

ФИЗИЧЕСКІЙ ОТДѢЛЪ

ОТДѢЛЪ ПЕРВЫЙ.

НОВАЯ МЕТОДА ИЗСЛѢДОВАНІЯ УПРУГОСТИ ГАЗОВЪ.

К. Краевича.

Въ засѣданіи Физическаго Общества 28 апрѣля 1881 года ¹⁾ я реферировалъ новую методу изслѣдованія упругости разрѣженныхъ газовъ; но такъ какъ эта метода требуетъ по крайней мѣрѣ двоихъ наблюдателей и сопряжена съ значительными затратами, несоотвѣтствующими моимъ средствамъ, то я предложилъ Физическому Обществу принять расходы на себя и поручить эти опыты избранной изъ среды ея комиссіи. Хотя я встрѣтилъ полное къ моему проекту сочувствіе, но мѣрѣ къ осуществленію его принято не было,—можетъ быть, потому, что подробности проекта не были достаточно выработаны, и Общество подозрѣвало большія затраты и затрудненія. Дѣйствительно, для благонадежности выводовъ необходимо имѣть, кромѣ приборовъ и приспособленій, довольно цѣнныхъ, два помѣщенія: одно на горѣ, другое у подошвы ея, съ разностию высотъ отъ 300 до 1000 метровъ, соединенныя между собою металлическими трубками. Поэтому, я рѣшился ограничиться на первый разъ высокимъ зданіемъ, разсчитывая по крайней мѣрѣ выработать подробности методы и изучить ея хорошія и худыя стороны. Благодаря просвѣщенному покровительству генераль-адъютанта, Михаила Петровича фонъ-Кауфмана, были устроены двѣ комнаты, — одна въ нижнемъ этажѣ, другая подъ крышей Инженернаго замка, съ разностию высотъ въ 27 метровъ. Большая часть приборовъ, которыми я пользовался, принадлежатъ Инженерной академіи и училищу, а одинъ изъ катетометровъ—Горному институту.

Съ сентября по февраль я работалъ одинъ и, значить, только на одной нижней станціи. Въ эту пору я получилъ

¹⁾ Журн. Р. Ф. Х. О., т. X Ш, стр. 317.

результатъ, реферированный въ засѣданіи 23 апрѣля 1882 года, о предѣльной упругости воздуха. Въ февралѣ ко мнѣ присоединился инженеръ-капитанъ В. К. Петерсенъ. Высота 27 метровъ оказалась недостаточною для полнаго (количественнаго) рѣшенія вопроса; съ качественной же стороны, полученные результаты оставляютъ полное убѣжденіе и даютъ право надѣяться, на точные и интересные выводы, если опыты будутъ повторены въ большихъ размѣрахъ и при болѣе благопріятныхъ условіяхъ. Цѣль настоящей статьи убѣдить Физическое Общество въ необходимости воспроизвести мои опыты при большей разности уровней двухъ станцій и въ важности ожидаемыхъ выводовъ. Статья раздѣляется на три части: въ первой описываются приборы и способы наблюденія, II содержитъ результаты и III проектъ новыхъ опытовъ въ большемъ размѣрѣ.

I.

1. Необходимая часть при опытахъ съ разрѣженными газами — ртутный воздушный насосъ, помощію котораго разрѣженіе можно было бы довести до крайней степени и чтобы разрѣженіе, однажды произведенное, не измѣнялось въ теченіе долгаго времени. Этимъ условіямъ вполне удовлетворяетъ насосъ Менделѣева-Тѣплера, въ измѣненномъ мною видѣ ¹⁾. Въ III главѣ будетъ указано еще одно измѣненіе, служащее для приблизительнаго измѣренія упругости оставшагося газа; при теперешнемъ устройствѣ насоса такое измѣреніе весьма затруднительно.

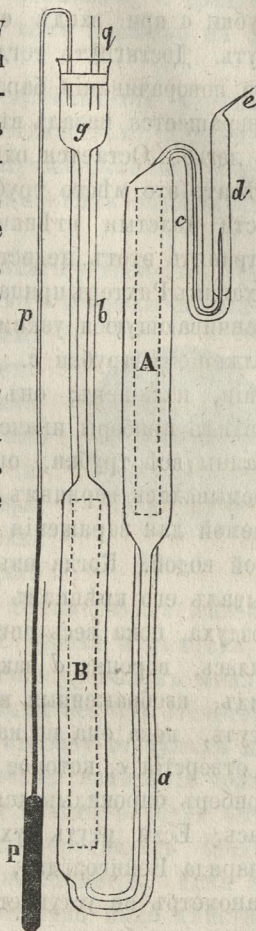
2. Измѣреніе упругости газовъ производилось бароманометрами. Фигура 1. представляетъ такой приборъ. Трубки *A* и *B*, длиною въ 470 mm., съ внутреннимъ діаметромъ въ 20 mm., соединены между собою тонкой трубкой *a* въ 3 mm. Трубка *B* продолжается вверхъ тонкой трубкой *b*, которая оканчивается воронкой *g*. На вершинѣ трубки *A* устроено такое же приспособленіе, какъ въ моемъ переносномъ барометрѣ ²⁾. *c* есть очень тонкая трубка не толще 0,5 mm.; она переходитъ въ болѣе широкую трубку *d*, оканчивающуюся волосной, запаянной на концѣ, трубкой. Наполненіе прибора ртутью производится такимъ образомъ. Воронку *g* надо закупорить пробкой, чрезъ которую проводятся двѣ трубки, стек-

¹⁾ Ж. Р. Ф. Х. Общ. т. XIII, стр. 335.

²⁾ Тамъ же, т. IX, стр. 318.

лянная p опускается въ трубку P , запаянную снизу и свинцовую q , которая оканчивается въ осушающемъ снарядѣ ртутнаго насоса. На пробку наливаютъ толстый слой мастики. Высота трубки p должна быть значительно болѣе 760 мм., такъ чтобы уровень ртути въ сосудѣ P отстоялъ отъ верхней оконечности трубки p въ воронкѣ болѣе, чѣмъ на высоту барометра. Трубка p должна оканчиваться оттянутымъ остриемъ, а сосудъ P надо ставить на мѣсто, подымая его снизу, уже послѣ того какъ въ него налили ртути. Черезъ трубку q вытягиваютъ воздухъ до такой степени, чтобы электричество съ разстоянія 3 мм. не проходило чрезъ разрѣженный газъ. Для этого, достаточно 4—8 часовъ. Ртуть въ трубкѣ p подымется, но не достигнетъ ея вершины. Затѣмъ, въ сосудъ P приливаютъ ртути, и она начинаетъ переливаться въ колѣно B бароманометра мелкими каплями, а оттуда въ трубку a . Если вмѣстѣ со ртутью стануть увлекаться въ трубку B воздухъ и водяные пары, то, не проникая въ трубку A , они будутъ уходить въ ртутный насосъ, такъ что въ A будетъ пустота или газъ такой слабой упругости, что электричество чрезъ него не проходитъ. Когда въ бароманометръ войдетъ достаточное количество ртути, то въ насосъ впускается мало по малу воздухъ, и ртуть постепенно переходитъ изъ B въ A .

Наконецъ, надо отломить трубку p или совсѣмъ вынуть ее изъ воронки. Остается наклонить снарядъ, чтобы вытѣснить остатки воздуха изъ трубки A , по трубкѣ c , въ трубку d . Полученный снарядъ въ сущности ничѣмъ не отличается отъ моего переноснаго барометра. Разница начинается съ того момента, когда, закупоривъ отверстіе, въ которое входила трубка p , вытягиваютъ изъ колѣна B воздухъ. Ртуть тотчасъ же опускается; разность высотъ ртути въ обоихъ колѣнахъ измѣряетъ упругость воздуха. Я считалъ приборъ вполне удовлетворительнымъ, если, доведя разрѣ-



Фиг. 1.

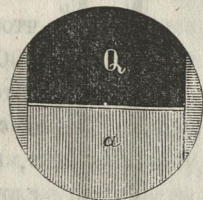
женіе до крайней степени, находилъ ртуть въ обоихъ колѣнахъ на одной и той же высотѣ. Удастся это, однакоже, не всегда, по причинѣ недостаточной чистоты ртути, и въ особенности, когда стѣнки барометра недостаточно обсохли. Кромѣ того, иногда микроскопическій пузырекъ воздуха прилипаетъ къ стѣнкѣ тонкой трубки *c* при входѣ ея въ широкую *d* и пропускаетъ мимо себя ртуть. Достигнуть тогда полной пустоты невозможно, потому что, при поворачиваніи барометра въ вертикальное положеніе, пузырекъ возвращается назадъ въ камеру *A*. Избавиться отъ этого пузырька не легко. Остается одно невѣрное средство: надо осторожно согрѣвать это мѣсто трубки *c*, причемъ, при малѣйшей неосторожности толстыя стѣнки ея не выдерживаютъ и лопаются. Чтобы устранить этотъ недостатокъ въ моихъ переносныхъ барометрахъ, механикъ Рихтеръ припаяваетъ внутри трубки *d*, тонкостѣнную трубку оканчивающуюся узкимъ волоснымъ отверстіемъ и служащую продолженіемъ трубки *c*. Наконечникъ *e*, при предыдущемъ изготовленіи, излишенъ; онъ имѣется ради того, что прежде я приготавлиалъ приборы иначе, и именно такимъ образомъ. Тотчасъ какъ спаяны всѣ трубки, онѣ вытягивались въ одну прямую линію и промывались горячимъ растворомъ жидкости Поггендорфа, употребляемой для заряженія гальваническихъ элементовъ, и потомъ чистой водой. Когда изъ прибора уходила почти вся вода, я промывалъ его крѣпкимъ спиртомъ, и затѣмъ пускалъ струю сухаго воздуха, пока весь спиртъ не исчезалъ. Далѣе отверстіе *e* запаивалась, воронка *d* закупоривалась пробкой и прибору придавали видъ, изображенный на фигурѣ I. Затѣмъ, немедленно вливалась ртуть, пока она не наполняла всего прибора и не показывалась у отверстія *e*, которое въ этотъ моментъ запаивалось. Наконецъ, приборъ опрокидывался, и вся ртуть изъ трубокъ *B* и *b* выпускалась. Если ртуть суха и чиста (наприм., только что вышла изъ снаряда Вейнгольда), то изготовленный этимъ способомъ бароманометръ не уступаетъ, повидимому, построенному по предыдущему способу.

Визированіе вершины ртутнаго столба представляетъ, какъ извѣстно, большія затрудненія. Слѣдующій способъ я считаю лучшимъ. Въ деревянной доскѣ, на которой утверждень бароманометръ, дѣлается прорѣзъ, какъ это показано на фигурѣ 1 пунктиромъ, покрываемый тонкимъ матовымъ или молочнымъ стекломъ, или, проще, провощенной, прозрачной бумагой, освѣщаемыхъ

дневнымъ свѣтомъ или свѣчкой. Между матовымъ стекломъ и трубкой бароманометра вдвигается полоска толстой бумаги (лучше черной, чѣмъ бѣлой), такимъ образомъ, чтобы между нею и вершиной мениска образовался едва замѣтный просвѣтъ. При визиrowаніи чрезъ трубу катетометра, вершина мениска Q и край бумаги a представляются такимъ образомъ, какъ показано на фигурѣ 2.

Если просвѣтъ малъ, то менискъ представляется чернымъ, и край его рисуется съ совершенною отчетливостью. Установка непрозрачной бумаги рукою затруднительна. Лучше было бы помощію кремальерки передвигать металлическій полуцилиндрическій экранъ, охватывающій трубку бароманометра.

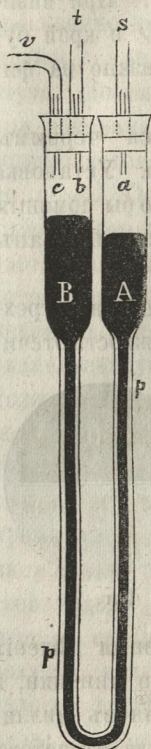
3. Катетометры употреблялись обыкновеннаго устройства, трехугольные, работы Саллерона. Микроскопы даютъ возможность отсчитывать тысячныя доли миллиметра. Зрительныя трубы таковы, что разстояніе отъ шкалы катетометра до бароманометра можетъ быть уменьшено, въ одномъ катетометрѣ до 750 mm, въ другомъ до 850 mm. Дѣленія уровней опредѣлялись такимъ образомъ. На штативѣ бароманометра, параллельно столбу ртути, утверждалась линейка съ дѣленіями на миллиметры. Затѣмъ, вращали трубу около горизонтальной оси, направляя ее на разные дѣленія линейки. Совмѣстно отсчитывались дѣленія уровня и линейки, а отсюда опредѣлялось значеніе каждаго дѣленія уровня въ миллиметрахъ. Эти величины придавались или отнимались отъ отсчетовъ на катетометрѣ, смотря потому, въ какую сторону отступалъ пузырьрекъ уровня. Вообще, наши катетометрическія измѣренія можно считать точными до 0,01 mm., если разность высотъ ртути была довольно значительна, такъ что приходилось передвигать (подымать или опускать) всю подвижную часть катетометра. Если же эта разность была не велика, такъ что достаточно было дѣйствовать для передвиженія трубы, только на микрометрическій винтъ, то точность наблюденія можно считать гораздо болѣе, наприм., до 3 тысячн. Высота мениска не измѣрялась, потому что трубки бароманометра были настолько широки (20 mm.), что волосность можно было считать равной нулю.



Фиг. 2.

Для измѣренія температуры употреблялись три термометра съ десятиными долями градуса; одинъ изъ нихъ работы Гейслера (въ

Боннѣ) служилъ для измѣренія вѣшной температуры на нижней станціи. Подобное измѣреніе на верхней станціи было оставлено, потому что температура тамъ всегда оказывалась на нѣсколько градусовъ выше. Эта неправильность очевидно происходила отъ мѣстныхъ условій, которыя невозможно было принять во вниманіе.



Фиг. 3.

4. Свинцовыя ¹⁾ трубки, въ родѣ тѣхъ, какія употребляются въ пневматическихъ звонкахъ, служили для соединенія станцій. Онѣ не имѣли постоянной толщины; внутренній діаметръ измѣнялся отъ 2,5 до 3,5 миллим., а толщина стѣнокъ отъ 0,5 до 1 миллим.

5. Манометръ для доказательства предѣльнаго состоянія газовъ. Этотъ приборъ состоитъ изъ двухъ широкихъ трубокъ (20 мм.) *A* и *B* (фиг. 3), соединенныхъ болѣе тонкой трубкой *p* (3 мм.), — тонкой, чтобы уменьшить количество ртути. Высота прибора 800 мм. Трубки *A* и *B* закрыты пробками, чрезъ которыя пропущены тонкія, мѣдныя трубочки: *a*, *b* и *c*. На нихъ надвигаются три свинцовыя трубки ²⁾ *s*, *t* и *v*, а сверху, на пробку наливается толстый слой мастики. Трубка *v* направляется къ насосу, а *t* и *s* идутъ на верхнюю станцію, гдѣ онѣ спаиваются, образуя такимъ образомъ одну трубку, которой концы погружены въ вѣтви манометра *A* и *B*. Приборъ надлежитъ наполнить ртутью такъ же, какъ и бароманометръ; иначе, на стѣнкахъ манометра остаются пузырьки, отъ которыхъ избавиться трудно.

II.

6. Въ теченіе времени, съ сентября 1881 г. до февраля 1882, не имѣя наблюдателя для верхней станціи, я работалъ только на одной нижней станціи, съ цѣлью испробовать качества насоса и непроницаемость для газовъ скрѣпленій и свинцовыхъ трубокъ, вывѣрить катетометры и приготовить нужные аппараты. Въ скоромъ времени, я замѣтилъ совершенно неожиданное явленіе. Были

¹⁾ Правильнѣе: приготовленные изъ сплава свинца съ оловомъ.

²⁾ Тотъ же способъ скрѣпленія частей употребленъ и въ бароманометръ (фиг. 1).

взяты двѣ свинцовыя трубки, каждая длиною въ 42 саж., назначенныя для соединенія станцій; одни концы ихъ были спаяны; другіе— t и s (фиг. 3) соединены съ манометромъ. Если воздушнымъ насосомъ вытягивать воздухъ изъ трубки v , то разрѣженіе происходитъ сначала въ колѣнѣ B , а спустя нѣсколько времени въ колѣнѣ A , потому что воздухъ изъ этого послѣдняго долженъ былъ пройти всю длину свинцовой трубки въ 84 сажени длины, чтобы достигнуть воздушнаго насоса. По этой-то причинѣ, манометру слѣдуетъ придавать значительную высоту; иначе, ртуть выбрасывается изъ колѣна B въ A . Впрочемъ, чрезъ нѣсколько минутъ, ртуть устанавливается на одномъ и томъ же уровнѣ. Продолжая дѣйствовать насосомъ, мы получаемъ то же самое: сначала ртуть въ колѣнѣ B опускается, но потомъ вскорѣ возвращается на прежнюю высоту. Когда разрѣженіе становится мало, начинается замедленіе, которое ощутительно уже при 5 mm. При нѣсколькихъ десятыхъ доляхъ миллиметра нужно не менѣе часа, чтобы ртуть въ обоихъ колѣнахъ манометра уравнилась, а при упругости еще меньшей — около сутокъ.

Не трудно видѣть, что этотъ результатъ находится въ прямомъ противорѣчій съ закономъ Бойль-Маріотта. Слѣдую этому закону, необходимо принять, что, каково бы ни было разрѣженіе, количество остающагося воздуха въ свинцовой трубкѣ должно быть пропорціонально его упругости. Если помощію воздушнаго насоса извлекается часть воздуха, то равновѣсіе нарушается, и воздухъ приходитъ въ движеніе. Но при всякой упругости отношеніе силы (т. е. упругости) къ массѣ оставшагося воздуха постоянно (если справедливъ упомянутый законъ); значить, скорость, съ которою воздухъ приходитъ въ движеніе, должна быть одна и та же, а слѣдовательно и время, необходимое для установки равновѣсія, не должно измѣняться замѣтнымъ образомъ съ уменьшеніемъ упругости. Наблюдается, напротивъ, весьма большое замедленіе.

Чтобы объяснить это явленіе, необходимо либо принять дѣйствіе стѣнокъ трубки на воздухъ, или допустить, что законъ Маріоттъ-Бойля для крайне разрѣженныхъ газовъ невѣренъ, и именно, упругость при разрѣженіи газа должна уменьшаться быстрѣе, чѣмъ масса остающагося газа или, что все равно, его плотность; иначе сказать, газъ долженъ отступать отъ закона Маріоттъ-Бойля въ томъ же направленіи, какъ водородъ подъ обыкновеннымъ давленіемъ. Первое допущеніе невозможно, потому что свинцовыя трубки

имѣли такую значительную толщину, что ихъ стѣнки не могли оказать замѣтнаго вліянія на газъ. Остается принять второе, то есть отступленіе разрѣженного воздуха отъ закона Бойль-Мариотта. Чтобы провѣрить себя, я повторилъ опытъ съ двумя трубками, соединяющими обѣ станціи. Верхніе концы были спаяны, нижніе соединены съ манометромъ, какъ и въ первомъ случаѣ. Длина всей трубки была, приблизительно, та же, именно 84 саж. Результаты были прежніе; но получилось еще новое явленіе. Когда газъ доведенъ былъ до крайней степени разрѣженія, то ртуть болѣе не уравнивалась, оставаясь въ лѣвомъ колѣнѣ *B* выше, чѣмъ въ правомъ. Въ теченіе 5 дней не произошло никакихъ измѣненій. Электричество отъ маленькой спирали Румкорфа, съ однимъ элементомъ Грене, не проходило съ разстоянія 2—3 миллим. Явленіе это было такъ необычайно, что я повторилъ опытъ съ новымъ манометромъ и другимъ катетометромъ. Результатъ былъ въ сущности тотъ же самый. Если я дѣйствовалъ насосомъ, то разность высотъ иногда не измѣнялась, или незначительно увеличивалась; вообще, эта величина колебалась между 0,02 и 0,06 миллиметра, вѣроятно, въ зависимости отъ вѣшной температуры, измѣнявшейся отъ -10° до 0° . Повидимому, эта разность тѣмъ болѣе, чѣмъ температура ниже.

Результатъ этотъ, хотя и вполне согласный съ отступленіемъ газа отъ закона Бойль-Мариотта, нельзя было предугадать, по причинѣ незначительной разности высотъ станцій. Онъ, очевидно, указывалъ на такое состояніе разрѣженного воздуха, когда онъ теряетъ упругость, т. е. если предоставить газу свободу расширяться, то онъ, наконецъ, достигаетъ такого состоянія, что теряетъ свойство расширяться, уподобляясь тогда твердому тѣлу. Въ такомъ состояніи, воздухъ находится на вершинѣ свинцовой сифонной трубки; книзу въ той вѣтви сифона, которая спускается къ правому колѣну *A* манометра, воздухъ уплотняется, вслѣдствіе давленія выше лежащихъ слоевъ, и пріобрѣтаетъ упругость, такъ что воздухъ, прилегающій къ поверхности ртути, не лишенъ упругости, которая измѣняется разностью высотъ ртути. Эта же разность выражаетъ вѣсь вертикальнаго столба разрѣженного до предѣла воздуха, высотой въ 27 м. Въ то же время, въ другомъ колѣнѣ *B* манометра, упругость, по самому невыгодному расчету, была гораздо менѣе 0,001 mm.

Такую малую разность стояній ртути, какъ нѣсколько сотыхъ

долей миллим. можно приписать разнымъ неуловимымъ обстоятельствамъ. Чтобы провѣрить себя, я оканчивалъ опытъ тѣмъ, что выпускалъ въ снарядъ столько воздуха, чтобы упругость была 200—400 миллиметровъ. По прошествіи нѣсколькихъ минутъ, ртуть устанавливалась на одномъ и томъ же уровнѣ въ обоихъ колѣнахъ. Этимъ устранялось всякое сомнѣніе въ существованіи предѣльной упругости воздуха. Каждый изъ этихъ двухъ опытовъ продолжался отъ 2—3 недѣль. Слишкомъ большая трата времени побудила меня на этомъ остановиться.

Въ мартѣ, совмѣстно съ г. Петерсеномъ, повторены были опыты съ углекислымъ газомъ. Результаты получились иные. При самой крайней степени разрѣженія, ртуть въ манометрѣ, чрезъ сутки, устанавливалась, приблизительно, на одномъ и томъ же уровнѣ; по крайней мѣрѣ, разность высотъ была ничтожна. Не знаю, чему приписать это явленіе: значительной ли внѣшней температурѣ, доходившей до 7°, или тому, что предѣльная упругость углекислаго газа слишкомъ мала.

Для строгости заключеній о существованіи предѣльной упругости воздуха, надлежало повторить опыты при горизонтальномъ положеніи свинцовой трубки. Такой опытъ былъ, правда, сдѣланъ ранѣе, еще въ сентябрѣ 1881 года, когда я испытывалъ трубки, и никогда чрезъ сутки не замѣчалъ разности высотъ ртути въ манометрѣ, но такъ какъ я и не надѣялся замѣтить предѣльной упругости, при небольшой высотѣ Инженернаго замка, то, можетъ быть, не былъ достаточно внимателенъ. Поэтому, были заготовлены свинцовыя трубки въ 80 саж. Неудачные опыты съ углекислымъ газомъ заставили меня оставить это дѣло; къ тому же, мы спѣшили перейти къ наблюденіямъ на двухъ станціяхъ, которыя и были начаты 12 апрѣля и продолжались до 9 мая.

7. Разность высотъ станцій была, приблизительно, извѣстна изъ высоты зданія. Независимо отъ отъ этого, мы сдѣдали 10 наблюденій съ анероидомъ, при различныхъ давленіяхъ и температурахъ; средняя высота оказалась 27,110 метровъ. Конечно, непосредственнымъ измѣреніемъ мы могли бы получить болѣшую степень точности, но, какъ будетъ видно изъ послѣдующаго, мы въ этомъ не имѣли надобности, потому что другія наблюденныя величины не отличались большой точностію.

