдкимъ кали, образуя соль углекислаго калия и воду. Изъ склянокъ воздухъ идетъ въ особаго рода счетчикъ, который и опредѣляетъ объемъ воздуха, пропущеннаго черезъ растворъ. Почти вся углекислота остается въ первыхъ двухъ склянкахъ; въ растворѣ-же третьей склянки замѣчали—лишь самые ничтожные слѣды углекислоты.

Теперь нужно предѣлить самое количество выдѣленной углекислоты; употребляемый для этой цѣли на обсерваторіи Монсури способъ анализа раствора принадлежитъ химику Мору (Mohr).

Черт. 1.



Въ полдень прекращаютъ пропусканіе воздуха и начинаютъ сначала анализировать растворъ первой склянки. Черезъ крышку склянки — *B* (черт. 1) пропущены двѣ трубки; одну изъ нихъ платиновую, имѣющую у дна склянки *B* расширеніе съ сѣточкою, соединяютъ каучуковою трубкою съ бюреткою *A*, другую соединяютъ также каучуковою трубкою съ верхней частью закрытаго сосуда *D*, наполненнаго водою, поверхность которой покрыта небольшимъ слоемъ нефти ⁽¹⁾. Отъ нижней части сосуда *D* идетъ другая трубка къ цилиндрическому сосуду *F*, раздѣленному на части равныхъ объемовъ. Трубку *A* наклоняютъ, такъ чтобы верхній ея конецъ пришелся противъ уровня жидкости въ сосудѣ *D*; тогда вода не будетъ вытекать черезъ трубку *E*. Послѣ этого наливаютъ въ бюретку *A* со-

⁽¹⁾ Трубка *K*, служитъ только для болѣе удобнаго наполненія его водою.

ляную кислоту, разбавленную водою (берутъ для раствора столько воды, сколько по вѣсу взято кислоты) и отворяютъ кранъ бюретки. Кислота, притекая къ склянкѣ *B* и разлагая угле-каліевую соль, образуетъ хлористый калий и выдѣляетъ воду и углекислоту. Углекислый газъ подымается по трубкѣ *C*, вступаетъ въ сосудъ *D*, и вытѣсняетъ въ склянку *F* равный себѣ объемъ воды, который тамъ и измѣряется. Нефть въ сосудѣ *D* препятствуетъ углекислотѣ растворяться въ водѣ. При этомъ опытѣ нужно постоянно взбалтывать склянку *B*, и если мы увидимъ, что при такомъ взбалтываніи вода не будетъ болѣе переливаться въ склянку *F*, то это послужитъ признакомъ, что вся углекислота выдѣлена изъ раствора. То, что мы сдѣлали съ первой склянкой, должно быть повторено и со второй, и съ третьей, при чемъ обыкновенно изъ второй склянки выдѣляется $\frac{1}{3}$ всей поглощенной углекислоты, а изъ третьей уже почти ничего. При этихъ наблюденіяхъ могла-бы вкратчѣ ошибка, зависящая отъ несовершенной чистоты употребляемаго поташа; а потому необходимо часто опредѣлять, сколько такой же раствора поташа, но чрезъ который воздухъ не былъ пропускаемъ, можетъ выдѣлить углекислоты при приливаніи къ нему извѣстнаго объема хлористоводородной кислоты. Это число надо будетъ отнять отъ всѣхъ предыдущихъ показаній, чтобы получить истинный объемъ углекислоты, заключенный въ данномъ объемѣ воздуха. Само собою разумѣется, что при этихъ изслѣдованіяхъ принимается во вниманіе и температура воздуха ⁽¹⁾ и давленіе атмосферы, какъ въ теченіи сутокъ, такъ и въ моментъ, когда дѣлается опредѣленіе количества углекислоты.

Еще для опредѣленія процентнаго содержанія углекислоты въ воздухѣ существуетъ способъ Мюнца и Обена ⁽²⁾, ничѣмъ существеннымъ не отличающійся отъ способа, употребляемаго въ Монсури, но удобно приспособленный для наблю-

⁽¹⁾ Температура наблюдается въ полдень, 6 часовъ вечера, 9 часовъ утра и опять въ полдень.

⁽²⁾ Müntz et Aubin. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. T. 92. p. 247.

деній надъ углекислотой во время путешествій. Стекланную трубку, наполняютъ пемзою, смоченною растворомъ ѣдкаго кали; концы трубки затѣмъ оттягиваются и запаиваются. Запасъ такихъ трубокъ приготавливаютъ въ лабораторіи. Затѣмъ для изслѣдованій надъ атмосферной углекислотой въ мѣстѣ наблюденій берутъ одну такую трубку, отламываютъ концы, и протягиваютъ черезъ нее при посредствѣ аспиратора или небольшого насоса до 200 литровъ воздуха; послѣ этого концы трубки опять запаиваются. Опредѣленіе количества поглощенной углекислоты можно произвести въ лабораторіи; для этого, отломавъ у трубки запаенные концы, одинъ изъ нихъ соединяютъ со ртутнымъ насосомъ, а въ другой вливаютъ разведенную сѣрную кислоту. Вся углекислота выдѣляется при этомъ и измѣрить ея объемъ не представляетъ никакого затрудненія.

Измѣненіе количества углекислоты въ воздухѣ въ теченіи года.

Углекислота, какъ было раньше замѣчено, не входитъ въ столь постоянной пропорціи въ составъ атмосферы и процентное ея содержаніе подвержено нѣкоторымъ колебаніямъ. Но, несмотря на это по результатамъ продолжительныхъ на-

Мѣсяцы.	Количество углекислоты въ $\frac{1}{10000}$ дол. объема воздуха.
Январь	3,03
Февраль	3,03
Мартъ	2,99
Апрѣль	3,00
Май	3,00
Іюнь	3,07
Іюль	3,01
Августъ	2,96
Сентябрь	2,99
Октябрь	2,93
Ноябрь	2,93
Декабрь	2,93
Среднее	3,00

блюденій, веденныхъ на обсерваторіи Монсури съ 1877 по 1882 г. оказывается, что въ среднемъ мѣсячномъ выводѣ количество углекислоты для различныхъ мѣсяцевъ года почти одинаково, какъ видно изъ таблички помѣщенной на стр. 17, хотя въ различные дни того-же мѣсяца получаемыя числа и значительно отличаются другъ отъ друга (отъ 2 до 4 десятитысячныхъ). Числа въ приведенной табличкѣ показываютъ, что въ среднемъ годовомъ выводѣ (основанномъ на 2500 анализовъ) углекислота занимаетъ въ воздухѣ 0,00030 частей по объему. Этотъ результатъ весьма сходенъ съ результатами наблюденій, произведенныхъ Рейзе въ Діеппѣ. Рейзе получилъ для 1872—1873 г. число 2,942, а для 1879 г. — 2,978. Прежнія изслѣдованія Сосюра дали число 4,15, а наблюденія Буссенго и Леви въ 1840 г. въ Парижѣ дали 4,0. Эти послѣднія два числа конечно не столь надежны, тѣмъ болѣе, что Буссенго и Леви, производя опять тѣ же наблюденія въ Парижѣ въ 1843 г., получили уже число 3,190; Андильи въ Эльзасѣ нашелъ число 2,989, что весьма близко подходит къ результатамъ наблюденій обсерваторіи Монсури.

Приведенная таблица показываетъ еще, что, по крайней мѣрѣ для Монсури, среднее мѣсячное количество углекислоты съ временами года весьма мало мѣняется; но если допустить, что 6-ти лѣтній періодъ наблюденій достаточенъ для опредѣленія этихъ среднихъ мѣсячныхъ величинъ съ точностью до втораго десятичнаго знака, то слѣдовало бы заключить, что осенью наступаетъ незначительный минимумъ, а зимою небольшой максимумъ въ процентномъ содержаніи углекислоты. Этотъ послѣдній выводъ опровергаетъ результатъ не столь многочисленныхъ и систематичныхъ наблюденій Сосюра, изъ которыхъ слѣдуетъ, что зимою углекислоты бываетъ меньше, чѣмъ лѣтомъ, при чемъ отношеніе процентнаго ея содержанія въ 3 зимніе мѣсяца (декабрь, январь, февраль) къ тому-же количеству въ 3 лѣтніе мѣсяца (іюнь, іюль, августъ) равно $\frac{77}{100}$. Кроме того Буссенго и Леви получили въ январѣ 1840 г. количество углекислоты равное, 3,5 десятитысячныхъ объема, а въ іюлѣ 1841 г. 4,3; отношеніе этихъ чиселъ равно $\frac{81}{100}$. Несмотря на сходство результатовъ добытыхъ Сосюромъ, Буссенго и Леви, мы должны довѣриться

больше числамъ, полученнымъ въ обсерваторіи Монсури, такъ какъ наблюденія ведутся тамъ ежедневно и систематично, что очевидно позволяетъ обсерваторіи дѣлать болѣе точные средніе выводы, заслуживающіе поэтому и большаго довѣрія.

О суточномъ
измѣненіи ко-
личества угле-
кислоты.

Суточные перемены въ количествѣ углекислоты не вполнѣ еще выяснены: на сушѣ и въ океанѣ получаются противорѣчивые результаты. Но для одной только суши всѣ наблюденія даютъ согласные результаты, а именно: *на сушѣ ночью углекислоты больше чѣмъ днемъ*.

Слѣдующая таблица это наглядно подтверждаетъ.

Количество углекислоты въ десятитысячныхъ объема.

Наблюдатели.	Днемъ.	Ночью.
Буссенго и Леви	3,9	4,2
Рейзе	меньше	больше
Трошю (въ городѣ)	3,53	4,03
Трошю (въ деревнѣ)	3,14	3,78
Мюницъ и Обенъ (въ деревнѣ) . . .	$\begin{cases} 2,70 \\ 2,79 \end{cases}$	около 3,0

Но для открытаго океана этотъ законъ не вѣренъ. Такъ, Леви въ Атлантическомъ океанѣ получилъ совершенно обратный результатъ. По Леви выходитъ, что:

Въ 3 ч. дня . . . углекислоты 5,420 } десятитысячныхъ
» 3 ч. утра . . . » 3,346 } объема.

Эти числа Леви требуютъ однако проверки.

Посмотримъ теперь, какая причина можетъ послужить къ объясненію того факта, что ночью на сушѣ углекислоты бываетъ больше, чѣмъ днемъ. Извѣстно, что углекислота имѣетъ большое значеніе въ жизни растений; по объясненію Ингенгуса (Ingenhouss) растенія подъ вліяніемъ, свѣта разлагаютъ углекислоту: присваиваютъ себѣ ея углеродъ, превращая его въ

растительные соки, и выделяютъ въ атмосферу остающійся кислородъ. Ночью процессъ разложенія углекислоты за отсутствіемъ свѣта замедляется, а потому становится до нѣкоторой, степени понятнымъ почему этотъ газъ находится ночью въ воздухѣ въ нѣкоторомъ избыткѣ.

Замѣтимъ здѣсь кстати, что такой процессъ въ жизни растений объясняетъ намъ почему атмосферный воздухъ не измѣняетъ своего состава, несмотря на дыханіе животныхъ и горѣніе, которыя въ немъ происходятъ. Образующая при этомъ вредная для животныхъ углекислота представляетъ полезный элементъ для развитія растений и ими поглощается; взамѣнъ поглощенной углекислоты, растенія даютъ столь необходимый для дыханія кислородъ. Благодаря этому обмѣну воздухъ и сохраняетъ свою относительную чистоту.

Несмотря на такое согласіе теоріи съ фактами, нельзя считать этотъ вопросъ еще окончательно рѣшеннымъ, потому, что теорія не даетъ численныхъ данныхъ для провѣрки нашихъ заключеній. Теорія только указываетъ на одну изъ причинъ, способныхъ до извѣстной степени объяснить, почему ночью углекислоты находится въ атмосферѣ нѣсколько болѣе чѣмъ днемъ. По воззрѣніямъ нѣкоторыхъ ученыхъ постоянство состава воздуха обезпечивается не только изложенными процессами, но и присутствіемъ воздуха въ разряженномъ состояніи въ небесномъ пространствѣ. Явленіе, замѣченное Леви, и повидимому противорѣчащее тому, что было наблюдаемо другими на сушѣ, можетъ однако отчасти быть объяснено. Дѣйствительно, въ морѣ нѣтъ растений, а потому дневнаго поглощенія углекислоты и не существуетъ; напротивъ, днемъ, при усиленномъ нагрѣваніи и испареніи, изъ воды можетъ выделяться въ нижній слой атмосферы въ большемъ количествѣ поглощенный водою воздухъ и углекислота; такимъ образомъ можетъ быть объяснено замѣченное Леви дневное увеличеніе процентнаго содержанія углекислоты въ атмосферѣ. Это предположеніе тѣмъ болѣе вѣроятно, что, по вычисленію Шлезинга, въ водахъ океана находится запасъ углекислоты, превышающій въ 10 разъ запасъ этого газа въ самой атмосферѣ. Океанъ по Шлезингу служитъ резервуаромъ углекислоты.

Приведенная таблица показываетъ еще, что, какъ днемъ, такъ и ночью количество углекислоты въ городѣ больше, чѣмъ въ деревнѣ⁽¹⁾. Результатъ этотъ впрочемъ и предвидѣть было не трудно.

Измѣненіе
процентнаго
содержанія
углекислоты
съ перемѣною
высоты.

Вопросъ—измѣняется-ли процентное содержаніе углекислоты съ высотой—можно считать все еще открытымъ, такъ какъ наблюденія не даютъ согласныхъ результатовъ. Такъ, изъ наблюденій Шлагитвейта на восточныхъ и западныхъ Альпахъ оказывается, что процентное содержаніе углекислоты увеличивается съ высотой.

На восточныхъ и западныхъ Альпахъ ⁽²⁾.

Мѣсто наблюденій.	Высота.	Количество углекислоты въ десяти-сячныхъ объемахъ.
Линцъ	752 метра.	4,2
Юханъ-Хютте	246	4,8
Рахернъ	3366	5,8
St. Jean de Gressoney (Піэмонть) . .	1370	4,97
Монтъ Розъ	3162	7,55
Маттеріохъ	3353	9,16
Винцентъ-пирамида	4224	9,32

Слѣдующія наблюденія Трошию, произведенныя въ 1873 году, даютъ обратный результатъ.

⁽¹⁾ Тоже самое слѣдуетъ и изъ прежнихъ наблюденій Сосюра.

⁽²⁾ Pogg. Ann. 76, стр. 448 и 452 и
» » 87, » 248.

Наблюдения Трою.

Мѣсто наблюдений.	Высота.	Количество углекислоты.
Клерманъ-франъ	395 метръ.	3,13
Вершина Puy-de-Dome	1446	2,03
Вершина Пикъ Санси.	1884	1,72

Къ такому-же заключенію пришла и извѣстная Американская экспедиція Ланглея въ Калифорніи, о которой намъ впоследствии придется говорить, хотя надо замѣтить, что вопросъ о процентномъ содержаніи углекислоты въ атмосферѣ не былъ ею столь тщательно изслѣдованъ, какъ другіе вопросы составлявшіе ея цѣль.

Наконецъ сравненія новѣйшихъ изслѣдованій Мюнца и Обена на Пиринеяхъ съ наблюденіями въ обсерваторіи Монсури говорятъ въ пользу того, что никакого измѣненія въ количествѣ углекислоты съ перемѣною высоты не происходитъ.

Наблюдатели.	Мѣсто наблюдений.	Высота.	Количество углекислоты.
Мюнцъ и Обенъ	Пикъ-дю-Миди. .	2877 мет.	2,86
	Пьерфитъ . . .	507	2,89
Обсерв. Монсури .	Вблизи Парижа. .	150 (около)	2,84

Измѣненіе количества углекислоты съ перемѣною мѣста наблюдений.

Разнообразіе многихъ изъ приведенныхъ чиселъ для разныхъ мѣстъ наблюдений зависитъ въ значительной степени отъ разнообразія способовъ наблюдений, а также отъ случайныхъ вліяній, въ дни наблюдений. Основываясь-же на новѣйшихъ, болѣе точныхъ наблюденіяхъ, скорѣе слѣдуетъ допустить, что процентное содержаніе углекислоты въ среднемъ выводъ для разныхъ мѣстъ, открыто расположенныхъ, вездѣ одинаково.

Слѣдующія числа это подтверждаютъ. Рейзе, какъ мы уже видѣли, получилъ изъ своихъ наблюдений въ 1873, 1874 и 1879 годахъ въ Діеппѣ число 2,96, а систематическія наблюденія обсерваторіи Монсури съ 1877 по 1882, даютъ число 3,00. Кромѣ того, изъ предыдущей таблицы видно когда Мюнцъ и Обенъ нашли на Пикъ-дю-Миди число 2,86, въ Монсури въ тотъ-же день получили 2,84.

Леви, хотя и производилъ наблюденія въ 1847 году съ менѣе совершенными приборами, но также получилъ для разныхъ мѣстъ не слишкомъ разнорѣчивые результаты. Колебанія сравнительно не велики для прежнихъ несовершенныхъ способовъ наблюдений.

Наблюдения Леви.

Мѣсто наблюдений.	Количество углекислоты.
Парижъ	4,36
Атлантическій океанъ . . .	4,63
Южная Америка	3,76

Зависимость углекислоты отъ состоянія погоды.

Сосюръ изъ своихъ наблюдений нашелъ, что дождь уменьшаетъ процентное содержаніе углекислоты. Тоже замѣтилъ и Леви въ 1848 г. въ южной Америкѣ. При ясномъ небѣ онъ получилъ 4,573 десяти тысячныхъ объема углекислоты, а при пасмурной и дождливой погодѣ всего только 3,822.

Новѣйшія-же изслѣдованія Мюнца и Обена приводятъ къ совершенно противоположному результату; они нашли, что при пасмурной погодѣ углекислоты больше. Вопросъ такимъ образомъ остается невыясненнымъ.

Запасы углекислоты внутри земной коры.

Многіе факты указываютъ на то, что внутри земной коры находятся большіе запасы углекислоты. Пробиваясь сквозь трещины и отверстія въ твердой земной корѣ, углекислота достигаетъ наконецъ поверхности земли и вступаетъ прямо въ атмосферу. Такихъ мѣстъ, гдѣ выдѣляется изъ земли угле-

кислота, много: въ разныхъ мѣстностяхъ на берегу Рейна, въблизи вулкановъ и пр. Особенно характерно выдѣленіе углекислоты въ извѣстной собачей пещерѣ около Неаполя. При землетрясеніяхъ, при изверженіяхъ также выдѣляется изъ земли углекислота. Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ на большихъ глубинахъ подъ большими давленіями углекислый газъ приходитъ въ соприкосновеніе съ водой, послѣдняя насыщается имъ и, если потомъ она выступаетъ гдѣ нибудь на поверхности земли то выдѣляетъ газъ въ видѣ пузырьковъ; сюда принадлежатъ шипучіе минеральные источники (нѣкоторые изъ Кавказскихъ и другихъ цѣлительныхъ). Либихъ полагаетъ, что углекислые ключи въ Германіи получаютъ углекислоту изъ пластовъ бураго каменнаго угля, образовавшагося вслѣдствіе гніенія растений.

Всѣ эти факты весьма убѣдительно свидѣтельствуютъ о значительныхъ запасахъ углекислоты внутри земной коры.

Амміакъ (NH³).

Способъ измѣренія.

Атмосферный воздухъ заключаетъ въ себѣ и нѣкоторую долю амміака. Систематическія наблюденія надъ атмосфернымъ амміакомъ ведутся въ обсерваторіи Монсури съ 1877 года.

Опредѣленіе амміака, точно также какъ и опредѣленіе углекислоты, производится тамъ ежедневно въ полдень и именно слѣдующимъ образомъ.

Въ теченіе сутокъ атмосферный воздухъ пропускается черезъ склянку, содержащую 30 куб. сант. перегнанной воды и 1 куб. сант. разведенной сѣрной кислоты ⁽¹⁾. Амміакъ, какъ извѣстно, имѣетъ щелочную реакцію, а потому, при проходѣ своемъ черезъ склянку онъ соединяется съ сѣрною кислотой. Объемъ воздуха пропущеннаго въ 1 сутки, опредѣляется какъ и для углекислоты, особымъ счетчикомъ, а для нахождения количества задержаннаго въ склянкѣ амміака употребляется особый приѣмъ. Работа эта довольно сложная, и касается скорѣе

(1) На 9 частей воды взята одна часть сѣрной кислоты.

аналитической химіи, а потому мы не будемъ развивать здѣсь весь ходъ анализа ⁽¹⁾. Укажемъ лишь только на то обстоятельство, что паливаемая въ склянку перегнанная вода сама по себѣ можетъ заключать нѣкоторую долю амміака. Это обстоятельство непременно надо имѣть въ виду при подобныхъ изслѣдованіяхъ; поэтому и производятся особыя наблюденія для опредѣленія какъ велико въ дѣйствительности процентное содержаніе амміака въ употребляемой перегнанной водѣ. Обсерваторія Монсури даетъ въ своихъ изданіяхъ полученные ею результаты числомъ миллиграммовъ азота, входящаго въ составъ амміака на каждые 100 кубическихъ метровъ воздуха. Въ этихъ единицахъ мы и сообщаемъ нижеслѣдующіе результаты, добытые изъ большого числа наблюденій:

М ѣ с я ц ы .	Миллиграммы азота въ амміакѣ на 100 куб. метр. воздуха.
Январь	1,9
Февраль	2,2
Мартъ	2,5
Апрѣль	2,3
Май	2,2
Іюнь	2,3
Іюль	2,2
Августъ	2,5
Сентябрь	2,3
Октябрь	2,2
Ноябрь	2,0
Декабрь	2,0

(Къ страницѣ 26).

(1) Интересующіеся этимъ вопросомъ могутъ обратиться къ Annuaire de l'Observatoire de Montsouris.

Результаты
наблюдений
надъ амміа-
комъ.

1) Семидневныя, а въ иные времена года и десятидневныя среднія показываютъ, что количество амміака ⁽¹⁾ въ составѣ атмосферы измѣняется отъ 0,9 до 6,0 миллиграммовъ на 100 кубическ. метровъ воздуха.

2) За періодъ времени отъ 1877 г. по 1882 г. получились слѣдующіе средніе мѣсячные выводы для количества атмосфернаго амміака. (См. табл. на стр. 25).

Колебанія въ этихъ числахъ, какъ видно, самыя ничтожныя, при чемъ ходъ этихъ данныхъ намекаетъ какъ будто на то, что амміака въ воздухѣ больше лѣтомъ, чѣмъ зимою.

3) Въ среднемъ годовомъ выводѣ колебанія въ количествѣ амміака, содержамаго въ воздухѣ, болѣе значительны. Приводимъ въ подтвержденіе сказаннаго слѣдующую таблицу.

Г о д а.	Количество амміака.
1877	3,2 mgr.
1878	1,8
1879	2,1
1880	1,8
1881	2,2

Любопытны результаты изслѣдованій, произведенныхъ надъ атмосфернымъ амміакомъ въ парижскомъ госпиталѣ Hôtel-Dieu (Salle S-te Jeanne) и въ подземныхъ водосточныхъ каналахъ Парижа. Мы приводимъ изъ нихъ слѣдующія данныя:

(1) Собственно азота, входящаго въ составъ амміака.

Г о д а.	М ѣ с я ц ы.	М он с у р и.	Госпиталь.	Водосточная труба.
1881	Сентябрь.	2,3 mgr.	5,9 mgr.	21,5 mgr.
»	Октябрь.	2,3	7,3	13,7
»	Ноябрь.	2,3	4,3	22,9
»	Декабрь.	2,3	3,5	18,6
1882	Январь.	2,2	4,6	10,0
»	Февраль.	2,8	4,0	14,8
»	Мартъ.	2,7	6,7	11,7
»	Апрѣль.	2,5	6,3	11,5
»	Май.	2,5	5,9	10,8
»	Іюнь.	2,1	8,1	10,9
»	Іюль.	2,0	6,2	12,7
»	Августъ.	2,1	7,4	14,0

Мы видимъ изъ этой таблицы, что амміака въ госпиталѣ въ 3 раза больше, а въ водосточной трубѣ среднимъ числомъ въ 7 разъ больше, чѣмъ на обсерваторіи Монсури.

Изслѣдованія надъ атмосфернымъ амміакомъ производились многими разными учеными и до систематическихъ наблюдений на обсерваторіи Монсури. Изъ нихъ упомянемъ о трубахъ Кемца, Фрезениуса, Грегера (Gräger) и Трошю.

Присутствіе въ атмосферѣ амміака и разныхъ другихъ постороннихъ тѣлъ можетъ быть также обнаружено помощью химическаго анализа дождевой воды; а количественный анализъ даетъ возможность судить и о процентномъ отношеніи разныхъ тѣлъ въ воздухѣ. Этимъ способомъ, за неимѣніемъ

лучшаго, пользовался, на примѣръ, Брандесъ. Буссенго опредѣлялъ количество амміака въ началѣ и въ концѣ дождя и пришелъ къ любопытному результату, что количество амміака, содержаемаго въ дождевой водѣ гораздо значительнѣе въ началѣ чѣмъ при концѣ дождя; это особенно рѣзко обнаруживается при сильныхъ ливняхъ. Буссенго получилъ слѣдующія числа:

Минуты послѣ начала дождя.	Миллиграммы амміака на 1 литръ собраннаго дождя.
1-ая	1,15 мм. мг.
2-ая	0,77
3-ья	0,61
4-ая	0,23
5-ая	0,14

Дождь, такимъ образомъ, очищаетъ воздухъ отъ амміака.

Количественный анализъ дождевой воды представляетъ большой интересъ для сельскаго хозяйства, такъ какъ даетъ возможность исчислить какое количество различныхъ веществъ, питающихъ растеніе, ниспадетъ изъ атмосферы съ дождемъ. Такими изслѣдованіями занимается обсерваторія Монсури, въ которой анализъ дождевой воды производится регулярно во всѣ дни выпаденія метеорныхъ осадковъ ⁽¹⁾. Для этого ежедневно въ 5 ч. в. изъ подъ дождемѣра вынимается стаканъ, въ которомъ скопѣлась за сутки вода; его замѣняютъ пустымъ стаканомъ; а собранную воду перемѣшиваютъ и затѣмъ изъ нее берется образецъ воды, подвергаемый анализу. Зная % содержанія того или другаго вещества въ дождевой

(1) Описание, производимаго анализа, помѣщено въ *Annuaire de l'Observatoire de Montsouris*.

(2) Подъ именемъ амміачнаго азота мы будемъ подразумѣвать азотъ входящій въ составъ амміака.

водѣ и количество выпавшаго дождя, не трудно вычислить какое количество этого вещества выпадаетъ въ мѣсяцъ и въ годъ на единицу поверхности. Вотъ главные результаты полученные въ Монсури въ среднемъ выводѣ за 6 лѣтъ:

	Количество амміачнаго азота ²⁾ на 1 литръ дождев. воды мгр. (окт.1875—авг. 1882 г.)	Количество амміачнаго азота во всемъ количествѣ дождя на 1 кв. м. (1877— 1882 г.).	Количество амміачнаго азота во всемъ количествѣ выпавшихъ осадковъ на десятину.(1877—82 г.).
Январь . .	1,89	60,7 мгр.	0,663 килогр.
Февраль. .	1,66	46,3	0,506
Мартъ . .	1,79	64,6	0,706
Апрѣль . .	1,74	106,7	1,166
Май . . .	1,63	71,2	0,778
Іюнь . . .	1,71	80,6	0,881
Іюль . . .	1,73	79,5	0,869
Августъ. .	1,68	90,9	0,993
Сентябрь .	1,57	98,3	1,074
Октябрь .	1,61	87,7	0,958
Ноябрь . .	1,56	86,1	0,941
Декабрь .	1,74	76,0	0,831
Сумма . .	—	948,6	10,366
Среднее .	1,69	79,1	0,864

Изъ этой таблицы мы видимъ, что процентное количество амміака въ дождѣ наименьшее осенью, когда больше всего выпадаетъ дождя; это какъ-бы подтверждаетъ замѣчаніе Буссенго, что послѣ начала выпаденія дождя вода его становится все бѣднѣе и бѣднѣе содержаніемъ амміака. Общее же количество выпадающаго амміака съ дождемъ достигаетъ наибольшей величины въ апрѣлѣ и осенью, т. е. одновременно съ наибольшимъ количествомъ выпадающихъ осадковъ. Въ общемъ итогѣ въ годъ выпадаетъ на десятину 10,4 килограмма азота, входящаго въ составъ амміака.

Азотная кислота (HNO_3).

Присутствіе азотной кислоты въ атмосферѣ доказывается тѣмъ, что ее находятъ при анализѣ дождевой воды. Берманъ первый доказалъ что она находится въ воздухѣ. Послѣ него изслѣдованіемъ этого вопроса занимались Брандесъ, Либихъ и другіе. Баррель первый дѣлалъ въ теченіе нѣсколькихъ мѣсяцевъ регулярныя опредѣленія количества азотной кислоты, выпадающей съ дождемъ.

Наиболѣе полныя наблюденія, сюда относящіяся дѣлаются въ обсерваторіи Монсури, гдѣ, какъ мы упоминали, дѣлается анализъ дождевой воды во всѣ дни выпаденія дождя.

Въ виду затрудненія отдѣльнаго опредѣленія количества азотной и азотистой кислотъ, въ Монсури опредѣляютъ общій вѣсъ азота, входящаго какъ въ азотную такъ и въ азотистую кислоты. Результаты многолѣтнихъ наблюденій этой обсерваторіи сведены въ таблицѣ помѣщенной на стр. 31.

Пятилѣтнихъ наблюденій недостаточно для вѣрнаго вывода мѣсячныхъ среднихъ, такъ, напримѣръ, максимумъ въ декабрѣ зависитъ отъ необычайно большаго количества азотной кислоты (въ 186 килогр. азота), полученнаго за этотъ мѣсяцъ въ 1879 г.; въ остальные годы выпадало въ этомъ мѣсяцѣ очень немного азота въ этомъ видѣ. Можно только сказать, что въ концѣ лѣта и въ началѣ осени его выпадаетъ болѣе чѣмъ въ концѣ зимы.

Количество азота входящаго въ азотную и азотистую кислоты, въ среднемъ выводъ за 5 лѣтъ.

	Кислоты на 1 литръ дождевой воды.	Общее количество азота, выпадающаго съ дождемъ на 1 кв. метр.	Общее количество азота, выпадающаго съ дождемъ на 1 десятину.
Январь	0,6 мгр.	21,5 мгр.	0,235 кгр.
Февраль.	0,5	17,5	0,191
Мартъ	0,5	18,6	0,203
Апрѣль	0,8	35,7	0,390
Май	0,9	24,2	0,265
Іюнь.	0,6	27,9	0,305
Іюль	0,7	29,2	0,319
Августъ.	0,9	44,4	0,485
Сентябрь	0,9	37,8	0,413
Октябрь.	0,7	42,7	0,467
Ноябрь	0,8	21,4	0,234
Декабрь.	1,1	40,5	0,508
Годъ, сумма	—	367,4	4,015
Среднее	—	30,6	0,335

Въ теченіе года выпадаетъ 4,015 килограммовъ азота въ видѣ азотной и азотистой кислотъ. Въ разные годы это количество бываетъ весьма различно; такъ оно достигало 6,3 килограмма въ 1879—1880 г. и уменьшалось до 1,6 килогр въ 1877—1878 г.

Въ общемъ итогѣ количество азота въ амміакѣ и въ азотной и азотистой кислотѣ выходитъ въ среднемъ выводъ

въ Монсури 14,381 килогр. Въ слѣдующей таблицѣ мы сопоставляемъ этотъ результатъ съ средними годовыми для нѣкоторыхъ другихъ лѣтъ.

Станція.	Годы наблюд.	Общее количеств. азота выпадающаго съ дождемъ на десятину.
Регенвальдъ въ Помераніи.	1864—1867	17,1 килогр.
Проскау (въ Силезіи).	1864—1865	25,6
Флоренція	1870—1872	14,6
Валомбреза (въ Тосканѣ).	—	12,7
Монсури	1876—1882	14,3

Эта табличка составлена по даннымъ, сообщеннымъ въ трудѣ Гг. Лауеса, Гильберта и Варингтона, которые принимаютъ, что среднимъ числомъ землѣ возвращается ежегодно съ дождемъ количество азота въ размѣрѣ около 12,5 килогр. на десятину.

Въ городахъ съ дождемъ выпадаетъ азота въ азотной и азотистой кислотахъ гораздо болѣе, чѣмъ въ деревняхъ; въ особенности разительна разница въ количествѣ амміачнаго азота, какъ это видно изъ слѣдующей таблички.

Мѣста наблюдений.	На 1 литръ дождевой воды выпадаетъ.	
	Азота въ амміакѣ.	Азота въ азотной и азотистой кислотахъ.
Англія, въ деревнѣ . .	0,88 мгр.	0,19 мгр.
» » городахъ . .	4,25	0,22
Шотландія, въ деревнѣ .	0,44	0,08
» » городахъ.	3,15	0,30
» » Глазговѣ.	7,49	0,63
Въ Монсури	1,69	0,75

О содержаніи углерода и водорода въ атмосферѣ.

Амміакъ, какъ извѣстно, есть продуктъ гніенія органическихъ веществъ а потому съ вѣроятіемъ можно предполагать, что въ составъ воздуха, кромѣ упомянутыхъ газовъ входятъ еще образующіяся при гніеніи, углеродисто-водородныя соединенія.

И дѣйствительно еще Сосюръ открылъ присутствіе въ воздухѣ углерода, а Буссенго опредѣлилъ процентное содержаніе его въ атмосферѣ; для Ліона онъ получилъ 0,012%. Что же касается водорода, то въ Парижѣ Буссенго не удалось открыть присутствіе этого газа въ атмосферѣ; для Ліона же онъ получилъ числа, колеблющіяся между 0,0002% и 0,0020%.

И такъ въ атмосферѣ встрѣчаются и углеродъ и водородъ, хотя и въ весьма маломъ % количествѣ.

Озонъ.

войства озона.

Озонъ былъ открытъ въ 1840 году извѣстнымъ химикомъ Шейнбейномъ (Schoenbein); этотъ газъ представляетъ ничто иное, какъ кислородъ, пріобрѣвшій дѣйствіемъ электричества, или подъ вліяніемъ нѣкоторыхъ химическихъ процессовъ особыя, отличительныя свойства; можно такимъ образомъ сказать, что озонъ есть аллотропическое состояніе кислорода.

Озонъ обладаетъ весьма сильнымъ сродствомъ къ прочимъ тѣламъ и имѣетъ слѣдовательно весьма энергичное окислительное дѣйствіе; это его самое характерное свойство. Металлы обыкновенно окисляются кислородомъ только при высокихъ температурахъ, озонъ же даетъ окиси немедленно и при самыхъ обыкновенныхъ условіяхъ температуры. Находясь въ присутствіи металлическихъ окисей, озонъ превращаетъ ихъ въ перекиси: напр. окись марганца въ перекись марганца, окись свинца въ перекись свинца и т. д. Кромѣ того озонъ имѣетъ особый характерный запахъ (*), напоминающій запахъ

(*) Отсюда и названіе озона, отъ греческихъ словъ «чувствую запахъ».

