

Т. 15. 1909. № 3.

L.

1—80.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Несмотря на все возрастающее значеніе и въ наукѣ и въ техникѣ точнаго измѣренія температуръ, до настоящаго времени не только по-русски, но и на другихъ языкахъ нѣтъ по данному вопросу ни одного руководства въ тѣсномъ смыслѣ слова. Есть или сочиненія, разбирающія вопросъ съ чисто теоретической точки зрѣнія, или практическія руководства, рассматривающія вопросъ съ какойнибудь специальной точки зрѣнія, напр., измѣренія температуръ въ металлургической промышленности или примѣнительно къ изслѣдованію паровыхъ установокъ и т. п.. Въ виду огромной важности вопроса объ измѣреніи температуръ, ему посвящается вниманіе и удѣляется мѣсто въ самыхъ разнообразныхъ сочиненіяхъ и руководствахъ, но каждый изъ авторовъ только касается его и притомъ съ своей точки зрѣнія, не только не исчерпывая его, но даже не давая вообще полной картины, какими путями вопросъ этотъ рѣшается при современномъ состояніи науки и техники.

Въ противоположность К. Больцъ, выпустившему 20 лѣтъ тому назадъ первую систематическую работу по измѣренію высокихъ температуръ и жаловавшемуся на недостатокъ матеріала по данному вопросу, въ настоящее время надо отмѣтить большое богатство литературныхъ данныхъ, которыя однако разбросаны преимущественно по множеству научныхъ и техническихъ журналовъ. Какъ и всегда при накопленіи обширнаго матеріала, неизбежно встрѣчаются противорѣчія, часто подрывающія довѣріе къ цѣнной въ остальномъ работѣ.

Въ настоящей работѣ авторъ старался изложить накопившійся матеріалъ въ систематизированномъ видѣ, освободивъ его отъ противорѣчій и уже устарѣлыхъ данныхъ. Задача, поставленная себѣ авторомъ, была—дать въ общепонятномъ, но въ то же время научномъ изложеніи обзоръ всѣхъ приѣмовъ и приборовъ для измѣренія различныхъ температуръ, указать вкратцѣ ихъ теорію, дать описаніе ихъ конструкціи и особенностей, способа обращенія съ ними, разобрать

ихъ достоинства и недостатки, съ тѣмъ, чтобы дать всѣ необходимыя данныя для выбора прибора, наиболѣе подходящаго въ каждомъ данномъ случаѣ, и, наконецъ, указать приемы и приспособленія для градуировки новыхъ и вѣрки рабочихъ приборовъ.

Послѣднему отдѣлу удѣлено особенное вниманіе, какъ въ виду его важности, такъ равно и въ виду трудно объяснимой скудости соотв. свѣдѣній въ литературѣ.

Наряду съ критическимъ изложеніемъ чужихъ данныхъ и взглядовъ по разбираемому вопросу, авторъ счелъ своимъ долгомъ подѣлиться и своими личными наблюденіями и приемами, выработанными имъ въ его практикѣ, какъ при пользованіи различными приборами, такъ въ особенности при вѣркѣ ихъ.

Принимая во вниманіе все увеличивающееся значеніе измѣренія температуръ и возрастающія требованія относительно точности этихъ измѣреній, авторъ надѣется, что данная работа его окажется полезнымъ пособіемъ, какъ при научныхъ изслѣдованіяхъ, преимущественно въ инженерныхъ лабораторіяхъ, которыя стали, наконецъ, и у насъ въ Россіи завоевывать себѣ права гражданства, такъ равно и для лицъ, имѣющихъ дѣло съ измѣреніемъ температуръ въ разнообразныхъ областяхъ практической дѣятельности.

Въ виду обширности темы, съ одной стороны, и стремленія автора дать не монографію по данному вопросу, а скорѣе руководство для пракческаго пользованія, съ другой, авторъ опасается, что нѣкоторые отдѣлы, можетъ быть, разобраны недостаточно подробно, и будетъ очень благодаренъ за всѣ указанія о замѣченныхъ недочетахъ и промахахъ.

Что касается порядка изложенія, то весь матеріалъ, касающійся теоріи и конструкціи разбираемыхъ приборовъ, разбитъ на слѣдующіе главные отдѣлы, сообразно различныхъ явленій, на которыхъ приборы основаны:

I, расширеніе тѣлъ:

1—газообразныхъ,

2—жидкихъ,

3—твердыхъ,

II, теплопередача:

4—повышеніе температуры воды,

5—плавленіе тѣлъ,

6—скорость теплопередачи,

III, оптическія явленія:

7—измѣненіе цвѣта,

8—измѣненіе силы свѣта,

IV, электрическія явленія:

9—возбужденіе электродвижущей силы,

10—измѣненіе электропроводности.

ОТДѢЛЪ I.

Теорія и конструкція различныхъ приборовъ.

1. Шкалы температуръ.—Понятіе температура, или напряженность теплоты, дается намъ непосредственно осязаніемъ: одно тѣло намъ кажется горячимъ, другое теплымъ, третье холоднымъ и т. д..