Станціи сообщались посредствомъ двухъ паръ телефоновъ и электрическими звонками. Два бароманометра, одинъ на верхней и

другой на нижней станціи, были соединены свинцовой трубкой, длиною въ 88 метровъ. Такая значительная длина объясняется тѣмъ, что станціи лежали на различныхъ отвѣсныхъ линіяхъ. Нижний бароманометръ соединился сверхъ того съ воздушнымъ насосомъ. Такимъ образомъ, воздушный насосъ, два бароманометра и соединяющая ихъ свинцовая трубка представляли замкнутое со всѣхъ сторонъ пространство. Если дѣйствовать воздушнымъ насосомъ, то воздухъ вытягивается разомъ изъ открытыхъ колѣнъ (*B*) обоихъ бароманометровъ: изъ нижняго—непосредственно, изъ верхняго—посредствомъ свинцовой трубки. Мы, т. е. г. Петерсея на верхней и я на нижней станціяхъ, слѣдили за движеніемъ ртути и, когда она устанавливалась, измѣряли разность высотъ и температуры. Одну и ту же разность измѣряли отъ 2 до 7 разъ и впоследствии, когда наблюденія были вычислены, начальныя отброшены, если они не согласовались съ послѣдующими, потому что произведены были, очевидно, въ ту пору, когда ртуть еще не достигла состоянія покоя. При давленіяхъ довольно значительныхъ ртуть устанавливается весьма быстро; когда мы достигали весьма малой упругости, то приходилось ждать болѣе или менѣе долго спокойнаго состоянія. Когда мы доходили до 3 mm., то ожидали не менѣе 6 часовъ, а иногда 24 и 48, и тогда только производили наблюденіе. Всего сдѣлано 4 ряда наблюденій, начиная отъ болѣе или менѣе значительной упругости и доходя до возможно малой.

Вычисливъ всѣ наблюденія, откинувъ очевидно ошибочныя, а изъ прочихъ избравъ самыя благонадежныя, изъ коихъ каждое есть среднее изъ 3—7 довольно согласныхъ наблюденій, я свелъ ихъ въ нижеслѣдующей таблицѣ. Второй столбецъ, подъ буквой *p* представляетъ упругость воздуха на нижней станціи; Δp — разность упругостей на обѣихъ станціяхъ, причемъ на верхней упругость, повятно, была всегда менѣе; *t*—температуру вѣшняго воздуха. Все наше вниманіе было обращено на малыя давленія; наблюденія надъ большими давленіями не многочисленны и отрывочны, а потому и не приведены здѣсь (см. табл. на стр. 405).

Въ 4-мъ столбцѣ вычислены разности высотъ ртути на обѣихъ станціяхъ для 27,110 m., при температурѣ 0°, допуская, что воздухъ вполне повинуется закону Бойль-Мариотта, по формулѣ (2), приведенной далѣе.

Чтобы объяснить несогласіе чиселъ 3-го и 4-го столбцовъ, надо

1	2	3	4	5	6	7
t	p	Δp	"	"	d	pv
14°,2	11,636	0,041	0,0395	0,044	0,0164	100
7,9	8,385	0,031	0,0285	0,031	0,0124	96
7,4	4,603	0,021	0,0156	0,021	0,0084	77
12,2	2,646	0,016	0,0090	0,017	0,0064	58
12,3	1,947	0,015	0,0066	0,016	0,0060	46
10,7	1,641	0,015	0,0056	0,016	0,0060	39
7,2	1,370	0,017	0,0046	0,015	0,0068	25
11,1	0,864	0,016	0,0029	0,015	0,0064	19
19,6	0,623	0,014	0,0021	0,015	0,0056	16
10,1	0,281	0,016	0,0010	0,014	0,0064	6

допустить, что при уменьшении упругости воздуха, уже весьма разрѣженного, упругость убываетъ гораздо быстрее, чѣмъ плотность, и, наконецъ, послѣдняя достигаетъ наименьшей своей величины, когда упругость становится равною нулю.

8. Такъ какъ измѣненія Δp незначительны, то можно принять слѣдующую эмпирическую зависимость между p и Δp :

$$\Delta p = a_0 + a_1 p + a_2 p^2 \dots \dots \dots (1)$$

гдѣ a_0 , a_1 и a_2 —величины постоянныя. По способу академика Чебышева ¹⁾, примененному къ 10 нашимъ наблюденіямъ, я получилъ:

$$a_0 = 0,0140, a_1 = 0,00081, a_2 = 0,000151.$$

Подставляя на мѣсто p наблюденныя величины, мы найдемъ соотвѣтственные значенія для Δp ; такимъ образомъ составленъ 5-й столбецъ чиселъ. Изъ сравненія чиселъ 3 и 5 столбцевъ видно, что формула (1) удовлетворяетъ наблюденіямъ. Хотя я и не считаю найденные нами результаты достаточно точными, тѣмъ не менѣе, съ качественной стороны, картина измѣненія Δp совершенно ясна. По мѣрѣ уменьшенія p , начиная съ наибольшей величины, принятой въ расчетъ, именно 11,636, Δp уменьшается весьма слабо, и когда p приближается къ нулю, Δp становится величиной постоянной. Если по оси абсциссъ откладывать p , а по ординатъ— Δp , то получимъ кривую выпуклую къ оси абсциссъ. Она пересѣкаетъ ось ординатъ въ нѣкоторомъ, весьма маломъ, разстояніи отъ начала координатъ, идетъ почти параллельно оси абсциссъ, медленно отъ нея удаляясь по мѣрѣ возрастанія p .

¹⁾ Sur les fractions continues.

ной стороны тотъ же выводъ, т. е., что воздухъ имѣетъ minimum плотности, но только величина этого minimum'a будетъ меньше приведенной. Повѣрка этого вывода помощію вѣсовъ желательна, но едва ли возможна; всегда останется сомнѣніе, что мы взвѣшиваемъ кромѣ воздуха, содержащагося въ баллонѣ и обладающаго упругостью, еще воздухъ прилипшій къ стѣнкамъ, количество котораго должно возрастать съ упругостью свободного воздуха.

10. Уравненіе (2) можно написать въ такомъ видѣ:

$$\frac{1}{d} = \frac{\Delta H}{D} \cdot \frac{1}{\Delta p};$$

умноживъ обѣ части его на p , найдемъ:

$$\frac{p}{d} = \frac{\Delta H}{D} \cdot \frac{p}{\Delta p}.$$

Вторая часть послѣдняго равенства пропорціональна количеству pv , гдѣ v —объемъ нѣкотораго количества воздуха.

Отсюда найдены числа 7-го столбца, причѣмъ произведеніе pv для упругости 11,636 принято за 100. Эти числа показываютъ, что произведеніе pv съ уменьшеніемъ давленія быстро убываетъ, и притомъ гораздо быстрее, чѣмъ числа, приведенныя въ сочиненіи г. Менделѣева ¹⁾. Несогласіе можно объяснить отчасти недостаточною точностію нашихъ наблюденій (что въ высшей степени вѣроятно), отчасти сгущеніемъ воздуха на поверхности стеклянныхъ оболочекъ, употребленныхъ нашимъ ученымъ.

11. Зависимость измѣненія высоты барометра отъ H высоты наблюдателя можно было бы опредѣлить изъ предыдущихъ наблюденій, будь они болѣе обширны и достаточно точны. Вычисляемъ Δp для нѣкотораго p по формулѣ (1). Эта величина будетъ выражать измѣненіе упругости воздуха при поднятіи наблюдателя на ΔH . Вытя найденное Δp изъ p и подставивъ новое p въ ту же формулу, мы найдемъ измѣненіе упругости воздуха при поднятіи наблюдателя опять на высоту ΔH . Такое дѣйствіе надо повторять до тѣхъ поръ, пока p не уменьшится до p_1 . Назовемъ чрезъ m число совершенныхъ дѣйствій. Тогда, очевидно, при поднятіи наблюдателя на высоту $m\Delta H$, высота барометра измѣнится на $p - p_1$.

Того же результата, съ нѣкоторою погрѣшностью, можно достигнуть иначе. Раздѣлимъ равенство (1) на ΔH .

$$\frac{\Delta p}{\Delta H} = \frac{a_0}{\Delta H} + \frac{a_1 p}{\Delta H} + \frac{a_2 p^2}{\Delta H}.$$

¹⁾ Объ упругости газовъ; стр. 234.

Количества a_0 , a_1 и a_2 суть функціи отъ ΔH , и при одномъ и томъ же ΔH —постоянны. Такъ какъ ΔH не велико, то безъ ощутительной погрѣшности количество $\frac{\Delta p}{\Delta H}$ можно принять равнымъ отношенію дифференціаловъ. Подставивъ во 2-й части равенства, на мѣсто ΔH , a_0 , a_1 и a_2 ихъ значенія и придавъ дифференціаламъ противоположные знаки, получимъ:

$$-\frac{dp}{dH} = \frac{1}{27110} \cdot (0,0140 + 0,00081p + 0,000151p^2).$$

Пусть H_0 означаетъ возвышеніе мѣста, на которомъ барометрическое давленіе равно 11,636, а H —гдѣ оно равно p .

Совершивъ интегрированіе, будемъ имѣть:

$$H - H_0 = 19414000000 \arctg \frac{0,108(p_0 - p)}{1 + (0,108)^2(p_0 + 2,69)(p + 2,69)}$$

Положивъ $p = 0$, найдемъ:

$$H - H_0 = 13,856 \text{ километровъ,}$$

т. е. слой атмосферы, въ которомъ давленіе убываетъ отъ 11,636 мм. до 0, имѣетъ только 14 километр. высоты.

Эту величину можно найти также изъ таблицы (стр. 405).

Пусть числа 3-го столбца измѣняются по арифметической прогрессіи при измѣненіи давленія отъ 11,636 до 8,385, затѣмъ, также по арифметической прогрессіи, но съ другой разностью, отъ 8,385 до 4,603 и, наконецъ, отъ 4,603 до 2,646. Далѣе, можно считать убываніе равномернымъ, причеиъ каждому поднятію надъ земной поверхностью отвѣчаетъ уменьшеніе давленія на 0,015 миллиметровъ. Тогда найдемъ, что для уменьшенія давленія атмосферы на разность 11,636—8,385, надо подняться на ΔH , равное 27,11 метр., повторенному 90,3 разъ. Чтобы уменьшить давленіе еще на 8,385—4,603 надо подняться на ΔH . 145,5, и т. далѣе; такъ что вообще до предѣловъ атмосферы пришлось бы подняться на $27,11 \times 518$, что составляетъ 14,043 километра, — результатъ почти тотъ же самый.

Пусть температура воздуха отъ земной поверхности, гдѣ давленіе равно 760 мм., остается одна и та же до верхнихъ областей атмосферы, и именно 0° . Принимая законъ Бойль-Мариотта вполне точнымъ, получимъ для H_0 , т. е. высоты той точки атмосферы, гдѣ давленіе 11,636, число 33,40 километровъ..

Такимъ образомъ высота всей атмосферы, до ея предѣла, равна $33,40 + 13,86$ или, приблизительно, 47 километровъ.

Нѣтъ никакого сомнѣнія, что атмосфера выше. Несогласіе объясняется неточностью нашихъ опытовъ, не говоря уже о другихъ не принятыхъ во вниманіе обстоятельствахъ (температурѣ и тяжести).

Допуская, что найденное нами *minimum* плотности воздуха слишкомъ велико, или что замѣтныя отступленія отъ закона Бойль-Мариотта начинаются при давленіяхъ болѣе низкихъ, чѣмъ выше сказано, мы получили бы высоту атмосферы гораздо болѣе. Если же принимать абсолютно точнымъ тотъ же законъ, то атмосфера должна быть безконечна. Холодъ и тяжесть уменьшаютъ эту высоту; но во всякомъ случаѣ она должна бы быть весьма велика и по крайней мѣрѣ распространяться за орбиту луны. Существованіе *minimum*'а плотности воздуха даетъ ручательство, что атмосфера ниже. Обратное, такъ какъ атмосфера не распространяется за лунную орбиту (иначе были бы замѣтны особыя неравенства въ движеніи этого свѣтила), надо принять, что воздухъ имѣетъ *minimum* плотности.

12. Опыты, произведенные мною однимъ, а также совмѣстно съ г. Петерсеномъ, даютъ мнѣ право сдѣлать слѣдующія заключенія.

1) При значительной разрѣженности воздуха, произведеніе изъ упругости на объемъ уменьшается, когда объемъ увеличивается. Иначе сказать: съ возрастаніемъ объема, упругость уменьшается быстрѣе, чѣмъ слѣдовало бы по закону Бойль-Мариотта.

2) Когда воздухъ достигаетъ нѣкотораго объема, то тернеть упругость: въ эту пору, онъ имѣетъ наименьшую плотность, вѣроятно, возрастающую съ пониженіемъ температуры.

3) Изъ всего что извѣстно о существѣ газовъ, надо принять, что коэффициентъ расширенія разрѣженнаго воздуха весьма малъ и стремится къ нѣкоторой величинѣ, когда газъ приближается къ своему предѣльному состоянію.

4) Тѣже заключенія, вѣроятно, относятся до всякихъ газовъ и паровъ.

5) Земная атмосфера имѣетъ предѣлъ, гдѣ воздухъ потерялъ всякую упругость; плотность его здѣсь не такъ мала, какъ обыкновенно полагають, и сравнима съ тою, какая достигается лучшими ртутными насосами. По мѣрѣ удаленія отъ верхнихъ слоевъ атмосферы, внизъ, упругость воздуха быстро возрастаетъ; самый верхній слой атмосферы нѣкоторой толщины имѣетъ почти одну

и ту же плотность; далѣе, книзу, плотность возрастаетъ, но гораздо медленнѣе, чѣмъ упругость. Наконецъ, начиная съ нѣкоторой высоты и до земной поверхности, плотность возрастаетъ по законамъ Бойль-Мариотта и Гелюссака.

III.

13. Строгий читатель имѣетъ нѣкоторое право усумниться въ сдѣланныхъ выше заключеніяхъ, потому что опыты наши недостаточно точны. Причина неточности какъ уже было сказано, заключается преимущественно въ слишкомъ малой разности высотъ двухъ станцій. Прошу, однакоже, обратить вниманіе на два замѣченныя нами явленія; 1) когда газъ сильно разрѣженъ, то ртуть въ манометрѣ устанавливается съ чрезвычайною медленностью. 2) При крайней степени разрѣженія, въ лѣвомъ колѣнѣ манометра ртуть стоитъ ниже, чѣмъ въ правомъ. Въ этихъ наблюденіяхъ нѣтъ ни малѣйшаго сомнѣнія, а между тѣмъ они приводятъ къ тому заключенію, что при разрѣженіи уже сильно разрѣженного воздуха, упругость его уменьшается весьма быстро до нуля, между тѣмъ какъ плотность имѣетъ еще нѣкоторую величину.

Наконецъ, независимо отъ того, на сколько наши выводы близки къ истинѣ и что можетъ быть обнаружено только послѣдующими изысканіями, — новая метода изслѣдованія газовъ, сама по себѣ, имѣетъ значеніе; укажу здѣсь ея преимущества предъ другими методами, а также и недостатки, легко, впрочемъ, устранимые.

Всѣ извѣстныя работы надъ упругостью газовъ оставляютъ сомнѣнія въ томъ отношеніи, что газы могутъ прилипать къ стѣнкамъ стеклянныхъ, или другихъ оболочекъ, въ которыхъ производятся испытанія. Количество прилипаго газа нельзя принять въ расчетъ. При измѣреніи объемовъ газа, какъ напр. дѣлалъ Реньо и въ новѣйшее время Амага, отъ наблюденія ускользала газъ, прилипавшій къ стѣнкамъ трубки, а значитъ, наблюдаемая упругость была ниже надлежащей. Въ классическихъ опытахъ проф. Менделѣева, гдѣ объемы опредѣлялись по вѣсу вылившейся ртути, содержится та же погрѣшность, что, замѣчу мимоходомъ, не только не противорѣчитъ сдѣланнымъ имъ заключеніямъ, но еще служитъ къ вѣщему ихъ подтвержденію. Въ моей методѣ это возраженіе не имѣетъ мѣста. Правда, и здѣсь можетъ существо-

вать сгущение газа на стѣнкахъ, но оно не имѣетъ никакого вліянія, потому что ртуть бароманометра, или манометра, испытываетъ давленіе только свободнаго, не прилипшаго къ стѣнкамъ газа; тогда газъ находится подъ давленіемъ только собственного вѣса.

Моя метода имѣетъ еще то значеніе, что она даетъ возможность сдѣлать наблюденіе при весьма разнообразныхъ температурахъ отъ наименьшей зимней, до наибольшей лѣтней. И это особенно важно по тому, что существуетъ крайне ограниченное количество и при томъ совершенно отрывочныхъ наблюденій относительно сжимаемости газовъ и коэффициентовъ расширенія при разныхъ температурахъ. Та же метода даетъ возможность составить гипсометрическую формулу, не основываясь на законахъ Бойль-Мариотта и Гелюссака, потому что результаты, ею доставляемые, надлежащимъ образомъ поправленные (на тяжесть и температуру), имѣютъ такое значеніе: два наблюдателя, сохраняя одно и то же относительное положеніе, поднимаются съ барометрами въ верхніе слои атмосферы и записываютъ показанія барометровъ и удаленіе отъ земной поверхности. Изъ такихъ наблюденій, совершенныхъ при разнообразныхъ температурахъ, не трудно составить эмпирическую формулу или таблицу, по которымъ можно опредѣлять возвышеніе мѣста надъ уровнемъ моря, зная высоту барометра.

Что касается недостатковъ новой метода, то ихъ можно устранить, какъ это видно будетъ изъ послѣдующаго изложенія.

Самое большое затрудненіе, сопряженное съ значительными издержками, состоитъ въ томъ, что разность высотъ двухъ станцій должна быть не 27 метровъ, какъ въ нашихъ опытахъ, а по крайней мѣрѣ въ 10 разъ болѣе, и благонадежнѣе увеличить ее до 1000 метр. Разъ это будетъ сдѣлано, можно съ увѣренностію сказать, что законъ измѣненія упругости газовъ съ измѣненіемъ ихъ плотности и температуры будетъ найденъ съ достаточной точностью.

III-я глава моего труда имѣетъ цѣлью убѣдить читателя, что повтореніе нашихъ опытовъ было бы полезно, и устранить всякія могущія возникнуть недоразумѣнія. Чтобы результаты вышли вполне несомнѣнные, нужно сдѣлать въ нашихъ снарядахъ слѣдующія измѣненія:

14. Свинцовыя трубы представляютъ матеріалъ не довольно благонадежный; стѣнки ихъ не имѣютъ равномерной толщины, онѣ не рѣдко разрываются, или становятся проницаемыми для воздуха. Въ нашихъ опытахъ онѣ причиняли не мало хлопотъ.

то потребовалась бы, понятно, еще пара манометровъ, насосъ *S* и одна соединительная трубка. Не трудно также видѣть, что насосы *S*, сколько бы ихъ ни было, можно замѣнить однимъ, дѣйствуя имъ, посредствомъ особыхъ приспособленій, на ту или другую пару манометровъ.

Для газовъ весьма разрѣженныхъ полезно было бы имѣть манометры изъ жидкостей менѣе плотныхъ, чѣмъ ртуть. Въ абсолютной пустотѣ, жидкости способны замѣнить ртуть: сѣрная кислота, глицеринъ ¹⁾ и нефтяное масло, диссоціируются. Тѣмъ не менѣе, если эти жидкости находятся въ пространствѣ, изъ котораго воздухъ вытянутъ, то разрѣженіе можно довести до такой степени, что электричество не проходитъ. Значить, въ пространствѣ, наполненномъ крайне разрѣженнымъ газомъ, диссоцірованія нѣтъ, или же упругость выдѣляемыхъ газовъ ничтожна. Я сдѣлалъ двѣ пробы съ сѣрной кислотой, но неудачно. Оба раза прорывался воздухъ въ приборъ, вслѣдствіе порчи свинцовой трубки, и выбрасывалъ кислоту въ другую трубку. Я не имѣлъ времени перестроить манометръ такимъ образомъ, что бы подобное обстоятельство не могло случиться, и повторить опытъ.

16. Обыкновеннаго устройства катетометры представляютъ значительныя несовершенства, такъ что при измѣреніи высотъ ртути, когда приходится передвигать всю подвижную часть катетометра, нельзя идти далѣе сотыхъ долей миллиметра. Точность измѣренія можетъ быть увеличена, если воспользоваться методой, употребляемой пр. Менделѣевымъ, которая, какъ извѣстно, состоитъ въ томъ, что вертикальная шкала устанавливается неподвижно вблизи манометра, а катетометръ замѣняется вертикальнымъ стержнемъ съ трубкой и уровнемъ. Труба должна быть такъ устроена, чтобы объективъ ея можно было поставить возможно ближе къ манометру, напр., въ 200 mm. Такая труба будетъ представлять нѣчто среднее между микроскопомъ и телескопомъ. Окуляръ его долженъ имѣть нитяный микрометръ. Цѣлыя дѣленія отсчитываются по шкалѣ, доли—по микрометру.

17. Температура воздуха въ трубкѣ, соединяющей станціи неодинакова и вообще убываетъ снизу вверхъ. Разность давленій на станціяхъ можетъ быть отнесена къ температурѣ нижней станціи. Раздѣлимъ мысленно столбъ воздуха на безконечно тонкіе слои,

¹⁾ Ж. Р. Ф. Х. О.; т. XIII, стран. 45.

толщиною dH , гдѣ H — возвышеніе надъ уровнемъ моря. Пусть давленіе въ нижней части столба — p_0 , высота надъ уровнемъ моря — H_0 , температура t_0 ; тѣ же величины для верхней станціи пусть будутъ: p_1 , H_1 и t_1 ; на нѣкоторой высотѣ столба — p , H и t . Назовемъ еще чрезъ d среднюю плотность воздуха и ω — площадь поперечнаго сѣченія столба воздуха; высота его будетъ $H_1 - H_0$. Вѣсъ этого столба выразится двумя равными между собою количествами:

$$\omega \int_{H_1}^{H_0} d dH \text{ и } \omega \int_{p_0}^{p_1} D dp_1 \text{ или } \omega d(H_1 - H_0) \text{ и } \omega D(p_0 - p_1) \dots (3)$$

Если бы температура по всей длинѣ столба воздуха была одна и та же, именно t_0 , то каждый элементъ предыдущихъ интеграловъ надлежало бы уменьшить, умноживъ его на множителя:

$$\frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t_0}$$

гдѣ α — коэффициентъ кубическаго расширенія воздуха. Чтобы совершить интегрированіе въ интегралѣ

$$\omega d \int_{H_0}^{H_1} \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t_0} dH,$$

нужно знать зависимость между t и H . Если-бы атмосфера не содержала паровъ воды, то при равновѣсіи ея можно принять, что убываніе температуры пропорціонально приращенію высоты, т. е.

$$t_0 - t = \frac{t_0 - t_1}{H_1 - H_0} \cdot (H - H_0) \dots (4)$$

Подставивъ на мѣсто t его величину въ предыдущій интегралъ и совершивъ дѣйствіе, получимъ

$$\omega d(H_1 - H) \cdot \frac{1 + \alpha \cdot \frac{t_0 + t_1}{2}}{1 + \alpha t_0} \dots (5)$$

Изъ сравненія выраженій (3) и (5) заключаемъ: если умножить наблюдаемыя разности $p_0 - p_1$, на множителя

$$\frac{1 + \frac{\alpha}{2} (t_0 + t_1)}{1 + \alpha t_0}, \dots (6).$$

то найдемъ такія величины этихъ разностей, которыя наблюдались бы, если бы температура по всей длинѣ столба воздуха была одна и та же, именно t_0 . Въ дѣйствительности упомянутое предположеніе относительно измѣненія температуры вообще не точно. Но при разности высотъ въ 300—1000 метровъ не можетъ быть слишкомъ большихъ отступленій, за выключеніемъ какихъ нибудь особенныхъ случаевъ. Для большей же точности полезно было бы наблюдать отъ времени до времени температуры на одномъ или двухъ промежуточныхъ пунктахъ, между станціями. Если бы оказалось, что сдѣланное предположеніе вводитъ значительныя погрѣшности, то можно было бы составить эмпирическую формулу, которая замѣнила бы формулу (4).