фосфора; на легкія озонъ дѣйствуетъ раздражительно, возбуждая кашель; мелкіе организмы не выдерживаютъ дѣйствія озона и умираютъ. Вообще всѣ органическія тѣла весьма сильно окисляются озономъ, а нѣкоторыя такъ даже прямо сжигаются имъ, разлагаясь при этомъ на составныя части. Настоя бакаута окрашивается озономъ въ синій цвѣтъ, а лакмусовая бумага быстро озономъ обезцвѣчивается. Въ чистомъ видѣ еще не удавалось получить озонъ. Когда желаютъ добыть этотъ газъ, то пропускаютъ чрезъ кислородъ или атмосферный воздухъ рядъ электрическихъ искръ; тогда часть кислорода превращается въ озонъ. Лучше еще если кислородъ подвергается такъ называемому тихому разряженію, не сопровождающемуся электрическими искрами. Можно еще электролизомъ слабо окисленной воды, получить вмѣстѣ съ кислородомъ и нѣкую долю озона. Если, погруженный отчасти въ воду фосфоръ, выставить на воздухъ, то надъ нимъ въ воздухѣ замѣчается по запаху присутствіе озона. На этомъ основаніи можно добывать озонъ, пропуская воздухъ черезъ склянку, въ которой находится вода съ отчасти выступающими надъ ея поверхностью кусками фосфора; но никакими способами никогда не удавалось образовать въ кислородѣ болѣе 8% чистаго озона; но, если изъ озонированнаго кислорода удалить озонъ, то затѣмъ оставшуюся часть кислорода можно опять озонировать, и дѣйствуя такимъ образомъ постепенно обратитъ весь кислородъ въ озонъ. Это и есть лучшее доказательство того, что озонъ есть кислородъ въ измѣненномъ состояніи по своимъ свойствамъ.

Наблюденія надъ плотностью озона, вообще говоря, затруднительны, такъ какъ озонъ въ чистомъ видѣ еще не удавалось получить; однако такія изслѣдованія были всетаки предприняты (*) и привели они къ тому результату, что плотность озона въ $1\frac{1}{2}$ раза болѣе плотности кислорода, т. е. изъ 3 объемовъ кислорода образуется 2 объема озона; замѣ-

(*) Опредѣляютъ объемъ кислорода до и послѣ озонирования. Работа Clans, Andreus, Tail и Soret.

чательна аналогія этого явленія съ образованіемъ водянаго пара, причемъ 2 объема водорода соединяясь съ 1 объемомъ кислорода даютъ 2 объема водянаго пара. Слѣдовательно при образованіи озона кислородъ соединяется самъ собою почти также какъ соединяется онъ съ водородомъ при образованіи воды. Озонъ можно поэтому назвать окисью кислорода, такъ какъ вода есть окись водорода. Такъ какъ, при тѣхъ-же условіяхъ давленія и температуры въ равныхъ объемахъ двухъ газовъ находится одинаковое число молекулъ (законъ Авогардо), то мы должны заключить, что каждая молекула озона состоитъ изъ 3 атомовъ кислорода, тогда какъ молекула кислорода въ обыкновенномъ видѣ состоитъ изъ двухъ атомовъ этого газа.

Для открытія присутствія озона въ атмосферѣ, можно воспользоваться дѣйствіемъ озона на іодистый калий. Если взять бумагу и пропитать ее растворомъ іодистаго калия и крахмала, то, подъ вліяніемъ озона кислородъ соединяется съ калиемъ, вытѣсняя іодъ, который соединяется съ крахмаломъ, образуя тѣло, извѣстное подъ названіемъ іодистаго крахмала. Присутствіе іодистаго крахмала обнаруживается весьма легко по синему окрашиванію бумаги (іодистый крахмалъ имѣетъ синій цвѣтъ). Этотъ способъ наблюденій обладаетъ весьма большою чувствительностью; приготовленные такимъ образомъ бумажки называются озонетрами; онѣ впервые были предложены Шейнбейномъ. Для сравненій разныхъ оттѣнковъ, которые отъ дѣйствія озона принимаютъ озонетрическія бумажки, существуетъ особая шкала, на которой нанесены разные оттѣнки синяго цвѣта; прикладывая такую шкалу къ озонетрической бумажкѣ, можно судить о количествѣ озона, поглощеннаго изъ атмосферы.

Всѣ вещества, которыя дѣйствіемъ озона окисляются, *антозонируютъ* ранѣе озонированный воздухъ, то есть поглощаютъ изъ воздуха озонъ, оставляя въ немъ лишь обыкновенный кислородъ.

Антозонъ.

Нѣкоторые окислы и перекиси металловъ (окислы серебра, ртути, золота, платины) перекиси, марганца, свинца содер-

жать въ себѣ кислородъ обладающимъ хотя въ меньшей степени свойствами озона; эти тѣла легко уступаютъ кислородъ другимъ тѣламъ, окисляя ихъ. Перекись водорода или окисленная вода, образуемая изъ одного объема водорода съ однимъ объемомъ кислорода, слѣдовательно содержащая въ себѣ вдвое большее количество кислорода чѣмъ воды, и вообще перекиси легкихъ металловъ, какъ напримѣръ барія, также содержатъ въ себѣ кислородъ въ особомъ состояніи, но свойства его по учению Шейнбейна нѣсколько отличаются отъ свойствъ обыкновеннаго озона, а потому Шейнбейнъ называетъ его «антозономъ».

Антозонъ только въ присутствіи нѣкоторыхъ постороннихъ тѣлъ, называемыхъ переносными, можетъ проявить тѣ же самыя дѣйствія, какъ и обыкновенный озонъ: окрасить растворъ бакаута, разложить іодистый калий и пр. Къ такимъ переноснымъ тѣламъ принадлежатъ: губчатая платина, соль желѣзистой закиси, кровяныя клѣточки и пр. (¹) Другое замѣчательное свойство антозона заключается въ томъ, что, если перекись тяжелаго металла привести въ соприкосновеніе съ перекисью водорода или перекисью какого нибудь легкаго металла, то озонъ и антозонъ при этомъ взаимно нейтрализуются, перекиси, разлагаясь, превращаются въ окиси, а обыкновенный кислородъ выдѣляется.

Каждый разъ когда озонъ образуется въ присутствіи воды, часть послѣдней превращается въ перекись водорода. Для объясненія всѣхъ этихъ явленій, Шейнбейнъ построилъ слѣдующую гипотезу. Онъ предположилъ, что оба атома молекулы кислорода наэлектризованы, —одинъ положительно, другой отрицательно, и что при обыкновенныхъ условіяхъ оба эти электричества взаимно нейтрализуются. При пропусканіи электрическихъ искръ, или при какомъ нибудь химическомъ процессѣ, эти атомы кислорода разъединяются, отрицательный идетъ преимущественно къ перекиси тяжелаго металла и образуетъ

(¹) Эти тѣла называются переносными потому, что они въ дѣйствительности переносятъ кислородъ.

въ немъ озонъ, положительный-же въ соединеніи съ перекисью легкаго металла даетъ антозонъ. Такая гипотеза поясняетъ во—первыхъ, почему при соприкосновеніи двухъ перекисей разныхъ металловъ озонъ съ антозономъ взаимно нейтрализуются; во вторыхъ, почему при электролизѣ воды получается въ перекиси водорода антозонъ. Дѣйствительно, при этомъ процессѣ одинъ атомъ разложившейся молекулы въ соединеніи съ кислородомъ даетъ озонъ, другой-же атомъ образуетъ въ перекиси водорода антозонъ.

Должно однако замѣтить, что допущенію въ перекиси водорода другаго кислорода чѣмъ въ озонъ противорѣчитъ тотъ фактъ, что изъ перекиси барія сѣрная кислота образуетъ озонъ, а соляная перекись водорода (¹).

О содержаніи озона въ атмосферѣ.

По мнѣнію Шейнбейна, Реслхубера, Мейснера, Хузо (²) и другихъ, образованіе озона въ атмосферѣ обуславливается дѣйствіемъ атмосфернаго электричества. Подъ вліяніемъ положительнаго электричества облаковъ и отрицательнаго электричества, скопляющагося на поверхности земли, также какъ и при разряженіи электричества, кислородъ воздуха поляризуется и образуется въ атмосферѣ озонъ. Шейнбейнъ открывшій присутствіе озона въ атмосферѣ, указалъ и на важность наблюденій надъ атмосфернымъ озономъ; для чего предложилъ употреблять озонометрическія бумажки.

Въ концѣ 40-хъ годовъ Шейнбейнъ самъ принялся за эти изслѣдованія; онъ выставлялъ на воздухъ обыкновенно на 12 часовъ бумажку, пропитанную растворомъ іодистаго калия и крахмала. Отъ дѣйствія озона бумажка начинала синѣть и по измѣненію ея цвѣта можно было судить о количествѣ озона въ атмосферѣ. Шейнбейнъ при этомъ допускалъ, что окрашиваніе бумажки пропорціонально количеству поглощеннаго ею озона.

(¹) Основы Химіи Д. Менделѣева, 1869. Часть I, стр. 339.

(²) Houzeau. Sur l'ozon atmosphérique Annales de chimie et physique 1872 г. Т. XXVII, р. 59.

Эти наблюденія тотчасъ-же обнаружили, что количество озона въ атмосферѣ подвержено значительнымъ колебаніямъ. Убѣдившись въ связи этихъ колебаній съ ходомъ метеорологическихъ элементовъ и нѣкоторыхъ болѣзней, Шейнбейнъ обратился къ метеорологамъ, врачамъ и аптекарямъ съ просьбою заняться озонметрическими наблюденіями, и, для того, чтобы можно было сравнивать всѣ наблюденія между собою, онъ предложилъ всѣмъ наблюдателямъ употреблять бумажки, изготовленныя совершенно по одинаковому образцу. Такія бумажки изготовлялись подъ руководствомъ самаго-же Шейнбейна въ Базелѣ и разсылались вмѣстѣ съ цвѣтной шкалой десятибальной системы всѣмъ лицамъ, изъявившимъ желаніе принимать участіе въ этихъ изслѣдованіяхъ. На шкалѣ Шейнбейна бѣлый цвѣтъ соотвѣтствовалъ нулю, а темно-фіолетовый 10; между 0 и 10 заключались всѣ промежуточные оттѣнки. Озонметрическія бумажки должны были быть выставлены на открытомъ мѣстѣ вдали отъ веществъ, поглощающихъ озонъ (какъ напримѣръ газовъ гніющихъ животныхъ организмовъ и пр.) и защищены отъ дождя и непосредственнаго дѣйствія солнечныхъ лучей. Озонметрическая бумажка, выставленная на болѣе или менѣе продолжительное время (8, 12 или 24 часа), погружалась затѣмъ въ дистиллированную воду, послѣ чего къ ней прикладывалась разноцвѣтная шкала, и соотвѣтствующій номеръ оттѣнка вносился въ журналъ наблюденій.

Многіе откликнулись на воззваніе Шейнбейна и начали производить наблюденія, но добытые такимъ образомъ результаты были однако не всегда согласны между собою и въ нѣкоторыхъ случаяхъ даже совсѣмъ противорѣчивы. Такъ напримѣръ Вольфъ въ Бернѣ получилъ максимумъ озона въ Мартѣ, Хузо въ Руанѣ въ маѣ, Веберъ въ Мангеймѣ въ іюлѣ, Пристлей въ Эмденѣ въ мартѣ и сентябрѣ и т. д.

Въ 1872 году Дорандтъ (*) подвергъ обстоятельной критикѣ, какъ способъ наблюденій, такъ и добытые различными

наблюдателями результаты. Дорандтъ при этомъ справедливо замѣчаетъ, что, пока не будетъ неоспоримымъ образомъ доказано, что окрашиваніе бумажки зависитъ только отъ атмосфернаго озона, выводами такихъ наблюденій можно пользоваться лишь съ большою осторожностью. Сводка всѣхъ лучшихъ озонметрическихъ наблюденій привела Дорандта къ слѣдующимъ общимъ выводамъ:

1) Окрашиваніе бумажекъ въ большинствѣ случаевъ получается наибольшее весной, наименьшее осенью.

2) Ночью бумажки болѣе окрашиваются, нежели днемъ.

3) При низкой температурѣ, при низкомъ давленіи, при сильномъ вѣтрѣ, при большой влажности, при облачномъ небѣ и при дождѣ окрашиваніе бумажекъ значительнѣе, нежели при обстоятельствахъ противоположныхъ. Вліяніе-же направленія вѣтра зависитъ отъ мѣстныхъ условій и заранѣе опредѣлено быть не можетъ.

Сдѣлавъ эти выводы, Дорандтъ поставилъ слѣдующій вопросъ: можно-ли по цвѣту озонметрической бумажки судить о количествѣ озона въ атмосферѣ? Въ дѣйствительности оказывается, что на окрашиваніе озонметрической бумажки вліяютъ много различныхъ обстоятельствъ, которыя при этихъ наблюденіяхъ непременно нужно имѣть въ виду. Озонъ, какъ было уже замѣчено, имѣетъ сильную степень сродства ко многимъ тѣламъ и особенно энергично окисляетъ разныя животныя вещества, а потому въ городахъ, въ селеніяхъ и ихъ окрестностяхъ, гдѣ происходитъ въ изобиліи разложеніе органическихъ веществъ, сопровождающееся выдѣленіемъ амміака и сѣрнистаго водорода, озонъ въ значительной степени поглощается изъ атмосферы. Озонметрическая бумажка не можетъ при этихъ условіяхъ, по замѣчанію Дорандта, дать надежныхъ результатовъ, такъ какъ она подвержена дѣйствію не полного количества атмосфернаго озона. Дѣйствительно очень многое зависитъ отъ удачнаго выбора мѣста наблюденій: въ городахъ, напримѣръ, часто вовсе не замѣчаютъ озона, а въ жилыхъ помѣщеніяхъ бумажки Шейнбейна и совсѣмъ даже не окрашиваются.

(*) Zur kritik der Ozonbeobachtungen v. F. Dohrandt. Метеорол. Сборн. Т. III, № 4, С.-Петербургъ 1873 г.

Зимою и при низкой температурѣ разложеніе организмовъ замедляется; то-же бываетъ и ночью, въ пасмурную погоду и при дождѣ⁽¹⁾, а потому и понятно, почему при этихъ условіяхъ, какъ мы видѣли, озонотрическія бумажки сильнѣе окрашиваются.

Чтобы показать огромное вліяніе мѣстныхъ условій на результаты наблюденій, приведемъ слѣдующіе два примѣра. Въ Кенигсбергѣ 7 дней подъ рядъ велись одновременно наблюденія на двухъ противоположныхъ сторонахъ дома. На западной сторонѣ надъ замощеннымъ узкимъ дворомъ получилось по озонотрической шкалѣ для количества атмосфернаго озона число 1,5; на восточной-же сторонѣ дома—9,0. Въ Краковѣ также на двухъ противоположныхъ сторонахъ одной башни получились разныя количества озона.

Обработавъ результаты прежнихъ озонотрическихъ наблюденій и, указавъ на затрудненія, встрѣчаемыя при изслѣдованіяхъ этого рода, Дорандъ затѣмъ разбираетъ недостатки самаго способа наблюденій съ озонотрическими бумажками.

Наблюденія эти не даютъ вѣрнаго понятія даже объ относительномъ количествѣ озона, находящагося въ атмосферѣ. Впервые бумажки Шейнбейна сами по себѣ обладаютъ существенными недостатками. Несмотря на то, что употребляемая озонотрическая бумага приготовлялась въ одной и той-же мастерской подъ руководствомъ самого Шейнбейна, все-таки оказалось невозможнымъ достигнуть полной ея однородности; по этой то причинѣ и бываетъ часто, что два озонотриметра, выставленные на то-же время въ томъ-же мѣстѣ, принимаютъ различныя окрашиванія. Во-вторыхъ оказывается, что въ первые часы пребыванія бумажекъ на открытомъ воздухѣ, выдѣленіе іода происходитъ довольно быстро, но затѣмъ это выдѣленіе совершается все медленнѣе и медленнѣе и черезъ нѣкоторое время совсѣмъ даже прекращается; бумажка тогда не только перестаетъ окрашиваться, но даже начинаетъ немного обезцвѣчиваться. Отсюда видно, что, положенное Шейн-

⁽¹⁾ Меньшее выдѣленіе газовъ.

бейномъ въ основаніе озонотрическихъ наблюденій, предположеніе, что реактивное дѣйствіе, наблюдаемое въ озонотрирахъ, пропорціонально количеству озона, находящагося въ атмосферѣ и числу часовъ, на которое озонотриръ былъ выставленъ, совершенно невѣрно. Этимъ то и объясняется, почему озонотриметры Шейнбейна даютъ гораздо большія величины для атмосфернаго озона при частой смѣнѣ бумажекъ, чѣмъ при рѣдкой.

Выцвѣчиваніе бумажки объясняется главнымъ образомъ улетучиваніемъ самаго іода изъ раствора, а также и тѣмъ обстоятельствомъ, что іодъ, оставаясь долгое время на воздухѣ, подверженъ окисленію и даетъ іодноватую кислоту, которая не окрашиваетъ крахмала въ синюю краску. Наконецъ и близь-находящіяся органическія вещества могутъ оказать свое вліяніе; изъ нихъ часто выдѣляется сѣрнистый водородъ, который въ соединеніи съ іодомъ освобождаетъ сѣру и образуетъ іодисто-водородную кислоту, которая не окрашиваетъ озонотрической бумаги.

Кромѣ всѣхъ вышеупомянутыхъ причинъ, вредно отзывающихся на точность озонотрическихъ наблюденій, можно указать еще и на вредное вліяніе атмосферной азотной кислоты. Азотная кислота сама по себѣ, независимо отъ озона, обладаетъ свойствомъ разлагать іодистый калий и давать озонотрической бумажкѣ синеватое окрашиваніе. Такимъ образомъ окончательный цвѣтъ, принимаемый озонотриетромъ, является уже результатомъ совокупнаго дѣйствія озона и азотной кислоты, такъ что приборъ Шейнбейна до нѣкоторой степени совсѣмъ даже и не оправдываетъ своего названія.

Изъ всего сказаннаго видно, что точныя, сравнимыя между собою наблюденія, съ озонотриетрами Шейнбейна почти невозможны.

Были придуманы и другіе способы для наблюденій надъ атмосфернымъ озономъ. Такъ напримѣръ Пьеръ и Плесь пропускали значительный объемъ атмосфернаго воздуха черезъ растворъ іодистаго калия; количество выдѣленнаго при этомъ іода опредѣлялось титрованіемъ слабымъ растворомъ сѣрной кислоты.

Озонометри-
ческія наблю-
денія въ Мон-
сури.

Съ 1876 года на обсерваторіи Монсури стали произво-
диться ежедневныя систематическія наблюденія надъ атмосфер-
нымъ озономъ; сущность этихъ наблюденій заключается въ
томъ, что опредѣляютъ сколько по вѣсу приходится озона на
100 куб. метровъ атмосфернаго воздуха. Для этой цѣли про-
пускаютъ въ теченіе цѣлыхъ сутокъ атмосферный воздухъ
черезъ нѣкоторый растворъ, содержащій въ себѣ на 20 куб.
сант. дистиллированной воды, 2 куб. сант. раствора мышья-
ковисто-каліевой соли съ прибавленіемъ іодистаго калия; при-
чемъ объемъ пропущеннаго черезъ растворъ воздуха опредѣ-
ляется особымъ счетчикомъ. Озонъ при этомъ процессѣ оки-
сляетъ мышьяковисто-каліевую соль и превращаетъ ее въ
мышьяково-каліевую соль. Іодистый-же калий при этой реак-
ціи имѣетъ лишь второстепенное значеніе; онъ только способ-
ствуетъ успѣшнѣйшему взаимному реагированію соприкасаю-
щихся въ растворѣ элементовъ и самъ непосредственно не
принимаетъ въ реакціи никакого участія.

Каждый день въ 12½ часовъ прекращаютъ пропусканіе
воздуха и опредѣляютъ особымъ титрованіемъ (*) сколько
мышьяковистой соли было превращено въ соль мышьяковой
кислоты; отсюда не трудно уже получить и количество задер-
жаннаго въ склянкѣ озона, соотвѣтствующаго извѣстному
объему воздуха, протянутаго въ теченіе сутокъ чрезъ данный
растворъ.

При этихъ изслѣдованіяхъ нѣтъ надобности пропускать
воздухъ послѣдовательно черезъ нѣсколько склянокъ съ тѣмъ-
же растворомъ, такъ какъ все количество озона, заключеннаго
въ данномъ объемѣ воздуха, выдѣляется въ первой склянкѣ,
въ чемъ убѣдился особеннымъ опытомъ директоръ обсерваторіи
Маріе-Дэви (Mariè-Davy).

Результаты
наблюденій въ
Монсури.

Результаты этихъ болѣе точныхъ наблюденій, будучи со-
поставлены съ данными, полученными съ озонометрами Шейн-
бейна, показали, что, хотя въ отдѣльныхъ наблюденіяхъ и
существуютъ большія разногласія, но въ окончательномъ сред-

(*) Подробности см. въ Annuaire de l'Observatoire de Montsouris.

немъ выводѣ оказывается, что цвѣтъ бумаги дѣйствительно
главнымъ образомъ зависитъ отъ количества озона въ атмо-
сферѣ: чѣмъ больше озона, тѣмъ темнѣе цвѣтъ бумаги. Но
для точныхъ изслѣдованій озонометрическія бумажки не при-
годны.

По наблюденіямъ въ Монсури въ среднемъ выводѣ за
шесть лѣтъ количество озона распредѣляется по временамъ
года слѣдующимъ образомъ.

М ѣ с я ц ы.	Количество озона на 100 куб. метръ воздуха.
Январь	1,0 мгр.
Февраль.	1,4
Мартъ	1,3
Апрѣль	1,0
Май	1,1
Іюнь	1,1
Іюль	1,2
Августъ	1,1
Сентябрь	1,0
Октябрь.	1,0
Ноябрь	1,1
Декабрь.	0,7
Среднее	1,1

Изъ этой таблицы мы видимъ, что числа, выражающія
количество атмосфернаго озона въ разные мѣсяцы года, под-
вержены лишь незначительнымъ колебаніямъ, причемъ еще
оказывается, что воздухъ наиболѣе всего озонированнымъ
бываетъ въ февралѣ, менѣе-же всего въ декабрѣ.

Ежедневныя наблюденія въ Монсури показали еще, что
наименьшее количество озона замѣчается при вѣтрахъ, дуо-

щихъ съ сѣвера (отъ NW до ESE); при южныхъ-же вѣтрахъ, а особенно при SW-ыхъ, воздухъ оказывается гораздо болѣе озонированнымъ, какъ можно видѣть изъ слѣдующей таблички, гдѣ послѣдніе два столбца показываютъ число дней, въ которые дули экваторіальныя и полярныя вѣтры въ разные года.

Г о д ы.	Количество озона.	Экваторіальныя вѣтры.	Полярныя вѣтры.
1877	1,9	219	86
1878	1,5	204	118
1879	0,8	175	132
1880	0,6	182	144

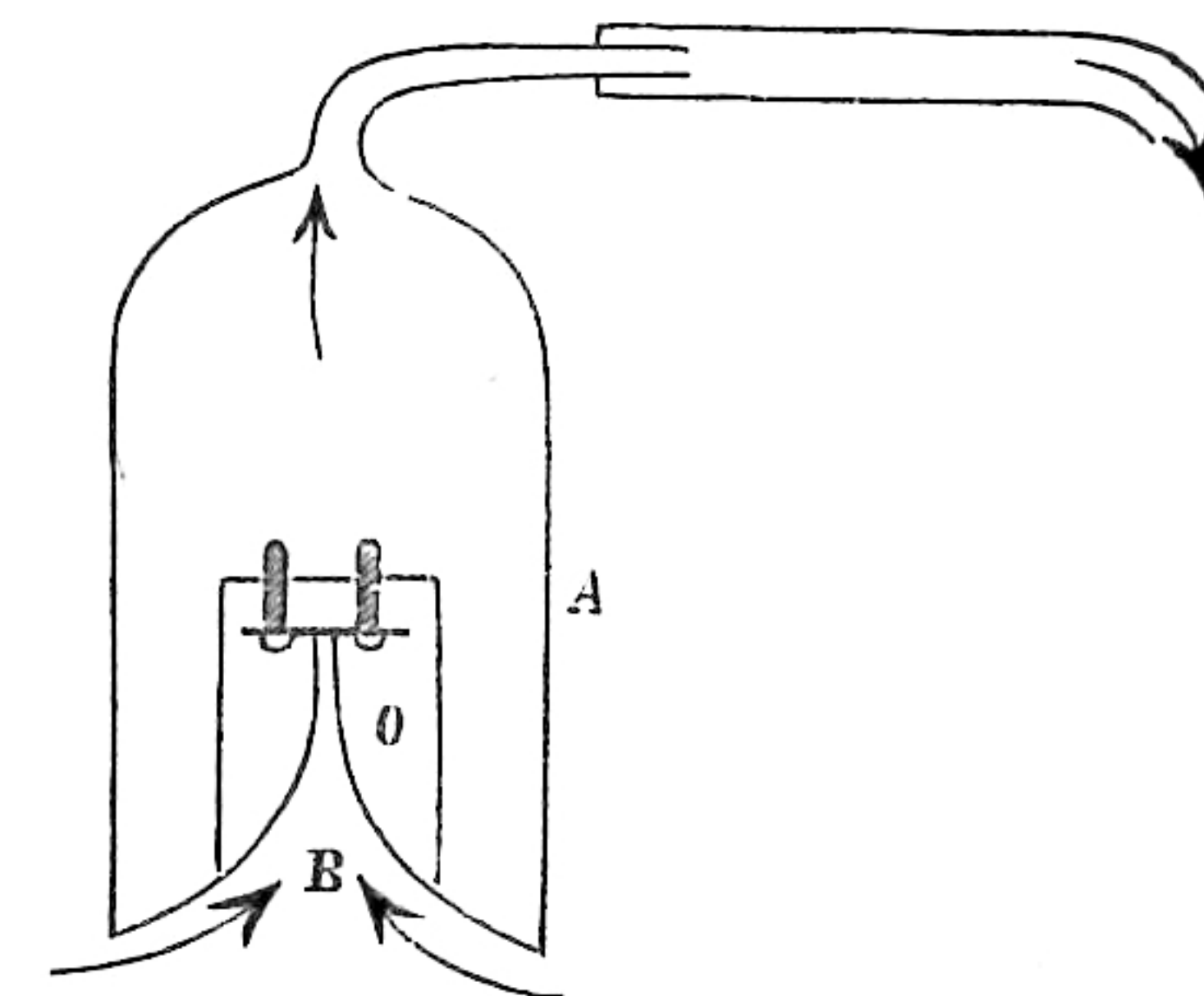
Это вліяніе вѣтра на количество атмосфернаго озона можетъ отчасти быть объяснено близостью Парижа, находящагося какъ-разъ къ сѣверу отъ обсерваторіи Монсури, а въ большихъ городахъ, какъ извѣстно воздухъ всегда бываетъ менѣе озонированнымъ, чѣмъ въ открытыхъ мѣстностяхъ, а отчасти и тѣмъ обстоятельствомъ, что въ этой части Европы юго-западные вѣтры имѣютъ океаническое происхожденіе, а потому они, вообще говоря, богаче содержаніемъ озона.

Атмосферная пыль.

Кромѣ различныхъ газообразныхъ тѣлъ, входящихъ въ составъ атмосферы и нами ранѣе разсмотрѣнныхъ, въ воздухѣ усматривается еще множество разнообразныхъ мельчайшихъ твердыхъ органическихъ и неорганическихъ частицъ, которымъ присвоено общее названіе атмосферной пыли. Частицы эти плаваютъ въ воздухѣ, но ихъ особенно много въ закрытыхъ помѣщеніяхъ, гдѣ онѣ могутъ безъ труда быть усмотрѣны при проникновеніи солнечнаго луча въ темную комнату, какъ всякому конечно это не разъ приходилось наблюдать.

Атмосферная пыль осѣдаетъ вмѣстѣ съ дождемъ и можетъ слѣдовательно быть анализирована. Этимъ еще въ 1825 году занялся Брандесъ, который нашелъ, что на 1000000 частей, по вѣсу собранной имъ дождевой воды, приходится въ среднемъ годовомъ выводѣ 2,6 частей постороннихъ твердыхъ примѣсей, при чемъ наибольшее количество атмосферной пыли наблюдалось въ январѣ (6,5 частей), а наименьшее въ маѣ — (0,8 частей). Въ Монсури съ 1877 производятся систематическія наблюденія надъ атмосферною пылью; для этихъ изслѣдованій на упомянутой обсерваторіи употребляется слѣдующій приемъ:

Черт. 2.



Чрезъ сосудъ А (черт. 2), оканчивающійся внизу воронкою В, имѣющею весьма узкое горло (О), протягивается при посредствѣ аспиратора воздухъ; счетчикъ, какъ при опредѣленіи другихъ составныхъ частей атмосферы, отмѣчаетъ объемъ пропущен-

наго воздуха. Надъ отверстіемъ воронки (О), въ весьма близкомъ разстояніи, укрѣпляется на винтахъ стеклянная пластинка, на которой находится капля глицерина, смѣшаннаго съ птичьимъ клеемъ. Воздухъ, устремляясь черезъ узкое отверстіе воронки, встрѣчаетъ стеклянную пластинку и отлагаетъ на глицеринѣ атмосферную пыль. Пластинки разсматриваются затѣмъ подъ микроскопомъ, при чемъ опредѣляется количество, видъ и форма разныхъ частицъ, входящихъ въ составъ атмосферной пыли. Описанный приборъ носитъ названіе *аэроскопа*.

Многочисленныя изслѣдованія, произведенныя съ аэроскопомъ, показали, что въ составъ атмосферной пыли входитъ много разнообразныхъ минеральныхъ и органическихъ веществъ; послѣднія встрѣчаются въ видѣ клѣточекъ, шариковъ и пр. Наиболѣе крупныя частицы атмосферной пыли (въ 0,002 миллиметра и больше) главнымъ образомъ состоятъ изъ подобныхъ клѣточекъ или такъ называемыхъ споровъ, дающихъ

начало разнымъ растеніямъ и нѣкоторымъ бактеріямъ; часто также попадаются и крупныя пылинки крахмала, частицы цвѣточной пыли и пр. Количество крупной атмосферной пыли, заключенной въ опредѣленномъ объемѣ воздуха, опредѣляется слѣдующимъ образомъ. Разсматривая внимательно пластинку, считаютъ сколько частицъ, съ діаметромъ, превышающимъ 0,002 миллиметра, наблюдается въ полѣ зрѣнія микроскопа; умножая это число на отношеніе поверхности всей пластинки къ поверхности той части ея, которая непосредственно видна въ микроскопъ, и, зная объемъ воздуха, протянутаго сквозь приборъ, не трудно рассчитать, какое количество крупныхъ пылинокъ или споръ приходится на единицу объема, то есть на 1 кубическій метръ воздуха. Хотя этотъ способъ наблюденій и не удовлетворителенъ для абсолютныхъ измѣреній, такъ какъ не вся атмосферная пыль осаждается на глицеринѣ, но, при употребленіи совершенно подобныхъ аэроскоповъ и микроскоповъ и при полной тождественности пріемовъ наблюденій, можно получать вполне сравнимыя между собою данныя и опредѣлять такимъ образомъ относительное содержаніе атмосферной пыли въ воздухѣ въ разныхъ мѣстахъ и въ разные времена года. Употребляется еще иногда и другой пріемъ, состоящій въ томъ, что тщательно вычищенный сосудъ подвергается охлажденію; тогда на стѣнкахъ сосуда, вмѣстѣ съ искусственной росой, осаждается и атмосферная пыль.

Вотъ результаты, добытыя въ Монсури въ среднемъ выводѣ за 2 года.

В р е м е н а г о д а .	Число споръ на 1 куб. метръ.
Осенью	10700 споръ.
Зимой	5800
Весной	13200
Лѣтомъ	32500

Среднее за годъ 15550.

Таблица показываетъ, что наибольшее количество споръ замѣчается лѣтомъ, то есть при высокой температурѣ, наименьшее-же зимой. Замѣчено также, что при дождѣ число споръ въ атмосферѣ увеличивается.

Вслѣдствіе особаго расположенія Монсури къ югу отъ Парижа, оказывается, что при сѣверныхъ вѣтрахъ въ составъ атмосферной пыли входитъ больше угля и крахмалистыхъ веществъ; что-же касается до споръ, то ихъ бываетъ больше при южныхъ вѣтрахъ. Это послѣднее обстоятельство, по мнѣнію Микеля (Miquel), подъ руководствомъ котораго и производятся эти изслѣдованія въ Монсури, происходитъ отъ случайнаго расположенія паразитной растительности къ югу отъ обсерваторіи. Споры, вообще говоря, не признаются вредными для здоровья, но только нѣкоторые изъ нихъ носятъ въ себѣ зачатки вредныхъ микроорганизмовъ.

Бактеріи.

Кромѣ споръ, представляющихъ въ своей сущности зачаточное начало, въ составъ атмосферной пыли входятъ еще и живыя микроорганизмы или бактеріи. Нѣкоторыя изъ нихъ чрезвычайно вредны, и присутствіе этихъ мельчайшихъ организмовъ въ атмосферѣ обуславливаетъ, по мнѣнію многихъ ученыхъ, эпидемическій характеръ болѣзней. Систематическія изслѣдованія надъ бактеріями также производятся въ Монсури. Для этой цѣли микроскопы, увеличивающіе даже въ 1000 разъ, уже болѣе непригодны; приходится прибѣгать къ болѣе чувствительнымъ пріемамъ и пользоваться способомъ, предложеннымъ знаменитымъ французскимъ ученымъ Пастеромъ.

Сущность этого способа заключается въ слѣдующемъ: Особаго рода питательный бульонъ готовится при достаточно высокой температурѣ; высокая температура обладаетъ, какъ извѣстно, свойствомъ уничтожать разные мелкіе организмы. Если подобный бульонъ поставить въ закрытое помѣщеніе, тщательно дезинфицированное, то есть очищенное отъ всевозможныхъ микроорганизмовъ, то этотъ бульонъ можетъ простоять тамъ нѣсколько дней, не обнаруживая ни малѣйшихъ признаковъ броженія (*).

(*) Броженіе, какъ полагаютъ есть результатъ жизнедѣтельности микроорганизмовъ.

онъ хоть одну бактерію, какъ она, встрѣтивъ благопріятныя условія для своего развитія, начнетъ размножаться съ чрезвычайной быстротой, и чрезъ день, два, весь бульонъ станетъ мутнымъ и будетъ содержать милліоны бактерій. На этомъ явленіи и основанъ способъ изученія степени зараженія воздуха разными микроорганизмами.

Атмосферный воздухъ пропускается при посредствѣ аспиратора чрезъ бульонъ Пастера; если эту операцію производить не долго, то бульонъ не станетъ мутиться, что послужитъ вѣрнымъ признакомъ того, что въ немъ не содержится бактерій. Отъ пропусканія же 50—100 литровъ воздуха, бульонъ черезъ нѣкоторое время обнаружитъ признаки зараженія. Нужно опытомъ, оцупью, найти тотъ объемъ воздуха, который слѣдуетъ пропустить чрезъ свѣжій бульонъ, чтобы изъ 10 отдѣльныхъ опытовъ, половинное число пропусканій воздуха сопровождалось замутненіемъ испытуемой жидкости. Допускаютъ тогда, что такимъ образомъ въ опредѣленномъ объемѣ воздуха, заключается среднимъ числомъ одна бактерія; отсюда уже не трудно будетъ опредѣлить сколько бактерій приходится на цѣлый кубическій метръ воздуха (1000 литровъ). Если, подвергая такой зараженный бульонъ анализу микроскопа, окажется, что онъ содержитъ въ себѣ нѣсколько различныхъ видовъ бактерій, то число, полученное непосредственнымъ образомъ изъ наблюденій, надо будетъ еще умножить на число замѣченныхъ видовъ бактерій, дабы получить понятіе о полномъ количествѣ микроорганизмовъ, содержащихся въ 1 кубическомъ метрѣ атмосфернаго воздуха.

При этихъ изслѣдованіяхъ не ограничиваются результатами отдѣльныхъ наблюденій, а полагаются лишь только на окончательные средніе выводы. Этотъ способъ наблюденій—конечно менѣе точекъ, чѣмъ микроскопическія изслѣдованія споръ, но тѣмъ не менѣе, при тщательномъ выполненіи работы и при сохраненіи тождественности всѣхъ условій наблюденій, можно получить довольно надежныя и сравнимыя между собою результаты.

Вотъ средніе выводы за три года изъ наблюденій Микеля въ Монсури:

М ѣ с я ц ы.	Число бактерій въ 1 куб. метрѣ воздуха.
Октябрь.	169
Ноябрь.	128
Декабрь.	50
Январь.	48
Февраль.	48
Мартъ	67
Апрѣль	55
Май	105
Іюнь	51
Іюль	95
Августъ	80
Сентябрь	108

Таково распредѣленіе бактерій по мѣсяцамъ года; отсюда видно, что наименьшее число бактерій бываетъ зимою, наибольшее же осенью, въ среднемъ же выводѣ за цѣлый годъ на одинъ кубическій метръ воздуха приходятся 82 бактеріи. ⁽¹⁾ Ежедневныя наблюденія, кромѣ того, показали что, въ противоположность спорамъ, количество бактерій замѣтно уменьшается при дождѣ. Окончательную связь числа атмосферныхъ бактерій съ ходомъ нѣкоторыхъ болѣзней нельзя считать еще вполне установленной хотя и замѣчено, что на болѣе зараженные микро-

⁽¹⁾ Числа эти получены при употребленіи бульона Либиха; но въ настоящее время приготавливаютъ болѣе чувствительные бульоны, дающіе числа въ 7 разъ большія. Однако относительный ходъ этихъ чиселъ съ мѣсяцами года остается всетаки тѣмъ же самымъ.

организмами мѣстности выпадаетъ и большее число смертей отъ нѣкоторыхъ заразительныхъ болѣзней (какъ напр.: корь, скарлатина, коклюшъ, дифтеритъ и пр.)

Чтобы показать вліяніе города на относительную чистоту воздуха, приведемъ слѣдующую таблицу, представляющую результаты наблюденій, произведенныхъ въ 1881 и 1882 годахъ надъ бактеріями въ обсерваторіи Монсури (находящейся за городомъ) и въ VI округѣ (arrondissement) Парижа, на многолюдной улицѣ Риволи, вблизи самаго центра города.

Мѣсяцы.	Число бактерій.	
	Въ Монсури.	На улицѣ Риволи.
Октябрь 1881 г.	114	1070
Ноябрь » .	70	780
Декабрь « .	52	530
Январь 1882 г. .	63	160
Февраль » .	84	200
Мартъ » .	35	560
Апрѣль » .	60	850
Май » .	40	970
Іюнь » .	21	300
Іюль » .	43	420
Августъ » .	81	710
Сентябрь » .	74	840
Среднее . . .	62	620

Итакъ оказывается, что въ Парижѣ на улицѣ Риволи, среднее число бактерій въ 10 разъ больше, чѣмъ въ Монсури.

Наблюденія, кромѣ того, показываютъ, что среднее число бактерій мѣняется изъ года въ годъ и при томъ совершенно

въ томъ-же отношеніи для обоихъ мѣстъ, какъ можно видѣть въ слѣдующей таблицѣ:

Г о д а.	Число бактерій, средніе выводы за годъ на 1 куб. метръ воздуха.	
	Въ Монсури.	На улицѣ Риволи.
1880—1881 . .	89	880
1881—1882 . .	62	620

Въ верхнихъ слояхъ атмосферы меньше бактерій. Если принять число бактерій въ Монсури за 100, то въ Парижѣ на улицѣ Риволи ихъ будетъ 1000 и въ томъ же городѣ, на верху Пантеона на высотѣ 74 метр.⁽¹⁾ надъ поверхностью земли всего только 62.

Въ заключеніе приведемъ числа, дающія понятіе о сравнительной чистотѣ воздуха въ госпиталѣ и на улицѣ.

Мѣсяцы.	Число бактерій на 1 куб. метръ воздуха.	
	Въ госпиталѣ «Ala Pitié».	На улицѣ Риволи.
Мартъ 1881 г. .	10900	750
Апрѣль » . . .	10100	970
Май » . . .	10700	1000
Іюнь » . . .	5100	1540
Іюль » . . .	6400	1400
Августъ » . . .	6070	960
Сентябрь » . . .	9450	990
Октябрь » . . .	12550	1070
Ноябрь » . . .	15300	780
Декабрь » . . .	25100	530
Январь 1882 г. .	14450	160
Февраль » . . .	12750	200

(¹) Высота Пантеона 83 м., а опыты дѣлались на 9 метровъ ниже вершины этого зданія.

Приведенная таблица показываетъ намъ, что воздухъ на улицахъ Париза менѣе зараженъ бактеріями, чѣмъ воздухъ въ госпиталѣ; при этомъ годовой ходъ приведенныхъ чиселъ въ обоихъ столбцахъ совершенно различенъ. Больше всего бактерій бываетъ въ госпиталѣ зимой; лѣтомъ-же ихъ гораздо меньше, не смотря на то, что наружный воздухъ лѣтомъ менѣе чистъ. Это явленіе объясняется просто тѣмъ, что лѣтомъ госпитальныя палаты лучше вентилируются.

ГЛАВА II.

РАСПРЕДѢЛЕНІЕ ТЕПЛОТЫ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ.

Распредѣленіе теплоты у верхняго предѣла атмосферы.

Земная поверхность получаетъ свою теплоту отъ трехъ различныхъ источниковъ: 1) отъ внутреннихъ слоевъ земли, 2) отъ звѣздъ и 3) отъ солнца.

Согласно съ современными воззрѣніями на строеніе нашей планеты, земля состоитъ изъ расплавленнаго ядра покрытаго слоемъ охладившейся твердой коры. Справедливость этого положенія подтверждается изверженіями вулкановъ, землетрясеніями и болѣе высокой температурой нижнихъ слоевъ земли. Кромѣ того, такое строеніе земнаго шара согласуется и съ геніальной гипотезой о системѣ міра, установленной философомъ Кантомъ и развитой на основаніи математическаго ана-

лиза знаменитымъ Лапласомъ⁽¹⁾. Такимъ образомъ мы видимъ, что земная поверхность въ дѣйствительности должна получать чрезъ теплопроводность нѣкоторую долю теплоты отъ внутреннихъ слоевъ земли.

Въ настоящее время мы можемъ допустить, что земная кора уже болѣе не остываетъ чувствительнымъ образомъ, дѣйствительно, если притекающая къ ней теплота не вознаграждала-бы вполне потерю теплоты отъ лученспусканія, то мы замѣтили бы изъ года въ годъ постепенное повсемѣстное пониженіе температуры; но на самомъ дѣлѣ, даже въ теченіе многихъ столѣтій, можно сказать съ начала историческаго времени такого измѣненія температуры не замѣчалось. Поэтому надо допустить, что земная кора въ отношеніи теплоты пришла уже въ состояніе равновѣсія, то-есть что вся теплота, притекающая къ земной поверхности вполне вознаграждаетъ потерю теплоты отъ лученспусканія. Если даже допустить, что земная кора немного и охлаждается, то это охлажденіе столь ничтожно, что оно можетъ быть обнаружено только развѣ по истеченіи тысячелѣтій, а потому для нашихъ цѣлей мы вполне можемъ считать равновѣсіе наступившимъ, а слѣдовательно и не принимать во вниманіе теплоты внутренняго ядра земли при изученіи распредѣленія теплоты на земной поверхности.

Звѣзды удалены отъ насъ на огромныя разстоянія; свѣтъ отъ ближайшей изъ нихъ (α центавра) требуетъ для того, чтобы достигнуть нашей планеты, болѣе 3-хъ лѣтъ, не смотря на огромную скорость свѣта, а потому понятно, что вліяніе каждой звѣзды, взятой въ отдѣльности, весьма ничтожно, такъ какъ количество теплоты, притекающей на единицу поверхности, обратно пропорціонально *квадрату* разстоянія. Но съ другой стороны число всѣхъ звѣздъ чрезвычайно велико, такъ какъ кромѣ всѣхъ видимыхъ простымъ глазомъ звѣздъ, существуютъ еще цѣлыя соимы небесныхъ міровъ доступныхъ лишь

⁽¹⁾ Нѣкоторые ученые считаютъ, что въ центрѣ земли находится твердое ядро и только въ пространствѣ между этимъ ядромъ и внѣшней земной оболочкой находится жидкій слой расплавленныхъ веществъ (Теорія Hopkins'a).

только сильнымъ телескопамъ; потому нельзя еще а priori утверждать, что совокупное вліяніе всего этого множества звѣздъ будетъ въ дѣйствительности вполне нечувствительно. Мнѣнія ученыхъ объ этомъ вопросѣ расходятся. Многіе полагаютъ, что температура небеснаго пространства не особенно низка и что наша планета получаетъ отъ звѣздъ довольно значительное количество теплоты; это послѣднее мнѣніе основывается на слѣдующихъ соображеніяхъ:

Пулье (Pouillet) нашелъ помощью особаго прибора, съ которымъ мы далѣе познакомимся, что земля среднимъ числомъ получаетъ въ 1 минуту на 1 кв. сантиметръ 1,76 малыхъ калорій⁽¹⁾; эта теплота могла-бы въ теченіи года обратить въ воду при 0° слой льда въ 31 метръ, распредѣленный однороднымъ образомъ по всей поверхности земли. Съ другой-же стороны оказывается, что средняя изъ всѣхъ среднихъ годовыхъ температуръ для разныхъ точекъ земной поверхности приблизительно равна + 15° Ц.; количество теплоты соотвѣтствующей этой средней температурѣ могло, бы въ теченіе года обратить въ воду при 0° слой льда въ 57 метровъ. Отсюда Пулье и пришелъ къ тому заключенію, что избытокъ слоя льда въ 26 метровъ можетъ быть расплавленъ только при содѣйствіи теплоты, получаемой землей отъ звѣздъ. Количество звѣздной теплоты, получилось такимъ образомъ довольно значительное; на основаніи этихъ данныхъ Пулье и опредѣлилъ температуру небеснаго пространства и нашелъ для нее = 142° Ц.—

Къ такому же почти выводу пришелъ и Джонъ-Гершель изучая ходъ измѣненія температуры съ высотой, на основаніи наблюденій, произведенныхъ Гей-Люссакомъ Решемъ (Rusch'a) и Уэльшемъ при поднятіяхъ ихъ на аэростатахъ. Если взять двѣ координатныя оси и отложить по оси абсциссъ температуры, а по оси ординатъ—соотвѣтствующія давленія и соединить полученныя такимъ образомъ точки согласною кривою, то не трудно будетъ приблизительно опредѣлить, гдѣ эта кривая должна пересѣчь ось абсциссъ, иначе говоря, какую темпе-

(1) Малая калорія есть теплота, потребная для повышенія температуры одного грамма дистиллированной воды на 1°, и именно отъ 0° до 1° Ц.

ратуру показаль-бы термометръ у верхняго предѣла атмосферы. Принявъ, что въ этомъ случаѣ термометръ показываетъ среднюю температуру между температурою земной поверхности и температурою небеснаго пространства, Гершель получилъ, что температура небеснаго пространства равна—150° Ц.; это число весьма близко подходитъ къ упомянутому результату, полученному Пулье. Не смотря на всю научную авторитетность такихъ людей, какъ Пулье и Гершель, по новѣйшимъ изслѣдованіямъ скорѣе слѣдуетъ допустить, что температура небеснаго пространства, гораздо ниже, и быть можетъ близко подходитъ къ абсолютному нулю⁽¹⁾. Дѣйствительно оказывается, что число 1,76, данное Пулье и выражающее число калорій получаемыхъ въ одну минуту на 1 кв. сант., слишкомъ мало. Послѣдующія наблюденія дали большія числа, послѣднія-же изслѣдованія Ланглея проводятъ къ числу 3,07 кал. Въ этомъ случаѣ оказывается, что теплота, получаемая землей отъ звѣздъ, совершенно уже ничтожна, и температура небеснаго пространства весьма близко подходитъ къ абсолютному нулю, такъ какъ слой льда въ 57 метровъ можетъ быть расплавленъ почти весь при посредствѣ одной лишь солнечной теплоты, если признать опредѣленіе Ланглея надежнымъ. Лангей при этомъ говоритъ, что по непосредственнымъ наблюденіямъ и по вычисленіямъ, основаннымъ на надежныхъ данныхъ, онъ пришелъ къ тому заключенію, что земля получаетъ отъ звѣздъ въ 1 минуту на единицу поверхности лишь 0,0001 калорій.

Въ подтвержденіе справедливости сдѣланнаго заключенія, Лангей приводитъ еще слѣдующія соображенія. По новѣйшимъ воззрѣніямъ слѣдуетъ признать, что свѣтъ и теплота представляютъ въ сущности ту-же форму энергіи, выражающуюся въ колебательномъ движеніи частицъ эфира. Разница между свѣтомъ и теплотою заключается только въ различіи длины эфирныхъ волнъ; свѣтовые волны, вообще говоря, короче, хотя, какъ извѣстно, на нѣкоторомъ протяженіи свѣтовой и тепловой спектры, совпадаютъ и существуютъ слѣ-

(1) Абсолютный нуль соотвѣтствуетъ—273° Ц.

довательно волны, которая производятъ одновременно явленія свѣта и теплоты. Существуетъ такимъ образомъ извѣстное соотношеніе между свѣтовой и тепловой энергіей испускаемой тѣмъ-же тѣломъ. Изъ фотометрическихъ-же наблюденій надъ сплюснутаго свѣта, издаваемого солнцемъ и самой яркой звѣздой, Сиріусомъ оказывается, что, если сила свѣта Сиріуса будетъ принята за 1, то сила свѣта солнца выражается громаднымъ числомъ $4 \cdot 10^{10}$ (приблизительно). Съ другой же стороны сила свѣта общей сложности всѣхъ другихъ звѣздъ, до 7-й величины включительно не превышаетъ 100; следовательно сила свѣта всѣхъ звѣздъ менѣе $\frac{1}{4 \cdot 10^8}$ силы свѣта солнца.

Но солнце даетъ 3 калорій въ минуту; а потому, допустивъ пропорціональность свѣтовой и тепловой энергіи, оказывается, что совокупность всѣхъ звѣздъ, до 7-ой величины включительно, можетъ дать лишь $\frac{3}{4 \cdot 10^8}$ калорій въ 1 минуту времени на 1 квадратный сантиметръ поверхности. Теплота эта совершенно ничтожна (1).

И такъ все разнообразіе въ распредѣленіи теплоты на земной поверхности, всѣ перемѣны, происходящія въ теченіе сутокъ и съ временами года въ каждомъ мѣстѣ, зависятъ, можно сказать, исключительно отъ солнца.

Разсмотримъ теперь, какъ распредѣлилась бы теплота, получаемая отъ солнца, по земной поверхности въ предположеніи, что земля не окружена воздушной оболочкой, иначе говоря, чтобы не выходить изъ области дѣйствительныхъ фактовъ, будемъ искать распредѣленіе теплоты, получаемой отъ солнца, у верхняго предѣла атмосферы. Задача эта рѣшается просто на основаніи законовъ физики и при помощи нѣкоторыхъ астрономическихъ соображеній.

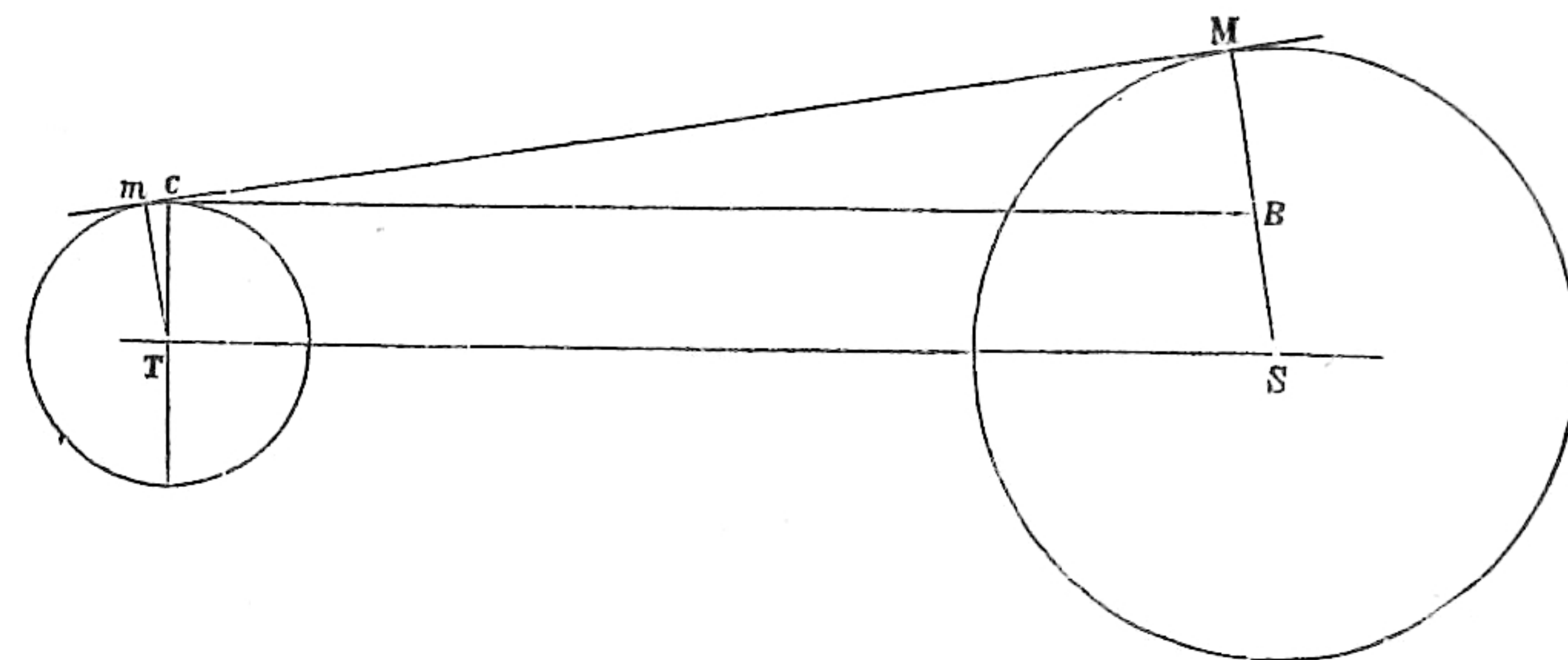
Прежде всего замѣтимъ, что такъ какъ діаметръ солнца значительно больше діаметра земли, то во всякій данный мо-

(1) Если принять во вниманіе звѣзды менѣйшихъ величинъ, то это число нѣсколько увеличится, тѣмъ болѣе, что до нѣкотораго предѣла общая совокупность звѣздъ менѣйшихъ величинъ, даже невидимыхъ глазомъ, даетъ больше свѣта, а следовательно и теплоты, чѣмъ совокупность звѣздъ болѣйшихъ величинъ.

ментъ солнце освѣщаетъ и нагрѣваетъ своими лучами болѣе половины земной поверхности, такъ что нагрѣваемая имъ часть земной поверхности отдѣляется отъ ненагрѣваемой не-большимъ кругомъ земнаго шара, перпендикулярнымъ къ линіи, соединяющей центры солнца и земли, а малымъ кругомъ ему параллельнымъ и отстоящимъ отъ большого круга въ не-большомъ разстояніи. Опредѣлимъ ширину полосы земной поверхности нагрѣваемой солнцемъ за предѣлами большого круга.

Пусть, на чертежѣ 3, S представляетъ центръ солнца, T— центръ земли, mM общая касательная къ поверхностямъ земли и солнца, точка m будетъ на границѣ освѣщенной и не освѣщенной части. Проведемъ земной радіусъ mT и другой радіусъ cT перпендикулярный къ линіи ST соединяющей центръ солнца съ центромъ земли; mc даетъ ширину полосы освѣщаемой и нагрѣваемой солнцемъ за предѣломъ большого круга перпендикулярнаго къ ST.

Черт. 3.



Опредѣлимъ уголъ $mTc = \varepsilon$; для этого проведемъ черезъ m линію mB параллельную ST; назовемъ радіусъ вектора земли ST черезъ d , радіусъ солнца MS черезъ r , — радіусъ земли $mT = cT$ черезъ r ; тогда будемъ имѣть:

$$\angle mTc = \varepsilon = \angle MmB.$$

$$\sin \varepsilon = \frac{MB}{mB}$$

$MB = r$; $mB = d$; следовательно мы имѣемъ:

$$\sin \varepsilon = \frac{r-d}{d}$$

Величина радіуса вектора земной орбиты d выражается, какъ известно, такъ:

$$d = \frac{l(1 - e^2)}{1 + e \cos v}$$

гдѣ l есть большая полуось, e эксцентриситетъ земной орбиты, а v истинная аномалія ⁽¹⁾.

Найдемъ наибольшую и наименьшую величину ε . Максимъ ε будетъ при $v=0$, а минимъ при $v=180^\circ$

$l=23300$ земнымъ радіусамъ.

ρ равно 109 р.

$e=1/60$.

Отсюда

$\sin \varepsilon \max = 0,004714 \quad \varepsilon \max = 16', 2.$

$\sin \varepsilon \min = 0,004559 \quad \varepsilon \min = 15', 7.$

$1'$ большого круга земнаго шара имѣетъ, какъ известно, протяженіе въ 1 морскую милю.

Такимъ образомъ только небольшая полоса въ 16 миль нагрѣвается за предѣломъ большого круга; ширина ея въ разныя времена года, какъ видно, немного мѣняется. Внизу атмосферы, у земной поверхности слѣдуетъ, сверхъ упомянутого, принять во вниманіе дѣйствіе рефракціи; отъ совокупнаго вліянія обѣихъ причинъ освѣщаемая и нагрѣваемая полоска имѣетъ почти втрое большіе размѣры.

Изъ физики известно, что напряженіе теплородныхъ лучей обратно пропорціонально квадрату разстоянія до источника теплоты и прямо пропорціонально синусу угла, составляемаго данными лучами съ элементомъ разсматриваемой поверхности. Эти два закона и опредѣляютъ распредѣленіе тепла на поверхности земли ⁽²⁾.

Такъ какъ о напряженіи теплородныхъ лучей мы можемъ судить лишь по количеству теплоты ими доставляемой тѣлу,

⁽¹⁾ Истинная аномалія v равна разности гелиоцентрическихъ долготъ земли и перигелія.

⁽²⁾ Собственно говоря у предѣла атмосферы, но для сокращенія будемъ говорить у поверхности земли; о вліяніи атмосферы будетъ говорено ниже.

на которое они падаютъ, то мы условимся называть напряженіемъ теплородныхъ лучей количество теплоты получаемое отъ нихъ на единицѣ поверхности перпендикулярной къ лучамъ, въ единицу времени а именно въ одну минуту.

Не трудно видѣть, что уголъ, составляемый солнечными лучами съ элементомъ поверхности, есть ничто иное, какъ истинная высота солнца h или дополненіе до 90° его зенитнаго разстоянія z . Назовемъ черезъ I_0 напряженіе теплородныхъ лучей солнца, испытываемое на поверхности земли при вертикальномъ паденіи лучей, при среднемъ удаленіи земли отъ солнца R_0 ; тогда напряженіе лучей I , при любомъ удаленіи солнца R и при любомъ зенитномъ разстояніи его z , на основаніи приведенныхъ законовъ физики, мы будемъ имѣть слѣдующее выраженіе:

$$I = I_0 \cdot \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 \cos z.$$

Но изъ астрономіи известно, что, чѣмъ дальше солнце находится отъ земли, тѣмъ меньше его видимый полудіаметръ и именно, что

$\frac{R_0}{R} = \frac{\sin a}{\sin a_0}$, гдѣ a и a_0 видимые полудіаметры солнца при разстояніяхъ R и R_0 , но, по малости a , мы можемъ положить

$$\frac{R_0}{R} = \frac{a}{a_0}$$

Подставляя эту величину въ предыдущую формулу, получимъ:

$$I = I_0 \left(\frac{a}{a_0} \right)^2 \cos z$$

Зенитное разстояніе z вычисляется по известнымъ приѣмамъ астрономіи, а полудіаметръ « a » можетъ быть выбираемъ на данный день изъ Nautical Almanach; средняя-же величина полудіаметра $a_0 = 16' 2'' = 962''$.

И такъ вычисленіе напряженія солнечныхъ лучей I не представляетъ никакого затрудненія, разъ что численная величина I_0 , то есть напряженіе солнечныхъ лучей при нормальномъ ихъ паденіи на элементъ поверхности, при среднемъ разстояніи земли до солнца, будетъ известно. Мы увидимъ

впослѣдствіи, какъ это I_0 опредѣляется, теперь же займемся только относительнымъ распредѣленіемъ теплоты на земной поверхности.

Для примѣра возьмемъ тотъ случай, когда $a=a_0$ и солнце находится въ меридіанѣ. Тогда, обозначая чрезъ φ широту мѣста, а чрезъ δ склоненіе солнца, мы будемъ имѣть

$$I = I_0 \cos (\varphi - \delta).$$

Въ дни же равноденствія

$$I = I_0 \left(\frac{a}{a_0} \right)^2 \cos \varphi.$$

То есть во время равноденствія теплота, получаемая землей отъ солнца въ полдень на какомъ нибудь меридіанѣ, достигаетъ наибольшей величины у экватора и уменьшается съ увеличеніемъ широты пропорціонально косинусу послѣдней.

Среднее на-
пряженіе сол-
нечной теп-
лоты.

Мы до сихъ поръ разсматривали распредѣленіе теплоты въ нѣкоторый опредѣленный моментъ; разсмотримъ-же теперь въ какой зависимости находится количество теплоты, получаемой землей въ теченіе сутокъ, отъ широты мѣста и отъ времени года.

Обратимся для этого къ прежней формулѣ:

$$I = I_0 \left(\frac{a}{a_0} \right)^2 \cos z.$$

Изъ астрономіи извѣстно, что

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t,$$

гдѣ t есть часовой уголъ солнца или истинное время.

Отсюда

$$I = I_0 \left(\frac{a}{a_0} \right)^2 (\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t).$$

Согласно съ вышележеннымъ, величина I есть то количество теплоты, которое выпадаетъ на единицу перпендикулярной къ лучамъ поверхности въ 1 минуту.

Idt даетъ намъ количество теплоты, получаемой въ безконечно малый промежутокъ времени dt . Сумма такихъ выраженій ($\sum I dt$) за все то время, что солнце находилось надъ горизонтомъ и нагревало земную поверхность, выразитъ намъ искомое количество теплоты, получаемой единицей поверхности въ теченіе цѣлыхъ сутокъ.

Искомую сумму мы можемъ найти по правиламъ интегральнаго исчисленія. Въ данномъ для I выраженіи φ —широта мѣста — есть величина постоянная, δ —склоненіе солнца, хотя и мѣняется съ t , но измѣненіе это такъ мало, что въ теченіе сутокъ мы можемъ считать δ постояннымъ.

То-же самое можно сказать и про $\frac{a}{a_0}$.

Пусть количество теплоты, получаемой за цѣлыя сутки на единицѣ поверхности, будетъ A ; тогда

$$A = \int_{-T}^{+T} I dt$$

Интегрированіе надо произвести отъ $-T$ до $+T$, гдѣ T есть часовой уголъ солнца при восходѣ или заходѣ (они равны, потому что мы пренебрегаемъ измѣненіемъ склоненія).

Величина T опредѣляется по слѣдующей простой формулѣ:

$\cos T = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta$, которая получается изъ прежней формулы для $\cos z$, если положить въ ней $z=90^\circ$.

Итакъ мы имѣемъ

$$A = \int_{-T}^{+T} I dt = \int_{-T}^{+T} I_0 \left(\frac{a}{a_0} \right)^2 \left\{ \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \right\} dt \text{ или}$$

$$A = 2 I_0 \left(\frac{a}{a_0} \right)^2 \left\{ \sin \varphi \sin \delta \cdot T + \cos \varphi \cos \delta \sin T \right\}$$

Таково выраженіе для A ; здѣсь, при установленномъ нами значеніи I , T въ первомъ членѣ выражаетъ число минутъ времени въ часовомъ уголѣ солнца при восходѣ или заходѣ солнца; а для того чтобы второй членъ выразить въ тѣхъ же единицахъ его слѣдуетъ умножить на $\frac{1440}{2\pi}$.

Чтобы получить среднюю величину напряженія теплородныхъ лучей за цѣлыя сутки надо A раздѣлить на 24 часа или 1440, т. е. на число минутъ заключающихся въ 1 суткахъ или на 2π , смотря потому въ единицахъ-ли времени или въ частяхъ радіуса выраженъ часовой уголъ T .

Тогда это среднее напряжение i выразится слѣдующимъ образомъ:

$$i = \frac{I_0 \left(\frac{a}{a_0} \right)^2}{720} \left\{ \sin \varphi \sin \delta \cdot T + \frac{720}{\pi} \cos \varphi \cos \delta \sin T \right\} (*) \dots (1),$$

Здѣсь « i » представляетъ то напряжение, съ которымъ солнечные лучи должны-бы были нагревать земную поверхность равномерно въ теченіе цѣлыхъ сутокъ, чтобы сообщить то количество теплоты, которое въ дѣйствительности сообщается солнцемъ въ то время, какъ оно совершаетъ свой дневной путь надъ горизонтомъ даннаго мѣста.

Въ высокихъ широтахъ бываютъ дни, когда солнце цѣлая сутки находится надъ горизонтомъ (это бываетъ когда $\delta > 90 - \varphi$).

Тогда въ формулѣ (1) надо положить $T=720$ и $\sin T=0$; въ этомъ случаѣ мы имѣемъ:

$$i = I_0 \left(\frac{a}{a_0} \right)^2 \sin \varphi \sin \delta.$$

Приложимъ общую формулу (1) къ нѣкоторымъ частнымъ случаямъ. Въ день весенняго равноденствія, когда склоненіе солнца равно нулю и когда T для всѣхъ мѣстъ на земной поверхности $= 90^\circ$ и $\sin T=1$, общая формула даетъ:

$$i = \frac{I_0 \left(\frac{a}{a_0} \right)^2}{\pi} \cos \varphi.$$

гдѣ « a » представляетъ полудіаметръ солнца въ этотъ день.

Для экватора $i = \frac{I_0 \left(\frac{a}{a_0} \right)^2}{\pi}$. Если это среднее суточное напряжение на экваторѣ въ день весенняго равноденствія мы

(*) Еслибы T и $\sin T$ были выражены въ доляхъ окружности при радіусѣ $=1$ то получили-бы.

$$i = \frac{I_0 \left(\frac{a}{a_0} \right)^2}{\pi} \left\{ \sin \varphi \sin \delta T + \cos \varphi \cos \delta \sin T; \right\}$$

очевидно оба выраженія тождественны; необходимо только помнить въ какихъ единицахъ выражены въ томъ и другомъ случаѣ величины T и $\sin T$.

примемъ за 1000, то для всякой другой широты среднее напряжение выразится такъ:

$$i = 1000 \cos \varphi.$$

Въ день лѣтняго солнцестоянія мы будемъ имѣть:

$$i = \frac{I_0 \left(\frac{a}{a_0} \right)^2}{\pi} \left\{ \sin \varphi \sin 23\frac{1}{2}^\circ \cdot T + \cos \varphi \cos 23\frac{1}{2}^\circ \cdot \sin T. \right\}$$

Здѣсь часовой уголъ при восходѣ и заходѣ солнца T и $\sin T$ выражены въ доляхъ окружности при радіусѣ $=1$.

Съ возрастаніемъ φ , T также возрастаетъ (T на экваторѣ $= \frac{\pi}{2}$), а $\cos \varphi$ и $\sin T$ убываютъ. Если идти отъ экватора къ полюсу, то въ предыдущемъ выраженіи первый членъ, заключенный въ скобкахъ, возрастаетъ отъ 0 до $\pi \sin 23^\circ$, второй-же членъ непрерывно убываетъ и за предѣлами полярнаго круга обращается въ нуль. Отъ совместнаго измѣненія этихъ обоихъ членовъ функція i , какъ показываетъ анализъ, сначала возрастаетъ, достигаетъ maximum'a въ широтѣ $N 43\frac{1}{2}^\circ$, а затѣмъ немного убываетъ, имѣетъ небольшой minimum въ широтѣ $N 62^\circ$, а затѣмъ уже до полюса идетъ непрерывно возрастая.

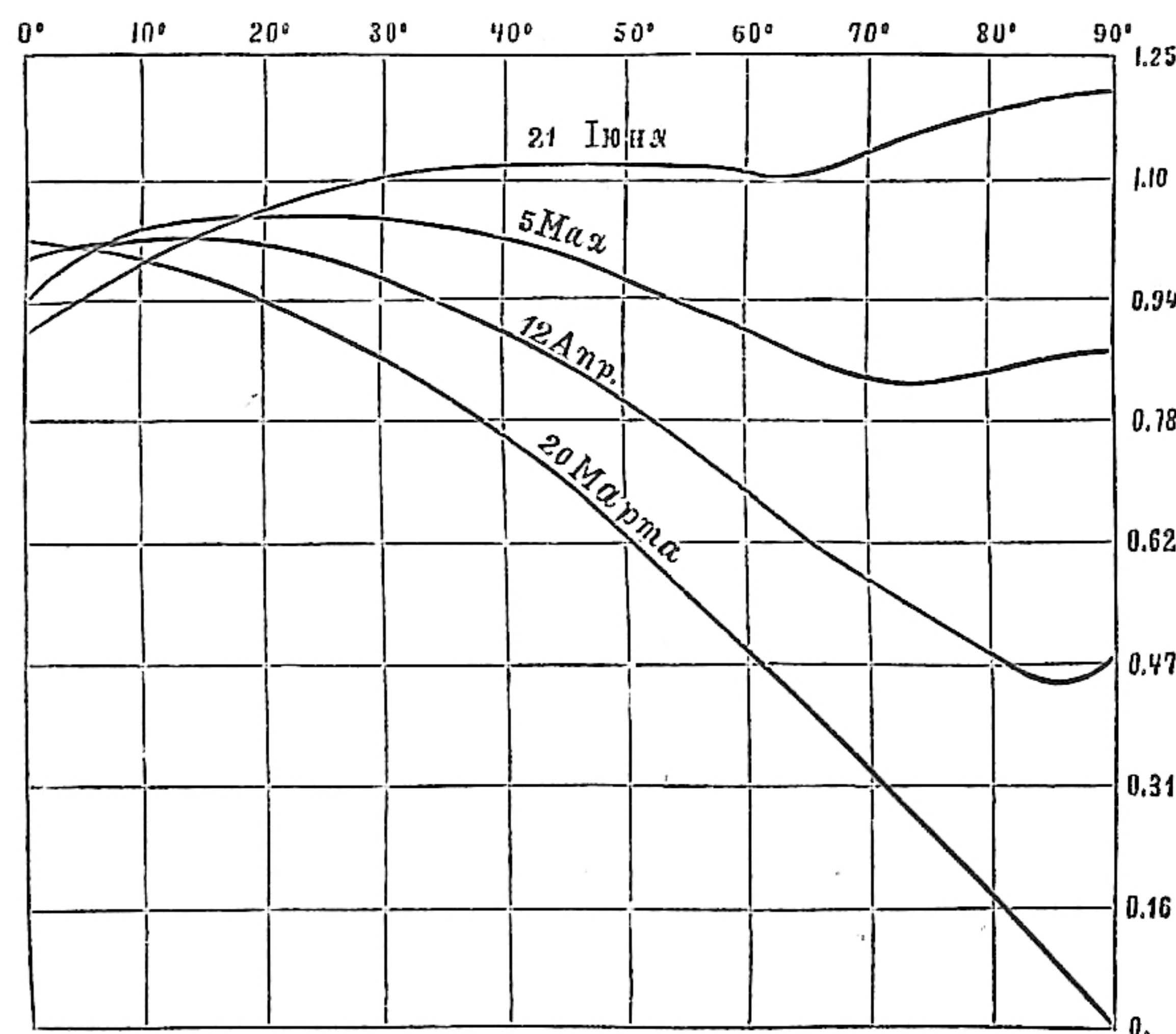
Если мы примемъ, какъ было сказано, среднее суточное напряжение на экваторѣ въ день весенняго равноденствія за 1000, то среднія напряжения въ различныхъ широтахъ въ день лѣтняго солнцестоянія (при $\delta=23\frac{1}{2}^\circ$) выразятся слѣдующими числами:

Ш и р о т а.	Количество теплоты.
90° N	1202
62° —	1092
43½° —	1109
0°	881
66½° S	0

Мы видимъ отсюда, что вслѣдствіе нагрѣванія полюса въ теченіе цѣлыхъ сутокъ, на немъ получается въ день лѣтняго солнцестоянія почти въ $1\frac{1}{2}$ раза болѣе тепла, чѣмъ въ этотъ же день на экваторѣ, и на 20% болѣе, чѣмъ на экваторѣ, въ день весенняго равноденствія.