Разность упругостей на верхней и нижней станціяхъ будетъ зависѣть отъ упругости на нижней станціи и отъ температуры. Чтобы отдѣлить одну зависимость отъ другой, надо имѣть нѣсколько паръ манометровъ (наприм., 3 пары) и соотвѣтственное количество соединительныхъ металлическихъ трубокъ. Сдѣлавъ въ каждой парѣ разрѣженіе, болѣе или менѣе значительное, будемъ имѣть три разныя упругости для нижней станціи и соотвѣтственныя разности при одной и той же температурѣ. Умноживъ послѣдніе на множителя (6), мы отнесемъ ихъ къ тому случаю, когда температура трубокъ, по всей длинѣ ихъ, такая же какъ на нижней станціи. Въ теченіе года можно собрать огромное количество подобныхъ тройныхъ наблюденій. Выбираемъ изъ нихъ такіе, въ которыхъ давленія, найденныя на нижней станціи p , p' и p'' , при температурѣ t_0 другъ къ другу близки; соотвѣтственныя разности пусть будутъ Δp , $\Delta p'$ и $\Delta p''$. Беремъ еще одно тройное наблюденіе при температурѣ T_0 , въ которомъ давленія P , P' и P'' близки къ предыдущимъ. Уравниваемъ упругости P , P' и P'' упругостямъ p , p' и p'' и вычисляемъ интерполированіемъ соотвѣтственныя ΔP , $\Delta P'$ и $\Delta P''$. Такимъ образомъ будемъ имѣть для p и температуры t_0 разность упругостей

$$\Delta p \frac{1 + \frac{\alpha}{2}(t_0 + t_1)}{1 + \alpha t_0}$$

для p и температуры T_0 —

$$\Delta P \frac{1 + \frac{\alpha}{2}(T_0 + T_1)}{1 + \alpha T_0}$$

Количества эти не равны между собой и сдѣляются таковыми, если будутъ отнесены къ какой нибудь одной температурѣ, на примѣръ, къ 0° . Для этого должно первое умножить на $1+\alpha t$, а второе—на $1+\alpha T_0$.

Получимъ:

$$\Delta p \left[1 + \frac{\alpha}{2} (t_0 + t_1) \right] = \Delta P \left[1 + \frac{\alpha}{2} (T_0 + T_1) \right], \dots\dots (7).$$

откуда

$$\alpha = \frac{2(\Delta P - \Delta p)}{\Delta p(t_0 + t_1) - \Delta P(T_0 + T_1)}$$

Комбинаціи наблюденій p' и P' , p'' и P'' дадутъ еще двѣ величины для α , по которымъ можно будетъ судить о степени точности выводовъ. Вѣроятнѣйшая величина α , найдется изъ трехъ уравненій, подобныхъ (7), по способу наименьшихъ квадратовъ.

Комбинируя тѣмъ же способомъ другія наблюденія, мы найдемъ α при разныхъ температурахъ и давленіяхъ. Разъ это сдѣлано, можно всё наблюденія привести къ любой температурѣ, чтобы судить о зависимости Δp отъ p , а это дастъ возможность розыскать для упругости газа соотвѣтственные значенія его плотности.

18. Выше было доказано, что Δp пропорціонально d средней плотности воздуха, содержащагося въ трубкѣ, соединяющей обѣ станицы; выражаясь точнѣе,

$$d = \frac{D}{\Delta H} \cdot \Delta p \dots\dots (8)$$

Пусть нѣкоторой величинѣ p соотвѣтствуетъ Δp . Интерполированіемъ находимъ $\Delta p'$ для $p + \Delta p$ и $\Delta_1 p$ для $p - p\Delta$. Количества:

$$d' = \frac{D}{\Delta H} \Delta p' \text{ и } d_1 = \frac{D}{\Delta H} \Delta_1 p$$

будутъ выражать: первое среднюю плотность воздушнаго столба, у котораго въ нижней части упругость $p + \Delta p$ и въ верхней p ; второе — среднюю плотность подобнаго же столба съ упругостями p и $p - \Delta p$.

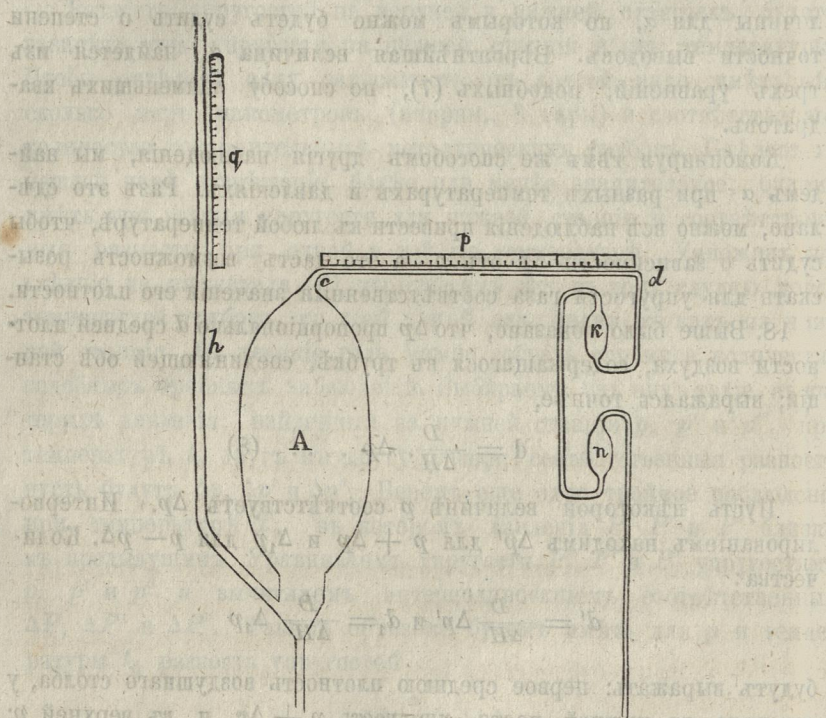
Средняя арифметическая изъ d' и d_1 будетъ весьма мало отличаться отъ плотности, соотвѣтствующей упругости p ; о степени приближенія можно судить по числу одинаковыхъ децималей въ d'

и d_1 ; тѣ же десятичные будутъ принадлежать плотности воздуха, котораго упругость равна p . Тогда легко будетъ составить эмпирическія формулы или таблицы съ двумя ходами, по которымъ можно будетъ вычислить объемъ или плотность газа, зная его упругость и температуру.

Изъ равенства (2) выходитъ:

$$H - H_0 = \sum_{p_0}^{p_1} D \cdot \frac{\Delta p}{d}$$

Полагая $\Delta p = 1$ (наприм. 1 миллим.), можно вычислить по таблицамъ $H - H_0$ для опредѣленной разности p_1 и p_0 . Такимъ образомъ



Фиг. 5.

составится новая таблица или формула, которая, по количествамъ p_1 и p_0 , дадутъ возможность опредѣлить разность возвышеній двухъ мѣстностей надъ уровнемъ моря при нѣкоторой температурѣ. Оста-

нется ввести поправки на температуру, силу тяжести и влажность. Последняя должна быть исследована отдельно, наполняя трубки, соединяющіе станціи сухимъ или влажнымъ воздухомъ, а также однимъ водянымъ паромъ.

19. Что касается предѣльной упругости, то нѣтъ надобности входить здѣсь въ подробности. Замѣчу только, что здѣсь, какъ вообще при исследованіи разрѣженныхъ газовъ, слѣдуетъ сдѣлать попытки построения манометровъ съ легкими жидкостями.

20. Для измѣренія упругости газа, остающагося въ насосѣ и соединенныхъ съ нимъ приборахъ, можно сдѣлать приспособленіе, основанное на томъ же началѣ, что и мензура Маклюда. Оно изображено схематически на фиг. 5. A представляетъ овальной формы сосудъ ртутнаго насоса. Отводная трубка имѣетъ сначала горизонтальное направленіе cd на протяженіи 100 мм., а затѣмъ закривляется и соединяется съ шарами k и n , роль которыхъ объяснена въ моей статьѣ ¹⁾. Двѣ шкалы p и q устанавливаются, одна p —параллельно трубкѣ cd , другая q —восходящей трубкѣ h . Нуль шкалы q лежитъ на уровнѣ канала трубки cd . Последняя должна быть, прежде припаиванія ея къ насосу, вымѣрена, чтобы можно было опредѣлить отношеніе ея емкости къ емкости сосуда A . Пусть газъ весьма сильно разрѣженъ. Подымаемъ ртуть въ сосудъ A и, когда она войдетъ въ трубку cd , задерживаемъ притокъ ея, запирая кранъ въ сосудѣ, изъ котораго ртуть вытекаетъ. Затѣмъ, измѣряемъ длину пузырька по шкалѣ p и высоту h ртути. Назовемъ чрезъ e объемъ этого пузырька въ отношеніи емкости резервуара A . Количество he выразитъ ту упругость, которую имѣлъ бы, по закону Бойль-Мариотта, пузырекъ газа, если бы онъ занялъ пространство равное емкости сосуда A , или, что все равно, упругость газа наполняющаго приборы, соединенные съ насосомъ. Такъ какъ сильно разрѣженный воздухъ, а вѣроятно, и прочіе газы и пары не слѣдуютъ закону Бойль-Мариотта, то, на основаніи вышеизложеннаго, найденная такимъ образомъ упругость будетъ болѣе истинной.

¹⁾ Ж. Р. Ф. К. Общ., т. XIII, стран. 335.

ОБЪ ИСПАРЕНИИ ЖИДКОСТЕЙ.

Б. Срезневскаго.

ГЛАВА I.

Когда какой-нибудь газъ или паръ подвергается сжиманію при постоянной температурѣ, то первоначально замѣчается только уменьшеніе объема, затѣмъ, по достиженіи извѣстнаго давленія, начинается выдѣленіе жидкости, и этотъ процессъ, при постепенномъ сжиманіи, происходитъ уже безъ измѣненія давленія до тѣхъ поръ, пока весь паръ не обратится въ жидкость; послѣ этого самое малѣйшее уменьшеніе объема требуетъ чрезвычайнаго увеличенія давленія. Обратно, увеличеніе объема занимаемаго жидкостью сопровождается выдѣленіемъ пара, которое идетъ при постоянномъ давленіи, пока вся жидкость не перейдетъ въ паръ. Обыкновенно принимается, что оба процесса — какъ развитіе, такъ и сгущеніе паровъ — происходятъ при одномъ и томъ же давленіи, которое называется давленіемъ насыщеннаго пара. Соответственно этому, объ насыщеніи получается такое понятіе, какъ будто насыщенный паръ есть такой паръ, который при малѣйшемъ увеличеніи давленія долженъ обратиться въ жидкость, т. е. будто бы невозможно было себѣ представить пара большей упругости, чѣмъ тотъ, который при обыкновенныхъ условіяхъ развивается на поверхности жидкости, или наконецъ, что степень насыщенія опредѣляется свойствами пара, а не свойствами жидкости или ея поверхностнаго слоя.

Давно уже было извѣстно, что паръ образующійся при поверхности растворовъ солей, обладаетъ меньшею упругостью чѣмъ при чистой водѣ. Не значитъ ли это, что высшій предѣлъ упругости, которой можетъ достигнуть паръ, опредѣляется свойствами не

пара, а жидкости. Но если изъ наблюдений упругости пара, образующагося при растворѣ, мы не можемъ судить о томъ, до какой степени паръ можетъ быть сгущенъ, то почему же мы должны допускать, что давленіе, производимое паромъ на плоскую поверхность чистой воды, составляетъ предѣлъ того давленія, которое вообще можетъ дѣйствовать между частицами пара, не переводя его въ состояніе жидкости?

Мы хорошо знаемъ, что, подобно тому какъ вода можетъ быть охлаждена въ жидкомъ видѣ ниже точки замерзанія, многія жидкости могутъ быть нагрѣты при нормальномъ давленіи до температуры, значительно превышающей ихъ температуру кипѣнія; упругость паровъ получаетъ значительный перевѣсъ надъ давленіемъ воздуха, а между тѣмъ кипѣнія не происходитъ; ничтожной величины пузырекъ воздуха, помѣщенный въ такую перегрѣтую жидкость, производитъ кипѣніе во всей жидкости; вода помѣщенная въ масляную смѣсь плотности 1 доводится безъ кипѣнія до 150° и выше; ясно, что парообразование возможно только при существованіи свободной поверхности. Весьма естественно, что условіями этой поверхности опредѣляется упругость выделяющагося съ нея пара; такъ и въ капиллярныхъ трубкахъ точка кипѣнія значительно повышается.

Рядъ подобныхъ явленій былъ единственнымъ опытнымъ подтвержденіемъ умозрѣній Дж. Томсона объ непрерывности газоваго и жидкаго состояній, которыя онъ изложилъ предъ Британской Ассоціаціей въ 1871 г. Дж. Томсонъ именно находитъ, что кромѣ обычнаго внезапнаго перехода пара въ жидкость при сохраненіи опредѣленнаго давленія, равнаго упругости насыщеннаго пара, можно еще вообразить переходъ, при которомъ вещество не раздѣляется на жидкость и паръ, а сохраняетъ однородность во всѣхъ частяхъ. Это воззрѣніе было принято многими авторитетами, какъ Клаузіусъ, Максвелъ, фанъ-деръ Ваальсъ, и вопросъ о зависимости между упругостью и объемомъ вещества, переходящаго изъ газообразнаго въ жидкое состояніе при нѣкоторой данной температурѣ и при сохраненіи однородности во всѣхъ частяхъ, сдѣлался предметомъ серьезнаго изслѣдованія; кривая, выражающая эту связь, получила названіе теоретической изотермы. Видъ изотермы приблизительно можетъ быть угаданъ: она должна имѣть maximum и minimum и давать по крайней мѣрѣ три значенія объема для давленія равнаго упругости насыщеннаго пара. Трудно

надѣяться, чтобы можно было на опытѣ осуществить весь ходъ измѣненія состоянія вещества, выражаемый теоретической изотермой, но опыты, о которыхъ я только что упоминалъ, принадлежащія Донни, Дюфуру, Жернезу и др., указываютъ на осуществимость промежуточнаго состоянія въ точкахъ, близкихъ къ состоянію жидкости. Дѣйствительно, мы имѣемъ здѣсь жидкость, не испаряющуюся подѣ давленіемъ, низшимъ давленія ея насыщеннаго пара.

Аналогичное этому, хотя и менѣе разительное явленіе было замѣчено учеными, занимавшимися опредѣленіями плотности и упругости насыщеннаго пара.

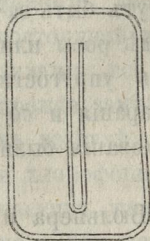
Гервигъ, опредѣляя плотность насыщеннаго пара эфира въ въ пространствѣ не содержащемъ воздуха, замѣтилъ, что паръ въ моментъ, когда начинаетъ замѣтно сгущаться, еще не достигаетъ постоянной величины упругости, но что упругость по мѣрѣ сдавливанія все увеличивается. Нѣчто аналогичное этому было и прежде замѣчено Реньо, но послѣдній наблюдалъ парообразование въ воздухѣ. Гервигъ не подтвердилъ этого явленія для алкоголя и хлороформа и пытался объяснить его прилипаніемъ къ стеклу частицъ жидкости. Вообще онъ опредѣлялъ объемы насыщеннаго пара при постепенномъ сгущеніи пара, находя рискованнымъ достигать этого разрѣженіемъ, т. е. *прилипающія* къ стеклу частицы жидкости могутъ, по его мнѣнію, удерживаться при низшихъ давленіяхъ, чѣмъ то, которое соотвѣтствуетъ упругости насыщеннаго пара.

Вюльнеръ и Гротріанъ рѣшительно подтверждаютъ полученный Гервигомъ результатъ, что паръ, постепенно сдавливаемый, осаждается ранѣе достиженія такъ называемой максимальной упругости; они показали еще, что упругость, при которой начинается сгущеніе, находится къ максимальной упругости паровъ въ отношеніи, зависящемъ отъ природы жидкости, но почти не зависящемъ отъ температуры. Измѣренія, противъ ожиданія, дѣлаютъ очень вѣроятнымъ, что вообще не существуетъ *maximum'a* упругости въ принимаемомъ доселѣ смыслѣ, что упругость насыщеннаго пара, прикасающагося къ значительной поверхности жидкости, можетъ быть доведена до сравнительно большаго давленія, чѣмъ при поверхности осадившейся росы, т. е. при поверхности весьма мелкихъ капелекъ, какъ тѣ, изъ которыхъ состоитъ роса. Предѣльнымъ упругостямъ насыщеннаго пара, т. е. той, при которой паръ начинаетъ сгущаться, осаждаясь въ видѣ росы, и той,

которой онъ достигаетъ при обширной поверхности жидкости, Вюльнеръ и Гротріанъ усвоили названія *Condensations-* и *Sättigungsdruck*. Разность между тѣмъ и другимъ давленіями достигаетъ среднимъ числомъ: 0,3% для сѣроуглерода, 1,3% для сѣрнаго эфира, 1,2% для воды, 0,7% для ацетона; числа эти лишь приблизительно, такъ какъ полного согласія и нельзя было ожидать; для хлороформа получились величины отъ 0,2 до 1,5%. Весьма вѣроятно, что поверхностямъ капель большаго радіуса кривизны свойственны упругости паровъ промежуточные между тѣми, которыя наблюдали Вюльнеръ и Гротріанъ, и что вообще понятие о *Condensationsdruck* не заключаетъ въ себѣ ничего абсолютнаго, представляя только упругость пара при поверхностяхъ капелекъ достигшихъ уже той величины, при которой онъ могутъ быть замѣчены невооруженнымъ глазомъ наблюдателя въ видѣ росы или пота. Къ опредѣленію опытомъ предѣльной величины упругости сгущенія, кажется, нужно приложить еще новыя старанія и новыя методы. Направленныя въ этомъ смыслѣ изслѣдованія были бы весьма дороги для теоріи жидкостей.

Съ заключеніемъ, выводимымъ здѣсь изъ опытовъ Вюльнера и Гротріана, находится въ связи теоретическое заключеніе В. Томсона о вліяніи кривизны поверхности на упругость прикасающагося къ ней пара. Въ основѣ и этого разсужденія лежитъ мысль, что состояніе насыщеннаго пара обуславливается не свойствами самаго пара, а свойствами поверхности, при которой паръ образуется, но смыслъ вліянія кривизны поверхности не согласуется съ смысломъ вліянія, на вѣроятность котораго я указалъ. По теоріи Томсона паръ имѣетъ при выпуклой поверхности большую упругость, чѣмъ при вогнутой. Заключеніе Томсона было всеми принято и не возбуждало почти никакихъ сомнѣній, такъ что вошло и въ теорію теплоты Максвелла, и въ сочиненіе фанъ-деръ Ваалса, и подало поводъ къ новымъ работамъ, каковы работы Фитцджеральда и Годжеса, о которыхъ еще будетъ рѣчь впереди. По этой теоріи небольшія капельки должны давать пары большей упругости, чѣмъ нормальная, и потому не могли бы удерживаться въ пространствѣ, наполненномъ паромъ слабой упругости, въ которомъ онѣ образуются въ видѣ росы, судя по опыту Вюльнера и Гротріана. Въ виду важности обоихъ результатовъ, я считаю не лишнимъ изложить здѣсь разсужденія знаменитаго англійскаго ученаго, и изложить ихъ не въ самомъ сжатомъ видѣ.

Въ замкнутомъ сосудѣ, содержащемъ только жидкость и ея паръ, все при одной температурѣ, жидкость во всѣхъ частяхъ свободной поверхности, поднявшейся или опустившейся въ сосѣдствѣ съ стѣнками сосуда или въ капиллярахъ, — остается въ постоянномъ равновѣсіи согласно извѣстному закону, связывающему кривизну поверхности съ давлениемъ. Невозможно предположить, чтобы въ различныхъ частяхъ поверхности происходило испареніе или сгущеніе паровъ, такъ какъ это повлекло бы за собой перемѣщенія въ массѣ жидкости, на которыя потребовалась бы затрата энергіи. Слѣдовательно давление пара во всѣхъ точкахъ поверхности равно давленію насыщеннаго пара. Но давление пара не одинаково во всѣхъ точкахъ: при разныхъ уровняхъ оно измѣ-



Фиг. 1.

няется соотвѣтственно гидростатическому закону, т. е. соотвѣтственно высотѣ. Слѣдовательно, такъ какъ кривизна поверхности въ данной точкѣ пропорціональна высотѣ точки надъ поверхностью уровня, то давленіе будетъ менѣе при вогнутой поверхности и болѣе при выпуклой. Слѣдовательно, если части жидкости, заключенныя въ томъ же сосудѣ и не сообщаются между собою, то онѣ могутъ сохранять только тотъ видъ, который ихъ поверхность имѣла бы въ случаѣ внутренняго сообщенія: поверхности, находящіяся выше, чѣмъ это слѣдуетъ по закону, связывающему высоту поднятія съ кривизной поверхности, будутъ давать пары высшей упругости, чѣмъ та, которая обусловливается гидростатическимъ равновѣсіемъ пара, и поэтому будутъ испаряться; напротивъ, на поверхностяхъ, находящихся слишкомъ низко, будетъ происходить сгущеніе паровъ; этотъ процессъ идетъ до восстановленія гидростатическаго равновѣсія, т. е. приводитъ къ тому же результату, какой достигается свободнымъ сообщеніемъ. Такимъ образомъ, если имѣемъ два широкихъ открытых сосуда, изъ которыхъ одинъ помѣщенъ выше другого, и если температура окружающей среды поддерживается строго постоянной, то жидкость въ верхнемъ сосудѣ будетъ послѣдовательно испаряться, пока не перейдетъ и не осадится вся въ нижнемъ. Или если рядомъ съ обширною свободною поверхностью помѣщено въ капиллярѣ небольшое количество той же жидкости, наполняющей капилляръ отъ дна до уровня внѣшней поверхности (фиг. 1), то въ капиллярѣ пары будутъ послѣдовательно сгущаться, пока уровень жидкости не поднимется до той высоты, которая обусловливается

гидростатическимъ равновѣсіемъ. Находится ли воздухъ надъ свободными поверхностями, или нѣтъ, условіе конечнаго равновѣсія останется то же самое, но процессы испаренія, распространенія и ступленія паровъ замедляются въ присутствіи воздуха. Томсонъ убѣжденъ, что при расположеніи опыта, указанномъ на чертежѣ, поднятіе жидкости въ капиллярѣ будетъ очевиднымъ, если внутреннее пространство будетъ вполне свободно отъ воздуха.

Выразимъ формулою вліяніе кривизны на упругость паровъ. Въ состояніи равновѣсія, менискъ, находящійся на высотѣ h надъ уровнемъ плоской поверхности, будетъ испытывать давленіе пара p , меньшее чѣмъ давленіе пара на плоскую поверхность ω и именно меньшее на величину, соотвѣтствующую вѣсу столба пара высоты h . Если будемъ измѣрять давленіе въ единицахъ вѣса и обозначимъ черезъ ρ средній удѣльный вѣсъ пара, то

$$p = \omega - \rho h.$$

Здѣсь h должно быть подставлено изъ формулы Лапласа. Вычисленіе показываетъ, что въ случаѣ цилиндрической трубки радіуса 0,001 mm. измѣненіе упругости будетъ около 0,1%, т. е. 0.001 всей величины упругости.

Очевидно вліяніе измѣненій упругости въ зависимости отъ кривизны поверхности должно сказаться и въ скорости испаренія въ свободномъ отъ паровъ воздухѣ или другомъ газѣ, но наблюденія надъ скоростью испаренія такъ грубы, а измѣненія упругости такъ незначительны, что опытъ долженъ оказаться безсильнымъ при опредѣленіи измѣненій скорости испаренія въ смыслѣ указанномъ Томсономъ. Тѣмъ не менѣе разсужденіе Томсона подало поводъ г. Фитцджеральду признать полезнымъ опытное опредѣленіе скоростей испаренія капель различныхъ величинъ; онъ надѣялся изъ подобныхъ опредѣленій вывести значенія коэффициентовъ въ своей формулѣ, связывающей скорость испаренія съ поверхностнымъ натяженіемъ.