Если сдѣлать подобныя вычисленія для различныхъ широтъ и въ различныя времена года, то можно построить по этимъ даннымъ любопытныя кривыя, показывающія зависимость количества получаемой теплоты отъ широты мѣста. На чертежѣ (4) приведены 4 такія кривыя для 21 іюня, 5 мая, 12 апрѣля и 20 марта ⁽¹⁾ для широтъ сѣвернаго полушарія, количество теплоты, получаемой на экваторѣ въ день весенняго равноденствія, принято здѣсь равнымъ 1. По абсциссамъ отложены широты, а по ординатамъ соотвѣтствующія напряженія.

Черт. 4.



(1) Всѣ числа даны по новому стилю, такъ какъ метеорологическія наблюденія для однообразія ведутся въ Россіи, какъ и во всѣхъ другихъ странахъ, по новому стилю.

Вычисленія, кромѣ того показываютъ, что не только въ самое лѣтнее солнцестояніе среднее напряженіе, а слѣдовательно и количество теплоты, получаемое въ сутки на полюсѣ больше, чѣмъ въ другихъ мѣстахъ но и въ теченіе 28 дней до солнцестоянія и 28 дней послѣ него напряженіе теплородныхъ лучей въ полюсѣ больше, чѣмъ въ любой другой точкѣ на земной поверхности. Это справедливо и для южнаго полюса, во время южнаго лѣтняго солнцестоянія. Кромѣ этого оказывается, что въ теченіе цѣлыхъ 84 дней въ году (въ сѣверномъ полушаріи съ 10-го мая по 3 августа) на экваторѣ получается меньше теплоты, чѣмъ на сѣверномъ полюсѣ.

Вліяніе эксцентриситета земной орбиты.

Въ южномъ полушаріи въ его лѣтніе мѣсяцы напряженіе теплородныхъ лучей значительнѣе, чѣмъ въ лѣтніе мѣсяцы сѣвернаго полушарія, такъ какъ лѣтомъ южнаго полушарія земля находится ближе къ солнцу; дѣйствительно, земля проходитъ черезъ перигелію 1-го января, а черезъ афелію 3-го іюля. Напряженіе солнечныхъ лучей въ перигеліи приблизительно на $\frac{1}{15}$ больше напряженія въ афеліи.

Въ самомъ дѣлѣ отношеніе этихъ напряженій обратно пропорціонально квадратамъ удаленій земли отъ солнца, а потому, называя эксцентриситетъ земной орбиты черезъ e мы имѣемъ, что это отношеніе равно:

$$\left(\frac{1+e}{1-e}\right)^2 = \text{приблиз. } (1+4e)$$

Но $e = \frac{1}{60}$ а потому и оказывается что отъ эксцентриситетности земной орбиты напряженіе теплородныхъ лучей можетъ измѣниться на $\frac{1}{15}$ своей абсолютной величины.

Вліяніемъ эксцентриситетности земной орбиты объясняется тотъ фактъ, что въ южномъ полушаріи лѣтомъ замѣчается чрезвычайно рѣзкая перемена температуры при переходѣ изъ подъ открытаго солнца въ тѣнь. Это явленіе особенно, ощутительно, по замѣчаніямъ путешественниковъ, въ Австраліи и Южной Африкѣ. Въ сѣверномъ полушаріи такихъ рѣзкихъ контрастовъ не бываетъ.

Полудіаметръ солнца 21 іюня равенъ $946,3''$ а 21 декабря $= 977,9''$ и такъ какъ, по малости этихъ угловъ, можно при-

нять, что разстоянія земли до солнца обратно пропорціональны самымъ полудіаметрамъ, то не трудно вычислить сколько теплоты получаетъ южный полюсъ въ день южнаго солнцестоянія. Напряжение лучей въ сѣверномъ полюсѣ выражается для 21 іюня, какъ мы видѣли, числомъ 1202. Напряжение же въ южномъ полюсѣ 21 декабря будетъ:

$$1202 \left(\frac{977,9}{946,3} \right)^2 = 1284,$$

то есть на 7% больше наибольшаго напряженія въ сѣверномъ полушаріи.

Напряжение
солнечныхъ
лучей въ раз-
личныя вре-
мена года въ
различныхъ
широтахъ

Вслѣдствіе эксцентричности земной орбиты годовой ходъ теплоты, получаемой землею, не совершенно симметриченъ относительно обоихъ полушарій, какъ можно видѣть изъ слѣдующей таблицы, въ которой дано суточное количество теплоты, получаемой отъ солнца въ различныхъ широтахъ въ дни солнцестояній и въ дни прохожденія солнца черезъ зенитъ даннаго мѣста. Основаніемъ для этихъ вычисленій послужила ранѣе выведенная формула.

Широта.	Напряжение 21 декабря.	Время про- хожденія солнца чрезъ зенитъ.	Напряжение въ это время.	Напряжение 21 іюня.	Время про- хожденія солнца чрезъ зенитъ.	Напряжение въ это время.
20° N	677	20 Мая	1041	1045	23 Іюля	1034
15° N	749	1 Мая	1017	1012	12 Августа	1008
0	942	20 Марта	1000	881	23 Сентября	988
15° S	1081	8 Февраля	1061	701	3 Ноября	1053
20° S	1116	20 Января	1101	633	21 Ноября	1094

Изъ этой таблицы мы видимъ, что на экваторѣ въ дни равноденствія напряжение лучей больше, чѣмъ въ дни солнцестоянія, иначе говоря для экватора существуетъ два максимума и два минимума въ напряженіи солнечныхъ лучей, причемъ въ весеннее равноденствіе напряжение болѣе чѣмъ въ осен-

нее, и въ зимнее солнцестояніе болѣе чѣмъ въ лѣтнее; это послѣднее обстоятельство обусловливается неодинаковымъ разстояніемъ земли до солнца въ соотвѣтственные дни.

Въ широтѣ 15° во все лѣтнее полугодіе количество получаемой теплоты остается почти одинаковымъ, и за этимъ предѣломъ двойные максимумы и минимумы уже болѣе не встрѣчаются. Съ перваго взгляда можетъ показаться страннымъ, почему для широты N 20-й напряжение солнечныхъ лучей 21 іюня 1045) больше, чѣмъ въ день прохожденія солнца черезъ зенитъ 20 мая (1041), не смотря даже на то, что разстояніе земли до солнца увеличилось. Это происходитъ оттого, что до 21 іюня увеличивается продолжительность дня, вслѣдствіе чего увеличивается и количество получаемой теплоты въ теченіе сутокъ.

Приведенная таблица показываетъ намъ еще, что на экваторѣ колебанія не значительны.

Съ увеличеніемъ широты, колебанія становятся значительнѣе, при чемъ въ южномъ полушаріи разность между наибольшимъ и наименьшимъ напряженіемъ больше соотвѣтствующей разности для сѣвернаго полушарія. Такъ для широты 20° N эта разность=368, а для широты 20° S она=483. Видно также, что въ каждомъ полушаріи лѣтомъ этого полушарія количество теплоты распредѣляется въ разныхъ широтахъ равномерно чѣмъ зимою.

Прослѣдимъ теперь въ слѣдующей таблицѣ, данной Ханомъ, какъ измѣняются съ широтою мѣста отъ тропиковъ до полюсовъ разности между средними суточными напряженіями въ дни лѣтняго и зимняго солнцестояній. Эти разности вмѣстѣ съ тѣмъ дадутъ и годовыя амплитуды напряженія, такъ какъ для вѣтропическихъ широтъ максимумы и минимумы средняго суточнаго напряженія солнечныхъ лучей располагаются весьма близко къ эпохамъ солнцестояній:

Широты.	Н А П Р Я Ж Е Н И Я.		
	21 Июня.	21 Декабря.	Разность.
90° N	1202	0	1202
80	1184	0	1184
70	1130	0	1130
60	1093	56	1037
50	1105	197	908
40	1107	355	752
30	1088	520	568
20 N	1045	677	368
—	—	—	—
20 S	633	1116	483
30 —	487	1163	676
40	332	1183	851
50	184	1180	996
60	52	1168	1116
70	0	1207	1207
80	0	1265	1265
90	0	1284	1284

Таблица эта показывает что годовые амплитуды въ напряженіи солнечных лучей увеличиваются съ широтой и въ полюсахъ достигаютъ весьма значительныхъ размѣровъ. Въ очень высокихъ широтахъ бываютъ случаи, когда солнце по цѣлымъ днямъ не нагрѣваетъ земную поверхность и въ эти дни среднее суточное напряженіе очевидно равно нулю.

Кромѣ того мы видимъ, что амплитуды напряженій для южнаго полушарія значительнѣе соотвѣствующихъ амплитудъ для сѣвернаго полушарія.

Если мы къ этому обстоятельству прибавимъ еще то, что зима южнаго полушарія длиннѣе зимы сѣвернаго полушарія приблизительно на 8 дней, то окажется, что въ астрономическомъ отношеніи климатъ южнаго полушарія болѣе рѣзкій, неравномѣрный, эксесивный. Въ дѣйствительности наблюдается обратное явленіе, вслѣдствіе преобладанія въ южномъ полушаріи водной поверхности.

Для сужденія о годовомъ ходѣ средняго суточного напряженія солнечныхъ лучей въ разныхъ широтахъ, можетъ служить слѣдующая таблица, заимствованная изъ прекраснаго труда американскаго ученаго Ферреля «о температурѣ атмосферы земной поверхности». Въ этой таблицѣ даны среднія суточные величины напряженія солнечной теплоты въ разныхъ широтахъ (чрезъ 10° промежутки) для 1-го и 16 числа каждаго мѣсяца года; въ этой таблицѣ напряженіе лучей падающихъ нормально на поверхность въ данный день принято за 1000. Слѣдовательно эти числа показываютъ для данной широты и въ данный день сколько тепла получается въ сутки въ тысячныхъ доляхъ того тепла которое получилось бы въ тотъ-же день, если-бы солнце всѣ 24 часа было въ зенитѣ.

Среднее суточное напряженіе.

Числа и мѣ- сяцы.		Ш И Р О Т А.									
		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Январь.	1	303	265	220	169	117	66	18	—	—	—
	16	307	271	229	180	129	78	28	—	—	—
Февраль.	1	312	282	244	200	150	100	48	6	—	—
	15	317	293	261	223	177	118	75	27	—	—
Мартъ.	1	320	303	279	245	204	158	108	56	13	—
	16	321	313	296	270	236	195	148	97	57	—
Апрѣль.	1	317	319	312	295	269	235	195	148	101	82
	16	311	321	323	315	297	271	238	201	175	177

Числа и мѣ- сяцы.		Ш П Р О Т А.									
		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Май.	1	303	318	330	329	320	302	278	253	255	259
	16	294	318	333	339	337	327	312	298	317	322
Июнь.	1	287	315	334	345	349	345	337	344	360	366
	16	283	313	334	348	354	353	348	361	378	384
Июль.	1	283	312	333	347	352	351	345	356	373	379
	16	287	314	332	342	345	340	329	331	347	352
Август.	1	294	316	330	334	330	318	300	282	295	300
	16	303	318	325	322	310	291	264	234	227	231
Сентябрь.	1	310	318	316	305	285	256	220	180	139	140
	16	315	315	305	284	256	220	178	130	107	43
Октябрь.	1	317	308	289	261	225	183	135	84	65	—
	16	316	298	271	236	194	147	97	47	15	—
Ноябрь.	1	312	286	251	211	164	114	63	18	—	—
	16	308	276	235	190	140	89	40	—	—	—
Декабрь.	1	304	267	224	175	124	72	24	—	—	—
	16	302	263	218	167	115	64	16	—	—	—
Среднее		305	301	289	268	241	209	173	144	135	126

Приведенныя данныя даютъ наглядное представлѣніе о годовомъ ходѣ средняго суточного напряженія солнечныхъ лучей.

Чтобы опредѣлить сумму тепла, получаемого на единицѣ поверхности въ разныхъ широтахъ за цѣлый годъ, слѣдовало бы проинтегрировать ранѣе выведенную формулу; но такъ какъ подобныя вычисленія весьма сложны, то этотъ вопросъ

рѣшаютъ иначе и съ совершенно достаточною точностью на основаніи слѣдующихъ соображеній.

Вычисляютъ подобно тому какъ это было объяснено для опредѣленной широты полное количество теплоты, получаемой въ одни сутки въ различные дни года. Строятъ затѣмъ кривую: по оси абсциссъ откладываютъ дни года, а по оси ординатъ соотвѣтствующія количества теплоты. Соединивъ всѣ полученные такимъ образомъ точки согласно кривою, получается наглядное графическое представлѣніе о годовомъ ходѣ количества теплоты получаемой въ сутки.

Площадь такой кривой и представитъ искомую годовую сумму тепла для данной широты. Численная величина этой площади получается по извѣстнымъ правиламъ для нахождения площадей, ограниченныхъ кривыми линіями. На самомъ дѣлѣ нѣтъ надобности вычерчивать всей кривою; нужно только знать величины ея ординатъ, причемъ даже достаточно брать эти ординаты не на каждый день, а черезъ 10-тидневные промежутки.

Мичъ ⁽¹⁾ сдѣлалъ подобныя вычисленія для различныхъ широтъ, при чемъ за единицу онъ принялъ то тепло, которое получается въ среднемъ годовомъ выводѣ въ одни сутки на экваторѣ. Онъ получилъ слѣдующія величины:

Широта.	Теплота.	Разность.
0	365,2	
5	364,0	1,2
10	360,2	3,8
15	353,9	6,3
20	345,2	8,7

⁽¹⁾ Meech. On the relative intensity of the heat and light of the sun. Washington 1856.

Handbuch der Klimatologie von Dr. J. Hann. Stuttgart. 1883.

Широта.	Теплота.	Разность.
25	334,2	11,0
30	321,0	13,2
35	305,7	15,3
40	288,5	17,2
45	269,8	18,7
50	249,7	20,1
55	228,8	20,9
60	207,8	21,0
65	187,9	19,9
70	173,0	14,9
75	163,2	9,8
80	156,6	6,6
85	152,8	3,8
90	151,6	1,2

Эта таблица показывает, что годовая сумма тепла непрерывно убывает от экватора къ полюсамъ, при чемъ это убываніе всего рѣзче обнаруживается въ широтахъ 55° и 60°. Видно также, что въ широтѣ 65° получается 0,5, а на полюсахъ лишь 0,4 отъ всего количества теплоты, получаемой на экваторѣ.

Приведенныя числа справедливы для обоихъ полушарій. Еще Ламбертъ ⁽¹⁾ въ концѣ прошлаго вѣка доказалъ, что въ тѣхъ-же широтахъ обоихъ полушарій получается за годъ одинаковое количество теплоты. Дѣйствительно, хотя лѣто въ южномъ полушаріи и теплѣе, чѣмъ въ сѣверномъ, вслѣдствіе большаго напряженія солнечныхъ лучей, но за то оно и короче

(1) Lambert. Pyrometrie. 1779.

лѣта сѣвернаго полушарія на 8 дней, и эти два противоположныхъ вліянія вполне компенсируются, какъ это можно видѣть изъ слѣдующихъ соображеній.

Извѣстно, что угловая скорость движенія земли въ ея годовомъ пути обратно пропорціональна квадрату разстоянія земли до солнца $\left(r^2 \frac{d\lambda}{dt} = c \right)$, т. е. скорость движенія земли увеличивается въ томъ-же отношеніи какъ и напряженіе солнечныхъ лучей. Поэтому одинаковымъ перемѣнамъ долготы соотвѣтствуютъ и одинаковыя количества теплоты получаемой отъ солнца. Дѣйствительно, пусть I_0 будетъ напряженіе солнечныхъ лучей при разстояніи земли до солнца r_0 , и Δt_0 весьма малый промежутокъ времени, въ который, при этомъ разстояніи r_0 земля измѣняетъ свою долготу на уголъ $\Delta\lambda$; тогда скорость измѣненія долготы будетъ $\frac{\Delta\lambda}{\Delta t_0}$, а количество тепла получаемого землей отъ солнца въ теченіе времени, въ которое долгота измѣнится на $\Delta\lambda$, будетъ: $I_0 \Delta t_0$.

Въ другое время года, при разстояніи r , пусть напряженіе будетъ I , а время, употребляемое землею на измѣненіе долготы на то-же $\Delta\lambda$, пусть будетъ Δt ; тогда количество тепла, получаемого землею отъ солнца за время, въ которое долгота измѣняется на $\Delta\lambda$, будетъ:

$$I \Delta t;$$

Но $I = I_0 \frac{r_0^2}{r^2}$, а $\frac{\Delta\lambda}{\Delta t} = \frac{\Delta\lambda}{\Delta t_0} \frac{r_0^2}{r^2}$, откуда

$$\Delta t = \Delta t_0 \frac{r^2}{r_0^2}; \text{ слѣдовательно}$$

$$I \Delta t = I_0 \cdot \Delta t_0 \cdot \frac{r_0^2}{r^2} \cdot \frac{r^2}{r_0^2} = I_0 \Delta t_0;$$

то есть одинаковымъ измѣненіямъ долготы, соотвѣтствуютъ одинаковыя количества теплоты, получаемой землею отъ солнца, а потому всякая прямая линія, проходящая черезъ солнце, раздѣлитъ земную орбиту на двѣ части, симметричныя по отношенію къ количеству получаемой теплоты. Такимъ образомъ оказывается, что въ лѣто южнаго полушарія, не смотря на то, что оно на 8 дней короче, получается отъ солнца совершенно такое-же количество теплоты, что и въ болѣе длинное лѣто нашего полушарія.

полное количество теплоты, получаемое всю земною поверхностью.

Сколько-же теплоты получаетъ отъ солнца вся земная поверхность за цѣлый годъ? Солнечные лучи во всякое время (за исключеніемъ моментовъ солнечнаго затмѣнія) освѣщаютъ половину поверхности земли; все количество теплоты, получаемое этою поверхностью, равно тому количеству, которое получилъ-бы въ то-же время на площади большаго круга земнаго шара, расположеннаго нормально къ солнечнымъ лучамъ. Площадь этого круга равна πR^2 . Но, по повѣйшимъ опредѣленіямъ Ланглея, солнце, при среднемъ своемъ удаленіи отъ земли, посылаетъ нормально на 1 квадратный сантиметръ въ одну минуту 3 калоріи, а потому полная сумма тепла (Σ), получаемого землею отъ солнца за цѣлый годъ, выразится слѣдующимъ образомъ:

$$\Sigma = 3 \times 60 \times 24 \times 365 \times \pi R^2 = 201 \times 10^{22}.$$

Получается громадное число калорій, потому что R должно быть выражено въ сантиметрахъ. Такое количество теплоты можетъ расплавить въ теченіе года слой льда въ 54 метра.

Вліяніе атмосферы на распредѣленіе теплоты на земной поверхности.

поглощеніи лучей въ атмосферѣ.

До сихъ поръ мы рассматривали распредѣленіе теплоты у верхняго предѣла атмосферы или до нѣкоторой степени идеальное распредѣленіе тепла на самой земной поверхности, въ предположеніи, что земной шаръ не окруженъ со всѣхъ сторонъ воздушною оболочкою. Но на самомъ дѣлѣ солнечные лучи на пути къ земной поверхности встрѣчаютъ слои атмосферы, которые ихъ частью отражаютъ, а частью поглощаютъ. Поэтому и законы распредѣленія теплоты получаемой на самой земной поверхности будутъ нѣсколько иные, чѣмъ у верхняго предѣла атмосферы.

Постараемся теперь опредѣлить поглощеніе теплородныхъ лучей въ атмосферѣ. Бугеръ ⁽¹⁾ еще въ прошломъ столѣтіи

(1) Bouguer. Traité d'optique; sur la gradation de la lumière Paris 1760.

сдѣлалъ очень правдоподобное предположеніе объ уменьшеніи напряженія теплороднаго луча въ атмосферѣ. Бугеръ говоритъ: если теплородный лучъ проходитъ черезъ элементарный слой воздуха, то потеря въ его напряженіи прямо пропорціональна массѣ проходимаго слоя и величинѣ самаго напряженія въ рассматриваемый моментъ. Чѣмъ напряженнѣе лучъ, тѣмъ больше онъ теряетъ теплоты въ атмосферѣ.

Назовемъ напряженіе луча I , массу воздуха m , а нѣкоторый постоянный коэффиціентъ обозначимъ черезъ α . Переводя тогда гипотезу Бугера на математическій языкъ, окажется, что уменьшеніе въ напряженіи теплороднаго луча, при его проходѣ черезъ слой воздуха, масса котораго равна dm , будетъ равно:

$$dI = -\alpha I dm.$$

Проинтегрировавъ это выраженіе, получаемъ:

$$\int \frac{dI}{I} = -\alpha \int dm.$$

$$\lg I = -\alpha m + \lg C.$$

$$\lg \frac{I}{C} = -\alpha m. \quad \text{Отсюда}$$

$$I = C e^{-\alpha m},$$

гдѣ e основаніе Неперовыхъ логарифмовъ, а m представляетъ массу воздуха, пройденнаго солнечнымъ лучемъ отъ предѣла атмосферы до данной высоты.

У предѣла атмосферы $m=0$ и напряженіе I равно I_0 , то есть тому напряженію, которое въ дѣйствительности должно быть у верхняго предѣла атмосферы.

И такъ: $C=I_0$; отсюда имѣемъ:

$$I = I_0 e^{-\alpha m} \dots \dots \dots (1).$$

Если лучъ идетъ нормально къ атмосфернымъ слоямъ, то величину массы m можно замѣнить соотвѣтствующей высотой барометра. Дѣйствительно, показаніе барометра даетъ величину столба ртути, уравновѣшивающаго вѣсъ всей атмосферы надъ даннымъ сѣченіемъ барометрической трубки, вѣст

же атмосферы очевидно пропорциональны ее массе; поэтому имеем:

$$\frac{b_0}{b} = \frac{m_0 g}{m g} = \frac{m_0}{m}$$

или

$$\frac{b_0}{m_0} = \frac{b}{m} = \frac{1}{k}.$$

Отсюда $m = bk$, где b высота барометра, выраженная в миллиметрах, а k некоторое постоянное число. Поэтому, зная b , будем знать и m .

Если солнечный луч идет не нормально к атмосферным слоям, а под некоторым углом к вертикальной линии, то он встречает в своем пути большую массу воздуха. Вообразим, что атмосфера разделена на бесконечно тонкие слои одинаковой массы, параллельные земной поверхности; пусть dm будет масса, проходимая вертикальным лучем через такой слой, тогда луч, наклонный под углом θ к вертикальному лучу, пройдет массу $dm \cdot \sec \theta$; масса, проходимая вертикальным лучем через всю атмосферу, будет m ,

а масса m' , проходимая наклонным лучем, будет $\int_0^m \sec \theta dm$.

Угол θ на земной поверхности очевидно равен зенитному расстоянию светила z . При небольших зенитных расстояниях мы можем пренебречь, в данном случае, влиянием рефракции; тогда угол θ будет постоянным и равным z ; в таком

случае $m' = \int_0^m \sec \theta dm = m \sec \theta = m \sec z$. На практике это выражение считается вполне достаточным для зенитных расстояний от 0 до 70°.

Подставляя это выражение для массы воздуха, вместо m , в уравнение (1), получим для наклонного луча

$$I = I_0 e^{-\alpha m \sec z}$$

или, обозначая $e^{-\alpha}$ через p , имеем следующую формулу:

$$I = I_0 p^m \sec z. \dots \dots \dots (2).$$

Здесь p показывает, какая доля от первоначального напряжения получается после прохода луча через слой воздуха,

масса которого равна 1. Если за единицу массы принять массу воздуха, проходимого вертикальным лучем, пересекающим толщу всей атмосферы, когда давление барометра равно 760 мм., то « p » покажет, какая доля от первоначального напряжения вертикального луча доходит до земной поверхности на уровне моря. Величина « p » называется *коэффициентом теплопрозрачности атмосферы*.

Это выражение, связывающее напряжение луча, массу воздуха и зенитное расстояние солнца дано Бугером; в него входят два постоянные величины I_0 и p , численные значения которых требуется отыскать. Определяя напряжение I при двух различных m и z , можно вычислить по двум уравнениям с двумя неизвестными искомыми величины I_0 и p .

В одном случае, например,

$$I' = I_0 p^{m'} \sec z',$$

а в другом

$$I'' = I_0 p^{m''} \sec z''.$$

Решая эти два уравнения, получаем:

$$p = \left(\frac{I'}{I''} \right)^{\frac{1}{m' \sec z' - m'' \sec z''}};$$

зная p , найдем и I_0 .

I_0 , то есть напряжение теплородных лучей у предѣла атмосферы, которое измѣряется количеством теплоты, получаемой от солнца на площадку в 1 кв. сантиметр, поставленную у предѣла атмосферы нормально к падающим лучам, может в течение суток считаться вполне постоянной величиной, так как в это короткое время расстояние от земли до солнца измѣняется весьма мало.

Относительно коэффициента теплопрозрачности p нельзя сказать того же самого, так как теплопрозрачность воздуха в разные часы дня бывает различная. Поэтому, при определении неизвестного p из двух уравнений в предположении, что эта величина не подвергается измѣнениям, неизбежно вводится некоторая погрѣшность, которая зависит от измѣчивости погоды в день наблюдений. Необходимо

выбирать для такихъ опредѣленій спокойные ясные дни, въ которые можно ожидать лишь ничтожныхъ переменъ въ состояніи неба, въ промежутокъ времени между наблюденіями. Но, даже и при совершенно ясномъ небѣ, теплопрозрачность воздуха подвержена переменамъ, въ особенности вслѣдствіе переменъ влажности воздуха, движенія воздуха въ верхнихъ слояхъ и проч.; такимъ образомъ на практикѣ опредѣленіе величины p связано съ немалыми затрудненіями.

Выведенная формула

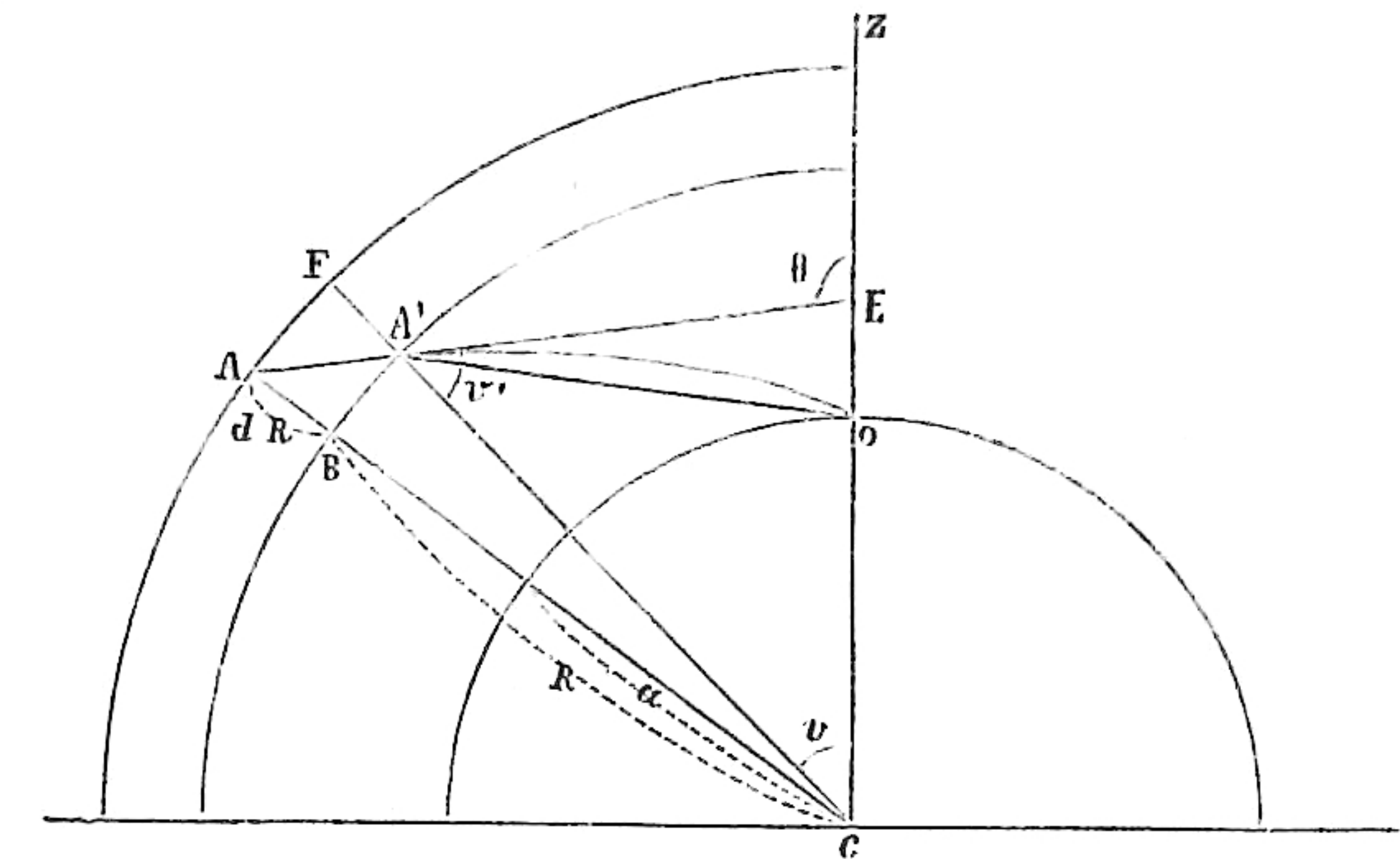
$$I = I_0 p^{m \sec z}$$

становится непримѣнимой при очень большихъ зенитныхъ разстояніяхъ, когда необходимо принять во вниманіе вліяніе рефракціи. Предыдущую, болѣе простою формулою пользуются, какъ упомянуто, для зенитныхъ разстояній, не превышающихъ 70° ; предѣлъ этотъ, однако, условный; его можно измѣнить въ зависимости отъ той степени точности, которой мы при нашихъ изслѣдованіяхъ добиваемся.

Вопросъ точнаго опредѣленія массы воздуха, проходимою лучемъ рѣшенъ и изложенъ въ изящномъ видѣ знаменитымъ Лапласомъ, который въ 3-й главѣ десятой книги своей Небесной механики (*Mécanique Céleste*) установилъ зависимость между астрономическою рефракціею и массою воздуха, проходимаго солнечнымъ лучемъ. Этимъ путемъ онъ свелъ весьма трудную задачу объ опредѣленіи массы воздуха проходимою лучемъ, на столько-же трудный, но хорошо разработанный вопросъ астрономической рефракціи, что даетъ намъ возможность прилагать выводы астрономіи къ изучаемому нами явленію. При этомъ всякое усовершенствованіе въ теоріи рефракціи непосредственно влечетъ за собою и соответственное усовершенствованіе въ способѣ опредѣленія массы воздуха проходимою лучемъ, а слѣдовательно и въ вычисленіи потери напряженія теплородныхъ лучей въ атмосферѣ.

Установимъ теперь связь между всѣми этими элементами и для этого обратимся къ чертежу 5.

Черт. 5.



Внутренній кругъ представляетъ поверхность земли; $AA'O$ путь солнечнаго луча. AA' часть этого пути въ элементарномъ слое воздуха, имѣющемъ высоту dR . R удаленіе слоя отъ центра земли, « a » радиусъ земли, уголъ $EA'C = v'$ есть уголъ между радиусомъ $A'C$ разсматриваемаго слоя и направлениемъ луча въ этомъ элементарномъ слое. Продолжая AA' до E , получимъ уголъ θ между вертикальною линіею даннаго мѣста OZ и элементомъ пути луча; v есть уголъ между вертикальною линіею, и радиусомъ $A'C$.

На основаніи гипотезы Бугера, потеря напряженія луча въ элементарномъ слое выражается слѣдующимъ образомъ:

$$dI = -\alpha I dm,$$

гдѣ I напряженіе луча при входѣ въ слой, dm масса воздуха, пройденнаго лучемъ, а α нѣкоторая постоянная величина.

dm можетъ быть представленъ произведеніемъ изъ плотности слоя ρ на путь (AA'), пройденный лучемъ.

$$dm = \rho AA' = \rho dR \sec v'.$$

Поэтому

$$dI = -\rho \alpha I dR \sec v'. \quad (1)$$

Съ измѣненіемъ направленія луча (AA') вслѣдствіе рефракціи, мѣняется на столько-же и уголъ θ ; на сколько измѣнится направленіе луча, т. е. на сколько измѣняется рефракція на столько-же измѣнится и уголъ θ , а потому, называя рефракцію чрезъ r , будемъ имѣть

$$dr = d\theta.$$

Съ приближеніемъ луча къ поверхности земли рефракція увеличивается, а уголъ θ убываетъ, по этому разсматривая лучъ направляющійся отъ верхняго предѣла атмосферы къ земной поверхности $d\theta$ будетъ величиною отрицательною.

Треугольникъ $EA'S$ даетъ

$$\theta = v + v',$$

а потому

$$dr = d\theta = dv + dv'.$$

Далѣе, изъ физики извѣстно, что когда лучъ выходитъ изъ среды съ плотностью ρ и вступаетъ въ среду съ плотностью $\rho + d\rho$, то углы паденія и преломленія связаны между собою слѣдующимъ образомъ:

$$\frac{\sin \text{уг. паденія}}{\sin \text{уг. преломленія}} = \frac{\sqrt{1 + k(\rho + d\rho)}}{\sqrt{1 + k\rho}},$$

гдѣ k есть нѣкоторая постоянная величина.