Фитцджеральдъ принимаетъ, что испареніе происходитъ отъ выдѣленія частицъ пара не только съ поверхности жидкости, но и изнутри ея, причемъ считаетъ, что частица пара обладаетъ тѣмъ меньшею вѣроятностью выдѣлиться, чѣмъ больше ея разстояніе отъ поверхности, и что число частицъ пара, выдѣляющихся съ замѣтной глубины, совершенно ничтожно. Частица пара, находящаяся подъ выпуклою поверхностью имѣетъ большую вѣроят-

ность выдѣлиться, чѣмъ находящаяся подъ плоскою поверхностью, такъ какъ большее число точекъ поверхности будетъ находиться въ такихъ разстояніяхъ отъ нея, съ которыхъ возможно выдѣленіе частицъ пара. Подобно этому частица пара, находящаяся въ воздухѣ надъ испаряющейся поверхностью, обладаетъ тѣмъ меньшею вѣроятностью достигнуть какой нибудь точки поверхности, чѣмъ больше ея разстояніе до этой точки, и находясь надъ выпуклой поверхностью жидкости имѣетъ меньшую вѣроятность проникнуть въ жидкость, чѣмъ находясь надъ плоскою,—потому что меньшее число точекъ находится отъ нея въ разстояніяхъ, которыя частица можетъ пройти. Отсюда видно, что при выпуклой поверхности жидкости испареніе ускоряется, а сгущеніе замедляется; наоборотъ при вогнутой поверхности ускоряется сгущеніе, а испареніе замедляется. Разность между числами частицъ входящихъ и выходящихъ, т. е. скорость испаренія оказывается линейной функціей отъ кривизны поверхности; положимъ $N = N_0 + k \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_1} \right)$, гдѣ N_0 число частицъ выходящихъ съ плоской, а N съ кривой поверхности, k коэффициентъ не равный нулю, а двучленъ въ скобкахъ—кривизна поверхности. Если пространство насыщено паромъ, то при плоской поверхности испаренія не происходитъ, $N_0 = 0$; но N не $= 0$: $N = k \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_1} \right)$, т. е. при кривой поверхности происходитъ испареніе или сгущеніе, смотря по знаку двучлена. Такъ какъ испареніе должно происходить со скоростью пропорціональною разности упругостей при поверхности, то отсюда слѣдуетъ, что и разность упругостей насыщенія пропорціональна кривизнѣ—какъ инымъ путемъ нашелъ Томсонъ.

Г. Фитцджеральдъ надѣялся изъ наблюденія скоростей испаренія капель различной величины опредѣлить коэффициенты N_0 и k отсюда вычислить функцію, выражающую вѣроятность выдѣленія частицы пара, въ зависимости отъ длины пути, проходимого ею внутри жидкости.

Позволю себѣ замѣтить, что нельзя допускать, чтобы вѣроятность выдѣленія частицы зависѣла только отъ пути проходимого частицею внутри жидкости; она должна зависѣть и отъ угла образуемаго направленіемъ движенія съ нормалью къ поверхности, такъ какъ измѣненія плотности вблизи поверхности должны быть очень значительны, а ощутительныя измѣненія вязкости или сопротивленія движенію жидкости вблизи поверхности совершенно несо-

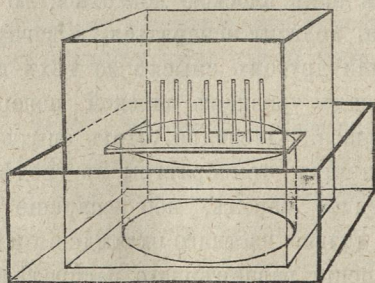
мѣнны послѣ опытовъ Обербека надъ треніемъ жидкостей. Хотя невѣрность указаннаго допущенія не имѣетъ вліянія на окончательный результатъ, но искомая вѣроятность должна быть столь сложною функціею отъ двухъ или даже болѣе величинъ, что опредѣленіе ея изъ опытовъ наврядъ ли возможно. Можно возразить и противъ возможности тѣхъ опытовъ надъ скоростью испаренія, которые предлагаетъ Фитцджеральдъ, въ виду ничтожной, по вычисленію Томсона, разности упругостей, каковая должна оказаться и между скоростями испаренія. Наконецъ въ настоящее время едва ли возможны теоріи процессовъ, основанныя на атомистическомъ воззрѣніи, но не опирающіяся на результаты выработанные чисто механическимъ путемъ, и вычисленіе вѣроятности выдѣленія частицы пара изъ жидкости, какъ величины болѣе или менѣе фиктивной, не имѣетъ особеннаго интереса, такъ какъ не даетъ ни малѣйшаго понятія о внутреннемъ строеніи жидкости и силахъ дѣйствующихъ между ея частицами. Вообще г. Фитцджеральдъ оставляетъ невыясненнымъ цѣлый рядъ сомнѣній и этимъ отнимаетъ отъ своихъ доводовъ должную убѣдительность.

Въ непосредственномъ соприкосновеніи съ изложеннымъ находятся опыты надъ зависимостью упругости пара отъ кривизны поверхности, съ которой онъ выдѣляется, сдѣланные мною по совѣту проф. Квинке. Эти опыты основаны на томъ, что если въ пространствѣ, наполненномъ насыщеннымъ паромъ, выдѣляющимся съ плоской поверхности, мы помѣстимъ менискъ, которому свойственна высокая упругость пара, то онъ будетъ испаряться, а напротивъ менискъ обладающій меньшею упругостью пара будетъ сгущать на своей поверхности насыщенный паръ: этотъ процессъ долженъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока не возстановится гидростатическое равновѣсіе пара.

Такимъ образомъ выпуклые мениски, помѣщенные въ замкнутомъ пространствѣ надъ плоскою поверхностью воды необходимо, по теоріи Томсона, должны испаряться, а вогнутые должны измѣняться въ томъ или другомъ смыслѣ до тѣхъ поръ, пока не достигнутъ высоты надъ уровнемъ плоской поверхности опредѣляемой закономъ Лапласа. Очевидно, этотъ опытъ требуетъ строгаго соблюденія постоянства температуры въ средѣ окружающей пространство наполненное паромъ, ибо испареніе и сгущеніе могутъ быть слѣдствіемъ только частнаго охлажденія или нагрѣванія, т. е. слѣдствіемъ нарушенія равномѣрнаго распредѣленія температуры,

неизбѣжнаго при колебаніяхъ вѣшной температуры. Чтобы по возможности устранить это вредное вліяніе, а также и другія случайныя причины погрѣшностей, я дѣлалъ наблюденія надъ цѣлымъ рядомъ менисковъ, въ которомъ выпуклые чередовались съ вогнутыми. Вотъ нѣкоторыя подробности.

На чертежѣ изображенъ кубическій сосудъ, склѣенный изъ зеркальных стеколъ и опущенный открытой стороной внизъ въ другой сосудъ, низкій и широкій, наполненный водою. Черезъ стеклянную стѣнку кубическаго сосуда можно видѣть рядъ тонкихъ трубокъ наполненныхъ водою; въ однихъ трубкахъ поверхность воды образуетъ выпуклость надъ верхнимъ краемъ, въ другихъ она рисуется въ видѣ мениска на нѣкоторой глубинѣ подъ краемъ. Высота поверхности надъ краемъ трубки или глубина ея подъ нимъ измѣряется посредствомъ микроскопа съ микрометромъ. Такъ какъ измѣненія уровня происходили очень медленно, то опытъ долженъ былъ продолжаться нѣсколько дней, и наблюденія производились приблизительно разъ въ день, не чаще, чтобы по возможности менѣе нарушать постоянство температуры. Первые дни приборъ стоялъ въ свѣтлой неотапливаемой комнатѣ, гдѣ колебанія температуры бывали больше 1° С., но затѣмъ я перенесъ его въ темный погребъ, гдѣ температура держалась постоянно равной $9,1-9,25^{\circ}$ С. Для замедленія температурныхъ вліяній приборъ накрывался жестянымъ сосудомъ, а при наблюденіяхъ освѣщался посредствомъ маленькаго фонаря съ масляной лампочкой. Чтобы ускорить наступленіе насыщенія замкнутаго пространства, я обложилъ боковыя стѣнки и дно кубическаго сосуда мокрой пропускной бумагой, которая удерживалась на мѣстѣ силой сцѣпленія. Наблюденія измѣненія высоты менисковъ были очень затруднены тѣмъ, что не могло быть допущено сильнаго освѣщенія, и что на стѣнкахъ сосуда осаждалось много пара. Точность отсчета



Фиг. 2.

не всегда доходила до $\frac{1}{2}$ sc. т. е. $\frac{1}{30}$ mm.; во всѣхъ этихъ случаяхъ приведенный въ таблицѣ отсчетъ поставленъ въ скобкахъ. Болѣе сомнительные отсчеты снабжаются знакомъ вопроса.

Съ цѣлью улучшить условія опыта, я устроилъ второй подобный аппаратъ и заключилъ его въ ящикъ оклѣенномъ оловомъ. Для изолированія внутреннего пространства пришлось къ сожалѣнію налить столько воды, что наблюдать мениски нужно было черезъ слой воды, заключенный между параллельными сторонами сосудовъ; словомъ отсчитываніе еще болѣе затруднилось, и многіе изъ отсчетовъ было совершенно невозможно сдѣлать.

Слѣдующія таблицы представляютъ результаты наблюденія. Всѣ вогнутые мениски обозначены знакомъ —, и числа приводимыя въ таблицахъ представляютъ разстоянія вершинъ менисковъ отъ края трубки. Высокихъ выпуклыхъ менисковъ не пришлось наблюдать, такъ какъ, будучи помѣщены въ пространство не вполне насыщенное паромъ, они успѣвали значительно испариться въ первое время. Но это испареніе продолжалось только нѣкоторое время, послѣ котораго высота мениска оставалась приблизительно постоянной; правда въ разныхъ менискахъ происходили небольшія измѣненія въ томъ или другомъ смыслѣ, но опредѣленнаго заключенія нельзя сдѣлать никакого. Напротивъ всѣ вогнутые мениски вопреки заключенію Томсона очень замѣтно испарялись. Слѣдующая табличка показываетъ, что въ t сутокъ глубина воды въ трубкѣ діаметра $2d$ увеличивалась отъ h_0 до h_t . Въ послѣдней графѣ приведены разности между начальнымъ и конечнымъ разстояніями уровня отъ края трубки.

t	$2d$ sc.	h_0 sc.	h_t sc.	$h_0 - h_t$ sc.
7	25,5	$21\frac{1}{2}$	30	$8\frac{1}{2}$
7	25,5	18	25	7
7	11,5	$16\frac{3}{4}$	$27\frac{3}{4}$	11
6	16,7	$19\frac{1}{4}$	$23\frac{3}{4}$	$4\frac{1}{2}$
6	15,9	$18\frac{1}{4}$	$20\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$
4	8,3	$4\frac{3}{4}$	6,6	$1\frac{3}{4}$
5	17,1	23,6	43,2	19,6

Приводимые здѣсь опыты не даютъ возможности замѣтить, въ какомъ смыслѣ имѣетъ влияние на скорость испаренія діаметръ трубокъ, или, иначе сказать, кривизна менисковъ. Единственное заключеніе можно сдѣлать то, что выводъ Томсона моимъ опытомъ отнюдь не подтверждается, а напротивъ наблюденія Вюльнера подкрѣпляются найденнымъ мною постоянствомъ выпуклыхъ менисковъ и образованіемъ пота на стѣнкахъ сосуда наполненнаго насыщеннымъ паромъ. Я поинтересовался смѣрить приблизительно величину капелекъ, изъ которыхъ состоитъ осаждающійся потъ. Будучи въ поперечникѣ около 0,1—0,3 mm., онѣ не имѣли правильной формы и были очерчены преимущественно яйцеобразной кривой. Радиусъ кривизны ихъ равняется вѣроятно также 0,1—0,3 mm.

Изъ постоянства величины выпуклыхъ менисковъ можно думать, что упругость пара при ихъ поверхности замѣтно не отличается отъ упругости пара при плоской поверхности воды. Что касается менисковъ вогнутыхъ, то пользуясь тѣми данными, къ которымъ меня привели наблюденія надъ испареніемъ капель, утвержденныхъ на столбикѣ діаметра 1.8 mm., я вычислилъ, что наблюдавшіеся вогнутые мениски испарялись въ насыщенномъ парѣ слишкомъ въ тысячу разъ медленнѣе чѣмъ испарялась бы такой же величины плоская поверхность въ сухой атмосферѣ. Отсюда разность упругостей пара менисковъ вогнутыхъ и плоской поверхности опредѣляется примѣрно въ 0,1% всего давленія насыщеннаго пара при температурѣ наблюденія, что составляетъ въ данномъ случаѣ около 0,01 mm. ртuti. Руководствуясь этимъ примѣрнымъ соображеніемъ, я позволилъ себѣ допустить, что влияние кривизны поверхности на упругость паровъ во всякомъ случаѣ такъ невелико, что не можетъ обнаружиться въ опытахъ надъ испареніемъ въ свободномъ воздухѣ.

Испареніе менисковъ воды въ пространствѣ, наполненномъ насыщеннымъ паромъ.

Т а б л и ц а I.

День.	25 февр. н. ст.		26	28		1 марта н. ст.	2	3	4	5	7	8
	Часъ.	12 дня	5 веч.	12 1/2 дня.	10 1/2 ут.	3 1/2 веч.	11 1/2 ут.	10 1/2 ут.	11 ут.	—	веч.	10 ут. 3 веч.
		—	11°С.	11°С.	10°	—	9,15°	9,15°	9,1°	9,2°	9,2°	9,25°
№	Попереч- никъ тру- бы. мм.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	25,5	(-16,3)	(-16,6)	(-17,5)	(-20,4)	-21	-21 1/2	(-23,2)	-24 ?	(-26,3)	-28	-30
2	28,0	(16,4)	15,1	—	—	6,2	5,8	6,4	6,0	—	6,6	7,1
3	25,5	-14,2	-14	(-15,0)	(-17,1)	-17,4	-18	-19	-19 1/2	—	-23 1/2	-25
4	11,5	10,15	10,05	—	—	-16	-16 3/4	-18	-20 ?	—	-26 1/2	-27 1/2
5	11,5	8,6	8,3	3,5 ?	1 1/2	1,65	1,6	—	1,5	1,5	1,9	1,8
6	16,7	—	-12,1	-13,6	-16 1/2	-17,0	-18,2 ?	-19 1/4	-21,3 ?	-22,3	-23 1/2	—
7	16,6	13,5	13,0	11,7	(9,1)	—	—	—	(5,0)	4 3/4	(2,6)	2 1/2
8	15,9	-15,9	—	—	—	-17,0	(-18,3)	-18 1/4	-19 1/2 ?	-20	-20 1/2	-20 1/2
9	16,0	15 1/2	—	(14,2)	13 1/2	—	12 3/4	(12,0)	11,4	—	9 1/2 ?	9 1/2 ?

Т а в л и ц а П.

	Марта.	3	4	5	7	8	
	Время.	11 ч. у.	11 ч. у.	ут.	веч.	10 ¹ / ₂ у.	3 веч.
№	2d	Темп. 9°, 15	9°, 1	9°, 2	9°, 2	9°, 2	9°, 25
1	8,2	1,6	(1,0)	+1,2	—	1,0	1,2
2	8,3	—4,0 ?	—4,75	—5,0	—5,8	—6,0	—6,6(?)
3	—	—	—	—	—	—	—
4	13,0	1,6	0,7	—	—	(—6,0)	—6,2
5	13,1	0,8	1,05	1,2	1,0	0,9	—
6	14,5	—	—	—	0	0	—3,9
7	—	—	—	—	—	—	—
8	14,7	1,5	1,05	1,1	—	—	—
9	17,1	—23,6	—25,6	—33,0	—36,8	—42 ¹ / ₄	—43,2
10	17,0	1,5	0,75	1,5	(2,2)	—2,0	—

Г Л А В А П.

Сдѣланные понинѣ атмометрическіе опыты не привели ни къ какимъ результатамъ, выражаемымъ въ видѣ законовъ. Условія, при которыхъ они были произведены, не были ни достаточно просты, ни достаточно разнообразны. Ученіе объ испареніи, въ частности объ диффузіи паровъ, остается открытымъ вопросомъ.

Такія мысли были выражены г. Стефаномъ въ вступленіи къ его работѣ надъ испареніемъ, появившейся въ 1873 г. Г. Стефанъ, руководясь воззрѣніями кинетической теоріи газовъ, нашелъ даже, что единственный законъ, который тогда былъ извѣстенъ для скорости испаренія, законъ Дальтона, — неправиленъ. Въ чемъ состоитъ несоотвѣтствіе дѣйствительности закона Дальтона, можно увидѣть изъ слѣдующихъ соображеній.

Въ болѣе обширномъ смыслѣ законъ Дальтона выражается такъ, что скорость испаренія, т. е. объемное количество пара (число частицъ), выдѣляющееся съ единицы поверхности жидкости, пропорціонально разности между упру́гостями пара насыщеннаго (каковымъ можно предполагать паръ прилегающій къ поверхности жидкости) и упру́гостью пара въ окружающей жидкости средѣ. Эта среда закономъ Дальтона предполагается вполнѣ однородной, т. е. наполненной паромъ одинакой во всѣхъ мѣстахъ упру́гости. Законъ слѣдовательно относится до обмѣна пара въ данной поверхности, между двумя средами, которыхъ упру́гости паровъ различаются на нѣкоторую конечную величину. Диффузія газовъ, представляя вообще повсюду аналогію съ теплопроводностью, опредѣляется и законами вполнѣ аналогичными положеніямъ теоріи послѣдней. Законъ Дальтона также вполнѣ аналогиченъ извѣстному закону ви́шней теплопроводности Ньютона, относящемуся до потери теплоты нагрѣтымъ тѣломъ въ средѣ одинаковой повсюду температуры. Предполагая, что упру́гость пара среды есть вообще непрерывная функція точки, и относя законъ Дальтона къ обмѣну пара между двумя элементами, которыхъ упру́гости пара различаются на бесконечно малую величину, мы на этомъ основываемъ теорію диффузіи. Въ этомъ случаѣ законъ Дальтона примѣняется какъ элементарный или дифференціальный законъ, и для диффузіи газа между двумя средами, которыхъ упру́гости паровъ различаются на конечную величину, долженъ быть замѣненъ другимъ закономъ, выводимымъ изъ него посредствомъ интегрированія. Упру́гость пара, окружающаго испаряющуюся жидкость, также не измѣняется скачками, а есть непрерывная функція точки, имѣя при поверхности жидкости свое высшее значеніе, равное максимуму давленія насыщеннаго пара. По мѣрѣ диффузіи пара, упру́гость пара прилежащаго къ поверхности жидкости восстанавливается испареніемъ жидкости. Примѣняемый къ этому процессу дифференціальный законъ диффузіи уже не даетъ при интегрированіи, если оно возможно, столь простаго закона. Законъ Дальтона можетъ быть только частнымъ случаемъ послѣдняго закона, и значеніе его для дѣйствительности только приближенно.

Изыскивая дифференціальное уравненіе для диффузіи пара или газа черезъ иной газъ, Стефанъ допускаетъ, что послѣдній представляетъ движущимся частицамъ сопротивленіе пропорціональное своей плотности и относительной скорости движенія. Разсматривая

испареніе и движеніе пара вдоль цилиндрической трубки, въ которой налита жидкость, и интегрируя получаемое отсюда дифференціальное уравненіе, Стефанъ вывелъ, что скорость испаренія въ трубкахъ, т. е. объемъ пара проходящій въ единицу времени черезъ единицу поперечнаго сѣченія трубки выражается формулой

$$v = \frac{k}{h} \log. \text{nat} \frac{p - p''}{p - p'},$$

гдѣ k постоянная, которую Стефанъ называетъ коэффициентомъ диффузіи;

h разстояніе уровня отъ края трубки;

p давленіе барометрическое;

p' упругость пара при поверхности жидкости;

p'' упругость пара при краѣ трубки.

Если $p'' = 0$, а p' очень мало, то эта формула приводится къ закону Дальтона: скорость испаренія въ сухомъ воздухѣ жидкости обладающей малой упругостью паровъ пропорціональна этой упругости; это потому что дробь $\frac{p}{p - p'}$ будетъ отличаться отъ 1 на очень малую величину $\frac{p'}{p}$, которая и будетъ приблизительно равна $\log. \text{nat}$ дроби:

$$v = \frac{kp'}{hp}$$

И вообще, когда упругость паровъ при краѣ трубки $p'' \neq 0$, но отличается отъ p' на очень малую величину x , законъ Дальтона имѣетъ мѣсто, именно:

$$v = \frac{k}{h} \log. \text{nat} \left(1 + \frac{x}{p - p'} \right) \\ = \frac{k}{h} \frac{x}{p - p'}$$

т. е. скорость испаренія пропорціональна избытку упругости пара жидкости надъ упругостью пара влажнаго воздуха и обратно пропорціональна парціальному давленію воздуха. Этимъ правиломъ я воспользовался при разсмотрѣніи испаренія менисковъ въ пространствѣ, наполненномъ насыщеннымъ паромъ (см. I главу), предполагая, что менискъ даетъ пары иной упругости, нежели насыщенные пары выдѣляющіеся съ плоской поверхности. Если упругость паровъ при поверхности мениска $p'' > p'$, то $x > 0$, и скорость испаренія мениска будетъ имѣть нѣкоторую положительную величину пропорціональную разности упругостей паровъ при двухъ поверхностяхъ и приблизительно обратно пропорціональную ба-

рометрическому давлению, если опыт происходит при низкой температурѣ и слѣдовательно слабой упругости паровъ.

Опыты, приводимые Стефаномъ въ подтвержденіе его теоріи, сдѣланы надъ наименѣе вязкими жидкостями, во-первыхъ, эфиромъ. Чтобы устранить сильное пониженіе температуры при поверхности, были, вмѣсто прежде употреблявшихся широкихъ чашекъ, употреблены узкія трубки, какъ сосуды для испаренія. Опыты согласны съ теоріей показали, что:

1) Скорость испаренія жидкости изъ трубки обратно пропорціональна разстоянію уровня жидкости отъ края трубки. Этотъ законъ получился вполне опредѣленно, когда разстояніе нѣсколько превышало 10 mm.

2) Скорость испаренія не зависитъ отъ поперечника трубки. Этотъ результатъ получился изъ опытовъ надъ трубками отъ 0.3 до 8 mm. діаметромъ.

3) Скорость испаренія возрастаетъ съ температурою, такъ какъ съ нею возрастаетъ давленіе пара жидкости. Если p есть наибольшая упругость пара, соотвѣтствующая температурѣ наблюденія, P давленіе воздуха, подъ которымъ испаряется жидкость, — то скорость испаренія пропорціональна именно логариему дроби, которой числитель P , а знаменатель $P - p$. Если давленіе пара = давленію воздуха, то логариемъ = ∞ и обозначаетъ, что при этомъ условіи жидкость кипитъ.

Чтобы подтвердить примѣромъ положенія Стефана, приведу слѣдующіе его опыты надъ сѣроуглеродомъ: при температурахъ 11.3°, 14.6, 20.4 и 28.7°C постоянная k имѣла значенія 1069.4, 1068.1, 1064.1, 1055.3; между тѣмъ вычисленная изъ тѣхъ же данныхъ постоянная Дальтона имѣла значеніе 833, 793, 716, 517, т. е. обнаружила значительное убываніе съ возрастаніемъ температуры. Небольшое убываніе постоянной Стефана вполне естественно и соотвѣтствуетъ измѣняемости коэффициента диффузіи съ температурою.

Изъ приведенныхъ заключеній второе, однако, обращаетъ на себя вниманіе, какъ положеніе нѣсколько сомнительное. Насколько слаба его аналогія съ наблюденіями другихъ изслѣдователей, настолько же мало оно подтверждается наблюденіями продолжателя Стефановой работы д-ра Баумгартнера.

Послѣдній выполнилъ по точному плану Стефана опыты надъ диффузіей паровъ сѣрнаго эфира, сѣроуглерода, хлороформа и ал-

коголя въ четырехъ различныхъ газахъ и изслѣдовалъ измѣняемость съ температурой коэффициента диффузіи сѣроуглерода. Въ первой своей работѣ Баумгартнеръ наблюдалъ испареніе жидкости, налитой въ довольно широкую трубку, и нашелъ слишкомъ слабыя числа для коэффициента диффузіи, какъ онъ убѣдился, работая надъ зависимостью скорости испаренія отъ температуры и опредѣляя температуру болѣе тщательно. Такъ, наблюдая испареніе сѣрнаго эфира въ водородѣ, онъ въ первой работѣ нашелъ, какъ среднее изъ многихъ опытовъ, коэф. диффузіи $k=0,244$, а во второй работѣ исправилъ его на 0,333. Это ясно показываетъ, какъ велика была ошибка первыхъ опредѣленій; конечно, причина заключалась въ охлажденіи, которое въ данномъ случаѣ было наиболѣе сильно. Вліяніе охлажденія легко замѣтить и въ другихъ опытахъ.

Вторая работа надъ испареніемъ жидкостей въ трубкахъ незначительныхъ размѣровъ, произведенная при соблюденіи предосторожности, чтобы жидкость имѣла точную температуру водяной бани, дала высшіе коэффициенты диффузіи, такъ что для сѣроуглерода при комнатной температурѣ получились значенія.

	Изъ 1-й работы.	Изъ 2-й работы.
Въ водородѣ . . .	0,261	0,382
„ свѣт. газѣ . . .	0,125	0,158
„ воздухѣ . . .	0,078	0,094
„ углекислотѣ . .	0,063	0,076

Для болѣе тяжелыхъ газовъ, углекислоты и воздуха, въ которыхъ испареніе идетъ медленнѣе, численныя значенія 2-й работы на 20% выше чѣмъ изъ 1-й, для свѣт. газа эта разность достигаетъ 26%; для легчайшаго газа водорода 45%. Но и болѣе совершенные опыты второй работы не дали для водорода точныхъ результатовъ. Для болѣе тяжелыхъ газовъ измѣняемость коэффициента диффузіи съ температурой очень близко выражается закономъ Ломмидта—что коэф. диф. пропорціоналенъ абсолютной температурѣ; по сравненію Баумгартнера наибольшія отклоненія едва достигаютъ 7%; между тѣмъ какъ для водорода законъ Ломмидта совершенно не подтверждается.

Я останавливаюсь на нѣкоторыхъ несогласіяхъ опытовъ Баумгартнера съ цѣлью показать, что они должны быть приписаны охлажденію поверхности; это охлажденіе очевидно тѣмъ больше, чѣмъ больше

отношеніе между поверхностью испаренія и периферіей. Къ этому я возвращусь при разсмотрѣніи моихъ опытовъ.

Опыты надъ испареніемъ въ узкихъ трубкахъ имѣютъ условія довольно сложные: треніе движущагося пара о стѣнки трубки имѣетъ здѣсь значеніе болѣе сильное, чѣмъ въ широкихъ трубкахъ или сосудахъ; при незначительномъ поперечникѣ трубки кривизна поверхности имѣетъ значительную величину, и испареніе идетъ съ поверхности жидкости не равной поперечному сѣченію трубки, а вдвое большей. Последнее вводитъ впрочемъ погрѣшность незначительную, такъ какъ приходится вмѣсто максимума упругости пара подставлять въ уравненіе среднюю величину упругости пара въ плоскости, проведенной черезъ верхній край мениска; разница тутъ весьма мала.

Цѣль Стефана скорѣе изслѣдованіе диффузіи пара, чѣмъ процесса парообразованія, и, вводя какъ предѣльное условіе для своего дифференціального уравненія то положеніе, что прилежащій къ поверхности испаренія слой постоянно насыщенъ паромъ, Стефанъ дѣлаетъ допущеніе, отчасти произвольное. Вотъ какъ онъ разсуждаетъ по этому поводу: „Въ данномъ случаѣ нѣтъ ошибки въ допущеніи, что слой воздуха при поверхности насыщенъ паромъ, но при опытахъ въ разрѣженномъ воздухѣ можетъ случиться, что при поверхности упругость пара меньше чѣмъ въ самой жидкости. Тогда предѣльное условіе будетъ иное. Зависимость количества развивающагося пара отъ максимума упругости и отъ дѣйствительнаго давленія пара при поверхности выражается, быть можетъ, простымъ закономъ пропорціональности разности этихъ давленій, и факторъ пропорціональности содержитъ новую постоянную, которую можно бы назвать коэффициентомъ испаренія“.

Доселѣ я не знаю случая, гдѣ бы этимъ допущеніемъ можно было что нибудь объяснить, хотя при своихъ опытахъ имѣлъ въ виду именно изысканіе вліянія условій поверхности на скорость испаренія. Дѣло въ томъ, что какъ бы быстро ни уносились развивающіеся пары, ихъ развитіе можетъ настолько понизить температуру поверхностнаго слоя жидкости и этимъ уменьшить возможное значеніе максимума упругости паровъ, что послѣдній будетъ равенъ упругости пара въ жидкости. Если жидкость въ Торричеллиевой пустотѣ и не испаряется вполнѣ мгновенно, то это не потому только, чтобы сопротивленіе поверхностнаго слоя могло препятствовать истеченію частицъ пара, а главнымъ образомъ по-

тому, что первоначально пространство надъ ртутью наполняется паромъ, насыщеннымъ, но котораго насыщение соотвѣтствуетъ температурѣ верхняго слоя жидкости, а послѣдній, въ слѣдствіе быстрого испаренія, непремѣнно значительно охлажденъ; по мѣрѣ притеканія теплоты и возстановленія первоначальной температуры происходитъ процессъ испаренія и увеличивается упругость пара. Быстрота испаренія при этомъ отнюдь не опредѣляется нѣкоторымъ коэффициентомъ испаренія, свойственнымъ самой жидкости и постояннымъ для нея, а зависитъ отъ степени теплопроводности какъ жидкости, такъ и тѣлъ ее окружающихъ.

Но я нисколько не противъ того, чтобы ожидать въ явленіяхъ испаренія нѣкоторыхъ аномалій, по крайней мѣрѣ кажущихся. Такія аномаліи уже наблюдались, только нельзя было составить никакого опредѣленнаго воззрѣнія на нихъ. Приведу нѣкоторые примѣры.

Испареніе съ поверхности растений происходитъ, по наблюденіямъ Гальса (Hales) и въ послѣдствіи Сакса, приблизительно по тѣмъ же законамъ, какъ свободное испареніе; но оно различно смотря по роду растенія, и на растеніяхъ остающихся всегда зелеными менѣе сильно, чѣмъ на тѣхъ которыя возрастаютъ периодически. Есть растенія, которыя испаряютъ въ особенности во время роста, значительно больше воды, чѣмъ свободная поверхность; напр. роа анна испаряетъ воду въ 3,61 раза быстрее, именно въ 24 часа съ 1 квадр. фута поверхности 37,3 куб. дюйма (Schüller, Grundsätze der Meteorologie). Также наблюдалось, что зимою земля испаряетъ больше воды, чѣмъ поверхность чистой воды.

Въ высшей степени интересны недавнія изслѣдованія надъ испареніемъ Д. Жернеза. Онъ собственно изучалъ только явленіе перегрѣванія жидкостей, и испареніемъ ихъ при температурахъ, вышшихъ точки кипѣнія занимался, какъ побочнымъ вопросомъ. Какъ было извѣстно уже изъ прежнихъ опытовъ Донни, Дюфура и другихъ, жидкость можетъ быть нагрѣта при нормальномъ давленіи температуры до значительно высшей той, при которой упругость паровъ достигаетъ величины равной давленію атмосферы, и при этомъ не закипать; нужно только, чтобы она не заключала въ себѣ растворенныхъ частицъ газа. Тѣмъ не менѣе на поверхности такимъ образомъ перегрѣтой жидкости происходитъ весьма энергичное выдѣленіе пара, и это весьма естественно, такъ какъ упругость пара жидкости болѣе

давленія на поверхность. Жернезъ произвелъ опыты съ перегрѣваніемъ надъ алкоголемъ, бензиномъ, хлороформомъ, водою, древеснымъ спиртомъ, сѣроуглеродомъ и эфиромъ. Последніе легко переносятъ температуру въ 100° С. безъ кипѣнія, а между тѣмъ при этой температурѣ упругость пара древеснаго спирта достигаетъ 3,16 атмосферъ, сѣроуглерода 4,37 атм., а эфира 6,64 атм.

Температура испаряющейся перегрѣтой жидкости вообще ниже температуры бани. При испареніи сѣроуглерода въ трубкѣ діаметромъ въ 15 mm. внѣшняя температура была 60° , а внутри трубки 55,5; въ трубкѣ меньшихъ размѣровъ, именно діаметромъ въ 5 mm. температура достигала 59,5, а въ меньшихъ трубкахъ разность была незамѣтна. Замѣчательны слѣдующія обобщенія сдѣланныя Жернезомъ:

Существуетъ скорость испаренія не зависящая ни отъ природы испаряющейся жидкости, ни отъ температуры; напр. для сѣроуглерода въ предѣлахъ $60-100^{\circ}$ С.

Скорость испаренія не зависитъ отъ длины пустой части трубки, если только она превосходитъ 30—35 mm.

Скорость испаренія почти не зависитъ отъ среды, въ которую выдѣляется паръ. Скорость испаренія сѣроуглерода не измѣнялась, когда выдѣляющійся паръ зажигали у конца трубки.

Скорость испаренія не пропорціональна поверхности испаряющейся жидкости. Замѣчается, что чѣмъ меньше діаметръ трубки, тѣмъ быстѣе выдѣленіе паровъ. Такъ въ трубкахъ, діаметръ которыхъ былъ 15, 10, 3, 2, 1, 0,35, 0,2 mm.

испарялись количества жидкости на единицѣ поверхности, относящіяся какъ числа

1, 2,2, 2,7, 3,6, 10, 21,9, 30.

Въ послѣдней пониженіе уровня на 100 mm. произошло въ 40 sec. Даже въ самыхъ тонкихъ трубкахъ, гдѣ жидкость имѣла точную температуру бани, обнаружилось, какъ видно большое различіе скорости испаренія.

Что касается зависимости скорости испаренія отъ упругости пара, то нѣкоторое согласіе съ закономъ Дальтона замѣчается только въ опытахъ надъ испареніемъ въ тонкихъ трубкахъ. Такъ для температуръ

70, 80, 90 и 100° С.

упругость паровъ метиловаго спирта выражается числами

1,96, 3,15, 4,60 и 6,25,

скорости же испаренія въ трубкѣ діаметромъ въ 2 mm. числами

1,94, 3,02, 4,27, 6,00.

онъ встрѣтился съ неожиданной аномаліей: насыщенные растворы желѣзносинеродистаго кали (желтой соли), кремортартара, мѣднаго купороса и бертолетовой соли обнаружили увеличеніе скорости испаренія: въ продолженіе 9 часовъ 20 мин. эти растворы потеряли черезъ испареніе на 25 кв. дюймахъ поверхности соответственно 34, 38, 34 и 29 гранъ, чистая же вода 29 гранъ. Въ слабыхъ растворахъ подобнаго ускоренія не замѣчалось, напр. въ $15\frac{1}{2}$ часовъ 10% растворы мѣднаго купороса и желтой соли потеряли черезъ испареніе 1,120, 2,113 гр., между тѣмъ какъ вода потеряла 4,103 гр.

Я лично имѣлъ случай убѣдиться въ возможности подобнаго ускоренія скорости испаренія, сравнивая испареніе въ двухъ тонкихъ трубкахъ діаметромъ въ 2 мм.; одна изъ нихъ содержала дистиллированную воду, другая насыщенный растворъ кремортартара. Первоначально уровень жидкости въ обѣихъ находился на разстояніи 20 мм. отъ края трубки. Въ продолженіе 105 дней уровень воды понизился на 58 мм., уровень раствора на 63 мм. Весьма трудно подыскать причину такому увеличенію скорости испаренія. Явленіе въ высшей степени замѣчательно.

Прекращая на этомъ изложеніе опытовъ различныхъ наблюдателей надъ испареніемъ, чтобы возвратиться при разборѣ собственныхъ моихъ наблюденій къ нѣкоторымъ изъ сообщенныхъ здѣсь данныхъ, я еще разъ повторяю то общее замѣчаніе, что скорость испаренія находится въ сильнѣйшей зависимости отъ скорости диффузіи пара и отъ охлажденія поверхности; она зависитъ отъ величины поверхности вслѣдствіе затрудненія распространенія по всѣмъ направленіямъ пара, образующагося при поверхности и потому также, что центральныя части поверхности, находясь въ большемъ разстояніи отъ источника теплоты, медленнѣе возстановляютъ поглощаемую теплоту и поэтому имѣютъ низшую температуру и даютъ пары низшей упругости.

ГЛАВА III.

Первоначальные опыты надъ испареніемъ капель воды.

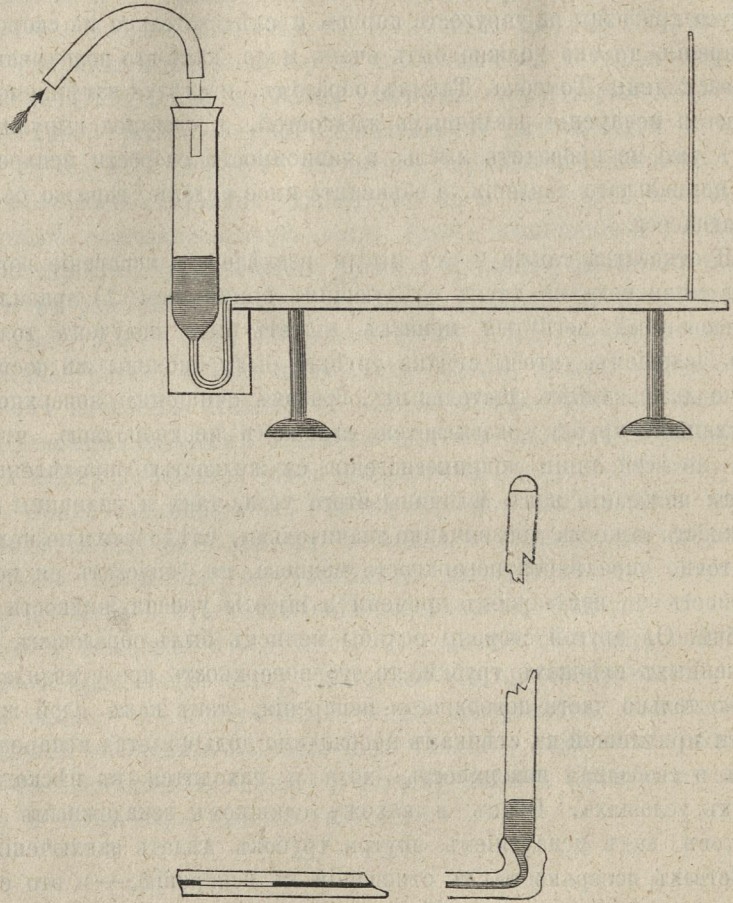
Я задался мыслью изслѣдовать, не имѣетъ ли ощутительнаго вліянія на скорость испаренія кривизна поверхности испаренія. Нѣсколько сдѣланныхъ наблюденій показали мнѣ довольно интересными и заслуживающими повторенія и разъясненія. Я нашелъ

сильную измѣняемость скорости испаренія, которая ни по величинѣ отклоненій, ни по смыслу ихъ не могла быть объяснена вліяніемъ величины радіуса кривизны. Чтобы подтвердить это, я сдѣлалъ впослѣдствіи опыты надъ зависимостью упругости пара при поверхности воды отъ кривизны этой поверхности (см. I главу), и не могъ уловить такой зависимости при условіяхъ опыта; если есть вліяніе радіуса кривизны на упругость паровъ и слѣдовательно на скорость испаренія, то оно должно быть очень мало, какъ это показываютъ и разсужденія Томсона. Такимъ образомъ, изслѣдуя измѣняемость скорости испаренія различныхъ жидкостей, я оказался вынужденнымъ уже не проводить мысль о зависимости скорости испаренія отъ нормальнаго давленія, а объяснять иное явленіе, гораздо болѣе выдающееся.

Я отказался также и отъ мысли изслѣдовать испареніе вогнутыхъ менисковъ по двумъ слѣдующимъ причинамъ: 1) правильно образованный вогнутый менискъ можетъ быть полученъ только подъ условіемъ, чтобы стѣнки трубки были смочены жидкостью, иначе даже самымъ тщательнымъ образомъ очищенная поверхность стеклянной трубки оказывается слишкомъ неоднородною, чтобы дать по всей линіи соприкосновенія съ жидкостью опредѣленный уголъ: колебанія какъ величины этого угла, такъ и величины поверхности мениска чрезвычайно значительны, слѣдовательно нельзя ни точно опредѣлить поверхность мениска, ни допускать ея неизмѣнность съ измѣненіемъ времени и высоты уровня жидкости въ трубкѣ. Съ другой стороны еслибы менискъ былъ образованъ при смоченныхъ стѣнкахъ трубки, то его поверхность представляла бы собою только часть поверхности испаренія, такъ какъ слой жидкости прилипшей къ стѣнкамъ необходимо подвергается испаренію, какъ и свободная поверхность, хотя и находится въ нѣсколько иныхъ условіяхъ. Итакъ я нахожу слишкомъ ненадежнымъ изъ опытовъ надъ испареніемъ внутри трубокъ дѣлать заключенія о свойствахъ поверхности въ отношеніи къ испаренію, — и это есть первая причина того, что я не обратился къ опытамъ этого рода. Во вторыхъ такіе опыты были уже дѣланы, съ начала Жернезомъ, затѣмъ Стефаномъ и Баумгартнеромъ.

Для наблюденій надъ испареніемъ капель проф. Э. Э. Петрушевскій построилъ особый приборъ, изображенный на чертежѣ. Съ этимъ приборомъ были сдѣланы мои первые опыты. Онъ состоитъ изъ капилляра, длиною около $\frac{1}{4}$ метра, лежащаго въ

горизонтальномъ положеніи на скалѣ и спаяннаго концами съ двумя вертикальными стеклянными трубками, имѣющими внѣшніе діаметры, одна 3,62 мм., другая около 25 мм. Изъ этихъ трубокъ первая вся наполнена испытываемою жидкостью, вторая содержитъ ртуть, которой давленіе уравниваетъ давленіе столба испыты-



Фиг. 3.

ваемой жидкости; послѣдняя надъ вершиной трубки образуетъ выпуклый менискъ, представляющій собою поверхность испаренія.

Ожидалось, что въ обоихъ колѣнахъ положеніе уровня жидкости будетъ соответствовать гидростатическому равновѣсію. По мѣрѣ испаренія давленіе ртути получало бы перевѣсъ и выдвигало бы

уровень испаряющейся жидкости приблизительно на ту же высоту. Передвижение поверхности соприкосновения ртути и жидкости въ капиллярѣ давало бы непосредственно количество испаряющейся жидкости. Но значительное треніе въ стеклянной трубкѣ заставило прибѣгнуть къ искусственному регулированію дѣйствія гидростатическаго давленія. Положеніе уровня испаряющейся жидкости пришлось провѣрять посредствомъ микроскопа, а широкая трубка была соединена съ насосомъ, посредствомъ котораго можно было при самомъ незначительномъ пониженіи уровня привести жидкость къ прежнему уровню. Впослѣдствіи, замѣтивъ, что жидкость при передвиженіи въ капиллярѣ прилипала къ стѣнкамъ и не вполне отдѣлялась ртутью, я чтобы избѣгнуть происходящей отсюда не-точности въ опредѣленіи испаряющихся объемовъ, образоваль, вмѣсто одного, три соприкосновенія ртути съ жидкостью и наблюдалъ передвиженіе того столбика жидкости, который отдѣлялся отъ испаряющейся жидкости столбикомъ ртути.

При опредѣленіи формы капель я пользовался компараторомъ работы г. Брауэра, построеннымъ для опытовъ Θ . Θ . Петрушевскаго надъ намагничиваніемъ, но, вмѣсто зрительной трубки, я употребилъ микроскопъ Саллерона съ винтовымъ окулярнымъ микрометромъ. При опредѣленіи фигуры сѣченія капли на шкалахъ компаратора опредѣлялись абсциссы, винтомъ измѣрялись ординаты точекъ кривой. Чертежъ изображаетъ расположеніе приборовъ. Для удобнѣйшей установки въ горизонтальномъ положеніи приборчикъ, содержащій жидкость ставился на вращающійся треножный столикъ. Съ начала при помощи уровня ось вращенія столика приводилась въ отвѣсное положеніе, затѣмъ передвигая приборчикъ по доскѣ столика или дѣйствуя винтами, подъ нимъ подвинченными, можно было совмѣстить ось трубки съ осью вращенія и привести край трубки въ горизонтальное положеніе. Совмѣстно съ этой установкою производилась и установка компаратора, который не имѣетъ для этого особыхъ приспособленій. При установкѣ удалось достигнуть хорошаго результата, и край трубки при вращеніи сохранялъ одно и тоже положеніе въ полѣ зрѣнія микроскопа. Такимъ образомъ можно было удостовѣриться въ томъ, что сѣченіе трубки было кругообразно и имѣло діаметръ 3,64 мм.

Опредѣленія формы были сдѣланы надъ каплями трехъ высотъ: 1,5, 1,0 и 0,5 мм. Предполагая, что капля есть тѣло вращенія, я привожу въ нижеслѣдующихъ табличкахъ діаметры параллельныхъ

круговъ, соответствующіе помѣщеннымъ въ первой графѣ разстояніямъ у этихъ капель отъ основанія капли. Форма капель высотой въ 1,5 и 1,0 мм. замѣтно отличается отъ шара, какъ объ этомъ можно судить по чертежу, изображающему сѣченія капель, въ 40 разъ увеличенныя. При небольшой величинѣ уклоненій; фигуры сѣченія отъ круга казалось возможнымъ разсматривать его, какъ эллипсъ. Для капли въ 1,5 мм. высотой, я привожу сравненіе координатъ наблюдавшейся кривой съ координатами эллипса. Для облегченія вычисленія послѣднихъ я отыскивалъ ихъ помощью способа наименьшихъ квадратовъ, причемъ полагалъ начало координатъ неизмѣнно связаннымъ съ кривою, именно совпадающимъ съ вершиною капли и принялъ даннымъ отношеніе между полуосями α ; послѣднее я опредѣлилъ слѣдующимъ образомъ изъ сравненія объемовъ капли наблюдавшейся и равной высоты капли сферической. Объемъ сферической капли, которой высота h , а діаметръ основанія $2d$, выражается

$$V' = \frac{\pi h}{6} (3d^2 + h^2)$$

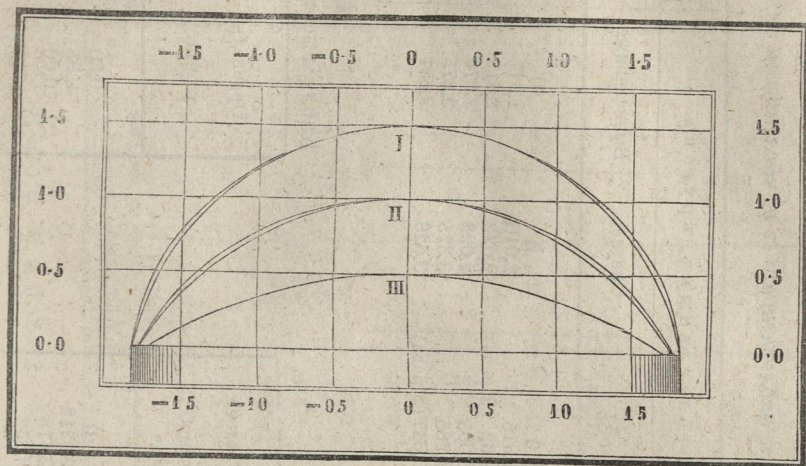
объемъ же капли, ограниченной эллипсоидомъ вращенія, котораго ось вращенія перпендикулярна къ плоскости основанія капли напишется

$$V = \frac{\pi h}{6} (3d^2 + \alpha^2 h^2)$$

гдѣ α —отношеніе одной изъ двухъ равныхъ осей эллипсоида къ третьей, совпадающей съ осью вращенія. Для опредѣленія V я вычислялъ объемы отдѣльныхъ поясовъ, какъ если бы они были ограничены шаровой поверхностью, и складывалъ. Опредѣливши отсюда α я его вводилъ въ вычисленіе абсциссъ. Для капли высотой въ 1,5 мм. $\alpha=1,09$; для капли высотой въ 1,0 мм. α нѣсколько больше перваго 1,11, но уклоненія отъ сферической формы по абсолютной величинѣ меньше. Для самой низкой капли высотой въ 0,5 мм. α нельзя было опредѣлить съ достовѣрностью, такъ какъ кривая составляла очень небольшую часть эллипса и мало уклонялась отъ дуги круга: Впослѣдствіи удалось превозмочь трудность опредѣленія α при малыхъ h . Недостатокъ употребленныхъ средствъ заключался въ недостаточномъ совершенствѣ шкалъ компаратора, которыя давали ошибки до 0,03 мм., въ слабомъ увеличеніи микроскопа; также оконечность трубки не была тщательно отшлифована, и край былъ настолько тупъ, что даже замѣтно

было закругленіе. Поэтому при болѣе низкихъ капляхъ края ихъ отступали отъ краевъ трубки, и основаніе капли дѣлалось меньше поперечнаго сѣченія трубки, что по приводимымъ таблицамъ легко увидѣть.