Лучъ AA' , выходя изъ элементарнаго слоя съ плотностью ρ и вступая въ другой сосѣдній ближайшій къ землѣ слой съ плотностью $\rho + d\rho$, образуетъ уголъ паденія съ нормалью къ слою равный v' . Направленіе луча измѣнится, θ превратится въ $\theta + d\theta$ (') и лучъ приблизится къ перпендикуляру паденія на величину $dr = d\theta$; уголъ преломленія въ этомъ случаѣ будетъ

$$v' + d\theta.$$

Такимъ образомъ

$$\frac{\sin v'}{\sin (v' + d\theta)} = \frac{\sqrt{1 + k\rho + kd\rho}}{\sqrt{1 + k\rho}} = \sqrt{1 + \frac{kd\rho}{1 + k\rho}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{kd\rho}{1 + k\rho}\right)^{-1/2}}$$

Разлагая радикалъ по формулѣ бинома и, по малости $kd\rho$, ограничиваясь членами съ первыми степенями, получимъ:

$$\frac{\sin v'}{\sin (v' + d\theta)} = \frac{1}{1 - \frac{kd\rho}{2(1 + k\rho)}}$$

(') Уголъ θ уменьшится на величину $d\theta$, но мы будемъ писать $\theta + d\theta$, подразумевая, что величина $d\theta$ отрицательная.

Составимъ слѣдующую пропорцію

$$\frac{\sin v'}{\sin (v' + d\theta) - \sin v'} = \frac{1}{1 - \frac{kd\rho}{2(1 + k\rho)} - 1}$$

или, по малости $d\theta$

$$\frac{\sin v'}{d\theta \cos v'} = - \frac{2(1 + k\rho)}{kd\rho}$$

Отсюда и получимъ дифференціальное выраженіе рефракціи:

$$d\theta = dr = - \frac{kd\rho \operatorname{tg} v'}{2(1 + k\rho)} \dots \dots \dots (2).$$

Сравнивая формулу (2) съ выраженіемъ (1) для dI , мы видимъ, что въ одно выраженіе входитъ $d\rho$, а въ другое dR . Найдемъ же теперь зависимость между $d\rho$ и dR .

Если q есть вѣсъ ртути въ барометрической трубкѣ надъ сѣченіемъ, коего площадь=1, или такъ называемое давленіе атмосферы, то мы можемъ написать слѣдующее равенство:

$$dq = - \rho g dR,$$

гдѣ ρ плотность воздуха, g ускореніе силы тяжести, а dR толщина слоя. Ставимъ знакъ минусъ, потому что, съ увеличеніемъ R , q уменьшается; dq представляетъ вѣсъ элементарнаго слоя воздуха. Допуская, что во всѣхъ слояхъ атмосферы температура одинакова, получимъ по закону Маріотта $\frac{q}{q_0} = \frac{\rho}{\rho_0}$, гдѣ q_0 и ρ_0 представляютъ давленіе атмосферы и плотность воздуха у самой поверхности земли. q_0 и ρ_0 мы для данного состоянія атмосферы разсматриваемъ, какъ постоянныя величины, а потому, дифференцируя предыдущее равенство, получимъ

$$\rho_0 dq = q_0 d\rho.$$

Отсюда

$$dq = \frac{q_0}{\rho_0} d\rho.$$

Но кромѣ того $q_0 = \rho_0 g_0 l$, гдѣ g_0 есть ускореніе силы тяжести у поверхности земли, а l нѣкоторая для данного состоянія атмосферы постоянная величина, которая представила-бы высоту атмосферы, если бы воздухъ во всю высоту имѣлъ ту плотность, которая наблюдается внизу у поверхности земли.

Отсюда $\frac{g_0}{\rho_0} = g_0 l$. Подставляя эту величину въ предыдущую формулу, получимъ

$$dg = -\rho g dR = g_0 l d\rho.$$

Теперь мы сдѣлаемъ допущеніе, что $g = g_0$, то есть, что ускореніе силы тяжести на всемъ незначительномъ протяженіи атмосферы остается постояннымъ; тогда мы получимъ слѣдующее равенство, связывающее $d\rho$ съ dR .

$$ld\rho = \rho dR.$$

Подставивъ найденное выраженіе для $-\rho dR$ въ уравненіе (1), получимъ

$$dI = \alpha \cdot I \sec v' ld\rho.$$

Отсюда

$$d \lg I = \alpha l \cdot \sec v' d\rho.$$

Раздѣлимъ выраженіе (2) на $d \lg I$

$$\frac{d\theta}{d \lg I} = - \frac{k d\rho}{2(1+k\rho) \alpha \cdot ld\rho} \cdot \frac{\lg v'}{\sec v'}$$

или

$$\frac{d\theta}{d \lg I} = - \frac{k \sin v'}{2(1+k\rho) \alpha l} \dots \dots \dots (3).$$

$\sin v'$ опредѣлится слѣдующимъ образомъ:

Мы видѣли раньше, что

$$d\theta = dv + dv'.$$

Отсюда

$$dv' = d\theta - dv \dots \dots \dots (4)$$

Изъ чертежа видно, что dv равно углу ACF, и что

$$AF = dvR.$$

Кромѣ того изъ прямоугольнаго треугольника AFA' имѣемъ

$$\lg FA'A = \lg v' = \frac{AF}{dR} = \frac{dvR}{dR}$$

Отсюда $dv = \frac{\lg v' dR}{R}.$

Подставляя найденную величину въ выраженіе (4) и замѣняя $d\theta$ его выраженіемъ изъ уравненія (2), получимъ

$$dv' = - \lg v' \frac{k d\rho}{2(1+k\rho)} - \frac{\lg v' dR}{R}$$

или

$$- \frac{\cos v' dv'}{\sin v'} = \frac{k d\rho}{2(1+k\rho)} + \frac{dR}{R}$$

Интегрируя это выраженіе и вводя произвольную постоянную $\lg c$ въ первую часть уравненія, получимъ

$$\lg \frac{c}{\sin v'} = \frac{1}{2} \lg (1+k\rho) + \lg R = \lg R \sqrt{1+k\rho}.$$

Откуда

$$\frac{c}{\sin v'} = R \sqrt{1+k\rho}.$$

Для точки, лежащей на поверхности земли, уголъ v' превращается въ видимое зенитное разстояніе z' , R въ радіусъ земли a , а ρ въ ρ_0 , гдѣ ρ_0 есть плотность воздуха на поверхности земли. Слѣдовательно:

$$\frac{c}{\sin z'} = a \sqrt{1+k\rho_0}.$$

Опредѣливъ отсюда величину постоянной c , мы получимъ слѣдующее выраженіе для $\sin v'$.

$$\sin v' = \frac{a \sqrt{1+k\rho_0} \cdot \sin z'}{R (\sqrt{1+k\rho})}$$

Подставляя эту величину въ уравненіе (3), получимъ

$$\frac{d\theta}{d \lg I} = - \frac{k}{2\alpha l} \cdot \frac{a}{R} \sqrt{\frac{1+k\rho_0}{(1+k\rho)^3}} \cdot \sin z'.$$

$k\rho$ и $k\rho_0$ весьма малы въ сравненіи съ 1 (во всякомъ случаѣ меньше 0,0006), а потому мы можемъ пренебречь ими и считать радикальныя выраженія за постоянныя величины.

Дробь $\frac{a}{R}$ мѣняется отъ одного слоя до другаго, но только въ весьма малыхъ предѣлахъ: отъ 1—на поверхности земли до 0,99—у предѣла атмосферы, считая высоту атмосферы равной 60 верстамъ; а потому мы не сдѣлаемъ большой ошибки, если будемъ при интегрированіи принимать и эту дробь также за постоянную величину.

Эти предположенія въ предѣлахъ достаточной для практики точности, могутъ быть допущены.

Назовемъ всю постоянную часть:

$$\frac{k \sqrt{1+k\rho_0}}{2\alpha l \sqrt{(1+k\rho)^3}} \cdot \left(\frac{a}{R}\right) \text{ чрезъ } \frac{1}{N}.$$

Тогда

$$\frac{N d\theta}{d \lg I} = - \sin z'.$$

или $d \lg I = - \frac{N d\theta}{\sin z'}$

Интегрируя это выражение и замѣчая, что $\int d\theta$ представляетъ ничто иное какъ сумму элементарныхъ отклоненій солнечнаго луча, или, такъ называемую, астрономическую рефракцію, будемъ имѣть

$$\lg I = - \frac{Nr}{\sin z'} + \lg c'.$$

У предѣла атмосферы $r = 0$, $I = I_0$, а слѣдовательно $c' = I_0$.

Поэтому

$$\lg \frac{I_0}{I} = \frac{Nr}{\sin z'} \dots \dots \dots (5).$$

Такова зависимость напряженія теплородныхъ лучей отъ рефракціи.

Но мы раньше имѣли на основаніи гипотезы Бугера:

$$I = I_0 e^{-\alpha m},$$

отсюда

$$\lg \frac{I_0}{I} = \lg \frac{1}{e^{-\alpha m}} = - \lg e^{-\alpha m} = \alpha m.$$

Сравнивая это выраженіе съ формулой (5), получимъ

$$\frac{Nr}{\sin z'} = \alpha m$$

Откуда $m = \left(\frac{N}{\alpha}\right) \frac{r}{\sin z'} \dots \dots \dots (6)$

Для малыхъ зенитныхъ разстояній выведенная формула непримѣнима, потому что $\frac{r}{\sin z'}$ для зенита превращается въ неопредѣленное выраженіе $\frac{0}{0}$. Но для малыхъ зенитныхъ разстояній мы уже знаемъ, что масса проходимаго лучемъ воздуха пропорціональна секансу зенитнаго разстоянія и выражается такъ:

$$m = m_0 \sec z,$$

гдѣ m_0 есть масса воздуха, проходимаго вертикально падающимъ лучемъ.

Для $z = 45^\circ$ имѣемъ

$$m_{45} = m_0 \sqrt{2}.$$

Съ другой-же стороны формула (6) даетъ

$$m_{45} = \frac{N}{\alpha} \cdot \frac{r_{45}}{\sin 45^\circ} = \left(\frac{N}{\alpha}\right) \cdot r_{45} \cdot \sqrt{2}$$

Раздѣливъ на эту величину формулу (6) получимъ

$$\frac{m}{m_{45}} = \frac{m}{m_0 \sqrt{2}} = \frac{r}{r_{45} \sin z'} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Отсюда

$$m = m_0 \frac{r}{r_{45} \cdot \sin z'} \dots \dots \dots (7)$$

r и r_{45} могутъ быть выбраны изъ таблицъ рефракціи, вычисленныхъ для средняго состоянія атмосферы даннаго мѣста; z' есть извѣстное видимое зенитное разстояніе солнца, а m_0 опредѣлится, когда будемъ знать давленіе барометра.

Подставляя это выраженіе для m въ формулу Бугера

$$I = I_0 e^{-\alpha m}$$

и замѣчая что $e^{-\alpha} = p$, мы получимъ

$$I = I_0 p^{m_0 \frac{r}{r_{45} \cdot \sin z'}}$$

Напряженіе
солнечныхъ
лучей на по-
верхности
земли.

Такимъ образомъ на основаніи приведенныхъ двухъ формулъ, одной для малыхъ и другой для большихъ зенитныхъ разстояній, можно вычислить, какая доля отъ полного напряженія солнечныхъ лучей (I_0) достигаетъ земной поверхности при различныхъ высотахъ солнца. Результаты такихъ вычисленій помѣщены въ слѣдующей таблицѣ.

Высота солнца	0°	5°	10°	20°	30°	50°	70°	90°
Масса воздуха проходимаго лучемъ	35,5	10,2	5,56	2,90	1,99	1,31	1,06	1,00
Напряженіе	0,000	0,053	0,202	0,434	0,564	0,687	0,736	0,750

Въ первой строкѣ этой таблицы даны высоты солнца; во второй показаны массы воздуха, проходимыя солнечными лучами, причемъ за единицу массы принята масса воздуха, проходимая черезъ всю атмосферу вертикально падающимъ лучемъ. Въ третьей строкѣ дано соотвѣтственное напряженіе (I) на самой поверхности земли въ доляхъ напряженія у верхняго предѣла атмосферы (I_0), принимая коэффициентъ теплопрозрачности $= 0,75$.

Мы видимъ отсюда, какое ничтожное напряженіе имѣютъ солнечные лучи при малыхъ высотахъ солнца; замѣтимъ при этомъ, что по новѣйшимъ ислѣдованіямъ, какъ увидимъ дальше, коэффициентъ прозрачности оказывается еще менѣ принятой нами величины (0,75) при вычисленіи приведенной таблицы.

Мы видѣли, раньше, что у предѣла атмосферы въ день лѣтняго солнцестоянія получается на сѣверномъ полюсѣ за цѣлыя сутки на 36% больше теплоты, чѣмъ въ тотъ-же день на экваторѣ; для полюса мы имѣли число 1202, а для экватора 881. Разсмотримъ какія тамъ величины получатся на самой поверхности земли? На сѣверномъ полюсѣ, въ день лѣтняго солнцестоянія, солнце въ теченіе цѣлыхъ сутокъ описываетъ малый кругъ параллельный горизонту, сохраняя приблизительно то-же постоянное зенитное разстояніе $z = 66\frac{1}{2}^\circ$.

Умноживъ число 1202 на $\rho \sec 66\frac{1}{2}$ гдѣ ρ мы можемъ пока положить равнымъ 0,75 ⁽¹⁾ мы получимъ искомое количество теплоты, притекающей въ дѣйствительности къ сѣверному полюсу въ день лѣтняго солнцестоянія 584.

Для другихъ широтъ подобныя вычисленія гораздо затруднительнѣе, такъ какъ вообще говоря, по крайней мѣрѣ для внѣполярныхъ широтъ, продолжительность дня мѣняется, и зенитное разстояніе солнца подвержено непрерывнымъ измѣненіямъ. Феррель однако въ своемъ трудѣ: «Temperature of the atmosphere and earth's surface» сдѣлалъ попытку приблизительно рѣшить эту трудную задачу при посредствѣ гармоническихъ рядовъ.

Ханъ рѣшилъ вопросъ болѣе простымъ способомъ—графически, и получилъ, что на экваторѣ въ день равноденствія

къ земной поверхности притекаетъ за цѣлыя сутки всего только 0,57 всей теплоты, получаемой у предѣла атмосферы.

Мы изъ этого видимъ, что на экваторѣ въ день равноденствія теряется меньше теплоты въ атмосферѣ, чѣмъ въ день лѣтняго солнцестоянія на сѣверномъ полюсѣ. (На экваторѣ получается 0,57. а на полюсѣ $\frac{584}{1202} = 0,49$ отъ всей солнечной теплоты ⁽¹⁾).

Пулье говоритъ что воздухъ поглощаетъ за цѣлыя сутки отъ 0,4 до 0,5 всей теплоты, получаемой у предѣла атмосферы. Наблюденія Крова (Crova), произведенныя въ Монпелье въ широтѣ N $43^\circ 36'$, подтверждаютъ справедливость вывода Пулье. Крова въ два ясныхъ дня, одинъ около лѣтняго, а другой около зимняго солнцестоянія сдѣлалъ ежечасныя наблюденія надъ напряженіемъ солнечныхъ лучей и, на основаніи этихъ данныхъ, для каждаго дня вычислилъ въ калоріяхъ сумму тепла полученнаго горизонтальною поверхностью отъ солнца.

Ханъ для сравненія этого результата, съ напряженіемъ лучей на предѣлѣ атмосферы, вычислилъ по наблюденіямъ Крова сначала постоянную величину I_0 по приведенной формулѣ Бугера, и получилъ $I_0 = 2,24$; потомъ, помощью этой величины, сумму тепла получаемого отъ солнца на предѣлѣ атмосферы.

Вотъ результаты, полученные Ханомъ.

	По наблюденіямъ Крова.	
	4 января.	11 іюля.
На поверхности земли	161,2	574,1
У предѣла атмосферы	322,3	1122,0
Отношеніе	0,50	0,51

⁽¹⁾ Мы взяли для сравненія именно тѣ дни, когда на экваторѣ и на полюсѣ получается максимумъ теплоты.

⁽¹⁾ См. предыдущую таблицу.

Итакъ мы видимъ, что, несмотря на различную продолжительность дня и на различное возвышеніе солнца надъ горизонтомъ, въ среднемъ выводъ половина теплоты, получаемой отъ солнца, поглощается атмосферою. Этотъ результатъ сходенъ съ выводомъ Пулье, и мы его примемъ за приблизительное выраженіе закона поглощенія теплородныхъ лучей въ атмосферѣ. (¹)

Критика
Ланглея на
формулу Бугера.

Американскій ученый Ланглей, посвятившій много трудовъ изученію солнечной теплоты, сдѣлалъ весьма существенное замѣчаніе о неточности формулы Бугера. Первоначальная формула Бугера, преобразованная затѣмъ Лапласомъ и другими учеными, справедлива только для однородныхъ лучей, а потому, въ примѣненіи къ бѣлому солнечному лучу, представляющему, какъ извѣстно, цѣлую совокупность простыхъ лучей, она не можетъ давать вполне надежныхъ результатовъ. Каждый простой лучъ, входящій въ составъ солнечнаго спектра, имѣетъ опредѣленную длину волны; по Ланглею длина свѣтовыхъ волнъ измѣняется отъ 0,000375 миллиметра (фіолетовый лучъ) до 0,0007 милл. (красный лучъ); въ спектрѣ-же темной теплоты, длина волнъ доходитъ до 0,003 милл. Въ зависимости отъ длины волны простаго луча измѣняется его цвѣтъ, показатель преломленія и даже свойства (теплородные, свѣтовые и химическіе лучи). Въ виду всего этого естественно предположить, что и коэффициентъ теплопрозрачности измѣняется отъ одного луча до другого, а потому формула Бугера не можетъ во всей строгости непосредственнымъ образомъ быть примѣнена къ сложному, бѣлому, солнечному лучу.

Для правильнаго рѣшенія вопроса, надо изучить отдѣльно поглощеніе каждаго составнаго луча и тогда уже, суммируя эти частныя положенія, можно будетъ судить о полной потерѣ теплоты въ атмосферѣ.

Ланглей произвелъ подобныя наблюденія (мы о нихъ будемъ говорить впослѣдствіи) и, сдѣлавъ необходимыя вы-

(¹) Предыдущіе выводы относятся только до совершенно прозрачнаго состоянія воздуха.

численія, получилъ бѣольшую величину для потери теплоты въ атмосферѣ, чѣмъ непосредственно изъ формулы Бугера. Такого результата можно было впередъ ожидать, такъ какъ Ланглей доказалъ, что принимая сложный лучъ (т. е. состоящій изъ лучей, обладающихъ различными коэффициентами теплопрозрачности) за простой, при вычисленіи поглощенія теплоты атмосферою по формулѣ Бугера, получаютъ неизбѣжно всегда слишкомъ малую величину поглощенія или, что то-же, слишкомъ большой коэффициентъ теплопрозрачности.

Поясимъ это и возьмемъ для простоты только два однородныхъ луча. Пусть напряженіе перваго луча у предѣла атмосферы будетъ А, а втораго—В; пусть коэффициентъ теплопрозрачности перваго луча α , а втораго β (¹). Массу воздуха проходимаго лучами, обозначимъ черезъ m , и выразимъ ее въ единицахъ давленія атмосферы; слѣдовательно къ этой единицѣ, отнесены коэффициенты α и β .

Если лучъ А проходитъ, напримѣръ, массу воздуха, соотвѣтствующую одной атмосферѣ, то напряженіе луча на поверхности земли будетъ $A\alpha$; при m равномъ двумъ атмосферамъ, напряженіе получится $=A\alpha^2$, при m равномъ тремъ оно будетъ $=A\alpha^3$ и т. д. Это вытекаетъ прямо изъ формулы Бугера, гдѣ $I_0=A$, $p=\alpha$, а m надо послѣдовательно полагать равнымъ 1, 2, 3 и т. д.

То-же самое будетъ и для луча В.

Совокупное-же дѣйствительное напряженіе обоихъ лучей будетъ слѣдующее:

У предѣла атмосферы $m=0$:	$A + B = I_0$
При $m = 1$	$A\alpha + B\beta = I_1$
— $m = 2$	$A\alpha^2 + B\beta^2 = I_2$

Таково дѣйствительное совокупное напряженіе обоихъ лучей при m равномъ 0, 1, 2, 3 и т. д. атмосферамъ.

Если-бы мы не различали лучей А и В, а предполагали-бы, что наблюдаемая при различныхъ случаяхъ напряженія I и I_2 обязаны своимъ происхожденіемъ дѣйствию только

(¹) α и β представляютъ слѣдовательно здѣсь ту величину, которую мы обозначали буквою p въ формулѣ Бугера: $I=I_0 p^m$.

однородныхъ солнечныхъ лучей, то легко-бы было вычислить, на основаніи все той-же формулы Бугера, соотвѣтствующее напряженіе I_0' , которое должно-бы было въ этомъ случаѣ имѣть мѣсто у предѣла атмосферы.

Дѣйствительно мы можемъ написать.

$$\begin{aligned} I_2 &= I_0' \cdot p^2 \\ I_1 &= I_0' \cdot p', \end{aligned}$$

Отсюда

$$\frac{I_2}{I_1} = p = \frac{A\alpha^2 + B\beta^2}{A\alpha + B\beta}$$

I_1 извѣстно, а потому легко получить и I_0'

$$I_0' = \frac{(A\alpha + B\beta)^2}{A\alpha^2 + B\beta^2}$$

Покажемъ теперь, что I_0' , т. е. вычисленная величина при предположеніи, что лучъ однороденъ всегда меньше I_0 , т. е. дѣйствительной величины $A+B$.

Надо доказать справедливость неравенства

$$\frac{(A\alpha + B\beta)^2}{A\alpha^2 + B\beta^2} < A+B.$$

Сдѣлавъ перемноженіе, получимъ

$$A^2\alpha^2 + B^2\beta^2 + 2AB\alpha\beta < A^2\alpha^2 + B^2\beta^2 + AB\alpha^2 + AB\beta^2$$

или, послѣ сокращеній,

$$2\alpha\beta < \alpha^2 + \beta^2$$

или

$$(\alpha - \beta)^2 > 0.$$

Это неравенство всегда имѣетъ мѣсто, за исключеніемъ случая, когда $\alpha = \beta$. Слѣдовательно I_0' всегда меньше $A+B=I_0$; то есть при предположеніи что солнечный лучъ однороденъ, величина, вычисленная по формулѣ Бугера, менѣе дѣйствительной. Только тогда, когда оба луча обладаютъ одинаковыми свойствами, то есть въ томъ случаѣ, когда $\alpha = \beta$, I_0' равно I_0 .

Отъ двухъ лучей не трудно уже перейти къ любому числу разнородныхъ лучей и подтвердить въ самомъ общемъ случаѣ справедливость замѣчанія Ланглея.

По общепринятому мнѣнію темные теплородные лучи, испускаемые, какъ солнцемъ, такъ и земною поверхностью, задерживаются атмосферой больше, чѣмъ свѣтлые; этимъ и

Вліяніе воз-
душной земной
оболочки на
сохраніе теп-
лоты, на зем-
ной поверх-
ности.

объясняется обыкновенно сохраненіе теплоты на земной поверхности. Однако новѣйшія изслѣдованія Ланглея надъ солнечной теплотой показали, что этотъ законъ по отношенію къ солнечнымъ лучамъ не справедливъ. Ланглей доказалъ, что темные *солнечные* лучи меньше поглощаются атмосферой, нежели свѣтлые. Въ виду такого неожиданнаго результата, приходится для объясненія того факта, что атмосфера удерживаетъ теплоту на земной поверхности, вмѣстѣ съ Ланглемъ допустить, что темные теплородные лучи, сравнительно низкой температуры, испускаемые земною поверхностью, задерживаются атмосферою болѣе всѣхъ остальныхъ лучей. Холодные полосы въ спектрѣ темныхъ лучей указываютъ на возможность предположенія, что волны опредѣленной длины совсѣмъ не пропускаются атмосферою; наблюденія Ланглея приводятъ его къ заключенію, что до извѣстнаго предѣла, съ увеличеніемъ длины волны, поглощеніе темныхъ лучей уменьшается, а за этимъ предѣломъ теплопрозрачность сразу вовсе прекращается, т. е. лучи такой длины вовсе не проходятъ черезъ атмосферу.

Феррель⁽¹⁾ опредѣлилъ приближенно какая была-бы температура на земной поверхности, если-бы не было атмосферы? Для этого онъ воспользовался формулой Дюлонга и Пти, которая была выведена ими изъ цѣлаго ряда замѣчательныхъ опытовъ надъ охлажденіемъ твердыхъ тѣлъ.

Дюлонгъ и Пти производили опыты надъ охлажденіемъ шариковъ термометровъ при различныхъ условіяхъ и получили слѣдующее выраженіе для скорости охлажденія ртутнаго термометра, помѣщеннаго въ пустотѣ внутри сферической оболочки, зачерненной внутри и удерживающей постоянную температуру:

$$-\frac{dT}{dt} = 2,037 \left(\mu^T - \mu^{T'} \right).$$

T есть температура охлаждающагося шарика термометра, T' постоянная температура оболочки, къ которой термометръ и

(1) Temperature of the atmosphere and earth's surface. Washington. 1884.

лучеиспускаетъ свою теплоту, t время, а μ постоянное число равное 1,0077.

Это выраженіе было въ послѣдствіи нѣсколько преобразовано Пулье, съ цѣлью получить потерю теплоты на единицу поверхности прямо въ калоріяхъ. Для этого надо было только знать размѣры употребившихся термометровъ, вѣсъ ртути и стекла и ихъ соотвѣтствующія теплоемкости.

Пулье такимъ, образомъ получилъ:

$$\frac{dh}{dt} = -1,146 \cdot \beta \left(\mu^T - \mu^{T'} \right),$$

гдѣ $\frac{dh}{dt}$ выражаетъ потерю теплоты въ единицу времени съ единицы поверхности, а β есть нѣкоторый постоянный коэффициентъ, зависящій отъ свойствъ самой лучеиспускающей поверхности. Для гладкой, покрытой сажей поверхности $\beta=1$; а для незачерненныхъ шариковъ, съ какими Дюлонгъ и Пти и дѣлали свои наблюденія, Пулье принималъ $\beta=0,8$.

Приложимъ теперь эту формулу къ земному шару.

Положимъ для простоты $\beta=1$.

Мы уже знаемъ, что вся земля получила-бы отъ солнца, если-бы не было атмосферы, въ единицу времени

$$\pi R^2 I_0 \text{ калорій.}$$

Умноживъ эти калоріи на число минутъ въ году N , получимъ полную сумму тепла, притекающаго къ землѣ въ теченіе цѣлаго года.

Съ другой стороны, на основаніи формулы Пулье, земля теряетъ въ одну минуту съ единицы поверхности количество теплоты равное

$$1,146 \cdot \left(1,0077^T - 1,0077^{T'} \right).$$

Но такъ какъ лучеиспусканіе происходитъ по всѣмъ направленіямъ, то надо предыдущее выраженіе умножить еще на поверхность шара $4 \pi R^2$ и кромѣ того еще на N , чтобы получить полную потерю теплоты отъ лучеиспусканія въ теченіе цѣлаго года. Приравнивая одно выраженіе другому, иначе говоря, полагая, что земля въ теченіе года получаетъ столько-же теплоты отъ солнца, сколько она теряетъ теплоты

отъ лучеиспусканія въ небесное пространство ⁽¹⁾, мы получимъ:

$$N \pi R^2 I_0 = N 4 \pi R^2 1,146 \left(1,0077^T - 1,0077^{T'} \right).$$

или

$$I_0 = 4 \cdot 1,146 \left(1,0077^T - 1,0077^{T'} \right).$$

Если-бы T' , т. е. температура небеснаго пространства была извѣстна, то по этой формулѣ можно-бы было вычислить T , т. е. ту среднюю годовую температуру, которая должна была-бы господствовать на земной поверхности, если-бы наша земля не была защищена отъ чрезмѣрнаго лучеиспусканія прозрачной воздушной оболочкой.

Феррель, пренебрегая теплотою, получаемою землею изъ небеснаго пространства, принимаетъ членъ, зависящій отъ T' , равнымъ нулю. Затѣмъ, принимая $I_0 = 2,2$, онъ получилъ:

$$\frac{2,2}{4 \cdot 1,146} = 0,480 = 1,0077^T.$$

Откуда

$$T = -96^\circ \text{ Ц.}$$

При томъ-же, не совсѣмъ точномъ, способѣ вычисленія, но принимая $I_0 = 3,0$ калоріямъ, согласно съ новѣйшими опредѣленіями, мы получаемъ:

$$\frac{3,0}{4 \cdot 1,146} = 0,654 = 1,0077^T.$$

Откуда

$$T = -55^\circ \text{ Ц.}$$

Вслѣдствіе - же вліянія атмосферы, въ дѣйствительности средняя годовая температура воздуха на поверхности земли равна $+15,4^\circ \text{ Ц.}$

Эти вычисленія, правда веденныя лишь съ грубымъ приближеніемъ, все-же наглядно показываютъ, какое огромное вліяніе имѣетъ атмосфера на сохраненіе теплоты на земной поверхности.

⁽¹⁾ Мы имѣемъ право это сдѣлать, потому что средняя годовая температура всей земной поверхности не подвержена замѣтнымъ колебаніямъ.

Объ опредѣленіи абсолютнаго напряженія солнечныхъ лучей.

Помимо рѣшенія интереснаго вопроса объ абсолютномъ напряженіи солнечныхъ лучей, наблюденія надъ напряженіемъ солнечныхъ лучей въ различныхъ широтахъ, въ разныя времена года и въ различные часы дня имѣютъ для метеорологівъ еще и другое важное значеніе, такъ какъ они даютъ возможность судить о степени прозрачности атмосферы, а слѣдовательно получить и косвенное указаніе на степень насыщенія всего столба воздуха водяными парами (*).

Намъ нерѣдко приходилось уже говорить объ абсолютномъ напряженіи солнечныхъ лучей, но мы всегда оставляли въ сторонѣ вопросъ о томъ, какимъ именно образомъ это абсолютное напряженіе было получено.

Теперь-же мы этимъ и займемся и опишемъ устройство приборовъ, служащихъ для опредѣленія абсолютнаго напряженія солнечныхъ лучей, извѣстныхъ подъ общимъ названіемъ *актинометровъ* (отъ греческаго *Акτιν* = актинъ — солнечный лучъ). Мѣрою напряженія солнечныхъ лучей можетъ служить любое дѣйствіе теплоты, а потому эта мѣра остается совершенно произвольною. Самое общее дѣйствіе теплоты—производить въ тѣлахъ расширеніе. Можно взять, напримѣръ, опредѣленную жидкость въ опредѣленномъ объемѣ и, подвергая опредѣленную часть ея поверхности въ теченіе единицы времени дѣйствію солнечной теплоты, судить, по замѣченному расширенію, о напряженіи теплородныхъ лучей. На этомъ и основанъ актинометръ Джона Гершеля.

Приборъ Гершеля состоитъ изъ термометра съ большимъ цилиндрическимъ резервуаромъ, наполненнымъ какою либо окрашеною жидкостью (напримѣръ растворомъ мѣднаго купороса). Расширеніе раствора можетъ быть опредѣлено съ большою точностью при помощи узкой термометрической трубки. Малый діаметръ трубки вмѣстѣ съ значительными размѣрами

самаго резервуара даютъ прибору Гершеля большую чувствительность. Въ резервуаръ актинометра вставляется серебряный винтъ который можетъ быть ввинчиваемъ и вывинчиваемъ по произволу; дѣйствуя этимъ винтомъ, можно измѣнять вмѣстимость резервуара. Передъ наблюденіемъ, помощью этого винта, поднимаютъ или опускаютъ жидкость пока конецъ столбика не станетъ на желаемой высотѣ у начала дѣлений шкалы: безъ такой предосторожности конецъ жидкаго столбика во время наблюденій могъ-бы выйти изъ предѣловъ шкалы. Такимъ образомъ возможность измѣнять объемъ резервуара устраняетъ необходимость дѣлать термометрическую трубку слишкомъ длинною. Такъ какъ коэффициентъ расширенія раствора не остается постояннымъ, а мѣняется съ измѣненіемъ температуры, то чрезъ самый винтъ, по направленію его оси, пропущенъ отдѣльный термометръ, показывающій температуру жидкости актинометра. Весь приборъ ставится въ деревянный ящикъ съ зачерненными внутренними стѣнками; верхняя сторона ящика сдѣлана изъ стекла и снабжена деревянною крышкою; когда крышка открыта, солнечные лучи проникаютъ черезъ стекло въ приборъ. Самыя наблюденія съ актинометромъ Гершеля производятся слѣдующимъ образомъ.

Установить приборъ такъ, чтобы верхняя сторона его была въ положеніи нормальномъ къ солнечнымъ лучамъ, открываютъ крышку и замѣчаютъ отсчеты на термометрической шкалѣ въ началѣ и въ концѣ одной минуты; разность отсчетовъ даетъ величину расширенія жидкости въ 1 минуту подъ вліяніемъ солнечныхъ лучей и температуры окружающей среды. Потомъ крышку закрываютъ и опять замѣчаютъ величину расширенія жидкости въ 1 минуту подъ вліяніемъ только температуры окружающей среды. Алгебраическая разность полученныхъ величинъ въ тѣни и на солнцѣ даетъ въ доляхъ шкалы величину расширенія жидкости въ 1 минуту подъ вліяніемъ однихъ только солнечныхъ лучей (¹). Во время наб-

(¹) Если при открытой крышкѣ жидкость расширялась, а при закрытой сжималась, то, очевидно, алгебраическая разность расширенія выразится суммою наблюдаемаго расширенія въ первомъ случаѣ и сжатія въ послѣднемъ.

(*) На поверхности земли мы можемъ опредѣлять влажность гигрометрами.

люденій замѣчаютъ также температуру жидкости, помощью вышеупомянутого термометра, чтобы знать величину коэффициента расширенія раствора во время наблюденій. Расширеніе жидкости данной температуры въ теченіе 1 минуты и служатъ мѣрою напряженія солнечныхъ лучей. Для большей точности обыкновенно дѣлаютъ цѣлый рядъ наблюденій по очереди открывая и закрывая крышку каждый разъ на 1 минуту: а потомъ уже берутъ среднія: 1) изъ всѣхъ наблюденій на солнцѣ и 2) изъ всѣхъ наблюденій въ тѣни; наконецъ берутъ разность между этими двумя средними. По этимъ даннымъ, зная истинную температуру жидкости, а слѣдовательно и ея истинный коэффициентъ расширенія, размѣры прибора и теплоемкость раствора, можно получить напряженіе солнечныхъ лучей въ калоріяхъ. Такимъ образомъ Гершель изъ своихъ наблюденій на мысѣ Доброй Надежды получилъ нормальное напряженіе на 1 кв. сантиметръ на поверхности земли 1,39; опредѣливъ затѣмъ поглощеніе теплоты атмосферы онъ нашелъ напряженіе нормальныхъ солнечныхъ лучей у предѣла атмосферы 2,09 калоріямъ.

Наблюденія
Кемца и Фор-
беса съ акти-
нометромъ
Гершеля.

Въ сентябрѣ мѣсяцѣ 1832 года, въ Швейцаріи были произведены интересныя наблюденія съ актинометромъ Гершеля Кемцомъ на Фаулгорнѣ (высота 8747 ф.) и одновременно Форбесомъ въ Бріенцѣ (высота 1903 ф.) Эти ученые задались мыслью опредѣлить коэффициентъ теплопрозрачности воздуха не только при помощи ранѣе выведенной формулы Бугера, но и совершенно самостоятельно, независимо отъ какихъ-бы то ни было гипотезъ, сравнивая абсолютныя величины напряженія солнечныхъ лучей на двухъ различныхъ высотахъ и, опредѣляя отсюда величину поглощенія въ слой опредѣленной толщины. Толщина слоя между станціями была равна почти двумъ верстамъ.