ФОРМА МЕНИСКОВЪ ВОДЫ. ПЕРВЫЯ ОПРЕДѢЛЕНІЯ.



Фиг. 4

Опытовъ надъ испареніемъ было сдѣлано два ряда: въ первомъ употребляли микроскопъ съ 5 натянутыми въ окулярѣ нитями. Разстоянія между ними соответствовали 0,36 мм., и изслѣдовались капли высотой въ 2, 3 и 4 дѣленія. Во второмъ рядѣ я употреблялъ микроскопъ съ винтовымъ микрометромъ и сдѣлалъ приспособленіе для удаленія паровъ образующихся при поверхности. Это приспособленіе состояло изъ изогнутой стеклянной трубки, которой одинъ конецъ былъ соединенъ съ аспираторомъ, равномерно втягивающимъ воздухъ, а другой расположенъ былъ надъ испаряющейся каплею. При дѣйствіи аспиратора, котораго правильность контролировалась, вокругъ капли образовался токъ воздуха, уносящій съ собою паръ. Въ слѣдующей таблицѣ представлены результаты наблюденія надъ скоростью испаренія: приведенныя числа изображаютъ объемныя количества испаряющейся въ 1 минуту воды въ единицахъ, зависящихъ отъ внутренняго діаметра капиллярной трубки и мѣры дѣленій шкалы, по которой отмѣчается передвиженіе уровня жидкости въ трубкѣ. Для насъ интересны только послѣднія числа въ каждомъ рядѣ,

Форма капель воды.

• I. Капля высоты $h=1,5$ mm. Сравненіе координатъ наблюденныхъ съ вычисленными для эллипса.

Ординаты у	Соответствующіе діаметры параллельныхъ круговъ.				Разности между средними и вычисл.
	I рядъ оп.	II	III	IV	
1,50	0	0	0	0	0
1,25	—	—	1,905	1,915	1,917
1,00	2,65	2,60	2,62	2,62 (2 раза)	2,619
0,75	—	—	3,085	3,095	3,078
0,50	3,355	3,385	3,372	3,385	3,375
0,00	3,625	3,66	3,60	3,647 (2 раза)	3,661
					0,007
					—0,003
					—0,017
					0,000
					0,035

II.

Капля высоты $h=1,0$ mm.

Ординаты у mm.	Діаметры изъ разл. рядовъ опытовъ.			Среднее mm.
	I	II	III	
1,00	0	0	0	0
0,75	—	2,0325 (3 оп.)	2,01	2,0212
0,50	2,79	2,775	2,77	2,778
0,25	—	3,2675 (2 оп.)	3,225	3,252
0,00	—	3,575	3,55	3,562

III.

Капля высоты $h=0,5$ mm.

Ординаты у mm.	Діаметры mm.
0,50	0,00
0,25	2,43
0,00	3,455

Скорость испарения капель воды.

I рядъ опытовъ.			Продолжительность каждаго опыта въ мин.			Показанія испарометра Августа 89.	
Высота капель мм.	1,44	1,15	0,72				
Количество исп. воды въ 1 мин.:							
27 ноября	0,692	—	—	25	—	15,2	9,6
28 „	0,67	—	0,516	50	—	15,2	9,6
3 декабря	0,675	0,625	—	20	25	15,2	10,0
4 „	0,54	0,52	0,48	20	30	15,5	10,3
Среднее	0,644	0,572	0,498				
Поверхность капли $\frac{S}{\pi}$ кв. мм.	5,41	4,56	3,75				
Скорость испарения	1,00	1,113	1,133				
II рядъ опытовъ. Искусственная тяга.							
Высота капель мм.	1,50	1,00	0,50				
Количество исп. воды въ 1 мин.							
19 декабря	0,75	0,68	—	15	20	17,0	11,5
21 „	0,88	0,64	—	5	5	—	—
22 „	0,675	0,59	0,51	22	23	16,0	10,6
Среднее	0,730	0,635	0,51				
Поверхность капли	5,70	4,18	3,25				
Скорость испарения	1,00	1,09	1,157				

изображающія скорость испаренія, отнесенную къ единицѣ поверхности, причемъ за единицу принимается скорость испаренія капли высотой, въ первомъ рядѣ въ 1,44 mm., а во второмъ въ 1,50 mm. Отсюда мы видимъ, что скорость испаренія низкихъ капель больше чѣмъ высокихъ и что разность скоростей достигаетъ 16%.

Къ такимъ результатамъ привели мои первые опыты. Нужно было провѣрить ихъ, повторить ихъ для капель иныхъ размѣровъ, и сдѣлать болѣе разнообразными условія опыта съ тѣмъ, чтобы выяснить причину замѣченныхъ аномалій. Меня интересовало во-просъ, дѣйствительно-ли скорость испаренія обуславливается величиною радіуса кривизны, и поэтому особенно нужными показались опыты надъ каплями, которыхъ основанія имѣли бы иные размѣры.

Г Л А В А IV.

Форма капель.

Во всѣхъ слѣдующихъ опытахъ я пользовался другимъ методомъ, къ которому меня привели нѣкоторые неудобства предыдущаго. Необходимость время отъ времени прибѣгать къ вдуванію для приведенія вершины капли къ ея постоянному уровню была причиной неправильныхъ движеній воздуха вокругъ капли, кромѣ того калиброваніе капилляра, обточка и шлифованіе конца трубки, на которомъ образуется капля, представляли серьезныя и неизбѣжныя затрудненія. Для составленія новаго хода опытовъ я воспользовался слѣдующимъ замѣчаніемъ.

Капля жидкости, утвержденная на горизонтально установленной круглой пластинкѣ, принимаетъ форму, тѣмъ болѣе приближающуюся къ шару, чѣмъ менѣе поперечникъ кружка. Если мы обозначаемъ черезъ

h высоту капли,

$2d$ поперечникъ основанія,

V объемъ капли,

S поверхность

то въ предположеніи, что капля очерчена сферической поверхностью, по извѣстнымъ формуламъ

$$V = \pi h \frac{3d^2 + h^2}{6}$$

$$S = \pi (d^2 + h^2)$$

Обозначая через t время и дифференцируя выражение V по t , получаемъ

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi}{2} (d^2 + h^2) \frac{dh}{dt}$$

или

$$\frac{1}{S} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dh}{dt} = v$$

Это показываетъ, что объемъ жидкости, испаряющійся или сгущающійся на единицѣ поверхности сферической капли, выражается половиною уменьшенія или увеличенія высоты капли. Иначе сказать, половина уменьшенія h въ единицу времени представляетъ собой среднюю скорость испаренія, которую мы обозначимъ черезъ v . Основываясь на этомъ, намъ остается только измѣрять послѣдовательное уменьшеніе высоты капли, близкой по формѣ къ части шара и изъ пониженія въ $1/2$ минуты заключать о средней скорости испаренія. Въ этомъ заключается основаніе того способа наблюденія, которымъ я пользовался. Слѣдуетъ теперь провѣрить насколько и въ какихъ предѣлахъ примѣнимъ этотъ способъ при изслѣдованіи испаренія тѣхъ капель, которыя дѣйствительно существуютъ и могутъ съ достаточной точностью наблюдаться; слѣдуетъ именно изслѣдовать форму капель утвержденныхъ на различныхъ по величинѣ кружкахъ и прослѣдить измѣненія формы съ измѣненіемъ высоты, т. е. предупредить ту же работу, которую я производилъ при вышеизложенныхъ первыхъ моихъ опытахъ, но въ значительно большихъ размѣрахъ. Это мнѣ удалось исполнить путемъ болѣе простымъ, но въ то же время болѣе точнымъ и надежнымъ.

На столѣ ставились два столика, снабженные установочными винтами и зеркальными стеклами на верхнихъ доскахъ. Одинъ изъ нихъ служилъ для поддержки микроскопа, который былъ укрѣпленъ въ особенныхъ салазкахъ съ поделѣннымъ внизу зеркальнымъ стекломъ. Плавно скользя по стеклу столика, слегка посыпанному лycopodieмъ и установленному въ горизонтальномъ положеніи, микроскопъ очень удобно перемѣщается въ горизонтальномъ положеніи и, разъ установленный, сохраняетъ свое положеніе довольно удовлетворительно. Другой столикъ служилъ для поддержки стекляннаго стаканчика, на которомъ укрѣплялся столбикъ съ каплею испытываемой жидкости. Такъ какъ изслѣдованіе формы и скорости испаренія капель воды и алкоголя шла одно-

временно, то въ стаканчикъ наливалась концентрированная сѣрная кислота для поглощенія образующихся паровъ, а все покрывалось стеклиннымъ ящикомъ, склѣннымъ изъ испытанныхъ зеркальных стеколъ, — такимъ образомъ внутри его образовывалось сухое пространство, защищенное отъ теченій воздуха. Правильно установивши микроскопъ и помѣщенный въ немъ микрометръ, глазной, въ видѣ сѣтки, можно было установить и столбикъ въ такомъ положеніи, что верхній край его совпадалъ съ какой нибудь горизонтальной чертой микрометра и оставался совпадающимъ при движеніи микроскопа впередъ и назадъ. Тогда можно было впустить на верхнюю площадку столбика посредствомъ пипетки каплю жидкости и, удостовѣрившись въ томъ, что она покрываетъ всю площадку, изслѣдовать ея форму или измѣненіе съ теченіемъ времени. При этомъ я очень обязанъ качествамъ упомянутаго глазнаго микрометра, состоящаго изъ стекла съ двумя взаимно перпендикулярными системами параллельныхъ чертъ, по 51 въ каждый. Такимъ образомъ поле зрѣнія заключало квадратъ, состоящій изъ 2500 квадратиковъ, которыхъ сторона или дѣленіе шкалы равнялось $\frac{1}{15,1}$ мм.. Отсчитывая десятия доли дѣленій шкалы можно было опредѣлять координаты каждой точки кривой, очерчивающей изображеніе капли съ точностью до $\frac{1}{151}$ мм., точность которой я не могъ надѣяться достигнуть при помощи прежде употребленнаго компаратора Брауэра и винта Саллерона.

Температура отмѣчалась на термометрѣ привѣшенномъ подлѣ стекляннаго ящика. Для того, чтобы видѣть вполне ясно очертанія мениска, нужно было устранить сторонній свѣтъ; съ этой цѣлью стеклянный ящикъ сверху накрывался листкомъ черной бумаги, и менискъ наблюдался въ лучахъ, отраженныхъ отъ неба небольшимъ зеркаломъ, иллюминаторомъ, и проходившихъ черезъ круглое отверстіе вырѣзанное въ ширмѣ. И ширма и иллюминаторъ были приспособлены къ станочкамъ ставившимся на томъ же установочномъ столикѣ и позволявшимъ измѣнять ихъ положенія соотвѣтственно надобности.

При изслѣдованіи формы менисковъ наблюдались кромѣ высоты мениска еще нѣсколько ординатъ, соотвѣтствующихъ извѣстнымъ абсциссамъ, или наоборотъ нѣсколько абсциссъ, соотвѣтствующихъ извѣстнымъ ординатамъ. Каждую координату нужно было опредѣ-

лить два раза, до и послѣ опредѣленія высоты и брать среднее, которое соотвѣтствовало моменту опредѣленія высоты. По этому, дѣлая по отчету чрезъ каждыя $\frac{1}{2}$ минуты или $\frac{1}{4}$ минуты, я опредѣлялъ послѣдовательно начиная съ краю ординаты для абсциссъ 5, 10, 15,.... sc. и опредѣливъ высоту, дѣлалъ тѣ же опредѣленія въ обратномъ порядкѣ идя по другой сторонѣ капли. Если столбикъ съ помѣщенной на немъ каплею весь помѣщался въ полѣ микрометра, то я совмѣщалъ среднія микрометра съ серединой столбика и дѣлалъ отчеты послѣдовательно для абсциссъ — 20, — 15, — 10, — 5, 0, + 5, + 10, + 15, + 20 sc. Необходимость имѣть болѣе опредѣленій для тѣхъ мѣстъ кривой, гдѣ кривизна болѣе, заставила дѣлать особенный выборъ координатъ для каждаго отдѣльнаго случая. Такъ на столбикѣ стеклянномъ, котораго радиусъ=27,74 sc., я опредѣляю для высокихъ менисковъ, отъ 20 до 30 sc. высоту, абсциссы для ординатъ 5, 10, 15, 20, 25 sc.; для низкихъ, отъ 12 до 14 sc. высоту, абсциссы для ординатъ 2, 5, 10 sc. и т. д.

Вообще поверхность наблюдавшихся капель весьма мало отличается отъ сферы, и при малыхъ величинахъ діаметра основанія и среднихъ высотахъ капель уклоненія отъ сферы не замѣтны. Но точное изслѣдованіе показываетъ, что въ большинствѣ случаевъ кривая, вращеніе которой образуетъ менискъ, не есть дуга круга и точнѣе выражается дугою эллипса, хотя не всегда; ниже приведенныя наблюденія надъ каплями наибольшихъ размѣровъ, показываютъ, на сколько достоверно это положеніе. Измѣренія, сдѣланныя мною прежде, навели меня на мысль, что отношеніе между неравными осями эллипсоида, часть котораго представляетъ поверхность капли, весьма мало зависитъ какъ отъ высоты капли, такъ и отъ діаметра основанія ея. Это предположеніе было высказано мною въ сообщеніи Физическому Обществу въ маѣ 1880 г. Съ цѣлью провѣрки его я постоянно опредѣлялъ изъ наблюденій это отношеніе, или *сжатіе* капли, обозначаемое мною буквою α , и могъ прослѣдить его измѣняемость съ измѣненіемъ другихъ величинъ, опредѣляющихъ форму капли. Само' собою разумѣется, что замѣчаніе мое имѣло или могло имѣть не теоретическое, а только практическое значеніе, приблизительное и относящееся именно къ моимъ опытамъ. Въ настоящее время я устранилъ надобность пользоваться какимъ нибудь вспомогательнымъ замѣчаніемъ, въ родѣ замѣчанія о постоянствѣ α , и привожу величины α только по-

тому, что величиною α хорошо опредѣляется видъ поверхности капель.

Величину α я вычислялъ при помощи слѣдующихъ формулъ: называя, какъ и прежде, черезъ $2d$ диаметръ основанія капли, черезъ h высоту ея, черезъ V истинный объемъ капли, а черезъ V' объемъ сферической капли той же высоты, мы можемъ V и V' опредѣлить изъ значеній h , d и α по формуламъ.

$$V = \pi h \frac{3d^2 + \alpha^2 h^2}{6}$$

$$V' = \pi h \frac{3d^2 + h^2}{6}$$

Вычитая эти уравненія одно изъ другаго и раздѣляя на $\frac{\pi h^3}{6}$, получаемъ

$$6 \frac{V-V'}{\pi h^3} = \alpha^2 - 1$$

откуда легко опредѣлится α . Такъ какъ α близко къ единицѣ, то оно приближенно выразится

$$\alpha = 1 + 3 \frac{V-V'}{\pi h^3}$$

Для вычисленія α , я особо вычислялъ V и V' и привелъ ихъ значеніе въ таблицахъ на ряду съ высотами капель и тѣми α , которыя онѣ опредѣляютъ. Для вычисленія V я допускалъ, что дуга кривой, образующей своимъ вращеніемъ поверхность капли, совпадаетъ съ дугами круговъ проведенныхъ изъ центровъ на оси вращенія черезъ каждую пару смежныхъ точекъ, которыхъ координаты опредѣлены, и вычисляю объемъ каждой шаровой зоны по формулѣ

$$V = \pi h \frac{3^2 a + 3b^2 + h^2}{6}$$

гдѣ a и b радиусы параллельныхъ круговъ, между которыми заключена зона, а h разстояніе между ними, т. е. высота зоны. Три первыя послѣдовательныя таблицы представляютъ результаты опредѣленій объемовъ и сжатій капель воды на цилиндрическихъ столбикахъ, которыхъ диаметры выражаются въ дѣленіяхъ шкалы 55,5, 48,0 и 40,4. Насколько позволяетъ судить послѣдовательность значеній $\frac{V-V'}{\pi h^3}$ и α въ первой таблицѣ вычисленія объемовъ вполне удовлетворительно. Сжатіе отнюдь не сохраняетъ какой нибудь постоянной величины съ измѣненіемъ высоты, но съ уменьшеніемъ

h съ начала убываетъ, потомъ возрастаетъ, достигнувъ наименьшей величины 1,07 при h приблизительно равномъ радіусу основанія; возрастаніе сжатія при меньшихъ высотахъ капли идетъ весьма быстро. Послѣднія четыре числа неточны, и далѣе я счелъ нужнымъ вычислить α для высотъ капель ниже 10 sc. посредствомъ способа наименьшихъ квадратовъ. Вычисленіе объемовъ произведено менѣе надежно для капель на агатовомъ столбикѣ, котораго поперечникъ $2d = 48,0$ sc. Разница между объемами V и V' впрочемъ очень невелика и въ среднихъ выводахъ достигаетъ всего 1—2% всей величины объема. Отсюда вычислены $\alpha = 1,074$ и 1,065.

Объемы капель на другомъ столбикѣ изъ агата болѣе точно опредѣлены, и разности величинъ V и V' также не болѣе 1%; попадаетъ одна отрицательная разность. Въ среднемъ выводѣ и здѣсь $\alpha = 1,06$, но надежность этого числа уже недостовѣрна по причинѣ небольшихъ размѣровъ столбика, и далѣе мы увидимъ, что отступленіе фигуры капель, которыхъ основаніе не больше 40,4 sc. или 2,5 mm., отъ шара на столько малы, что не могутъ быть съ достовѣрностью опредѣляемы.

При наибольшихъ высотахъ капель, когда онѣ имѣютъ видъ изображенный на первомъ чертежѣ I таблицы, ихъ сжатіе можетъ быть опредѣляемо непосредственно. Опытъ показалъ, что какъ большая ось эллипсоида, такъ и малая ось его, т. е. разстояніе по вертикальной линіи отъ вершины до того элемента, который имѣетъ вертикальную касательную, довольно удовлетворительно измѣряются непосредственно. Эти величины и получаемыя какъ отношеніе ихъ α приведены въ таблицѣ IV; при высотахъ h отъ 31,7 до 25,2 sc., α имѣетъ значенія отъ 1,07 до 1,11, т. е. колеблется буквально въ тѣхъ же предѣлахъ, какъ это показываетъ таблица I; но послѣдовательности въ значеніи не замѣчается.

На этихъ результатахъ я не остановился при изслѣдованіи формы капель, но я не счелъ нужнымъ производить тѣ же ряды наблюденій и вычисленій надъ каплями другихъ жидкостей которыхъ испареніе мнѣ предстояло наблюдать: во 1) эти наблюденія были чрезвычайно трудны и неточны по причинѣ быстрой испаряемости этихъ жидкостей, для эфира и сѣроуглерода даже совершенно невозможны при обыкновенныхъ условіяхъ; 2) если бы я сталъ опредѣлять форму капель въ атмосферѣ, насыщенной парами жидкости, то могъ бы сдѣлать опредѣленіе формы, хотя точ-

ное, но не соответствующее условіямъ опыта, встрѣтился бы съ новыми вопросами, которыхъ обсужденіе отвлекло бы меня; 3) я ограничился нѣсколькими опредѣленіями капель алкоголя, котораго коэффициентъ сѣпленія довольно близокъ къ коэффициенту сѣпленія другихъ летучихъ жидкостей, будучи наименьшимъ изъ коэф-товъ всѣхъ изслѣдованныхъ жидкостей, и нашелъ, что объемы и сжатіе его капель вполне соответствуютъ объемамъ и сжатіямъ капель воды, не смотря на большое различіе коэффициентовъ сѣпленія. Въ таблицѣ V приведены результаты этихъ опредѣленій для алкоголя, формулированные по тому же образцу какъ для воды: близость величинъ α въ V таблицѣ съ соответственными величинами α въ I таблицѣ видна сама собою. Для высоты $h = 12,4$ sc. я получалъ $\alpha = 1,082$, которое отличается отъ найденнаго для воды 1,086 при $h = 12,5$ sc. только на $\frac{1}{2}\%$. Эта незначительная разниця даетъ право допускать, что форма капель различныхъ жидкостей, въ особенности капель небольшой величины, нечувствительно отличается отъ формы капель воды.

Съ цѣлю облегчить вычисленіе объемовъ капель, я иногда пользовался практическимъ способомъ, сообщеннымъ мнѣ проф. Квинке. Начертивши на картонѣ фигуру сѣченія мениска по точкамъ, или посредствомъ камеры люциды вставляемой въ микроскопъ, я проводилъ рядомъ черезъ вершины и крайнія точки кривой дугу круга (какъ это сдѣлано на чертежѣ 4); затѣмъ я вырѣзалъ изъ картона и круговой сегментъ, и криволинейную узкую полоску и взвѣшивалъ и то, и другое; потомъ разрѣзалъ эти фигуры по оси вращения и опредѣлялъ центры тяжести. Измѣривъ разстоянія этихъ центровъ тяжести отъ оси вращения, зная масштабъ чертежа и вѣсь единицы площади картона, очень нетрудно по правилу Гюльдена вычислить и объемъ тѣла вращения. Къ сожалѣнію при подобныхъ опредѣленіяхъ, мнѣ не удалось достигнуть желаемой точности.

Таблицы VI и VII даютъ величины поверхности для менисковъ наблюдавшихся на столбикахъ, которыхъ діаметры $= 55,5$ sc. и $40,4$ sc. Это вычисленіе оказалось всего удобнѣе дѣлать при помощи чертежа. Нанеся опредѣленные наблюденіемъ точки кривой на чертежъ и проводя дугу круга черезъ каждыя четыре точки симметрично расположенныя относительно оси вращения, я измѣрялъ радіусъ r этой дуги; поверхность зоны, т. е. части шаровой поверхности описываемой этой дугою $=$ произведенію $2\pi r$

на высоту зоны Δh ; слѣд. поверхность всей капли $= 2\pi \Sigma r. \Delta h$; вычисленіе очень просто. Въ VI таблицѣ приведены какъ величины поверхности s , такъ и всѣ найденные радіусы кривизны r для частей кривой лежащихъ между ординатами $y = 0$ и $2 sc$, 2 и 5, и т. д.

ТАБЛИЦА I.

Вычисленіе объемовъ и сжатій капель воды различной высоты, утвержденныхъ на столбикѣ, котораго діаметръ основанія $2d = 55,5 sc$.