Подобнаго рода наблюденія съ актинометрами сопряжены съ большими трудностями, такъ какъ ясные, тихіе, пригодные для актинометрическихъ наблюденій дни встрѣчаются весьма рѣдко, и, даже при самыхъ благопріятныхъ обстоятельствахъ, нельзя, какъ показываетъ актинометръ, считать состояніе атмосферы вполне неизмѣняющимся. Изъ цѣлаго

ряда дней наблюденій Кемца и Форбеса въ Швейцаріи въ теченіе сентября мѣсяца выпалъ только одинъ вполне благопріятный для актинометрическихъ наблюденій день (25 сентября); полученными въ этотъ день результатами они и воспользовались для своихъ выводовъ, касательно поглощенія теплородныхъ лучей въ атмосферѣ.

Наблюденія производились въ теченіе цѣлаго дня при различныхъ зенитныхъ разстояніяхъ солнца, (черезъ каждыя 5°). По однимъ только наблюденіямъ, произведеннымъ на Фаулгорнѣ (25 сентября и въ другіе дни) Кемцъ нашелъ, что при прохожденіи вертикальнаго луча черезъ слой атмосферы, лежащій надъ Фаулгорномъ поглощается 24% всего напряженія, такъ что у нижняго предѣла этого слоя получается 0,76 того напряженія, которое должно быть у предѣла атмосферы (*). Чтобы вычислить какая доля напряженія получится на уровнѣ моря при нормальномъ давленіи слѣдуетъ, на основаніи формулы Бугера, величину 0,76 возвысить въ степень $\frac{760}{b}$ гдѣ 760 есть нормальная высота барометра на уровнѣ моря, а b высота барометра въ миллиметрахъ на Фаулгорнѣ. Такимъ образомъ Кемцъ нашелъ, на основаніи однихъ только своихъ наблюденій на Фаулгорнѣ, что коэффициентъ теплопрозрачности, приведенный къ нормальному давленію на уровнѣ моря, равенъ 0,68.

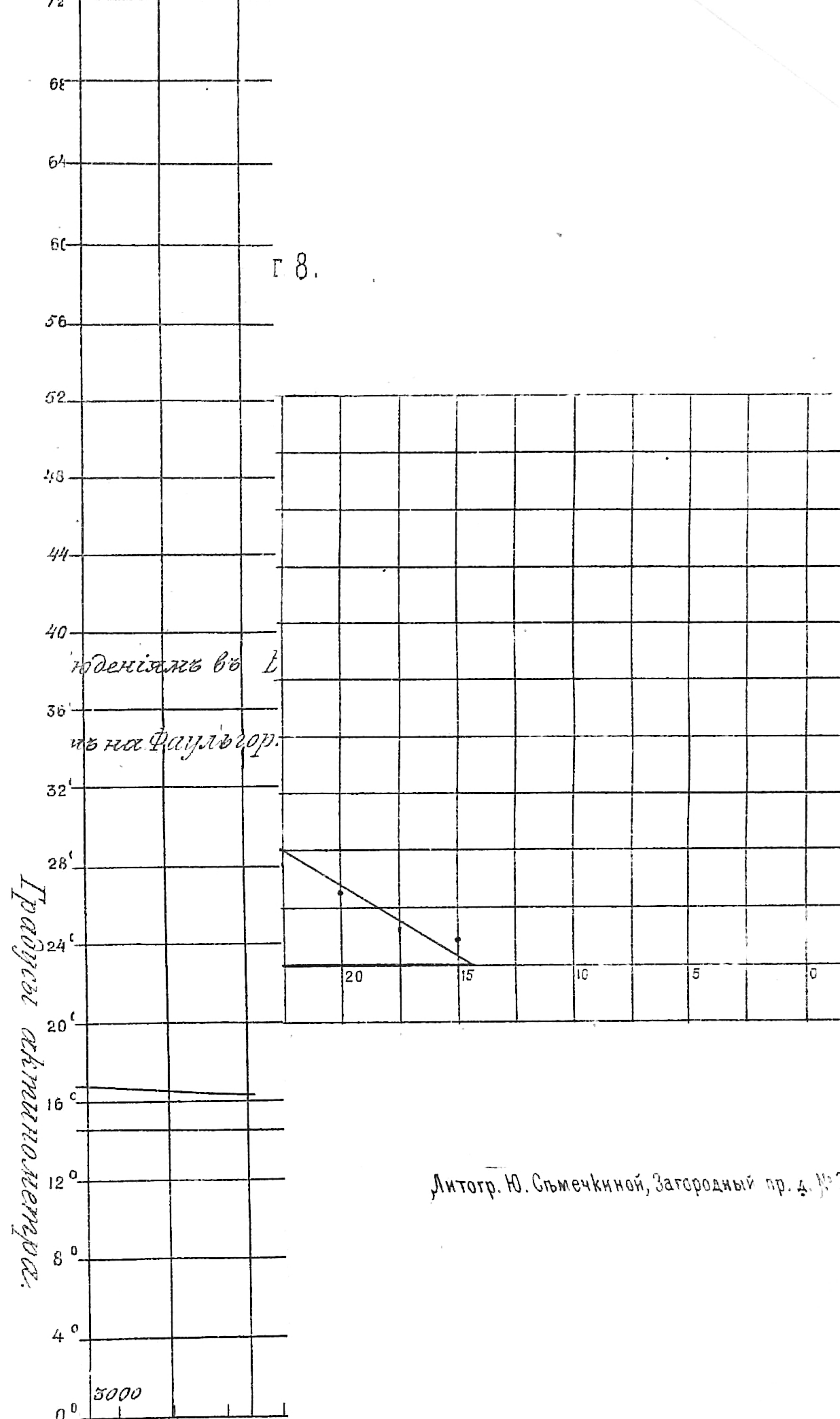
Форбесъ, на основаніи одновременныхъ наблюденій, произведенныхъ 25 сентября на Фаулгорнѣ и въ Бріенцѣ, вычислилъ среднюю потерю напряженія въ слой воздуха между станціями; а отсюда онъ вывелъ, что атмосфера при нормальной высотѣ барометра въ 760 м.м. и при средней влажности въ 56%, пропускаетъ 0,685 отъ всего напряженія вертикально падающаго луча; этотъ результатъ почти тождественъ съ выводомъ Кемца.

Въ виду согласія полученныхъ результатовъ, Форбесъ счелъ полезнымъ соединить для своихъ окончательныхъ выводовъ оба эти ряда наблюденій.

(*) То есть въ формулѣ Бугера $I = I_0 e^{-kZ}$, принимая за единицу массы слой воздуха, лежащій надъ Фаулгорномъ, k получилось равнымъ 0,76.

Форбесъ (*) графическимъ путемъ старался опредѣлить эмперическій законъ, выражающій зависимость величины поглощенія отъ толщины слоя проходимого солнечнымъ лучемъ. Для этого онъ откладывалъ по оси абсциссъ массы воздуха выраженные въ миллиметрахъ давленія, а по оси ординатъ, соотвѣтствующія напряженія въ единицахъ актиметрической шкалы. Оказалось при этомъ, что результаты наблюдений верхней и нижней станцій хорошо согласовались между собою, другими словами, что одинаковымъ массамъ воздуха въ томъ и другомъ рядахъ наблюдений соотвѣтствовало одинаковое поглощеніе тепла, не смотря на то, что въ одномъ случаѣ солнечные лучи проходили только верхніе слои атмосферы (выше Фаулгорна), а въ другомъ значительная часть пути приходилась и на нижніе слои, причемъ во второмъ случаѣ направленіе лучей при прохожденіи одинаковой массы воздуха ближе подходит къ вертикальной линіи, чѣмъ при наблюденіи въ верхней станціи. Явилась такимъ образомъ возможность провести чрезъ всѣ точки того и другаго рядовъ наблюдений одну общую согласную кривую, которая и показана на чертежѣ 7.

Эта кривая показываетъ, что, при непрерывномъ возрастаніи массы воздуха, напряженіе лучей стремится повидимому не къ нулю, а къ нѣкоторой опредѣленной величинѣ, при чемъ скорость убыванія въ напряженіи уменьшается съ возрастаніемъ абсолютной величины массы слоя. Форбесъ затѣмъ построилъ и другую кривую, гдѣ по оси абсциссъ были отложены самыя напряженія лучей, а по ординатамъ соотвѣтствующія имъ скорости убыванія въ напряженіи; скорости эти были сняты съ предыдущаго чертежа. Соединивъ всѣ полученныя такимъ образомъ точки, Форбесъ получилъ прямую линію, пересѣкающую ось абсциссъ, какъ видно на черт. 8, не въ началѣ координатъ, а въ нѣкоторомъ отъ нея удаленіи. Это удаленіе и опредѣляетъ собою то предѣльное напряженіе солнечныхъ лучей, при которомъ дальнѣйшее увеличеніе



Литогр. Ю. Съмечкиной, Загородный пр. 4. № 7

(*) On the transparency of the atmosphere by James D. Forbes. London 1842. Philosophical Transactions. Part II 1842.

массы воздуха не оказываетъ уже больше вліянія на величину поглощенія. Это предѣльное напряженіе соотвѣтствуетъ 0,4 — 0,5 калоріямъ.

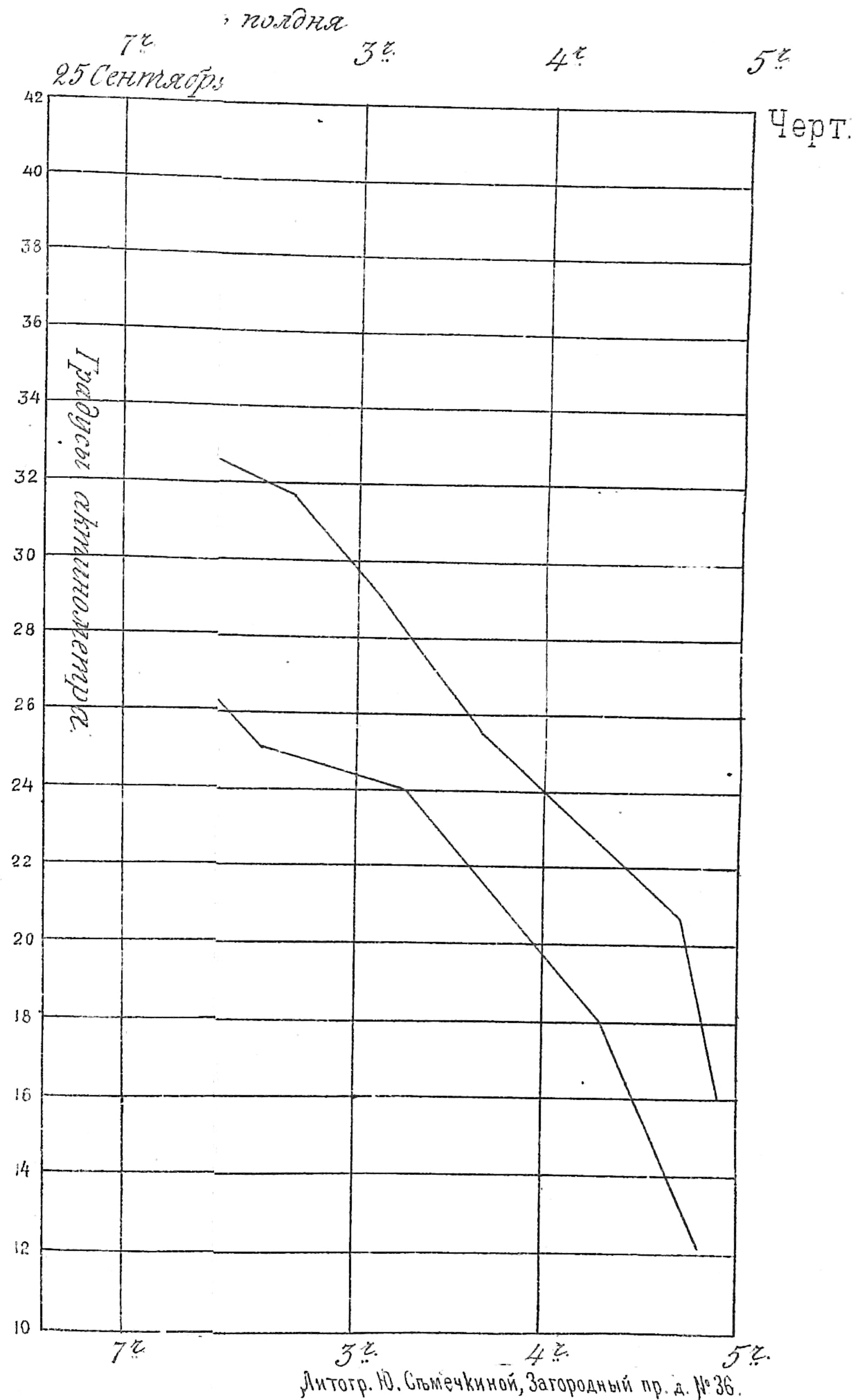
Форбесъ, на основаніи этихъ данныхъ, вывелъ эмпирическую формулу для поглощенія лучей въ атмосферѣ. У него коэффициентъ теплопрозрачности атмосферы оказался равнымъ всего только 0,534 (раньше-же было 0,685); поэтому получилось и иное напряженіе I_0 у предѣла атмосферы. По Форбесу $I_0 = 2,8$ калоріямъ. Кромѣ того Форбесъ опредѣлялъ еще коэффициентъ теплопрозрачности по отдѣльнымъ наблюденіямъ на Фаулгориѣ и въ Бріенцѣ пользуясь для этихъ вычисленій формулой Бугера; при этомъ для каждой станціи были вычислены результаты при двухъ различныхъ группировкахъ наблюденій; въ одной группировкѣ, которую мы назовемъ *A*, сравнивались наблюденія крайнихъ часовъ, утреннихъ и вечернихъ съ близполуденными; такъ напримѣръ для Фаулгорна группа наблюденій въ 8¼ ч. у., 9 ч. у., 3 ч. в., 4 ч. в. и 4½ ч. в. сравнивалась съ наблюденіями въ 10 ч., 11 ч., 12 ч., 1 ч. и 2 ч. Во второй группировкѣ *B* сравнивались между собою смежныя наблюденія попарно; наблюденіе въ 8¼ ч. у. съ наблюденіемъ въ 9 ч. у.; набл. 10 ч. у. съ набл. 11 ч. у. и т. д. Всѣ эти результаты приведены въ слѣдующей таблицѣ:

С п о с о б ъ в ы ч и с л е н і й.		Коефициентъ теплопрозрачности.
По формулѣ Бугера изъ наблюденій.	На Фаулгориѣ А.	0,68
	» » В.	0,78
	Въ Бріенцѣ А.	0,76
	» » В.	0,75
Непосредственно по слою между Фаулгорномъ и Бріенцомъ.		0,68
На основаніи чертежей и эмпирической формулы.		0,53

Послѣднее число надо признать болѣе надежнымъ.

На основаніи вышеупомянутыхъ актинометрическихъ наблюдений на Фаулгорпъ и въ Бріенцѣ, Форбесъ построилъ кривыя, изображенныя на черт. 9. По оси абсциссъ отложены истинныя времена наблюдений 25 сентября, а по оси ординатъ видимыя расширенія жидкости актинометра, выраженные въ условныхъ единицахъ актинометрической шкалы. Верхняя кривая даетъ суточный ходъ напряженія солнечныхъ лучей на Фаулгорпъ, а нижняя — въ Бріенцѣ.

Прослѣдимъ особенности этихъ кривыхъ. Во первыхъ бросается въ глаза крутой подъемъ обѣихъ кривыхъ около времени восхода и захода солнца. Это явленіе обуславливается тѣмъ обстоятельствомъ, что при малыхъ высотахъ солнца надъ горизонтомъ, масса воздуха, проходимая солнечными лучами, быстро возрастаетъ съ дальнѣйшимъ уменьшеніемъ высоты: при этомъ, еще, вблизи самой поверхности земли въ атмосферѣ плаваютъ разныя постороннія частицы, отъ которыхъ воздухъ, вблизи горизонта дѣлается еще менѣе прозрачнымъ. Во вторыхъ обѣ кривыя на Фаулгорпъ и въ Бріенцѣ имѣютъ до и послѣ полуденнаго максимума не большія впадины; по мнѣнію Форбеса эти впадины объясняются соединеніемъ двухъ противоположныхъ вліяній, вызываемыхъ возвышеніемъ солнца надъ горизонтомъ. Съ одной стороны, съ увеличеніемъ высоты солнца увеличиваются напряженіе его лучей, а съ другой водяные пары, подымаясь утромъ въ верхніе слои, атмосферы, сгущаются, уменьшаютъ теплопрозрачность воздуха и замедляютъ увеличеніе напряженія солнечныхъ лучей; около полдня вліяніе паровъ остается почти постояннымъ и кривая напряженія быстро подымается. Послѣ полдня водяные пары опускаются внизъ, воздухъ дѣлается прозрачнѣе и спускъ кривой напряженія становится отъ этого болѣе плавнымъ. Эти условія впрочемъ иногда измѣняются; въ такомъ случаѣ, и суточный ходъ напряженія получается иной. Въ—третьихъ мы видимъ, что вся кривая для Фаулгорна лежитъ выше кривой для Бріенца, какъ этого и слѣдовало ожидать,



въ виду того, что въ послѣднемъ абсолютная величина напряженія лучей уменьшается на полную величину поглощенія лучей слоемъ атмосферы, лежащимъ между двумя станціями. Въ—четвертыхъ амплитуда суточного колебанія въ напряженіи солнечныхъ лучей значительно на верхней станціи, чѣмъ на нижней. Это объясняется тѣмъ, что максимумъ напряженія въ верхнемъ слое больше, чѣмъ въ нижнемъ, а при восходѣ и заходѣ солнца напряженіе и внизу, и вверху одинаково равно нулю. Въ—пятыхъ, взглядываясь въ изгибы обѣихъ кривыхъ, мы замѣчаемъ, что максимумъ напряженія наступаетъ на Фаулгорнѣ до полдня, въ Бриенцѣ же—около часа пополудни. Это обстоятельство объясняется тѣмъ, что какъ извѣстно изъ гигрометрическихъ наблюденій и изъ наблюденій надъ облаками, водяные пары поднимаются въ верхніе слои и скопляются тамъ въ близполуденные часы; поэтому на верхней станціи максимумъ паровъ наблюдается послѣ полдня, тогда какъ надъ нижнею станціею весь день находится вся толща атмосферы со всѣми заключающимися въ ней парами, по этому для нижней станціи около времени наивысшей температуры, когда водяные пары наиболѣе удаляются отъ насыщенія наступаетъ наибольшая теплопрозрачность, а утромъ и вечеромъ теплопрозрачность уменьшается. Такой ходъ влажности и объясняетъ намъ почему максимумъ въ напряженіи наступаетъ на Фаулгорнѣ раньше, чѣмъ въ Бриенцѣ.

Погрѣшности
актинометра
Гершеля.

Кемцъ замѣтилъ при своихъ изслѣдованіяхъ съ актинометромъ Гершеля, что расширение раствора во время первой минуты дѣйствія солнечныхъ лучей происходитъ неравномѣрно, а именно, вначалѣ скорость расширения замедляется и только по прошествіи 50 секундъ она становится почти неизмѣнной. Этотъ фактъ, противорѣчащій повидимому тому общему закону, что нагреваніе всякаго тѣла происходитъ вначалѣ быстрѣе, а за тѣмъ уже замедляется, съ уменьшеніемъ разности температуръ самаго тѣла и источника теплоты, объясняется однако Кемцомъ совершенно просто. Эта аномалія происходитъ отъ того, что, при дѣйствіи солнечныхъ лучей, ранѣе всего подвергается нагреванію самый резервуаръ акти-

нометра, емкость его увеличивается, а отъ этого то и замедляется видимое расширение раствора въ термометрической трубкѣ. Это явленіе наблюдается между прочимъ и съ обыкновенными термометрами. Упомянутый недостатокъ актинометра Гершеля довольно существеннаго свойства, такъ какъ въ виду такого неравномернаго расширения жидкости нельзя особенно полагаться на благонадежность абсолютныхъ данныхъ, получаемыхъ съ этимъ приборомъ.

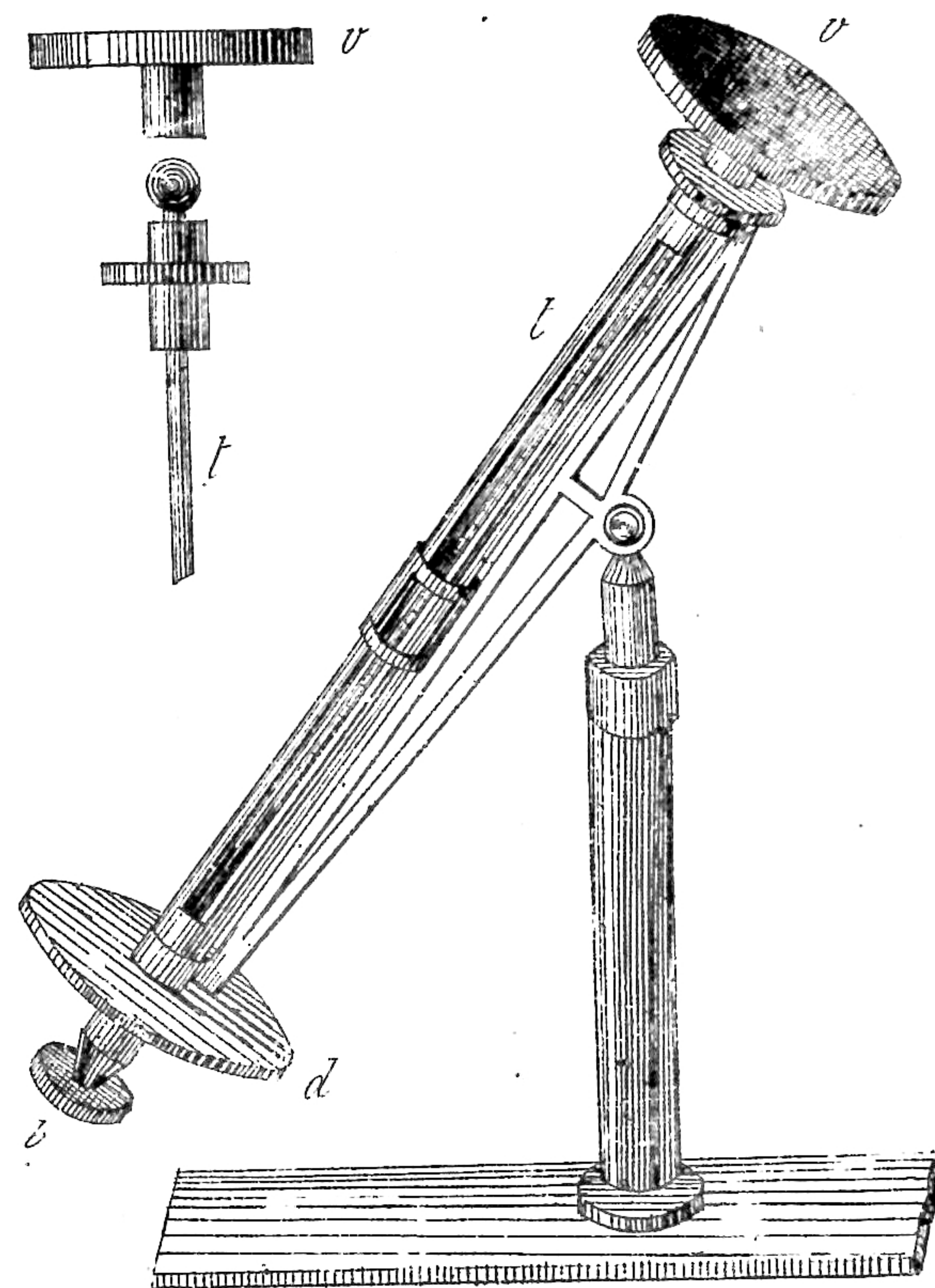
Другой недостатокъ актинометра Гершеля состоитъ въ томъ, что актинометрическая жидкость въ разныхъ приборахъ имѣетъ и разные коэффициенты расширения и поглощенія, причемъ еще съ теченіемъ времени и самый коэффициентъ расширения раствора можетъ нѣсколько измѣниться (для той-же температуры, конечно). Кромѣ того стеклянные пластинки, предохраняющія актинометръ отъ движенія воздуха, могутъ имѣть въ различныхъ приборахъ не одинаковую прозрачность и вводить такимъ образомъ въ наблюденія постоянныя ошибки. Приходится дѣлать наблюденія, или съ тѣмъ-же самымъ актинометромъ, или-же пользоваться тщательно вывѣренными и сравненными между собою приборами. Трудность опредѣленія всѣхъ абсолютныхъ коэффициентовъ прибора и измѣняемость этихъ коэффициентовъ, служитъ причиною почему сводка наблюденій, произведенныхъ разными инструментами въ разное время не приводитъ къ достаточно надежнымъ общимъ выводамъ.

Въ приборѣ Гершеля, какъ мы видѣли, напряженіе солнечныхъ лучей получается сначала въ нѣкоторыхъ условныхъ единицахъ, которыя затѣмъ уже переводятся въ калоріи. Пиреліометръ-же Пулье даетъ результаты прямо въ калоріяхъ. Сущность прибора Пулье заключается въ слѣдующемъ (1).

Плоская, серебрянная, снаружи полированная, цилиндрическая коробка наполняется перегнанной водой.

Наружная поверхность этой коробки (черт. 10, v) покрывается слоемъ сосновой сажи; съ противоположной стороны

Черт. 10.



Пиреліометръ
Пулье.

(1) Pouillet. Comptes rendus de l'Academie des Sciences. t. VII или Poggen-dorff's Annalen T. XLV стр. 25 и 481

сдѣлано небольшое отверстіе, чрезъ которое пропущенъ резервуаръ чувствительнаго термометра (t). Коробка такимъ образомъ представляетъ собою обыкновенный калориметръ. Термометръ заключенъ въ мѣдной оправѣ имѣющей продолный прорѣзъ позволяющій дѣлать отсчеты на термометрической шкалѣ. Къ этой же оправѣ прикрѣплена и серебрянная коробка. Вся эта система поддерживается двумя кольцами такъ, что оправу, при посредствѣ кнопки (b), можно вращать около своей оси и перемѣнивать такимъ образомъ частицы воды въ серебрянной коробкѣ, которая неизмѣннымъ образомъ связана съ оправой. Приборъ устанавливается на штативѣ съ шарнирами, при помощи которыхъ можно ориентировать зачерненную поверхность коробки нормально къ направленію солнечныхъ лучей. Для точной ориентировки служитъ вспомогательный кругъ (d) такого-же діаметра, какъ и сама коробка. Когда тѣнь отъ коробки совершенно покрываетъ вспомогательный кружокъ, приборъ установленъ въ надлежащемъ положеніи.

Наблюденія съ пиреліометромъ Пулье дѣлаются слѣдующимъ образомъ

Когда приборъ съ водою приметъ температуру нѣсколько высшую температуры окружающей среды, наблюдаютъ, заслонивъ приборъ отъ солнца экраномъ, пониженіе температуры въ теченіе пяти минутъ; пусть термометръ понизится въ это время на r градусовъ; при этомъ въ послѣднюю минуту приборъ устанавливаютъ такъ, чтобы зачерненная поверхность коробки была перпендикулярна къ лучамъ солнца; по истеченіи пятой минуты экранъ открываютъ и затѣмъ замѣчаютъ на сколько градусовъ R повышается температура воды подъ вліяніемъ солнечныхъ лучей въ теченіе 5 минутъ; по истеченіи 5-ой минуты заслоняютъ приборъ экраномъ и наблюдаютъ опять въ тѣни, пониженіе r' градусовъ температуры воды въ теченіе пяти минутъ. Воду въ коробкѣ во все время наблюдений, какъ въ тѣни такъ и на солнцѣ, перемѣниваютъ вращая приборъ около его оси. Очевидно, что пиреліометръ охлаждался въ теченіе 5 минутъ среднимъ числомъ на $\frac{r+r'}{2}$ вслѣдствіе лучеиспусканія стѣнокъ и прикосновенія ихъ къ болѣе холодному

воздуху; часть теплоты получаемой отъ солнца утратилась путемъ этого охлажденія; слѣдовательно, еслибы этого охлажденія небыло, нагрѣваніе воды въ теченіе 5 минутъ подѣ вліяніемъ одного только дѣйствія солнечныхъ лучей получилось-бы:

$$t = R + \frac{r+r'}{2}.$$

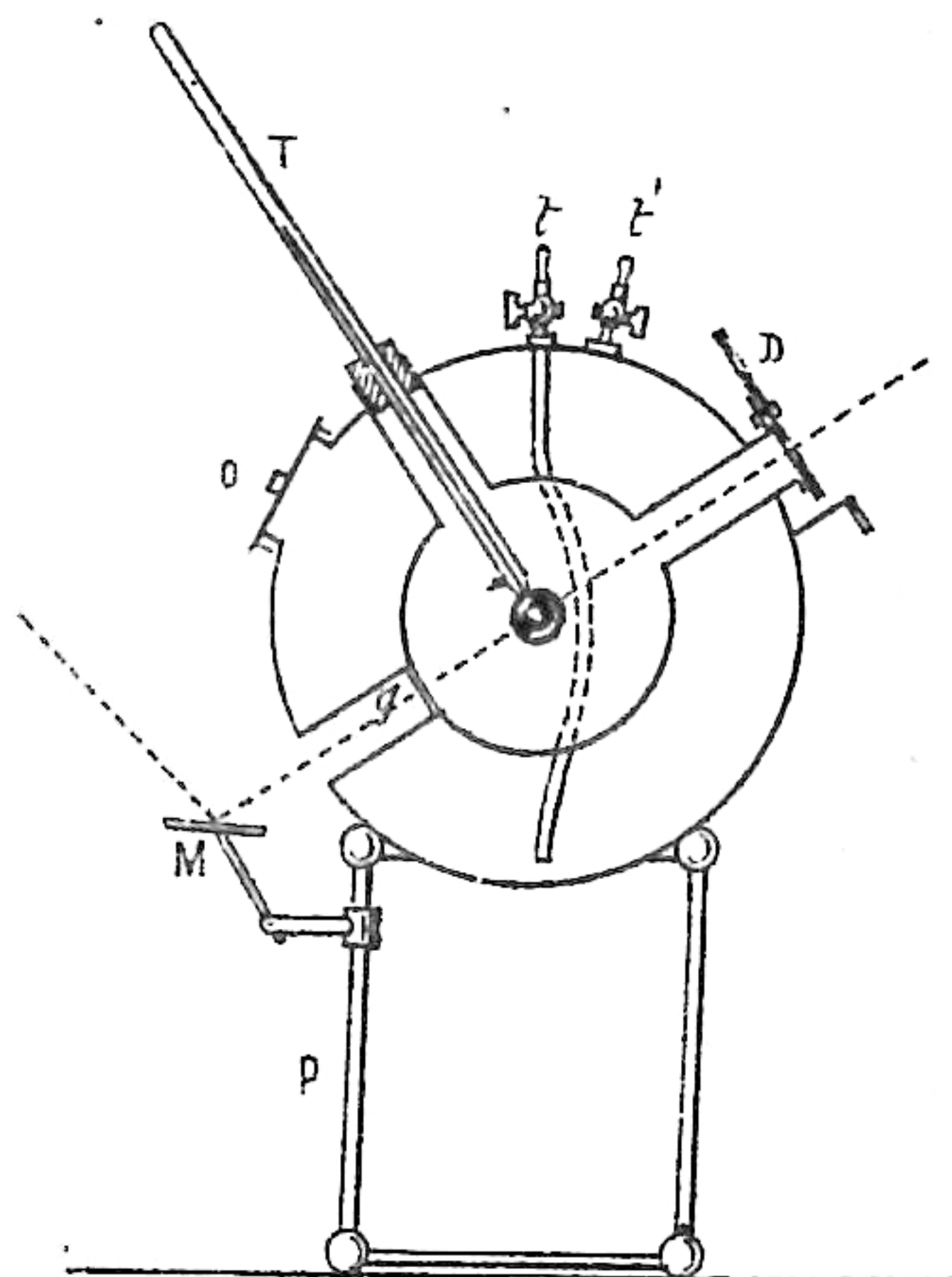
Для болѣе точнаго опредѣленія величины t дѣлаютъ обыкновенно цѣлый рядъ наблюденій, держа приборъ по пяти минутъ поочередно, то въ тѣни, то на солнцѣ и такимъ образомъ получаютъ цѣлый рядъ величинъ t , изъ которыхъ берутъ среднюю—. По величинѣ t , зная размѣры зачерненной поверхности, вѣсъ нагрѣваемой воды, вѣсъ коробки, вѣсъ стекла и ртути въ резервуарѣ термометра и всѣ соотвѣтствующія теплостности, можно получить напряженіе солнечныхъ лучей прямо въ калоріяхъ.

Пусть p представляетъ вѣсъ воды въ граммахъ, p' суммѣ вѣсовъ серебра, коробки, стекла и ртути въ резервуарѣ термометра, умноженные на ихъ соотвѣтствующія теплостности, а ρ радіусъ зачерненной поверхности; тогда количество теплоты, притекающей на одинъ квадратный сантиметръ въ теченіе одной минуты, или такъ называемое напряженіе теплородныхъ солнечныхъ лучей, выразится слѣдующею формулою:

$$I = \frac{(p + p')t}{5 \pi \rho^2}.$$

Пулье изъ цѣлаго ряда наблюденій произведенныхъ съ этимъ приборомъ при различныхъ зенитныхъ разстояніа солнца, получилъ для нормальнаго напряженія I_0 у верхняго предѣла атмосферы 1,7633 калорій. Это число значительно меньше чиселъ, данныхъ другими наблюдателями; по послѣднимъ изслѣдованіямъ Ланглея I_0 , найдено около 3-хъ калорій.