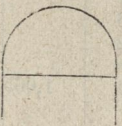
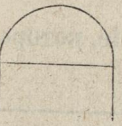
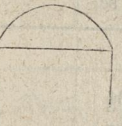
	Темп. °C.	Время min.	h sc.	$\frac{V}{\pi}$ cub. sc.	$\frac{V'}{\pi}$ cub. sc.	$\frac{V-V'}{\pi}$ cub. sc.	α
	9,0	0	31,6	18608	17418	1190	1,113
		3	31,3	18263	17154	1109	1,109
		6	30,9	17883	16806	1077	1,109
		9	30,5	17478	16464	1014	1,107
		12	30,1	17000	16127	873	1,197
	8,9	28	27,8	14786	14277	509	1,071
		31	27,45	14601	14008	593	1,085
		34	27,0	14237	13669	568	1,086
		37	26,5	13868	13298	570	1,092
		40	26,0	13462	12929	533	1,091
	8,7	58	23,1	11196	10942	254	1,062
		61	22,6	10852	10617	235	1,061
		64	22,1	10525	10272	253	1,070
		67	21,5	10154	9934	220	1,066
		70	21,0	9856	9624	232	1,075
	9,4	0	14,0	5905	5845	60	1,081
		2	13,5	5679	5604	75	1,091
		4	13,0	5423	5368	55	1,079
	9,3	6	12,5	5192	5136	56	1,086
	9,0	0	9,4	3825	3755	70	1,253
		1	9,2	3758	3670	88	1,339
		2	9,0	3650	3584	66	1,271
		3	8,9	3455	3602	63	1,268

ТАБЛИЦА II.

Объемы и сжатіе капель воды, которыхъ основаніе имѣеть діаметръ $2d = 48,0$ sc.

Темп. °C.	Время min.	h sc.	$\frac{V}{\pi}$ cub. sc.	$\frac{V'}{\pi}$ cub. sc.	$\frac{V-V'}{\pi}$ cub. sc.	α
13°,8	0	18,4	6519	6292	227	1,074
14°,0	4,5	17,2	5852	5760	92	
14°,3	9	15,7	5197	5129	68	
14°,3	13,5	14,1	4539	4495	44	
Въ среднемъ выводѣ		16,35			108	
14°,3	18	12,6	3920	3932	-12	1,065
14°,5	23	10,8	3323	3294	29	
	27,5	9,0	2738	2692	46	
14°,5	32	7,2	2140	2118	22	
Въ среднемъ выводѣ		9,90			21	

ТАБЛИЦА III.

Объемы и сжатіе капель воды имѣющихъ основаніе, котораго діаметръ $2d = 40,4$ sc.

Темп. °C.	Время min.	h sc.	$\frac{V}{\pi}$ cub. sc.	$\frac{V'}{\pi}$ cub. sc.	$\frac{V-V'}{\pi}$ cub. sc.	α
15,8	0	16,1	4011	3980	31	1,06
	3	14,5	3490	3423	57	
	6	12,7	2985	2952	32	
	9	11,0	2473	2466	8	
	12	9,0	1963	1973	-10	
15,7	15	7,0	1492	1485	7	
15,6	18	5,0	1055	1041	14	
	21	3,0				
Какъ среднее		9,79			20	

ТАБЛИЦА IV.

Непосредственное опредѣленіе сжатія капель воды, которыхъ діаметръ основанія $2d = 55,5$ sc.

Темп. °C.	Время min.	h sc.	b sc.	a sc.	α
10°,6		31,7	26,0	28,6	1,10
		31,1	26,2	28,3	1,08
		30,5	26,2	28,2	1,08
	0	29,8	26,0	28,1	1,07
	4	28,8	25,8	28,1	1,09
	8	28,4	25,4	27,9	1,09
	12	27,8	25,3	27,8	1,09
	14	—	25,0	27,7	1,11
	16	25,2	—	27,7	1,09

ТАБЛИЦА V.

Объемы и сжатіе капель этиль-алкоголя, которыхъ основаніе имѣеть діаметръ $2d = 55,5$ sc.

(Стр. ж. 93).

Темп. °C.	Время min.	h sc.	$\frac{V}{\pi}$ cub. sc.	$\frac{V'}{\pi}$ cub. sc.	$\frac{V-V'}{\pi}$ cub. sc.	α
9,5		12,4	5141	5089	52	1,082
		9,7	3953	3884	69	1,226
		7,0	2827	2750	77	1,380

ТАБЛИЦА VI.

Вычисленіе поверхностей капель воды, которыхъ основаніе имѣетъ діаметръ $2d = 55,5$ sc.

h sc.	$\gamma =$ 0—2	2—5	5—10	10—15	15—20	20—25	выше 25	$\frac{S}{\pi}$ кв. sc.
31,6	28,8		28,6	28,8	29,9	29,6	30,4	1858
31,3	28,5		28,5	28,8	29,5	30,1	29,6	1827
30,9	28,5		28,45	28,5	29,3	30,4	30,0	1806
30,5	28,45		28,45	28,7	29,3	30,3	30,0	1782
30,1	28,3		28,3	29,0	29,3	30,0	30,0	1755
27,8	27,9		28,1	28,8	29,3	29,5		1601
27,45	27,9		28,2	28,8	28,6	29,4		1573
27,0	27,8		28,0	28,5	28,9	29,2		1541
26,5	27,8		28,0	28,7	29,0	29,2		1515
26,0	27,7		27,9	28,7	29,0	29,0		1481
23,1	29,0		28,4	28,5	29,0	29,0		1323
22,6	28,6		28,4	29,0	29,0	29,0		1296
22,1	28,4		28,3	29,0	29,1	29,1		1267
21,5	28,45		28,6	29,0	29,4	29,4		1242
21,0	28,5		29,0	29,65	29,2	29,2		1221
14,5	33,5	33,6	34,4	34,4				991
14,0	34,4	34,6		35,3				974
13,5	35,0	35,4	35,4	35,6				957
13,0	35,5	35,6		36,6				941
12,5	36,6	36,9		36,9				921
9,4	42,0		46,6					858
9,2	43,3		48,0					864
9,0	43,5		49,0					880
8,9	44,5		49,5					861

ТАБЛИЦА VII.

Поверхность капель воды, основаніе которыхъ имѣетъ
діаметръ $2d = 40,4$ sc.

h sc.	$\frac{S}{2\pi}$ □ sc.
18,4	459,5
17,2	443,4
15,7	409,2
14,1	385,0
12,6	365,7
10,8	345,8
9,0	328
7,2	313

Слѣдующія шесть таблицъ служатъ для провѣрки того положенія, что поверхность капель есть эллипсоидъ, котораго сжатіе $= \alpha$. Начало координатъ предполагается въ центрѣ кружка, на которомъ утверждена капля, а ось ординатъ у направлена по перпендикуляру къ плоскости кружка. Въ VIII и IX таблицахъ, относящихся до капель, которыхъ основаніе имѣетъ діаметръ 55,5 sc. приведены величины абсциссъ соответствующихъ опредѣленнымъ ординатамъ $y = 5, 10, 15, 20$ и 25 sc. Каждая горизонтальная строка заключаетъ всѣ результаты измѣреній для капли высоты h ; для каждой абсциссы приведены величины, наблюденная и вычисленная при помощи значенія α приведеннаго въ I таблицѣ, и подведены разности. Въ VIII эти разности большею частью меньше 0,2 sc., т. е. меньше $\frac{1}{75}$ мм., а для наибольшихъ значеній y болѣе значительныя уклоненія вполнѣ естественны, такъ какъ такіа уклоненія, какъ 0,7 sc., соответствуютъ весьма малымъ неточностямъ опредѣленій ординатъ, лежащихъ въ предѣлахъ погрѣшностей наблюденія.

Т А Б Л И

Исслѣдованіе формы капель утвержденныхъ на стол

h се.	α	$\gamma = 5$ се.			$\gamma = 10$ се.		
		Набл.	Вычисл.	Dif.	Набл.	Вычисл.	Dif.
31,6	1,113	28,6	28,49	+0,11	28,2	28,15	0,05
31,3	1,109	28,5	28,40	+0,1	28,1	27,98	0,12
30,9	1,109	28,5	28,41	+0,09	27,9	27,93	—0,03
30,5	1,107	28,4	28,35	+0,05	27,8	27,80	0
30,1	1,096	28,3	28,07	+0,23	27,7	27,40	0,3
27,8	1,0805	27,8	27,59	0,21	26,65	26,41	0,24
27,45		27,7	27,55	0,15	26,45	26,30	0,15
27,0		27,6	27,49	0,11	26,3	26,14	0,16
26,5		27,5	27,56	—0,06	26,1	25,94	0,16
26,0		27,4	27,31	0,09	25,85	25,73	0,12
23,1	1,0668	26,65	26,57	0,08	24,3	24,2	0,1
22,6		26,5	26,47	0,03	24,05	23,96	0,09
22,1		26,3	26,32	0	23,7	23,65	0,05
21,5		26,22	26,16	0,06	23,4	23,29	0,11
21,0		26,15	26,03	0,12	23,05	22,99	0,06

Ц А VIII.

бигъ, котораго діаметръ основанія $2d = 55,5$ sc.

$y = 15$ sc.			$y = 20$ sc.			$y = 25$ sc.		
Набл.	Вычисл.	Dif.	Набл.	Вычисл.	Dif.	Набл.	Вычисл.	Dif.
26,75	26,68	0,07	23,75	23,85	—0,1	19,0	19,08	—0,08
26,5	26,44	0,06	23,4	23,52	—0,12	18,25	18,59	—0,34
26,3	26,31	—0,01	23,2	23,29	—0,09	17,9	18,20	—0,3
26,0	26,07	—0,07	22,75	22,92	—0,17	17,35	17,58	—0,23
25,7	25,14	0,14	25,45	22,25	+0,2	16,7	16,71	—0,01
24,2	23,99	0,21	19,9	18,86	0,04			
23,9	23,79	0,11	19,55	19,54	0,01			
23,5	—	—	18,95	19,06	—0,11			
23,2	23,16	0,04	18,45	18,48	—0,03			
22,85	22,80	0,05	17,85	17,88	—0,03			
20,15	20,20	—0,05						
19,7	19,76	—0,06						
19,25	19,19	0,06						
18,6	18,53	0,07						
17,9	17,95	—0,05						

Т А Б Л И Ц А IX.

Исследование формы кривой, которой вращение образует поверхность капель воды при диаметры основания $2d = 55,5$ sc.

h sc.	r sc.	$y = 2$ sc.			$y = 5$ sc.			$y = 10$ sc.		
		Набл.	Вычисл.	Diff.	Набл.	Вычисл.	Diff.	Набл.	Вычисл.	Diff.
14,5	33,8	26,4	26,25	0,15	23,9	23,5	0,4	17,25	16,85	0,4
14,0	34,48	26,25	26,15	0,10	23,35	23,25	0,1	16,3	16,12	0,18
13,5	35,25	26,15	26,05	0,10	23,1	22,96	0,14	15,6	15,31	0,29
13,0	36,1	26,05	25,95	0,10	22,8	22,66	0,14	14,65	14,41	0,24
12,5	37,05	25,95	25,84	0,11	22,55	22,35	0,2	13,7	13,38	0,32
9,4	45,65	25,3	24,92	0,38	19,75	19,55	0,2			
9,2	46,4	25,2	24,83	0,37	19,6	19,29	0,31			
9,0	47,25	25,15	24,75	0,40	19,25	19,03	0,22			
8,9	47,7	25,1	24,71	0,39	19,05	18,86	0,19			

То же самое можно сказать и объ менискахъ таблицы IX, которыхъ высоты содержатся между 12,5 и 14,5 sc. Но результаты сравненія для меньшихъ высотъ вполнѣ неудовлетворительны; причина этого, вѣроятно, неточность опредѣленія α , принятаго въ основаніе вычисленія; поэтому я нашелъ нужнымъ вновь опредѣлить элементы эллипсоида посредствомъ способа наименьшихъ квадратовъ. Координаты эллипса связаны уравненіемъ.

$$x^2 = Ay^2 + By + C.$$

гдѣ коэффициенты

$$A = -\alpha^2$$

$$B = -2c\alpha^2$$

$$C = d^2;$$

$c = \frac{2B}{A}$ обозначаетъ ординату центра эллипса. Опредѣляя по способу наименьшихъ квадратовъ A и B , я изъ нихъ находилъ α и c и затѣмъ вычислялъ соотвѣтствующія опредѣленнымъ ординатамъ абсциссы и соотвѣтствующую абсциссѣ 0 ординату h . Въ таблицѣ X приведены какъ значенія A , B , α , такъ и наблюдаемыя и вычисленныя величины координатъ и подведены разности; послѣднія однако обнаруживаютъ несоотвѣтствіе кривой дугѣ эллипса: онѣ для $y = 2$ sc. всѣ отрицательны, для $y = 5$ sc. всѣ положительны, по абсолютной величинѣ онѣ не превосходятъ 0,2 sc.

Таблица XI представляетъ результаты опредѣленій формы кривой сѣченія капли, которой основаніе имѣетъ діаметръ 48,0 sc. Рядомъ съ наблюдаемыми приведены координаты, вычисленныя въ предположеніи $\alpha = 1,07$. Здѣсь приведены величины ординатъ, соотвѣтствующихъ опредѣленнымъ абсциссамъ; согласіе довольно удовлетворительно и разности не превышаютъ (кромѣ только одного случая) 0,2 sc.

Таблицы XII и XIII представляютъ подобное же изслѣдованіе капель, которыхъ основаніе имѣетъ діаметры 40,4 sc. и 28,0 sc. Вычисленныя значенія найдены въ предположеніи, что капля очерчена шаровою поверхностью. Согласіе вполнѣ удовлетворительно, даже до весьма малыхъ высотъ капель.

ТАБЛИЦА X.

Исследование формы капель, которых основание имѣетъ диаметр $2d = 55,5$ sc. Вычисленные величины α и абсциссы найдены по способу наименьшихъ квадратовъ.

y sc.	h sc.	9,4	9,2	9,0	8,9
	A	—1,7163	—1,8099	—1,8134	—1,7180
	B	—65,888	—67,126	—70,199	—71,490
	α	1,3100	1,3453	1,3466	1,3107
2	Набл.	25,3	25,2	25,15	25,1
	Выч.	25,12	25,06	24,94	24,89
	Diff.	0,18	0,14	0,21	0,21
5	Набл.	19,75	19,6	19,25	19,05
	Выч.	19,93	19,73	19,32	19,21
	Diff.	— 0,18	— 0,13	— 0,07	— 0,16
h	Вычисл.	9,38	9,19	8,91	8,87
	Diff.	0,02	0,01	0,09	0,03

Т А В Д И Ц А XI.
Исследование формы капель, которых диаметр основані 2d=48,0 sc При вычисленіи ординатъ
допущено, что $\alpha=1,070$.

h sc.	x = 5 sc.			x = 10 sc.			x = 15 sc.			x = 20 sc.		
	Набл.	Вычисл.	Dif.	Набл.	Вычисл.	Dif.	Набл.	Вычисл.	Dif.	Набл.	Вычисл.	Dif.
18,4	18,05	17,92	0,13	16,5	16,41	0,09	13,8	13,55	0,25	8,9	8,71	0,19
17,2	17,65	16,73	-0,08	15,15	15,24	-0,09	12,35	12,44	-0,09	7,7	7,76	-0,06
15,7	15,2	15,24	-0,04	13,75	13,80	-0,05	11,05	11,11	-0,06	6,6	6,68	-0,08
14,1	13,7	13,66	0,04	12,25	12,31	-0,06	9,7	9,82	-0,12	5,55	5,69	-0,14
12,6	12,1	12,18	-0,08	10,65	10,88	-0,23	8,4	8,51	-0,11	4,65	4,79	-0,14
10,8	10,4	10,41	-0,01	9,2	9,22	-0,02	7,1	7,08	-0,02	3,85	3,81	0,04
9,0	8,8	8,66	0,14	7,7	7,62	0,08	5,8	5,79	0,01	3,1	3,08	0,02
7,2	6,95	6,92	0,03	6,1	6,05	0,05	4,6	4,54	0,06	2,3	2,37	-0,07

Т А В Д И Ц А XII.
Исследование формы капель воды, которыхъ основаніе имѣетъ диаметр 2d=40,4 sc. Сравненіе кри-
вой съченіи съ кругомъ.

h sc.	r sc.	x = 5 sc.			x = 10 sc.			x = 15 sc.		
		Набл.	Вычисл.	Dif.	Набл.	Вычисл.	Dif.	Набл.	Вычисл.	Dif.
16,1		15,55	15,50	+0,05	13,65	13,55	0,1	9,75	9,7	+0,05
14,5		13,95	13,9	0,05	12,0	12,0	0,0	8,45	8,4	0,05
12,7		12,20	12,2	0,00	10,45	10,5	-0,05	7,1	7,1	0,0
11,0		10,40	10,3	-0,1	8,85	8,9	-0,05	5,8	5,7	0,1
9,0		8,55	8,55	0,00	7,1	7,1	0,0	4,5	4,5	0,0
7,0		6,65	6,6	0,05	5,4	5,45	-0,05	3,4	3,35	0,05
5,0		4,70	4,65	0,05	3,85	3,7	-0,15	2,4	2,3	0,1

ТАБЛИЦА XIII.

Исслѣдованіе формы капель воды, которыхъ основаніе имѣеть діаметръ $2d = 28,0$ sc. Сравненіе кривой съ кругомъ.

h sc.	r sc.	x = 5 sc.			x = 10 sc.		
		Набл.	Вычисл.	Diff.	Набл.	Вычисл.	Diff.
13,9	14,00	13,0	13,08	—0,08	9,8	9,8	0,0
12,8	14,06	11,9	11,82	0,08	8,5	8,62	—0,12
11,7	14,23	10,8	10,79	0,01	7,5	7,59	—0,09
10,4	14,62	9,5	9,42	0,08	6,5	6,43	0,07
9,1	15,32	8,2	7,96	0,24	5,4	5,29	0,11
7,8	16,47		7,12		4,5	4,42	0,08
6,3	18,71	5,7	5,62	0,08	3,5	3,40	0,10
4,9	22,45	4,3	4,34	—0,04	2,5	2,55	—0,05
3,2	32,22	2,9	2,91	—0,01	1,7	1,61	0,09

Изъ этого изслѣдованія ясно, что при наблюденіи испаренія капель, которыхъ діаметръ основанія не превышаетъ 40,4 sc. или 2,6 mm. мы можемъ пользоваться правиломъ, изложеннымъ выше и относящимся до сферическихъ капель, именно что пониженіе капли въ $1\frac{1}{2}$ минуты представляетъ среднюю скорость испаренія жидкости, т. е. объемное количество жидкости, испаряющееся на 1 единицѣ поверхности въ 1 минуту. Примѣнимость этого правила впрочемъ болѣе обширна, и слѣдующая таблица показываетъ, что въ извѣстныхъ предѣлахъ оно можетъ примѣняться и къ испаренію капель довольно большой величины. Таблица I есть собственно результатъ изслѣдованій скорости испаренія, и во 2-й и 3-й графахъ тамъ приведены температуры и промежутки времени, въ которые совершается извѣстное пониженіе уровня или уменьшеніе объема. Называя въ каждомъ отдѣльномъ рядѣ наблюденій черезъ ΔV уменьшеніе объема и черезъ Δh уменьшеніе высоты въ теченіи t минутъ, мы можемъ опредѣлить скорость испаренія двояко:

- 1) По найденному мною правилу, раздѣляя Δh на $2t$, и
- 2) Раздѣляя ΔV на t и на среднюю величину поверхности S .
Последнюю величину мы возьмемъ изъ таблицы VI, какъ среднее изъ каждаго ряда наблюдений. При дѣленіи приводимыхъ въ таблицахъ чиселъ дѣлитель π при V и S сокращается. Вотъ результаты этихъ опредѣленій

Темп. °C.	t min.	h_0 sc.	h_t sc.	Скор. испаренія по формуламъ.	
				$\frac{\Delta h}{2t}$	$\frac{\Delta V}{St}$
9,0	12	31,6	30,1	0,0625	0,0590
8,9	12	27,8	26,0	0,075	0,073
8,7	12	23,1	21,0	0,0875	0,0875
9,35	6	14,0	12,5	0,125	0,125
9,0	2	9,4	9,0	0,100	0,101

При высотахъ капель выше 30 sc., т. е. 2 mm. скорость испаренія, находимая по первому способу, больше истинной; при меньшихъ высотахъ согласіе обоихъ рядовъ чиселъ удовлетворительно или, вѣрнѣе сказать, измѣненіе высоты въ $\frac{1}{2}$ единицы времени довольно точно изображаетъ среднюю скорость испаренія. Этимъ способомъ мы и будемъ впредь пользоваться. Понятно, что для капель, которыхъ основаніе имѣетъ діаметръ $2d=48,0$ sc. мы будемъ подавно въ правѣ примѣнять наше правило и пользоваться имъ.

(Продолженіе слѣдуетъ).

О РЕАКЦИИ ВЫТЕКАЮЩЕЙ И ВТЕКАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ.

Н. Е. Жуковского ¹⁾.

§ 1. Вопросъ объ истеченіи жидкости изъ сосудовъ представляетъ наиболѣе разработанный отдѣлъ гидравлики какъ со стороны теоріи, такъ и со стороны опыта. Работы Сень-Венана и Бусине поставили изслѣдованіе этого вопроса на правильный теоретическій путь, а многочисленные опыты Понселе, Лесбро, Вейсбаха, Борда и другихъ разъяснили его со стороны наблюденія. Но, не смотря на это, еще и теперь можно указать нѣкоторыя стороны упомянутаго вопроса, изслѣдованіе которыхъ не лишено интереса. Одною изъ такихъ сторонъ, на нашъ взглядъ, представляется опредѣленіе реакціи втекающей жидкости, о которой, насколько намъ извѣстно, не упоминаетъ ни одинъ изъ авторовъ по гидравликѣ.

Въ этой замѣткѣ мы опредѣляемъ однообразнымъ приѣмомъ какъ реакцію вытекающей, такъ и реакцію втекающей жидкости. Первую мы называемъ *прямою*, а вторую *обратною* реакціею.

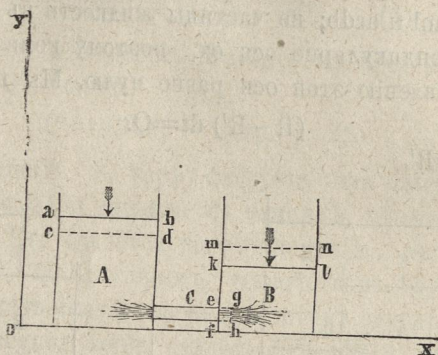
§ 2. Вообразимъ (фиг. 1.) два сосуда А и В, наполненные жидкостью, которой посредствомъ поршней ab и kl сообщены давленія p и p' . Эти сосуды соединены горизонтальной трубкой С, площадь сѣченія которой равна σ . Принимая p болѣе p' , получимъ истеченіе жидкости изъ сосуда А въ сосудъ В. При этомъ, если треніе жидкости внутри трубки С весьма незначительно, то внутри этой трубки установится давленіе p' . Возьмемъ оси координатъ такъ, чтобы ось ox была параллельна трубкѣ С, и назовемъ чрезъ $-R$ слагающую по оси ox силы давленія жидкости на стѣнки

¹⁾ Сообщено въ Физическомъ Отдѣленіи Общества любителей Естествознанія въ Москвѣ.

сосуда А. Сила, дѣйствующая по оси ox на жидкую массу, заключенную въ сосудѣ А и трубкѣ С, будетъ $R - p'\sigma$. По теоремѣ о количествѣ движенія импульсъ этой силы

$$(R - p'\sigma)dt$$

будетъ равенъ приращенію количества движенія упомянутой массы во время dt . Предполагаемъ, что поршень ab опускается во время dt до положенія cd , а слой жидкости ef занимаетъ по прошествіи этого времени положеніе gh . Приращеніе количества движенія нашей жидкой массы будетъ равно разности между количествами движенія, заключенными въ объемахъ $efhg$ и $acdb$; но въ слѣдъ $acdb$ всѣ частицы движутся параллельно оси oy и не имѣютъ количества движенія по направленію оси ox , поэтому все приращеніе



Фиг. 1.