Шреліометръ Пулье удобенъ тѣмъ, что онъ даетъ окончательные результаты прямо въ калоріяхъ; къ тому же онъ не подверженъ такимъ измѣненіямъ, какъ актинометръ Гершеля (непостоянство коэффициента расширенія раствора и пр.). Но, несмотря на это, приборъ Пулье обладаетъ другими значительными недостатками отъ которыхъ онъ также, какъ и актинометръ Гершеля, становится непригоднымъ для точныхъ аб-



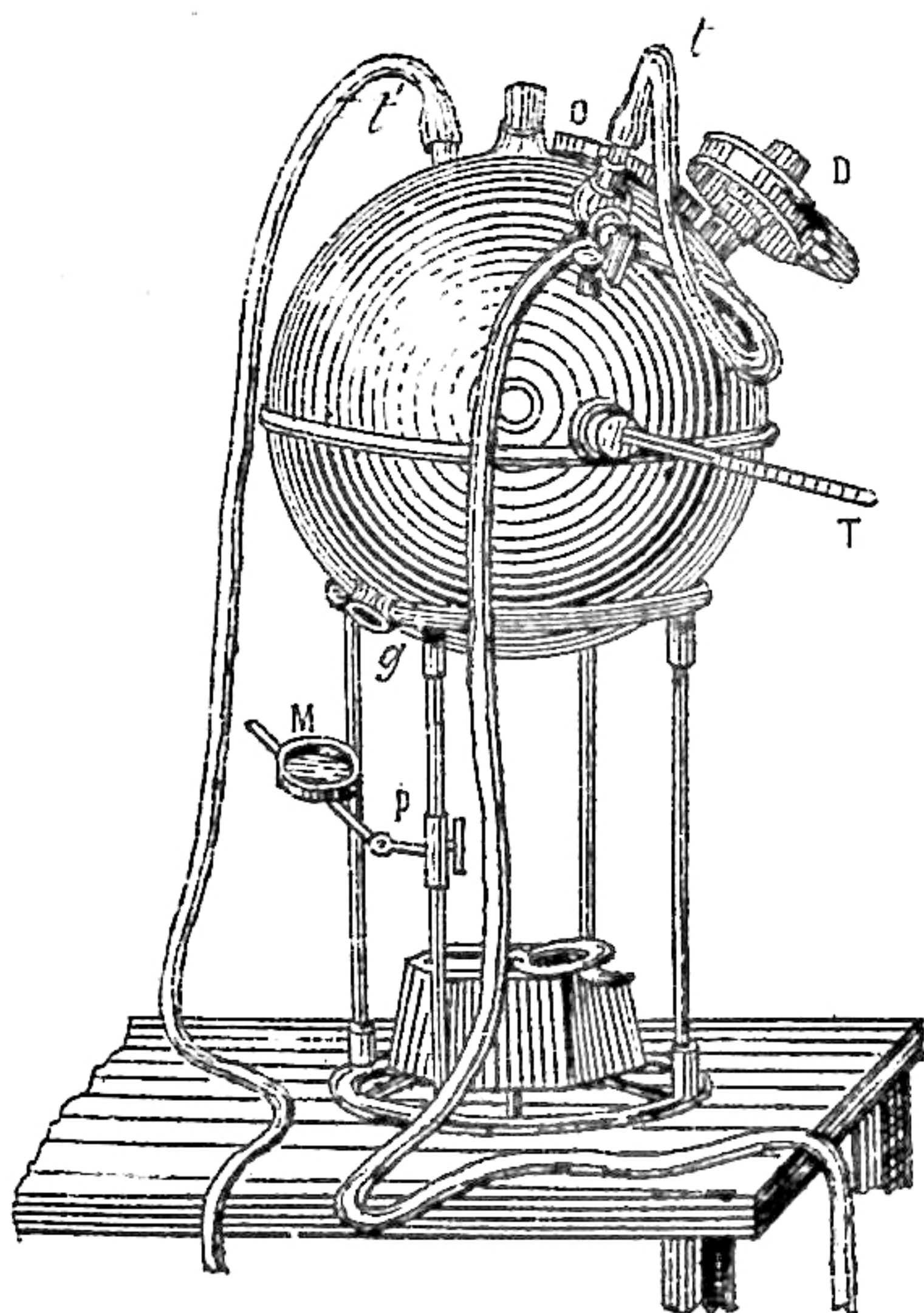
солотныхъ измѣреній. Хотя, при производствѣ наблюдений, приборъ и вращаютъ все время около оси, но частицы воды прилегающія къ стѣнкамъ, не легко отъ нихъ отстаютъ и образуютъ слой болѣе нагрѣтой воды, сравнительно съ остальною массою; слѣдовательно термометръ не даетъ средней температуры всей массы воды; другой источникъ погрѣшности заключается въ томъ, что какъ бы точно приборъ не былъ установленъ, все-же на боковыя стѣнки, съ одной или другой стороны будутъ падать солнечные лучи и тѣмъ нагрѣвать приборъ; вліяніе этого нагрѣванія не принимается въ расчетъ.

Вліяніе лучеиспусканія прибора до нѣкоторой степени устраняется упомянутымъ способомъ наблюдений, но вѣтеръ все-таки оказываетъ свое вредное вліяніе, нарушая правильность хода нагрѣванія и вводитъ черезъ это въ наблюденія разныя случайныя ошибки.

Мы видимъ, такимъ образомъ, что и пиреліометръ Пулье есть весьма несовершенный приборъ и, что, вообще говоря опредѣленіе абсолютнаго напряженія солнечныхъ лучей сопряжено на практикѣ съ большими затрудненіями ⁽¹⁾.

Актинометръ Віоля представляетъ одинъ изъ наиболѣе совершенныхъ приборовъ служащихъ для опредѣленія абсолютнаго напряженія солнечныхъ лучей.

Правильный шарообразный, зачерненный снаружи сажеею резервуаръ чувствительнаго термометра Т (черт. 11) устанавливается въ центрѣ двухъ сферическихъ, концентрическихъ, латунныхъ оболочекъ ⁽²⁾. Внутренняя поверхность ближайшей къ шару термометра оболочки также зачернена, наружная же поверхность внѣшней оболочки, наоборотъ, тщательно отполирована. Обѣ концентрическія оболочки поддерживаются въ продолженіе всего опыта въ постоянной температурѣ. Для



⁽¹⁾ Впослѣдствіи пробовали дѣлать приборы на подобіе пиреліометра Пулье съ тою однако разницею, что коробка наполнялась не водой а ртутью, обладающею, какъ извѣстно гораздо болѣею теплопроводностью, и не смачивающею металлическихъ стѣнокъ коробки.

⁽²⁾ Діаметръ внутренней оболочки 15, а наружной 23 сантиметра.

этой цѣли, или все пространство между концентрическими оболочками наполняется чрезъ отверстіе 0 (имѣющее герметическую пробку) тающимъ льдомъ, или между тѣми-же оболочками поддерживается при посредствѣ трубокъ t и t' постоянная циркуляція воды определенной температуры. Въ этотъ приборъ по одному изъ діаметровъ, перпендикулярныхъ къ оси термометра, вставлены двѣ трубки; одна изъ нихъ находится на продолженіи другой. Верхняя трубка можетъ быть направлена на солнце; къ ней придѣлана діафрагма D съ круглыми отверстіями различныхъ діаметровъ. Къ нижней трубкѣ привинчивается матовое стекло, или-же ставится подъ нею, въ нѣкоторомъ удаленіи (какъ показано на чертежѣ) маленькое зеркальцо, при помощи котораго можно судить правильно-ли весь приборъ ориентированъ, то есть подверженъ-ли дѣйствию солнечныхъ лучей весь зачерпленный шарикъ термометра. Весь приборъ упирается на круглое кольцо штатива; при этомъ устройствѣ весьма легко направлять ось трубки на любую точку неба. Кромѣ того стѣнки прибора защищаются отъ боковаго дѣйствія солнечныхъ лучей особаго рода ширмами.

Самыя наблюденія съ актинометромъ Виоля производятся слѣдующимъ образомъ. Ввинтивъ термометръ на мѣсто, тщательно заграютъ отверстія обѣихъ трубокъ; термометръ тогда скоро принимаетъ температуру самой оболочки. Затѣмъ ориентируютъ надлежащимъ образомъ весь приборъ, устанавливаютъ діафрагму желаемого размѣра и, открывъ обѣ трубки, начинаютъ замѣчать каждую минуту, или каждыя 30 секундъ показанія ртутнаго термометра (*). Отъ дѣйствія солнечныхъ лучей термометръ начнетъ сначала повышаться, но, по истеченіи нѣкотораго промежутка времени (въ опытахъ Виоля приблизительно черезъ $1/4$ часа) онъ уже достигнетъ нѣкой постоянной температуры. Тогда вновь закрываютъ отверстія трубокъ и наблюдаютъ точно такъ-же, какъ раньше чрезъ равныя промежутки времени различныя показанія охлаждающагося термометра до тѣхъ поръ, пока онъ опять не достиг-

(*) По открытіи трубокъ можно при посредствѣ зеркальца, дать тотчасъ же прибору совершенно точную ориентировку.

нетъ своей первоначальной температуры, отвѣчающей температурѣ упомянутой оболочки.

По этимъ наблюденіямъ выводятся сначала различныя скорости измѣненія температуры термометра и затѣмъ уже по этимъ даннымъ вычисляется на основаніи слѣдующихъ соображеній, полное количество теплоты, получаемой отъ солнца. Когда зачерпленный шарикъ термометра подверженъ дѣйствию солнечныхъ лучей, то измѣненіе его температуры обуславливается не одною только нагревательною силою солнца, но также и лучеиспусканіемъ зачерпленной поверхности термометра къ внутренней оболочкѣ прибора. Назовемъ M то абсолютное число калорій, которое потребно для того, чтобы измѣнить показаніе термометра на одинъ градусъ термометрической шкалы; это число опредѣляется предварительными опытами. Пусть « U » представитъ измѣненіе показанія термометра въ одну минуту въ то время, когда солнечнымъ лучамъ открытъ доступъ во внутрь прибора, а Θ —среднюю температуру термометра за этотъ минутный промежутокъ времени. Пусть « U » представитъ наблюдаемую скорость охлажденія термометра въ одну минуту при той-же средней температурѣ Θ , когда на шарикъ термометра солнечные лучи уже болѣе не падаютъ и термометръ охлаждается отъ лучеиспусканія къ внутренней оболочкѣ актинометра.

Если неизвѣстную скорость нагреванія термометра, обуславливаемую однимъ только нагревательнымъ дѣйствиемъ солнечныхъ лучей, мы обозначимъ чрезъ W ; то мы очевидно будемъ имѣть что

$$V = W - U;$$

отсюда полное количество теплоты, получаемое отъ солнца, равно

$$WM = VM + UM. = (U + V)M.$$

Раздѣливъ этотъ двучленъ на площадь поперечнаго сѣченія резервуара термометра S , мы получимъ, согласно съ ранѣе сдѣланными нами опредѣленіями, абсолютное напряженіе солнечныхъ лучей, которое мы раньше обозначили чрезъ I .

$$\frac{WM}{S} = I = \frac{M}{S} (V + U).$$

Мы можемъ принять, что въ теченіе небольшого промежутка времени напряженіе солнечныхъ лучей I не измѣняется, а потому для того-же ряда актинометрическихъ наблюденій $U + V$ равно нѣкоторой постоянной величинѣ. Весь вопросъ сводится такимъ образомъ къ опредѣленію этой суммы скоростей ($U + V$); замѣтимъ при этомъ, что скорости эти должны строго соотвѣтствовать одной и той-же температурѣ. Мы лучше всего уяснимъ себѣ на частномъ примѣрѣ, какимъ образомъ Виоль опредѣляетъ эту неизвѣстную сумму скоростей, а потому возьмемъ для этого рядъ чиселъ, полученныхъ этимъ наблюдателемъ при своихъ актинометрическихъ изслѣдованіяхъ на Монбланѣ. Числа эти приведены въ слѣдующей таблицѣ.

Время отъ начала набл. t	Температура при нагрѣваніи. Θ	Температура при охлажденіи. Θ'	$\Theta + \Theta' = \Theta_0$
0 мин.	0°	18,0°	18,0°
5	14,9	3,0	17,9
10	17,6	0,6	18,2
15	17,9	0,1	18,0
20	18,0	0,0	18,0

Θ представляетъ температуру термометра, наблюдаемую при нагрѣваніи въ различные моменты, считаемые отъ момента начала нагрѣванія, а Θ' температуру термометра въ различные моменты во время его охлажденія причемъ время t считается отъ момента начала охлажденія т. е. отъ момента прекращенія доступа солнечныхъ лучей во внутрь актинометра. Постоянство чиселъ послѣдняго столбца, представляющихъ сумму температуръ Θ и Θ' , указываетъ на то, что, по истеченіи того-же промежутка времени отъ начала явленія, скорость нагрѣванія термометра равна скорости охлажденія. На основаніи этого, Виоль и представляетъ обѣ температуры Θ и Θ' слѣдующими двумя эмперическими формулами которыя

по его выводамъ давали весьма удовлетворительное согласіе съ наблюденіями:

$$\Theta = \Theta_0 (1 - e^{mt}) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

$$\Theta' = \Theta_0 e^{mt} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Здѣсь « t » есть время, протекшее отъ начала явленія, а m нѣкоторая постоянная отрицательная величина $(^{\circ})^{\circ}\Theta$ извѣстна, а вѣроятнѣйшая величина для m опредѣляется изъ формулы (2) на примѣрѣ по способу наименьшихъ квадратовъ.

Скорости нагрѣванія или охлажденія отсюда получаются:

$V = m\Theta_0 - m\Theta$; $U = m\Theta'$; при одной и той же температурѣ $\Theta = \Theta'$ находимъ $V + U = m\Theta_0$. Въ данномъ примѣрѣ Виоль получилъ $m = -0,36$, $\Theta_0 = 18$ и слѣдовательно $V + U = 6^{\circ},55$.

Величина M въ эквивалентѣ воды по опредѣленію Виоля для его прибора найдена $= 0,222$ гр., а $S = 0,608$ кв. см.

Отсюда находимъ абсолютное напряженіе солнечныхъ лучей: $I = (U + V) \frac{M}{S} = 2,39$.

Актинометрическія наблюденія съ описаннымъ приборомъ были произведены самимъ Виолемъ въ 1875 году на западныхъ Альпахъ. Виоль поднимался для производства наблюденій на вершину Монъ-Блана (4810 метровъ), товарищъ-же его Марготе наблюдалъ одновременно у подножія Боссонскаго глетчера (1200 м.); другой рядъ наблюденій былъ произведенъ этими-же наблюдателями у Grands-Mulets (3050 м.) и у того-же Боссонскаго глетчера. На каждой станціи замѣчались одновременно: атмосферное давленіе, влажность и температура

(¹) Собственно говоря эти формулы выражаютъ, что какъ нагрѣваніе такъ и охлажденіе при данныхъ условіяхъ слѣдуютъ одному и тому же закону и именно закону охлажденія Ньютона. По этому закону скорость охлажденія пропорціональна избытку температуры. Избытокъ въ данномъ случаѣ есть Θ' , потому что температура оболочекъ прибора, какъ видно изъ таблицы равна 0°.

Итакъ имѣемъ

$$\frac{d\Theta'}{dt} = m'\Theta'; \quad \int \frac{d\Theta'}{\Theta'} = \int m' dt.$$

$$\lg \Theta' = m't + \lg C. \quad \text{При } t = 0. \quad \Theta' = C = \Theta_0.$$

$$\text{И такъ } \lg \frac{\Theta'}{\Theta_0} = m't. \quad \text{Откуда } \Theta' = \Theta_0 e^{m't}.$$

воздуха. Результаты наблюдений, приведены въ слѣдующихъ двухъ таблицахъ.

16 августа 1875 года 10 ч. 22 мин. утра.

Мѣсто наблюдений.	Высо-та.	Высота барометра.	Температура.	Упругость водяныхъ паровъ.	Напряженіе. J.
Вершина Монъ-Бланъ.	4810м.	430мм.	+1°С.	1,0 мм.	2,392
Боссонскій глетчеръ	1200	661	+9,5	5,3	2,022

17 августа 1875 года 10 ч. 40 мин. утра.

Grands-Mulets	3050	533	+7,0	4,0	2,057
Боссонскій глетчеръ.	1200	662	+13,0	5,3	1,817

Обработавъ матеріалъ, добытый изъ наблюдений 16 и 17 августа, Біоль получилъ для коэффициента теплопрозрачности атмосферы несогласные между собою результаты. Причину такого разногласія онъ сталъ искать въ различной упругости водяныхъ паровъ въ разные дни, на верхней и нижней станціяхъ; для того, чтобы опредѣлить вліяніе этого обстоятельства, Біоль нѣсколько видоизмѣнилъ основную формулу Бугера, введя въ нее членъ зависящій отъ абсолютной влажности.

Мы видѣли раньше, что

$$I = I_0 p^m$$

Принявъ за единицу массы, массу воздуха, проходящую вертикальнымъ лучемъ, когда давленіе барометра равно 760 мм., и, обозначивъ наблюдаемую высоту барометра въ миллиметр. черезъ Н, предшествующая формула обратится въ слѣдующую:

$$I = I_0 p^{\frac{H}{760} \epsilon}$$

гдѣ ϵ для не слишкомъ большихъ зенитныхъ разстояній равно $\sec Z$.

Біоль замѣняетъ эту формулу Бугера слѣдующимъ выраженіемъ:

$$I = I_0 p^{\frac{H + (h - h_1) k f}{760} \epsilon}$$

гдѣ h — предѣльная высота распространения водяныхъ паровъ, а h_1 — высота мѣста наблюденія, выраженная въ метрахъ, k нѣкоторый постоянный коэффициентъ, а f выраженная въ миллиметрахъ средняя упругость водяного пара, въ слое воздуха соотвѣтствующемъ $h - h_1$.

Формула эта построена на основаніи слѣдующихъ соображеній.

Если-бы одинъ только сухой воздухъ поглощалъ теплоту, то напряженіе солнечныхъ лучей послѣ прохожденія ихъ черезъ этотъ сухой воздухъ, соотвѣтствующій давленію $H - f$ выразилось-бы формулою:

$$I_1 = I_0 p_1^{\frac{H - f}{760} \epsilon} \dots \dots \dots (1).$$

Но лучъ проходить, сверхъ этого слоя сухого воздуха, чрезъ атмосферу водяного пара; хотя въ дѣйствительности лучъ проходить чрезъ обѣ атмосферы одновременно, но очевидно, что дѣйствіе ихъ будетъ такое же какъ если-бы лучъ прошелъ сначала чрезъ атмосферу сухого воздуха, а потомъ чрезъ атмосферу, водяного пара упругостью $= f$ и высотой $= h - h_1$.

Въ этомъ случаѣ напряженіе луча прошедшаго чрезъ обѣ атмосферы будетъ:

$$I = I_1 p_2^{(h - h_1) f \epsilon}$$

Положивъ $p_2 = p_1 \frac{k_1}{760}$, находимъ

$$I = I_1 p_1^{\frac{(h - h_1) k_1 f}{760} \epsilon}.$$

Подставивъ сюда вмѣсто I_1 равную ему величину, данную въ формулѣ (1), находимъ:

$$I = I_0 p^{\frac{(H - f) + k f (h - h_1)}{760} \epsilon} = I_0 p^{\frac{H + (h - h_1) (k - \frac{1}{h - h_1})}{760} f \epsilon}$$

Дробью $\frac{1}{h - h_1}$ мы можемъ пренебречь предъ величиною k ('); другими словами мы допускаемъ, что поглощеніе теплоты слоемъ воздуха, давленіе котораго равно f , весьма мало въ

(') Біоль, при вычисленіи своихъ наблюдений на Монбланѣ, получилъ, $k = 0,148$, принимая $\frac{1}{h - h_1} = \frac{1}{4810}$

сравненіи съ поглощеніемъ теплоты слоемъ водянаго пара, высота котораго равна $h - h_1$, а средняя упругость есть f .

Сдѣлавъ это мы и получимъ ранѣе приведенную формулу Віоля.

$$I = I_0 \rho \frac{H + (h - h_1) kf}{760} \epsilon$$

Пользуясь этой новой формулой, Віоль нашелъ, что количество теплоты, получаемое у предѣла атмосферы однимъ квадратнымъ сантиметромъ при нормальномъ паденіи лучей, или, иначе говоря абсолютное напряженіе теплородныхъ солнечныхъ лучей I_0 равно 2,54 калоріямъ.

Болометръ
Ланглея.

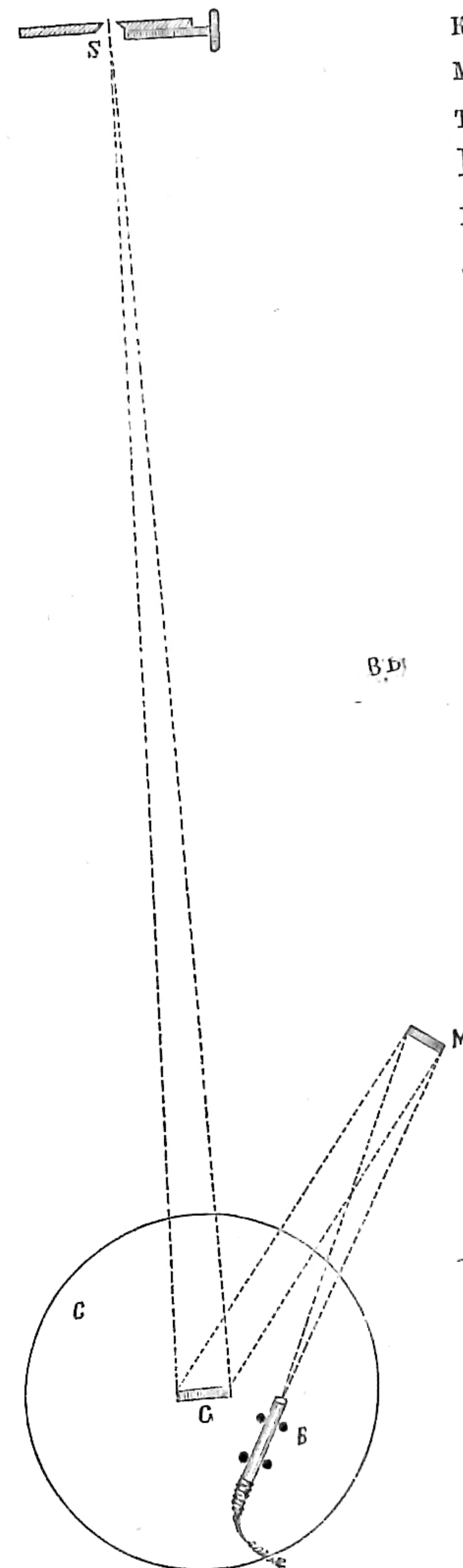
Намъ уже приходилось упоминать о замѣчаніи, сдѣланномъ Ланглеемъ (директоромъ Аллеганской обсерваторіи въ Сѣвер. Америк. Соединен. Штатахъ), касательно неточности формулы Бугера и невозможности пользоваться ею непосредственно для опредѣленія полного поглощенія солнечной теплоты атмосферою. Такъ какъ солнечный лучъ представляетъ изъ себя цѣлую совокупность безчисленнаго множества простыхъ лучей, и, такъ какъ каждый такой простой лучъ имѣетъ свои особыя, отличительныя свойства (цвѣтъ, показатель преломленія, длину волны), то можно съ большою вѣроятностью утверждать а priori, что и поглощеніе каждаго такого простаго луча атмосферою вообще говоря, также неодинаково. Такимъ образомъ, для правильнаго рѣшенія вопроса о поглощеніи солнечной теплоты атмосферою, надо произвести изслѣдованіе при различныхъ высотахъ солнца надъ напряженіемъ теплородныхъ лучей въ разныхъ частяхъ солнечнаго спектра; а тогда, опредѣливъ такимъ образомъ величину разныхъ частныхъ поглощеній, можно уже будетъ вычислить и полную потерю солнечной теплоты въ атмосферѣ. Для этой цѣли Ланглей построилъ на слѣдующихъ основаніяхъ особаго рода приборъ, названный имъ *болометромъ*.

Солнечные лучи (черт. 12), проникая чрезъ узкую щель S, падаютъ на серебрянную, исчерченную мельчайшими штрихами, пластинку g^*), представляющую диффракціонную рѣ-

(*) На одномъ дюймѣ такой пластинки помѣщалось до 17296 штриховъ или, что то-же самое, на 1 миллиметрѣ 681 штриховъ.

шетку, находящуюся въ удаленіи 5 метровъ отъ S. Передъ пластинкой такимъ образомъ образуется диффракціонный

Черт. 12.



спектръ, лучи котораго, падая на впаное зеркало M (съ фокуснымъ разстояніемъ въ 1 метръ) сосредоточиваются затѣмъ въ трубѣ болометра В. Въ этой трубѣ устанавливается параллельно Фраунгоферовымъ линіямъ тончайшая платиновая нить (въ $\frac{1}{1000}$ миллиметра), соединенная съ проволокою весьма чувствительнаго гальванометра. Когда эта нить устанавливается на разные части солнечнаго спектра, то сопротивленіе ея измѣняется въ зависимости отъ измѣненія напряженія самыхъ солнечныхъ лучей. Измѣненіе сопротивленія платиновой нити опредѣляется по отклоненіямъ стрѣлки гальванометра. При прохожденіи нити чрезъ какую нибудь линію Фраунгофера замѣчается пониженіе температуры, вообще-же, при передвиженіи нити вдоль спектра наблюдаются измѣненія въ отклоненіи стрѣлки гальванометра.

Соотвѣтствующую длину волны разныхъ лучей солнечнаго спектра Ланглей вычислялъ по слѣдующей формулѣ:

$$n \lambda = s (\sin i + \sin r),$$

гдѣ n есть порядокъ спектра ⁽¹⁾, s разстояніе между штрихами пластинки, λ искомая длина волны, i уголъ паденія луча (въ нашемъ случаѣ $i = 0$), а r уголъ отклоненія, который опредѣлялся при посредствѣ особаго приспособленія, не показаннаго на чертежѣ ⁽²⁾.

Въ Аллеганской обсерваторіи въ теченіе 1881 года производились при помощи болометра въ ясные дни систематическія наблюденія утромъ, днемъ и вечеромъ надъ напряженіемъ разныхъ теплородныхъ лучей, длина волны которыхъ измѣнялась отъ 0,000375 миллиметра (фіолетовые лучи до 0,001 мил. (темные лучи) ⁽³⁾).

По этимъ даннымъ Ланглей вычислилъ, по общепринятымъ формуламъ, величину поглощенія разныхъ лучей въ земной атмосферѣ и получилъ слѣдующій весьма замѣчательный и вполне неожиданный результатъ. Оказалось, что темные теплородные лучи въ меньшей степени задерживаются атмосферою, нежели красные, а эти послѣдніе въ свою очередь меньше, чѣмъ фіолетовые. Такъ напримѣръ оказалось, что отъ фіолетовыхъ лучей достигаетъ земной поверхности всего только 40%, а отъ ультра-красныхъ 80%.

Измѣривъ при помощи болометра относительное напряженіе составныхъ лучей солнечнаго спектра, Ланглей построилъ кривую, выражающую графически зависимость напряженія луча отъ длины его волны. Такая кривая изображена на чертежѣ 13 (кривая I); по абсциссамъ отложены разныя длины волнъ, а по ординатамъ соотвѣтствующія напряженія.

Зная изъ своихъ наблюденій съ болометромъ величину поглощенія для каждаго простаго луча, Ланглей построилъ надъ данною кривою, новую кривую (II) линію, орди-

(1) См. Cours de l'Ecole Polytechnique. Jamin 1881.

(2) Одинъ изъ важныхъ результатовъ, добытыхъ Ланглеемъ, заключается въ томъ, что, при помощи болометра, были измѣрены длины волнъ темныхъ солнечныхъ лучей до 0,003 миллиметра, тогда какъ прежде не было измѣреній дальше $\lambda = 0,001$ миллиметра.

(3) Длина волны красныхъ лучей равна 0,00076 милл.

наты, которой представляли уже напряженія соотвѣтственныхъ лучей солнечнаго спектра у предѣла атмосферы. Отношеніе послѣдней площади къ первой даетъ отношеніе напряженія сложнаго бѣлаго солнечнаго луча у предѣла атмосферы къ напряженію того же луча наблюденному вблизи земной поверхности. Отношеніе второй площади къ первой оказалось равнымъ 1,57 (*); такъ какъ актинометры Віоля и Крова дали для абсолютной величины напряженія у поверхности земли 1,81 калорій, то Ланглей получилъ абсолютное напряженіе солнечныхъ лучей у предѣла атмосферы (I_0) = 2,84 калоріямъ.

наблюденія
Ланглея на
Whitney.

Для подтвержденія этихъ выводовъ, а также для проверки того замѣчательнаго факта, что темные теплородные лучи въ менѣе значительной степени поглощаются атмосферой, чѣмъ свѣтлые, Ланглей предпринялъ осенью 1881 года экспедицію на гору Whitney (въ широтѣ N 36°35', долготѣ W 118°30') въ Сіеррѣ Невадѣ, въ Калифорніи.

Наблюденія на возвышенныхъ мѣстахъ тѣмъ вообще выгодны, что масса воздуха, отдѣляющая наблюдателя отъ небеснаго пространства, гораздо меньше; къ тому-же извѣстнымъ сочетаніемъ результатовъ изслѣдованій, произведенныхъ на двухъ различныхъ высотахъ, можно независимо отъ какихъ-бы то ни было гипотезъ, получить истинную величину поглощенія для даннаго слоя воздуха. Наконецъ, въ верхнихъ слояхъ воздухъ чище, въ немъ менѣе водяныхъ паровъ и примѣсей, чѣмъ въ нижнемъ слоѣ. Верхняя станція экспедиціи Ланглея находилась на самой горѣ Whitney, на высотѣ 11,625 футъ, нижняя-же станція помѣщалась въ долинѣ Lone-Pine, на высотѣ 3760 футъ. Болومترическія наблюденія на обѣихъ станціяхъ производились три раза въ день: утромъ, около полдня и вечеромъ. По этимъ наблюденіямъ опредѣлялся затѣмъ коэффициентъ теплопрозрачности атмосферы для разныхъ солнечныхъ лучей, имѣющихъ длину волны отъ 0,000375 до 0,001200 миллиметра. Сначала были вычи-

(*) На чертежѣ представлены только части кривыхъ и ихъ площадей; а Ланглей для вычисленія площадей продолжалъ эти кривыя до конца теплаго спектра.

слены коэффициенты теплопрозрачности на основаніи однихъ наблюдений верхней станціи при разныхъ высотахъ. Эти коэффициенты мы обозначимъ черезъ a ; затѣмъ коэффициенты вычислялись и сочетаніемъ наблюдений, произведенныхъ на обѣихъ станціяхъ, опредѣляя истинную величину поглощенія для извѣстнаго промежуточнаго слоя атмосферы (эти коэффициенты мы обозначимъ черезъ b).

Результаты этихъ вычислений приведены въ слѣдующей таблицѣ (*).

Длина волны. λ	Коэффициентъ теплопрозрачности. a .	Коэффициентъ теплопрозрачности. b .
0,000375 мил.	0,35	0,10
0,000400	0,48	0,15
0,000450	0,81	0,09
0,000560	0,85	0,12
0,000600	0,88	0,32
0,000700	0,94	0,54
0,000800	0,99	0,88
0,0001000	0,92	0,99
0,0001200	0,97	0,96

Мы видимъ здѣсь, что числа втораго и третьяго столбцовъ вполне согласно указываютъ на тотъ фактъ, что, въ противность прежнимъ теоріямъ, темные теплородные лучи

(*) Мы замѣчаемъ въ числахъ таблицы небольшія колебанія; это насъ не должно удивлять, если мы вспомнимъ съ какими трудностями сопряжены не только болометрическія, но и актинометрическія наблюденія, вообще, въ виду непрерывно измѣняющагося состоянія самой атмосферы.

поглощаются атмосферою въ меньшей степени, чѣмъ свѣтлые. На основаніи этого мы должны заключить, что, съ удаленіемъ отъ земной поверхности, дѣйствіе фіолетовыхъ лучей должно проявляться все сильнѣе и сильнѣе, и у предѣла атмосферы мы должны-бы были видѣть солнце не такимъ ярко желтымъ, какимъ мы его видимъ теперь, но имѣющимъ нѣсколько синеватый оттѣнокъ.

Если-бы теорія поглощенія теплородныхъ лучей была-бы совершенно справедлива, то, какъ-бы мы не опредѣляли коэффициентъ теплопрозрачности отдѣльныхъ лучей, мы всегда должны-бы были получить для одного и того же луча одно и то-же число. На самомъ-же дѣлѣ мы видимъ, что числа втораго и третьяго столбцовъ отличаются другъ отъ друга, а это уже прямо указываетъ на то, что разные слои воздуха, хотя даже и одинаковой массы, не въ одинаковой степени поглощаютъ теплородные лучи. Нижніе слои атмосферы имѣютъ меньшій коэффициентъ прозрачности, и причину этого явленія надо повидимому искать въ томъ, что нижніе слои атмосферы заключаютъ въ себѣ большое количество водяныхъ паровъ. Такимъ образомъ мы видимъ, что коэффициентъ теплопрозрачности не остается постояннымъ для различныхъ слоевъ атмосферы, но уменьшается съ приближеніемъ къ земной поверхности. Отсюда слѣдуетъ, что коэффициентъ теплопрозрачности b , выведенный изъ сочетаній наблюдений, произведенныхъ на обѣихъ станціяхъ, вѣренъ только для слоя между станціями, а для всей атмосферы онъ слишкомъ малъ. Для полученія вѣрнаго результата слѣдовало-бы раздѣлить всю толщю атмосферы на тонкіе слои и опредѣлить величину поглощенія для каждаго такого элементарнаго слоя воздуха; сумма всѣхъ этихъ элементарныхъ поглощеній и дала-бы полное поглощеніе даннаго однороднаго солнечнаго луча въ земной атмосферѣ. Чѣмъ больше коэффициентовъ можно-бы было опредѣлить, тѣмъ точнѣе получился-бы окончательный результатъ, и конечно самый ошибочный результатъ получается въ предположеніи существованія одного неизмѣннаго коэффициента теплопрозрачности для всѣхъ слоевъ атмосферы, что между прочимъ обыкновенно и дѣлается. Въ этомъ случаѣ величина напряже-

нія у предѣла атмосферы получается слишкомъ большою; при введеніи двухъ коэффициентовъ результатъ уменьшается, но все еще остается больше истинной величины (*).

За неимѣніемъ соотвѣствующихъ данныхъ, Ланглей отказался отъ точныхъ выводовъ, но, воспользовавшись наблюденіями верхней и нижней станцій, онъ опредѣлилъ по крайней мѣрѣ тѣ предѣлы, между которыми должна заключаться истинная величина солнечной постоянной I_0 .

Величина коэффициента b , какъ мы видѣли, слишкомъ мала, а потому, пользуясь этими данными, мы получимъ слишкомъ большую величину для абсолютнаго напряженія у предѣла атмосферы (**).

Пусть истинное напряженіе у предѣла атмосферы будетъ I_0 , а вычисленное (по коэффициенту b) I'_0 , и пусть a_0 будетъ истинная величина коэффициента теплопрозрачности для всего слоя атмосферы надъ верхнею станціею. Чтобы его получить, надо найденную величину коэффициента b умножить на отношеніе $\frac{a_0}{b}$ (оно намъ неизвѣстно), а чтобы получить истинное абсолютное напряженіе I_0 , слѣдуетъ I'_0 умножить на $\frac{b}{a_0}$

$$I_0 = I'_0 \frac{b}{a_0}.$$

« a_0 » намъ неизвѣстно. Ланглей подставляетъ вмѣсто него величину « a » и полученную такимъ образомъ величину I_0 принимаетъ за высшій предѣлъ солнечной постоянной.

Итакъ $I_0 \text{ max.} = I'_0 \frac{b}{a}.$

Нисшій предѣлъ для I_0 Ланглей опредѣлилъ на основаніи слѣдующихъ соображеній.

Пользуясь однимъ лишь данными, полученными на нижней станціи Lone Pine при большой и малой высотахъ солнца, Ланглей опредѣлилъ еще другой коэффициентъ теплопрозрачности.

(*) Подробные выводы, къ которымъ приходитъ Ланглей, принявъ на основаніи опыта, что коэффициентъ теплопрозрачности слоевъ воздуха увеличивается съ увеличеніемъ высоты, можно видѣть въ его замѣчательномъ трудѣ: Researches on solar heat and its absorption in the earth's atmosphere. A report of the Mount Whitney expedition. Professional papers of the Signal Service. N XV. Washington, 1884.

(**) Это ясно изъ формулы Бугера $I = I_0 p^m$, гдѣ m надо положить $= 1$, а $p = b$; тогда $I_0 = \frac{I}{b}.$

a' , пользуясь этою новою величиною, онъ вычислилъ какое должно-бы было быть напряженіе I' въ данный моментъ на верхней станціи на горѣ Whitney. Наблюдаемая въ дѣйствительности величина напряженія на верхней станціи I , какъ мы видѣли, получилась болѣе вычисленной, потому что истинный коэффициентъ теплопрозрачности нижняго слоя b менѣе коэффициента a' найденнаго для всей атмосферы.

Отношеніе $\frac{I}{I'}$ показываетъ во сколько разъ дѣйствительное напряженіе лучей больше вычисленнаго для верхней границы даннаго слоя воздуха. Если мы теперь допустимъ, что то-же отношеніе между истиннымъ и вычисленнымъ напряженіемъ сохраняется и для предѣла атмосферы, то легко будетъ получить новое выраженіе для солнечной постоянной I_0 . Для этого стоитъ только умножить величину абсолютнаго напряженія I'_0 , выведенную изъ наблюденій одной только верхней станціи, на отношеніе $\frac{I}{I'}$. Это то произведеніе Ланглей и принимаетъ за нисшій предѣлъ солнечной постоянной. Итакъ

$$I_0 \text{ min} = I'_0 \frac{I}{I'}.$$

Подобныя вычисленія были распространены и на всѣ теплородные лучи солнечнаго спектра и въ окончательномъ выводѣ оказалось, что максимумъ солнечной постоянной равенъ 3,5 кал., а минимумъ—2,6 кал. Среднюю изъ этихъ величинъ Ланглей и принимаетъ за самую вѣроятную величину для абсолютнаго напряженія солнечныхъ лучей у предѣла земной атмосферы. Итакъ по Ланглею

$$I_0 = 3,0 \text{ калоріямъ.}$$

Во время этой экспедиціи были также произведены весьма обстоятельныя наблюденія надъ влажностью воздуха въ верхней и нижней станціяхъ. Ланглей вычислилъ по этимъ даннымъ весьма правдоподобное распредѣленіе водяныхъ паровъ въ атмосферѣ, но онъ не воспользовался этимъ цѣннымъ матеріаломъ при своихъ окончательныхъ выводахъ о солнечной теплотѣ. Очень можетъ быть, что, если-бы онъ принялъ во вниманіе, подобно Віолю, этотъ важный метеорологическій элементъ, то онъ пришелъ-бы къ болѣе удовлетворительнымъ

результатамъ, такъ какъ весьма вѣроятно, что замѣченное Ланглеемъ уменьшеніе коэффициента теплопрозрачности воздуха при приближеніи къ поверхности земли обусловливается присутствіемъ большого количества водяныхъ паровъ въ нижнихъ слояхъ атмосферы.

Упомянемъ, въ заключеніе, еще объ одномъ приборѣ, который, хотя и не способенъ служить съ пользою для точныхъ, абсолютныхъ актинометрическихъ изслѣдованій, можетъ, тѣмъ не менѣе, съ большимъ удобствомъ быть употребляемъ для опредѣленія относительнаго напряженія солнечныхъ лучей. Этотъ приборъ представляетъ изъ себя ничто иное, какъ обыкновенный ртутный термометръ, зачерпленный, сферическій резервуаръ котораго помѣщается въ безвоздушномъ пространствѣ въ центрѣ сферической, стеклянной оболочки, сдѣланной изъ очень хорошаго, тонкаго и прозрачнаго стекла. Если шарикъ такого термометра подвергнуть дѣйствию солнечныхъ лучей, то чрезъ нѣкоторый промежутокъ времени его температура сдѣлается постоянною, и мы получимъ слѣдующую зависимость, выражаемую извѣстною намъ формулою Пулье, между этою температурою и напряженіемъ солнечныхъ лучей I .

$$\rho I = B (\mu^T - \mu^{T'}).$$

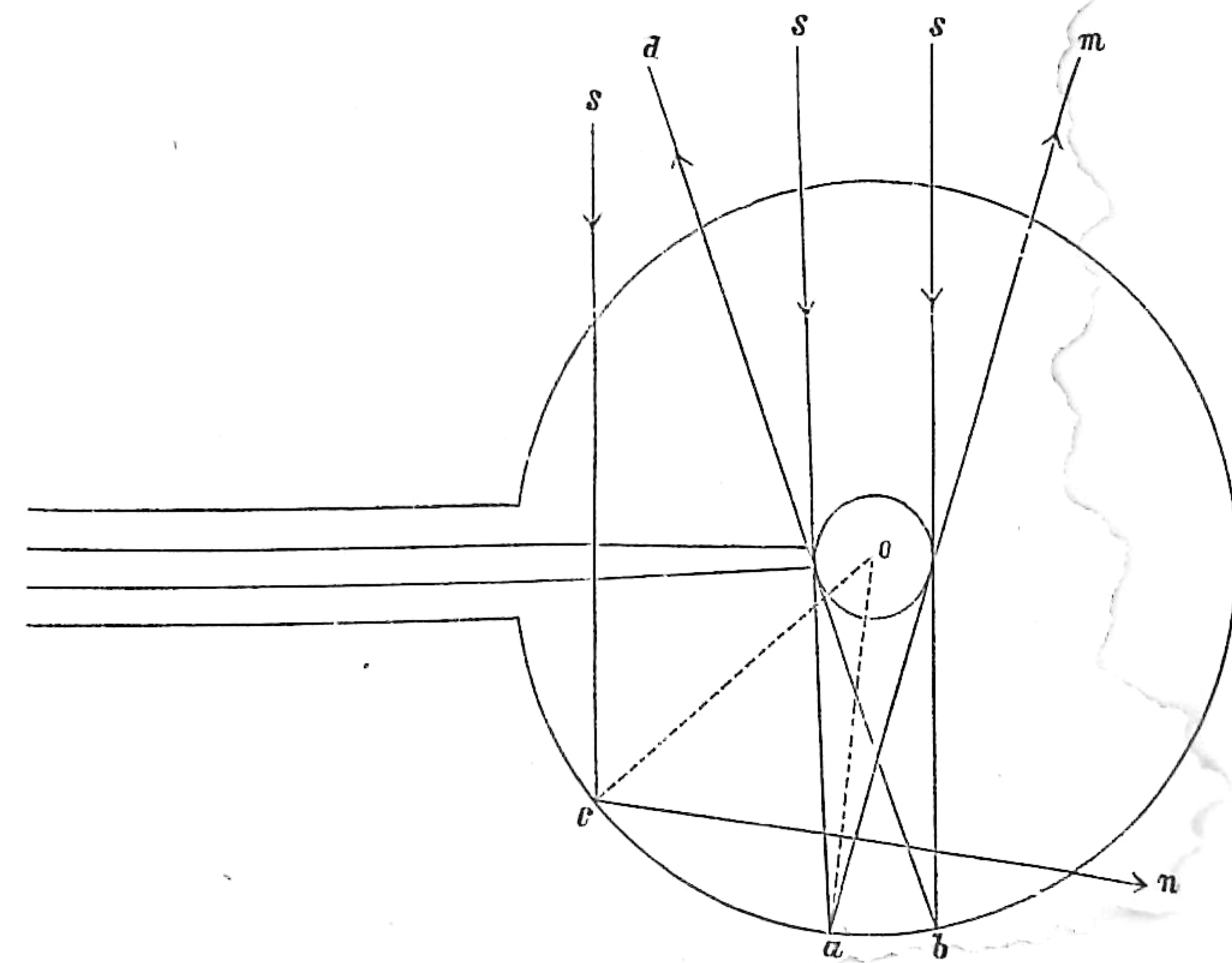
Въ этой формулѣ T есть температура шарика термометра, T' — температура стеклянной оболочки, B постоянный коэффициентъ $= 1,146$, μ также постоянная величина $= 1,0077$, а ρ — отношеніе площади нормальнаго сѣченія резервуара, нагреваемого солнцемъ (слѣдовательно въ данномъ случаѣ сѣченія шарика термометра) ко всей поверхности резервуара, подверженной дѣйствию лучеиспусканія (то есть въ данномъ случаѣ ко всей поверхности шарика термометра). Для правильной сферы очевидно $\rho = \frac{1}{4}$.

Если стеклянная оболочка, ограничивающая въ этомъ приборѣ безвоздушное пространство, сдѣлана изъ очень прозрачнаго стекла, и если приэтомъ она еще снаружи искусственно вентилируется, то можно безъ ощутительной погрѣшности принять ее температуру T' за температуру воздуха въ тѣни. Такая оболочка, хотя и задерживаетъ около $\frac{1}{10}$ всей при-

текающей отъ солнца теплоты, но за то она и отдаетъ шарiku термометра около $\frac{1}{12}$ отъ этой теплоты, такъ что эти два противуположныя дѣйствія почти взаимно уравниваются.

Для того, чтобы такой приборъ могъ давать надежныя и сравнимыя показанія, онъ необходимо долженъ удовлетворять слѣдующимъ условіямъ. Во—первыхъ резервуаръ термометра долженъ быть покрытъ густымъ, однороднымъ слоемъ сажи для возможно полнаго поглощенія солнечныхъ лучей. Во—вторыхъ стержень термометра около самаго шарика долженъ быть весьма тонкимъ и также покрытъ однороднымъ слоемъ сажи. Чѣмъ тоньше будетъ эта часть термометра, тѣмъ надежнѣе будутъ результаты, получаемые по формулѣ Пулье. Третье условіе требуетъ чтобы центръ шарика термометра совпадалъ съ центромъ сферической стеклянной оболочки. Это необходимо для того, чтобы солнечные лучи, отраженные отъ самой оболочки, не оказывали никакого вліянія на нагреваніе термометра. При совпаденіи центровъ шарика и оболочки ни одинъ отраженный лучъ не можетъ упасть на зачерплен-

Черт. 14.



ный резервуаръ термометра, какъ это легко видѣть на чертежѣ 14.

Направленія солнечныхъ лучей Sa , Sb , Sc , идущихъ съ огромнаго удаленія, мы можемъ считать параллельными. Въ ab мы получимъ тѣнь резервуара термометра. Какой нибудь лучъ sc послѣ отраженія пойдетъ по направленію cn причемъ $\angle sco = \angle ocn$ всегда болѣе угла между oc и касательною къ поверхности шарика. Даже крайній лучъ Sa послѣ отраженія также не упадетъ на шарикъ термометра, а коснется только его поверхности, не производя никакого нагрѣванія, такъ какъ $Sao = Oam$. То же самое будетъ и для лучей въ другой половинѣ стеклянной оболочки.

Мы видимъ такимъ образомъ, что при правильной центровки прибора и при соблюденіи нѣкоторыхъ другихъ условій, термометръ съ зачерненнымъ шарикомъ можетъ съ пользою быть употребляемъ для изслѣдованій надъ относительнымъ напряженіемъ теплородныхъ солнечныхъ лучей.

ГЛАВА III.

О ТЕМПЕРАТУРѢ ВОЗДУХА.

О ТЕРМОМЕТРАХЪ.

Термометръ.

Для обстоятельнаго изученія хода температуры атмосфернаго воздуха необходимо производить по возможности больше термометрическихъ наблюденій въ разныхъ частяхъ поверхности земнаго шара. Для этихъ наблюденій служатъ термометры, изъ которыхъ наиболѣе употребителенъ обыкновенный ртутный термометръ. Мы считаемъ излишнимъ входить здѣсь въ подробности его устройства, укажемъ лишь только на тѣ условія, которымъ точные термометры, употребляемые при метеорологическихъ изысканіяхъ, должны удовлетворять. Всякія метеорологическія наблюденія, произведенныя въ разныхъ частяхъ земнаго шара должны быть вполне сравнимы между собою, а потому при всякихъ термометрическихъ, изслѣдованіяхъ необходимо чтобы всѣ употребляемые термометры были тщательно вывѣрены или сравнены съ нормальнымъ. За нормальный термометръ для всевозможныхъ температуръ на основаніи нѣкоторыхъ указанныхъ въ физикѣ, теоретическихъ соображеній принимается воздушный термометръ (*); но, такъ какъ обращеніе съ нимъ сопряжено вообще съ разными неудобствами, то обыкновенно въ каждомъ центральномъ метеорологическомъ учрежденіи, вмѣсто воздушнаго термометра имѣется хорошій, точный, тщательно изслѣдованный ртутный термометръ, съ которымъ и сравниваются всѣ прочіе термометры, употреб-

(*) Такъ какъ разныя тѣла расширяются по разнымъ законамъ то необходимо избрать за мѣру опредѣленія температуры, расширеніе какого либо одного вещества. Наиболѣе подходящимъ было-бы такое вещество, которое расширяется пропорціонально количеству получаемой теплоты. Воздухъ весьма близко подходитъ подъ это условіе, а потому воздушный термометръ и принимается за нормальный.

ляемые на метеорологических станціяхъ. Изслѣдованіе такого нормального ртутнаго термометра можетъ быть произведено по сравненію съ показаніями воздушнаго термометра, или, въ предѣлахъ достаточныхъ для метеорологическихъ цѣлей, изслѣдованія могутъ быть сдѣланы совершенно независимо отъ воздушнаго термометра, въ виду того обстоятельства, что между 0° и 100° Ц. видимое расширеніе ртути почти пропорціонально температурѣ опредѣляемой по воздушному термометру.

Для повѣрки нормального термометра, надо, какъ извѣстно, опредѣлить двѣ его постоянныя точки: 0° и 100° Цельзія.

Температурою 0° называютъ такую температуру, при которой, при нормальномъ давленіи, таетъ ледъ образованный изъ перегнанной воды.

Температура 100° Ц. есть температура паровъ кипящей перегнанной воды при нормальномъ атмосферномъ давленіи. За нормальное давленіе, при этомъ, согласно съ постановленіемъ (8 окт. 1878 г.) международнаго комитета мѣръ и вѣсовъ, принято считать давленіе столба ртути нормальной плотности (13.5959) высотой въ 760 м.м. при температурѣ 0° , на уровнѣ моря, въ широтѣ 45° .

Одинъ изъ наиболѣе совершенныхъ приемовъ для повѣрки точки 0° , употребляющійся въ международномъ бюро мѣръ и вѣсовъ, заключается въ слѣдующемъ. Испытуемый термометръ погружается въ охлажденную до нуля градусовъ перегнанную воду, заключенную въ свою очередь въ закрытомъ ледяномъ сосудѣ, полученномъ также изъ перегнанной воды. Ледяной сосудъ ставится въ воронку, наполненную мелко истолченнымъ льдомъ и перегнанною водою. При соблюденіи всѣхъ надлежащихъ предосторожностей, наблюденія въ этомъ случаѣ приводятъ каждый разъ къ тождественнымъ между собою результатамъ; отсюда можно заключить, что этотъ приемъ наблюденій даетъ абсолютно вѣрныя данныя, конечно въ предѣлахъ точности самыхъ термометрическихъ наблюденій.

Согласно съ выше даннымъ опредѣленіемъ точки 0° , очевидно необходимо при повѣркѣ точныхъ нормальныхъ тер-

мометровъ принять во вниманіе вліяніе внѣшняго давленія, приводить всѣ наблюденія къ абсолютному нормальному давленію.

Вліяніе атмосфернаго давленія двоякаго рода:

1) Вильямъ Томсонъ и Клаузіусъ теоретически и опытомъ доказали, что точка замерзанія перегнанной воды не зависитъ съ измѣненіемъ внѣшняго давленія; а именно температура замерзанія воды понижается на $0,000824^{\circ}$ Ц. при увеличеніи давленія на одну атмосферу. Въ виду обыкновенно незначительныхъ колебаній въ давленіи барометра, указывающаго на вліяніе совершенно ничтожно и заключается въ предѣлахъ самыхъ ошибокъ наблюденій.

2) Гораздо болѣе значительное вліяніе атмосфернаго давленія оказываетъ непосредственнымъ дѣйствіемъ своихъ стѣнки самаго резервуара термометра. Это особенно чувствительно, если стѣнки эти сдѣланы изъ очень тонкаго стекла. Перемѣщеніе точки нуля можетъ достигнуть тогда нѣсколькихъ десятыхъ градуса на каждую атмосферу давленія.

Съ другой стороны самый столбикъ ртути давитъ своимъ вѣсомъ на стѣнки резервуара и противодѣйствуетъ нѣкоторому измѣненію давленія; давленіе столба ртути очевидно зависитъ отъ положенія самаго термометра. Такимъ образомъ, чтобы получить вѣрную точку нуля, свободную отъ этихъ постоянныхъ погрѣшностей, надо на вѣсѣ счету верхняго конца ртутнаго столбика присоединить нѣкоторую поправку c . Поправка эта вычисляется по слѣдующей простой формулѣ, смыслъ которой не требуетъ дальнѣйшаго поясненія:

$$c = \beta_1 l \sin a - \beta_2 (H - 760).$$

Здѣсь l есть высота столбика ртути въ миллиметрахъ, a —уголъ наклоненія термометра къ горизонту, H —давленіе барометра, а β_1 и β_2 —нѣкоторые постоянные коэффициенты представляющіе перемѣщеніе нуля термометра при измѣненіи внутренняго или внѣшняго давленія на одинъ миллиметръ. β_1 и β_2 для того-же стекла могутъ быть считаемы постоянными; эти коэффициенты получаются изъ опытовъ, из-

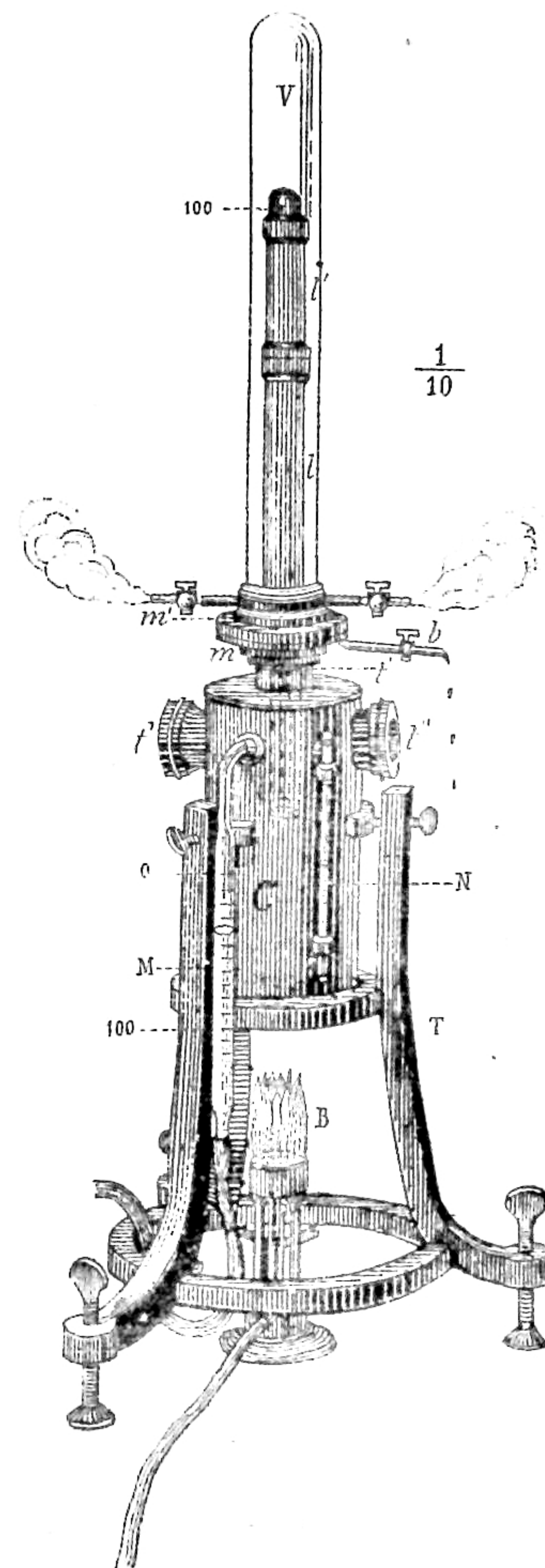
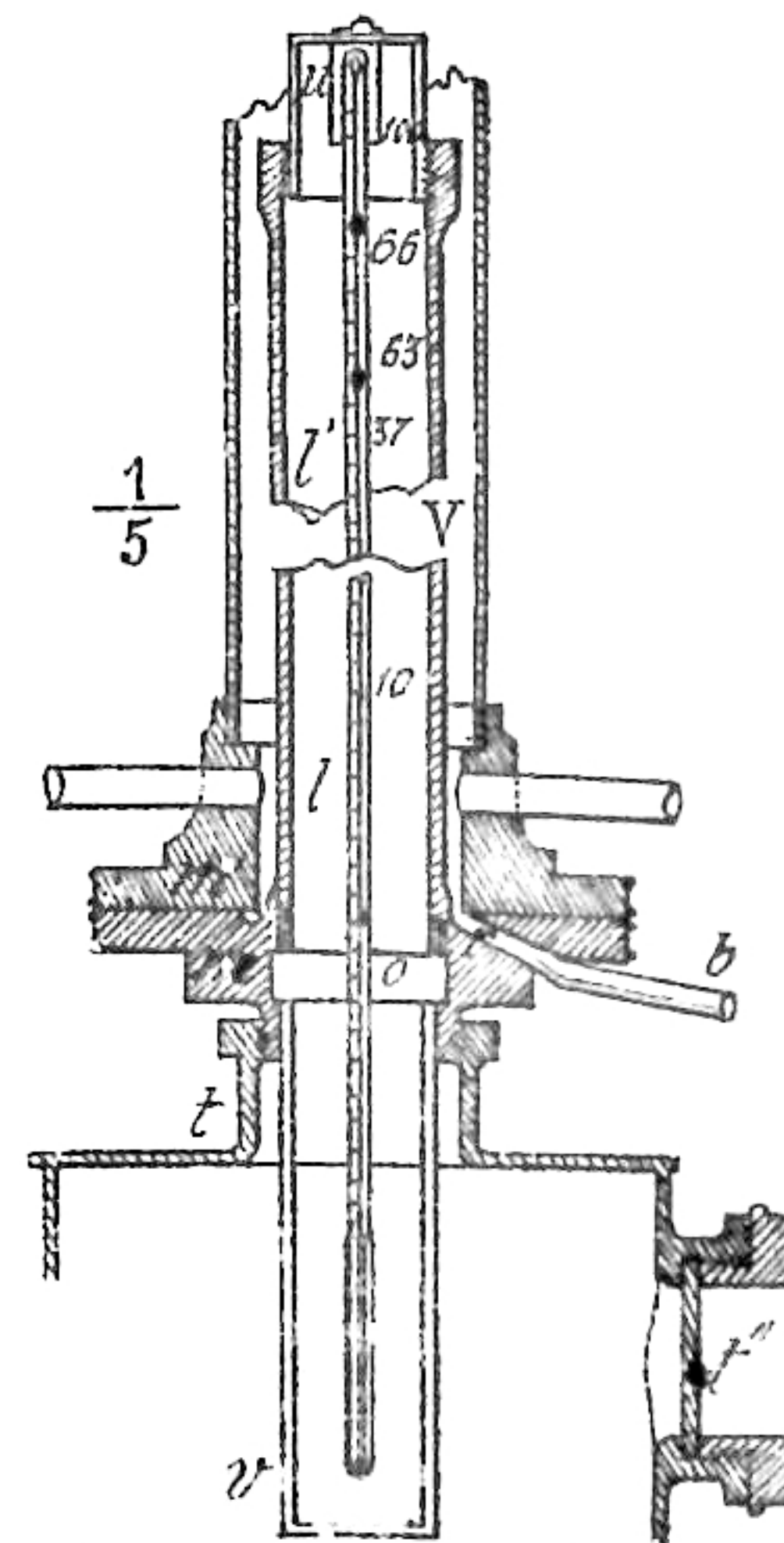
положенія точки нуля на термометрѣ при различныхъ условіяхъ давленія, и при различныхъ наклоненіяхъ термометра, напримѣръ при горизонтальномъ и вертикальномъ его положеніи.

Другая постоянная точка термометра соотвѣтствуетъ, какъ упомянуто, температурѣ паровъ кипящей воды при нормальномъ давленіи. Такъ какъ температура кипѣнія воды зависитъ въ значительной степени отъ вѣшняго давленія, то и эту другую постоянную точку термометра слѣдуетъ приводить всегда къ абсолютному нормальному давленію барометра.

Превосходные опыты Ренъо до сихъ поръ служатъ основаніемъ для опредѣленія зависимости температуры паровъ кипящей воды отъ вѣшняго давленія. Опыты Ренъо были произведены въ Парижѣ, въ широтѣ N 48°50' и на высотѣ 60 метровъ надъ уровнемъ океана, а потому этими данными нельзя непосредственно пользоваться для приведенія наблюдаемой точки кипѣнія воды къ абсолютной нормальной высотѣ барометра. Въ виду этого Брокъ (Broch) и другіе перевычислили данныя Ренъо для уровня океана и для широты 45° и составили новыя таблицы, при помощи которыхъ показанія термометровъ могутъ быть безъ затрудненія приводимы къ абсолютнымъ единицамъ.

Для опредѣленія верхней постоянной точки на термометрической шкалѣ, термометръ, какъ извѣстно, погружается въ сосудъ съ двойными стѣнками, наполненный парами кипящей воды. Болѣе совершенный образецъ такого прибора, употребляемый въ международномъ метрическомъ бюро, показанъ на чертежѣ 15.

Металлическій котелокъ С, установленный на подставкѣ, наполняется до половины водою; къ котелку придѣлывается трубка I'. Въ новѣйшее время эту трубку стали дѣлать изъ хорошаго прозрачнаго стекла, съ тою цѣлью, чтобы можно было сквозь самый паръ, обтекающій со всѣхъ сторонъ испытуемый термометръ, отсчитывать показанія конца ртутнаго столбика на термометрической шкалѣ. Сбоку придѣланы двѣ по-



перечныя трубки, черезъ которыя ходъ наружу; это необходимо для въ самомъ приборѣ было въ толенію атмосферы. Въ этомъ приборѣ t' и t'' , при помощи которыхъ испытываться въ горизонтальномъ термометра не будутъ тогда зависенія столбика ртути на стѣнки резервуара. Въ изслѣдованіяхъ само собою должно быть вниманіе и вліяніе наружнаго давленія на испытываемого термометра, какъ обь

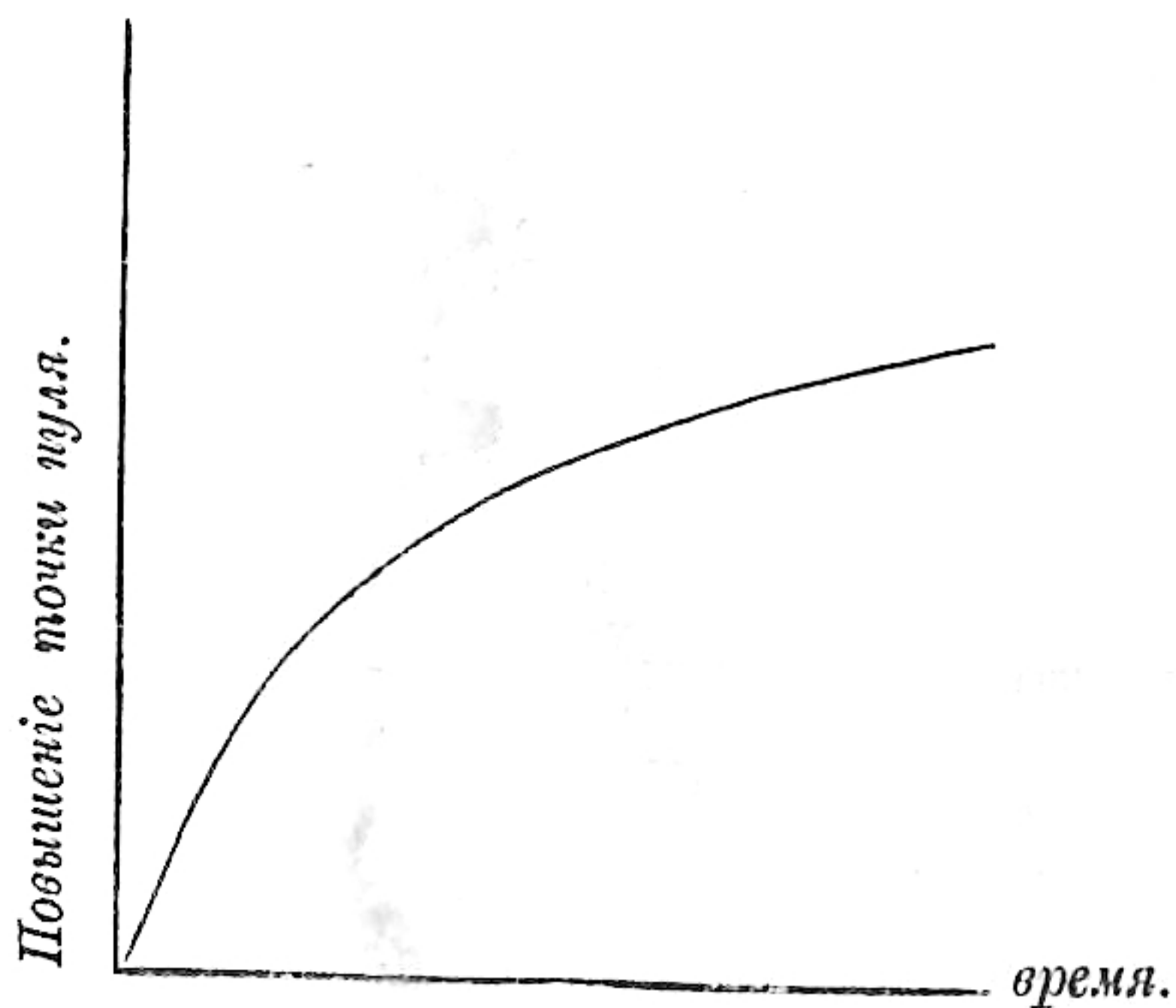
Мы видимъ, такимъ образомъ, что точки кипѣнія воды опредѣляютъ собою на термометрической шкалы между 0° и 100° оставались неизмѣнными при постоянномъ дѣленіи длины термометрической шкалы. Но извѣстныя серьезныя затрудненія. Но извѣстно, что термометра происходитъ постепенное искривленіе стекла, и по этой то причинѣ съ теченіемъ времени постепенно увеличивается длина термометра, не смотря на это измѣненіе нѣтъ, что, при перенесеніи термометра точка 100° на столько-же повысилась, это означало-бы, что термометрическая шкала своей длины. Но на самомъ дѣлѣ это такъ просто, а наблюдается въ дѣйствѣ. Точка кипѣнія оказывается вначалѣ нѣсколько увеличивается она въ такомъ положеніи только нѣсколько минутъ, а затѣмъ, въ резервуара термометра, эта точка начинаетъ сдвигаться до нѣкотораго предѣла. Если погрузить термометръ въ тающій снѣгъ, то температура понижается, хотя чрезъ нѣкоторое время она снова начнетъ повышаться до своей прежней величины, будетъ подчиняться тому-же закону, какъ и раньше, независимо отъ термометра въ этомъ промежуткѣ подвѣ

сокой температуры или нѣтъ (*). Эти обстоятельства дѣлаютъ точныя наблюденія съ термометромъ затруднительными, такъ какъ единица мѣры утрачиваетъ нѣкоторымъ образомъ свое постоянство.

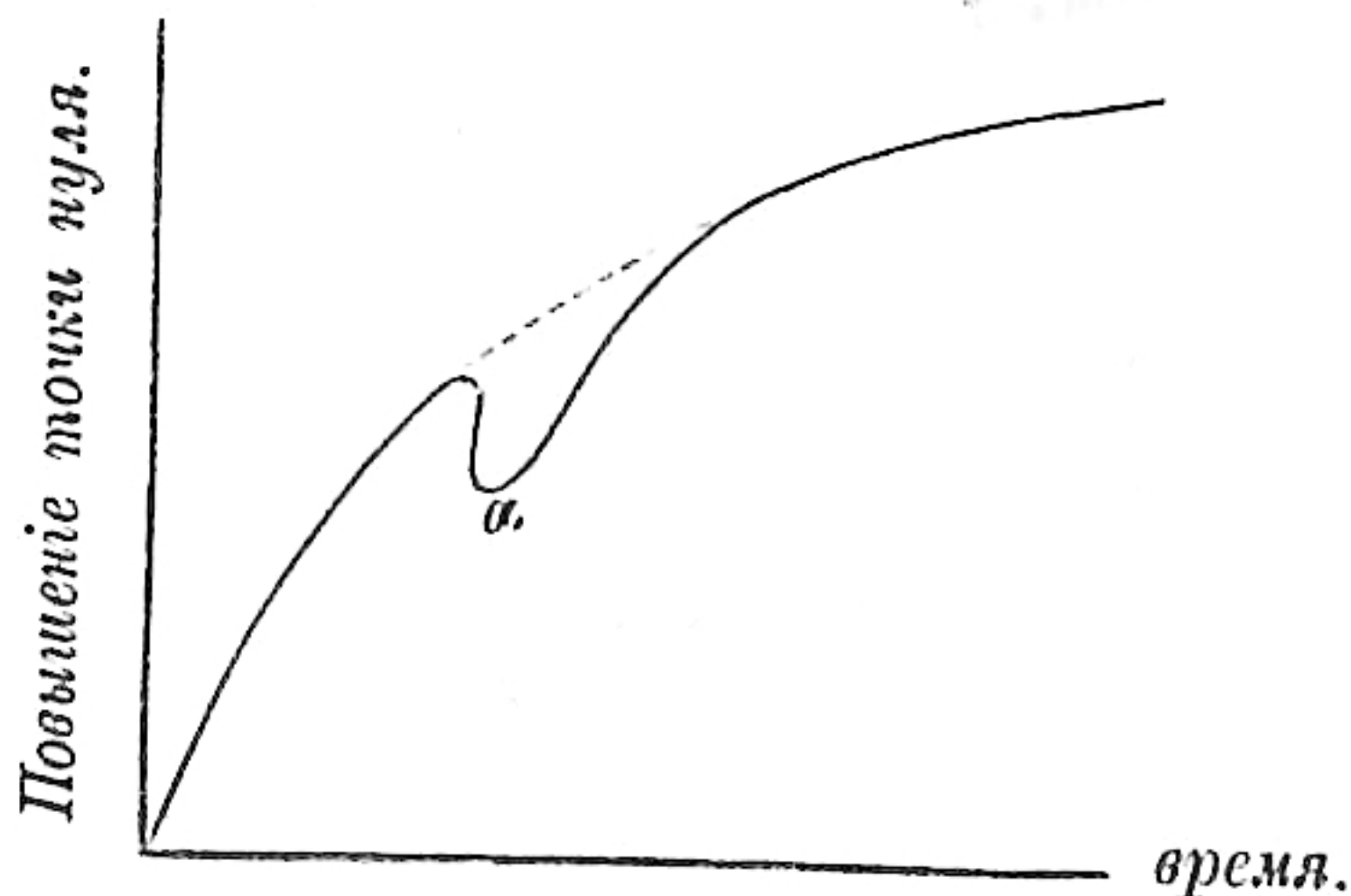
Опыты собранные и произведенные въ международномъ метрическомъ бюро Пернетомъ, доказываютъ, что разстояніе между постоянными точками на термометрической шкалѣ сохраняется наиболѣе неизмѣннымъ, когда эти опредѣленія производятся послѣ продолжительнаго пребыванія испытуемаго термометра въ парахъ кипящей воды. Длина шкалы опредѣляется такимъ образомъ по пониженнымъ точкамъ кипѣнія и таянія льда, и эта длина остается тогда почти совершенно постоянною, такъ какъ колебанія не превышаютъ $0,01^{\circ}$ — $0,02^{\circ}$ Цельзія. Этотъ приѣмъ употребляется при изслѣдованіи нормальныхъ термометровъ и въ нашей Главной Физической обсерваторіи.

Для вывѣрки всѣхъ промежуточныхъ дѣленій термометрической шкалы, трубку термометра тщательно калибруютъ. Для этой цѣли, сообщая термометру осторожно нѣсколько легкихъ ударовъ, отрываютъ небольшой столбикъ ртути и опредѣляютъ число дѣленій, занимаемыхъ этимъ столбикомъ,

(*) Ходъ повышенія точки нуля можетъ быть наглядно представленъ слѣдующими кривыми.



Нормальный ходъ.



Изгибъ а соответствуетъ пониженію нуля послѣ дѣйствія высокой температуры.