количества движенія равно количеству движенія въ объемѣ $efhg$. Такимъ образомъ мы получаемъ равенство

$$(R - p'\sigma)dt = \frac{Q\gamma}{g}vdt,$$

въ которомъ Q есть объемъ жидкости, проходящей чрезъ трубку С въ 1 сек., γ есть плотность жидкости, g —напряженіе тяжести, v —скорость истеченія. Изъ написаннаго равенства опредѣляемъ R

$$R = p'\sigma + \frac{Q\gamma}{g}v.$$

Величины Q и v опредѣляются по извѣстнымъ формуламъ гидравлики:

$$v = k\sqrt{\frac{2(p - p')}{\gamma}g},$$

$$Q = k_1\sigma\sqrt{\frac{2(p - p')}{\gamma}g},$$

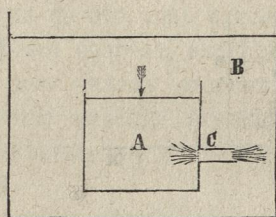
гдѣ k коэффициентъ скорости, а k_1 коэффициентъ количества вытекающей жидкости. Подставляя эти величины, находимъ

$$R = p'\sigma + 2kk_1\sigma(p - p'). \quad (1)$$

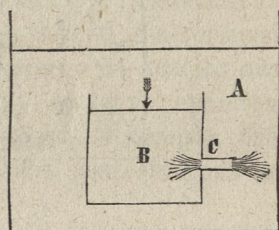
Слагающая по оси ox силъ давленія жидкости на стѣнки сосуда B , которую мы назовемъ чрезъ R' , опредѣляется по той же формулѣ, такъ какъ $R'=R$. Это послѣднее можно доказать такъ. Вся разсматриваемая нами масса жидкости по направленію оси ox находится подъ дѣйствіемъ силы $R-R'$, поэтому импульсъ $(R-R')dt$ долженъ быть равенъ приращенію по оси ox количества движенія во всей жидкой массѣ. Предполагая, что поршень kl переходитъ во время dt въ положеніе $m'n$, найдемъ, что все приращеніе количества движенія равно разности между количествами движенія въ объемахъ $kmm'l$ и $acdb$; но частицы жидкости въ этихъ объемахъ движутся перпендикулярно оси ox , поэтому количества ихъ движенія по направленію этой оси равно нулю. Мы получаемъ

$$(R-R')dt=0.$$

Откуда $R=R'$.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

§ 3. Предполагаемъ (фиг. 2), что сосудъ B , возрастая въ размѣрахъ, захватываетъ въ себя сосудъ A ; причемъ поршень kl можетъ быть замѣненъ свободною поверхностью жидкости, на которую производится атмосферное давленіе. Прибавляя къ силѣ R внутренняго давленія слагающую по направленію трубки C силъ внѣшняго давленія, найдемъ силу P прямой реакціи:

$$P=R-p'\sigma.$$

Подставляемъ сюда величину R изъ формулы (1):

$$P=2kk_1\sigma(p-p'). \quad (2)$$

Въ случаѣ, когда жидкость изливается въ пустоту, мы должны положить $p'=0$, что даетъ

$$P = 2kk_1\sigma p. \quad (3)$$

Формула (2) имѣетъ мѣсто не только относительно неподвижнаго сосуда, какъ это предполагалъ Вейсбахъ, но и относительно сосуда, движущагося съ какой угодно постоянною скоростью, такъ какъ теорема о количествѣ движенія, съ помощію которой она выведена, имѣетъ мѣсто и въ относительномъ движеніи.

Переходимъ теперь къ предположенію, что сосудъ А возрастая захватываетъ въ себя сосудъ В (фиг. 3), и опредѣлиемъ силу P' , слагающуюся изъ силы R' и силы давленія по направленію трубки С на внѣшнія стѣнки сосуда В. Эта сила P' обратной реакціи будетъ

$$P' = R' - p\sigma.$$

Такъ какъ $R' = R$, то по форм. (1)

$$P' = (2kk_1 - 1) \sigma(p - p'). \quad (4)$$

Въ случаѣ, когда жидкость втекаетъ въ пустой сосудъ, надо положить $p' = 0$. Это даетъ

$$P' = (2kk_1 - 1) \sigma p. \quad (5)$$

§ 4. Коэффициентъ k , какъ слѣдуетъ изъ опытовъ Вейсбаха, есть величина довольно близкая къ единицѣ; обыкновенно принимаютъ $k = 0,98$. Что касается коэффициента k_1 , то онъ зависитъ отъ сжатія струи. Надлежащимъ устройствомъ трубки С можно совершенно избѣжать сжатія струи и въ этомъ случаѣ $k_1 = k = 0,98$. Дѣлая подобное предположеніе, найдемъ по форм. (2) такую величину прямой реакціи:

$$P = 2,0,96. \sigma(p - p');$$

что близко подходитъ къ извѣстному результату: *прямая реакція равна двойной разности между внутреннимъ и внѣшнимъ гидростатическимъ давленіемъ на площадь отверстія.*

Для случая обратной реакціи при выходящей трубкѣ, подобной той, которая представлена на (фиг. 3), нужно на основаніи опытовъ Борда положить $k_1 = 1/2$. Это даетъ по форм. (4)

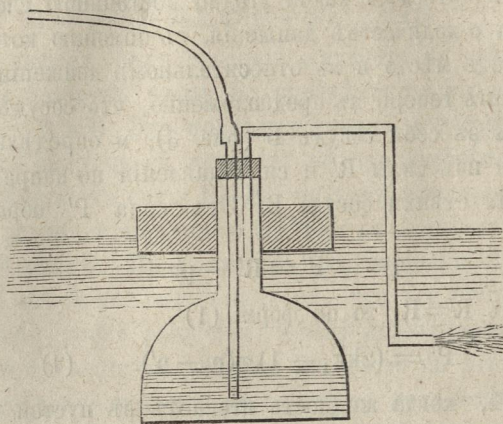
$$P' = -0,02\sigma(p - p').$$

Такимъ образомъ *обратная реакція есть весьма незначительная величина сравнительно съ прямой реакціей.*

§ 5. Опыты подтверждаютъ найденный нами результатъ о незначительности обратной реакціи.

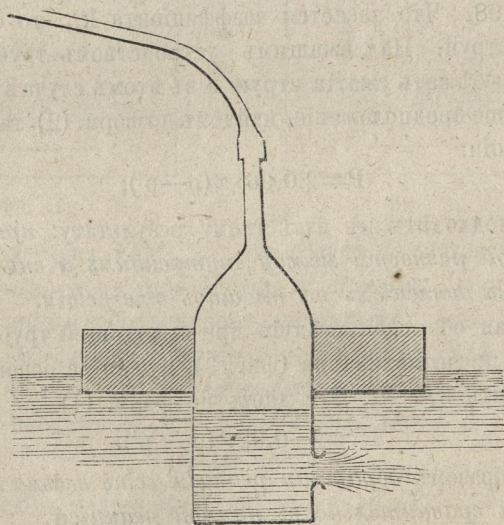
Мы устраивали сосуды (фиг. 4 и фиг. 5), которые поддерживались на водѣ съ помощію пробковыхъ поплавковъ и сообщались

гутаперчевыми трубками съ небольшимъ воздушнымъ насосомъ. Вдувая и вытягивая воздухъ, мы заставляли воду вытекать изъ



Фиг. 4.

сосуда или вбѣгать въ него. При этомъ обнаружилось, что сосудъ остается неподвижнымъ, какъ бы сильно въ него не втягивали

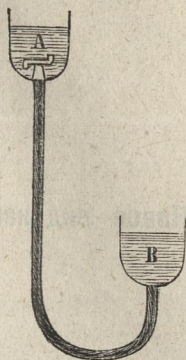


Фиг. 5.

воду, и сейчйсь же приходитъ въ движеніе, какъ скоро вода выталкивается.

Такимъ образомъ, совершая послѣдовательное втягиваніе и выталкиваніе воды, можно получить быстрое движеніе сосуда въ сторону обратную выталкиванія воды.

Слабость обратной реакціи подтверждается также на опытѣ съ Сегнеровымъ колесомъ. Два сосуда (фиг. 6) А и В соединены гутаперчевою трубкою. Въ днѣ сосуда А установлено маленькое Сегнерово колесо, чрезъ которое трубка сообщается съ сосудомъ. Въ оба сосуда налито нѣсколько воды. Если поставить сосудъ В выше сосуда А, то вода начнетъ переливаться изъ В въ А и Сегнерово колесо придетъ во вращательное движеніе; но, если поставить сосудъ В значительно ниже сосуда А, то вода будетъ переливаться изъ А въ В, а Сегнерово колесо будетъ оставаться неподвижнымъ ¹⁾.



Фиг. 6.

¹⁾ Этотъ опытъ былъ сдѣланъ А. Х. Репманомъ.
физич. общ.

Новое видоизмѣненіе сифоннаго барометра и способъ его наполненія.

Дм. Ив. Дьяконова.

Принимая во вниманіе какую роль играетъ барометръ при физическихъ и химическихъ наблюденіяхъ и на сколько трудно имѣть вѣрный и удобный барометръ, а тѣмъ болѣе перевозить его съ мѣста на мѣсто при чемъ можно было бы положиться на его показанія, мнѣ пришелъ въ голову упрощенный способъ холоднаго наполненія барометровъ.

Для этого я видоизмѣняю нѣсколько барометрическую трубку, предложенную Д. Ив. Менделѣевымъ, а также измѣняю способъ наполненія, сдѣлавъ возможнымъ наполнять барометръ безъ особенно хитрыхъ для того приспособленій, взявъ въ основаніе своего способа равенство уровней жидкости въ сообщающихся сосудахъ.

На прилагаемомъ чертежѣ ясно можно видѣть измѣненную мною трубку *afbcde*; она имѣетъ три открытыхъ конца: *a*, *f*, *e* и состоитъ изъ двухъ частей: *abc* и *cde*. Часть *c* изображена для ясности отдѣльно на 2-й фиг. Я не буду распространяться объ этой весьма существенной части, такъ какъ она составляетъ приспособленіе В. В. Караводина, придуманное имъ для его ртутнаго насоса и значеніе ее весьма подробно описано въ его статьѣ „Новое измѣненіе насоса Теплера“ см. Журналъ Р. Физическаго Общества, томъ XIV стр. 255, 1-го отдѣла. Благодаря любезности автора, я воспользовался его приспособленіемъ для своего барометра, который вначалѣ кончался простою капеллярною трубкою *de*.

Второе видоизмѣненіе барометрической трубки состоитъ въ открытомъ концѣ *f*, замѣняющемъ собою Т-образную припайку барометра Д. Ив. Менделѣева. На конецъ *f* надѣта толстостѣнная резиновая трубка *fgh* съ винтовымъ зажимомъ *g*. Черезъ эту рези-

новую трубку при помощи воронки *i* производится наполнение барометра, а также приливание или отливание из него ртути.

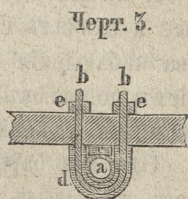
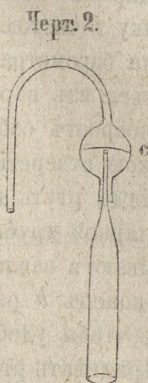
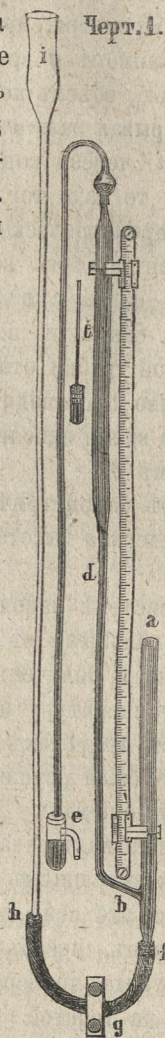
Если бы понадобилось вылить всю ртуть из барометра на случай перевозки его на другое мѣсто, то тогда надо закрыть пробкою открытый конец *a*; иначе через него может разлиться ртуть при выливаніи. Этот барометръ переносится и перевозится всегда пустымъ и, благодаря простотѣ и скорости его наполненія, это не представляетъ ничего, кромѣ выгоды.

Наполненіе производится слѣдующимъ образомъ: моютъ трубку, въ началѣ крѣпкимъ растворомъ двуххромавокаліевой соли съ сѣрною кислотою, затѣмъ слабою азотною кислотою, потомъ промываютъ дистиллированою водою, пока въ промывной водѣ лакмусовая бумажка не будетъ показывать присутствія кислоты и послѣ всего ополоскиваютъ нѣсколько разъ спиртомъ ¹⁾. Вслѣдъ за спиртомъ для полной осушки прибора, его должно продувать долгое время сухимъ чистымъ ²⁾ водородомъ, а въ случаѣ невозможности его имѣть, сухимъ воздухомъ. Очень хорошо въ это время слегка нагревать трубку.

Когда трубка такимъ образомъ приготовлена, надѣваютъ на ко-

¹⁾ Этотъ способъ промывки предложенъ Дм. Ив. Менделѣевымъ въ его книгѣ «объ упругости газовъ» 3-я глава, § 37-й, стр. 85-я и слѣд.

²⁾ Свободнымъ отъ мышьяка, который часто сопровождаетъ продажный цинкъ.



онецъ ея f резиновую трубку gh съ зажимомъ g и къ концу ея h присоединяють воронку i , находящуюся на длинной капиллярной трубкѣ. Воронка i удерживается въ штативѣ и помѣщается нѣсколько выше крайней верхней точки барометра, приблизительно какъ на чертежѣ.

Закрывъ теперь зажимомъ g резиновую трубку, наполняютъ воронку i чистою ртутью, объемъ которой раза въ три болѣе всего объема барометра. Открывая зажимъ g , заставляютъ ртуть переливаться изъ воронки i черезъ конецъ f въ барометръ и когда она покроетъ собою b , то надо тогда крѣпко закрыть резиновую пробкою отверстіе a барометрической трубки.

Когда ртуть наполнитъ собою весь барометръ и потечетъ по капиллярной трубкѣ de , образуя въ сосудѣ e ртутный запоръ, то закрываютъ зажимъ g , снимають воронку i и черезъ освобожденный конецъ h резиновой трубки отливаютъ столько ртути, сколько надо, чтобы удобно было производить наблюденія.

Приливать ртуть во время наполненія надо медленно, регулируя притокъ ртути зажимомъ g .

Внутренній діаметръ барометрической трубки въ мѣстахъ, гдѣ наблюдается барометрическая высота долженъ быть не менѣе 12-ти миллиметровъ.

Я имѣлъ по этой системѣ наполненными два барометра, которые я сличалъ съ нормальнымъ въ теченіи одного мѣсяца, дѣлая два наблюденія въ день и полученные числа, исправленные введеніемъ поправокъ на температуру и расширеніе шкалы, были совершенно одинаковы въ предѣлахъ 0,1 мм.

Эти два барометра были осушены водородъ и наполнены тотчасъ же вслѣдъ за осушеніемъ.

Эти барометры я снабжалъ шкалою съ двумя нониусами верхнимъ и нижнимъ, показывающимъ 0,1 мм. и однимъ или двумя термометрами, какъ все это ясно видно на прилагаемомъ чертежѣ.

На фиг. 3-й показанъ способъ прикрѣпленія барометрической трубки, а также и другихъ приборовъ къ доскѣ.

Трубка a лежитъ на толстой резиновой или пробочной пластинѣ c и прижимается къ доскѣ проволочною скобою bdb при помощи гаекъ ee . Проволочная скоба bdb проходитъ въ отверстіи сквозь доску и на часть ея, охватывающую непосредственно прикрѣпляемый приборъ надѣвается толстостѣнная резиновая трубка. Такъ что приборъ задерживается со всѣхъ сторонъ чрезвычайно крѣпко и вмѣстѣ съ тѣмъ совершенно безопасно отъ поломокъ.

ПРОТОКОЛЬ

40-го (90) засѣданія Физическаго отдѣленія.

26-го октября 1882 г.

1) К. Д. Краевичъ сообщаетъ, что нынѣшнимъ лѣтомъ онъ имѣлъ случай опредѣлить приблизительно магнитное склоненіе въ г. Самарѣ; оно оказалось $8^{\circ},5$ къ востоку.

2) В. Н. Николаевъ дѣлаетъ сообщеніе о способахъ и результатахъ измѣреній сопротивленій электрическихъ кабелей.

3) Н. А. Гезехусъ дѣлаетъ два сообщенія:

1) о результатахъ его изслѣдованій надъ упругимъ послѣдствіемъ и 2) о воздушномъ калориметрѣ, помощью котораго два послѣдовательные опыта (съ испытуемымъ тѣломъ и затѣмъ съ водою) могутъ быть ведены при такихъ условіяхъ, что въ окончательномъ результатѣ искомая теплоемкость будетъ выражаться только въ перемѣщеніяхъ столбиковъ жидкости въ манометрѣ.

$$\left(C = \frac{2\beta - \alpha}{\alpha}\right)$$

4) По поводу перваго сообщенія Н. А. Гезехуса, Н. П. Слугиновъ высказалъ, что указываемая докладчикомъ зависимость между температурой плавленія, коэффициентомъ расширенія и модулемъ упругости была имъ, Слугиновымъ, замѣчена и сообщена Обществу въ 1879 году (см. протоколъ 6 февраля 1879 г.). Тогда же, какъ ему помнится, было указано и на опыты Schneebeli, показывающіе зависимость продолжительности удара шара объ упругую поверхность отъ модуля упругости шара, изъ которой слѣдуетъ, что чѣмъ больше модуль упругости, тѣмъ менѣе продолжительно деформированное состояніе тѣла. Въ заключеніе своей замѣтки г. Слугиновъ сообщилъ, что въ послѣднее время Тамменъ указалъ

на поправку модуля упругости ньютоновымъ коэффициентомъ возстановленія.

5) По поводу втораго сообщенія г. Гезехуса было сдѣлано нѣсколько замѣчаній. В. В. Преображенскій высказалъ, что по его мнѣнію дифференціальныи калориметръ былъ бы удобнѣе; Д. И. Менделѣевъ упомянулъ, что нѣсколько лѣтъ тому назадъ онъ имѣлъ случай при одномъ изъ своихъ изслѣдованій примѣнить съ успѣхомъ воздушный калориметръ; К. Д. Краевичъ замѣтилъ, что изложенный способъ опредѣленія теплоемкости не исключаетъ взвѣшиванія; Ѳ. Ѳ. Петрушевскій упомянулъ, что воздушный калориметръ употреблялся имъ какъ лекціонный приборъ.

6) П. П. Фанъ-дербъ-Флитъ, представляя статью о теоріи газовъ преподавателя уѣзднаго училища въ г. Боровскѣ, Калужской губерніи, г. Цюлковскаго, сообщаетъ, что хотя статья сама по себѣ не представляетъ ничего новаго и нѣкоторые выводы въ ней не вполне точны, но тѣмъ не менѣе она обнаруживаетъ въ авторѣ большія способности и трудолюбіе, такъ какъ авторъ не воспитывался въ учебномъ заведеніи и своими знаніями обязанъ исключительно самому себѣ; единственными источниками для представленнаго сочиненія автору служили нѣкоторые элементарные учебники механики, курсъ наблюдательной физики проф. Петрушевскаго и основы химіи проф. Менделѣева. Въ виду этого желательно содѣйствовать дальнѣйшему самообразованію автора.

Общество постановило ходатайствовать передъ попечителемъ петербургскаго или московскаго округа о переводѣ г. Цюлковскаго, если онъ это пожелаетъ, въ такой городъ, въ которомъ онъ могъ бы пользоваться научными пособіями.

7) В. В. Лермонтовъ дѣлаетъ сообщеніе о приготовленіи изъ покровныхъ стеклышекъ легкихъ зеркалъ для отражательныхъ инструментовъ. Для этого Томсонъ, который ввелъ этого рода зеркала въ употребленіе, совѣтуетъ посеребрить и оправить сотню покровныхъ стеклышекъ и уже изъ готовыхъ зеркалъ выбрать годныя. Для облегченія работъ Лермонтовъ кладетъ изслѣдуемыя стеклышки на выпуклое стекло прибора для ньютоновыхъ колецъ и наблюдаетъ, при натровомъ пламени, получающіяся полосы интерференціи. По ихъ формѣ и правильности легко и скоро можно раздѣлить изслѣдуемыя стеклышки на неправильныя, сферическія и плоскія, чтобы подвергать дальнѣйшей обработкѣ только одни годныя.—Изъ 50-ти круглыхъ покровныхъ пластинокъ взятыхъ изъ

магазина г. Ниппе, нашлось 7 сферическихъ и 3 плоскія; изъ нихъ штуки 3 дали очень удовлетворительныя зеркала.

При этомъ Лермонтовъ замѣтилъ въ изслѣдуемыхъ покровныхъ стеклышкахъ самостоятельныя системы интерференціонныхъ полосъ. Онѣ поворачиваются при поворотѣ пластинки на тотъ-же уголъ; при проходящемъ свѣтѣ тоже видны, причемъ свѣтлыя занимаютъ мѣста темныхъ, и при нормальномъ паденіи лучей шире чѣмъ при наклонномъ. Ширина полосъ не зависитъ прямо отъ толщины пластинокъ, а опредѣляется повидимому степенью ихъ клинообразности. Въ происхожденіи полосъ участвуетъ отраженіе свѣта отъ задней поверхности стекла, и онѣ не видны при бѣломъ свѣтѣ. Поэтому Лермонтовъ полагаетъ, что это родъ ньютонovýchъ колецъ при очень большой разности хода; въ журнальной литературѣ онъ описанія этого явленія самъ не искалъ и предлагаетъ гг. членамъ вопросъ не встрѣчалъ-ли кто въ журналѣ изслѣдованія подобнаго явленія?

8) Е. А. Роговскій замѣчаетъ по поводу сообщенія В. В. Лермонтова, что подобныя явленія были изучены въ послѣднее время Фейснеромъ, Зонке и Вангериномъ въ клинообразныхъ пластинкахъ.

9) В. В. Лермонтовъ показываетъ 1) новый гальванометръ, исполненный по его рисунку въ мастерской при физическомъ кабинетѣ Университета и 2) электрическую лампочку Фридрихса (подобную лампамъ Эдиссона и др.), которая даетъ хорошій свѣтъ при дѣйствіи обыкновенной ручной магнито-электрической машины Грамма.

10) О. Д. Хвольсонъ сообщаетъ, что занимаясь однимъ вопросомъ, относящимся къ теоріи газовъ, ему пришлось рѣшить задачу: подъ какимъ угломъ φ (съ вертикальною линіею) слѣдуетъ бросить тяжелое тѣло, чтобы пройденный параболическій путь (до возвращенія къ тому же горизонту) былъ наибольшій?—Оказывается, что $\cos\varphi \cdot \lg \cotg \frac{\varphi}{2} = 1$ и $\varphi = 33^\circ 32' 3''$. Длина касательной къ этой парabolѣ, проведенной отъ начальной точки до горизонта наивысшаго вертикальнаго подъема ($h = \frac{u^2}{2g}$) равняется половинѣ длины параболы.

11) П. П. Фанъ деръ-Флитъ показываетъ два лекціонныхъ прибора:

1) Адвудову машину упрощеннаго устройства, безъ маятника, (время отсчитывается по метроному). Кромѣ обыкновенныхъ опы-

товъ, на этой машинѣ можно показать вліяніе массы на движеніе и также законъ работы.

2) Приборъ, служащій пособіемъ при преподаваніи космографіи. Приборъ этотъ состоитъ изъ вращающагося около оси шара, на которомъ нанесены нѣсколько меридіановъ и параллелей; къ произвольной точкѣ шара можно прикрѣпить картонный кружокъ и нить, другой конецъ который укрѣпляется посредствомъ упругаго шнурка въ отдаленной точкѣ комнаты; кружокъ изображаетъ горизонтъ мѣста, а нить—лучъ, идущій отъ свѣтила. Этотъ приборъ позволяетъ объяснить всѣ производимыя вращеніемъ земли измѣненія высоты и азимута свѣтила.

Въ библіотеку физ. отд. поступили слѣдующія сочиненія:

а) Г. Забудскаго. Объ углеродѣ чугуна и стали.

б) Г. Забудскаго. Объ углеводородахъ и углеводовъ химически соединеннаго углерода чугуна.

в) О. Петрушевскій. Звуковые сигналы.

г) Колли. По поводу диссертациі А. П. Соколова.

д) Грузинцева. О двойномъ лучепреломленіи.

е) Annales de l'Observatoire de Moscou. Vol. VIII, Liv. 2.

ж) Преображенскій. О началѣ наименьшаго дѣйствія.

з) Зиловъ. Элементарный курсъ механической теоріи тепла.

Поправка. Въ предъидущемъ протоколѣ на стр. 390, № 6, вмѣсто фамиліи Айлечеева слѣдуетъ читать: г. Аплечеева.