Единица температуры—градусъ—величина совершенно условная.

Сама по себѣ температура, въ отличіе отъ другихъ величинъ, не измѣрима въ точномъ смыслѣ этого слова. Для непосредственной измѣримости величина должна подчиняться двумъ физическимъ законамъ: эквивалентности и слагаемости. Температура подчиняется только первому изъ нихъ, поэтому сравнивать непосредственно температуры двухъ тѣлъ, какъ мы сравниваемъ, напр., длины или вѣса двухъ тѣлъ, сказавъ, что одно изъ нихъ во столько-то разъ больше или тяжелѣе другого, нельзя, а надс прибѣгать къ помощи третьяго, служащаго показателемъ, иначе говоря, измѣрительнымъ приборомъ.

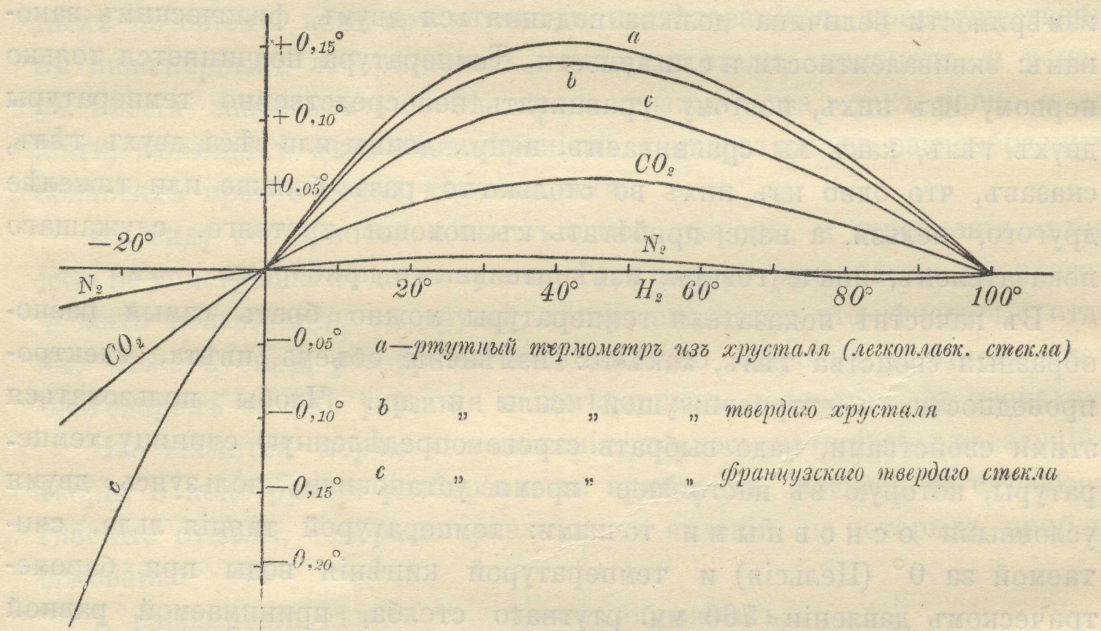
Въ качествѣ показателя температуры можно брать самыя разнообразныя свойства тѣлъ, какъ-то: измѣненіе объема, цвѣта, электропроводности, электродвижущей силы и др.. Чтобы пользоваться этими свойствами, надо выбрать строго опредѣленную единицу температуры, которую въ настоящее время установили, пользуясь двумя условными основными точками: температурой таянія льда, считаемою за 0° (Цельсія) и температурой кипѣнія воды при барометрическомъ давленіи 760 мм. ртутнаго столба, принимаемой равной 100° Ц.. Этимъ опредѣленіемъ устанавливается не «градусъ», а величина во 100 разъ больше его. Спрашивается, какъ произвести дѣленіе ея на 100 частей? Въ зависимости отъ того, какое свойство и какое тѣло взять за показателя, законъ измѣненія будетъ иной, а, слѣдовательно, и шкалы, установленныя по разнымъ свойствамъ, совпадая при 0° и 100° , будутъ расходиться въ промежуточныхъ дѣленіяхъ.

Долгое время въ качествѣ основного прибора—нормальнаго термометра—пользовались ртутнымъ, состоящимъ изъ стекляннаго сосуда съ ртутью, которая при повышеніи температуры поднимается по тонкой, волосной, стеклянной же трубкѣ, имѣющей по всей длинѣ воз-

можно одинаковое поперечное сѣченіе. При этомъ 1 градусъ находится дѣленіемъ трубки между двумя основными точками на 100 равныхъ по длинѣ частей.

Однако уже съ начала прошлаго столѣтія обратили вниманіе на то, что газы разширяются особенно равномерно, приблизительно на $\frac{1}{273}$ часть объема (при 0^0 Ц.) на 1^0 Ц., и начали конструировать термометры, основанные на расширеніи газовъ (Пуйэ, Бекерель, Реньо, и др.).

Изъ всѣхъ газовъ наиболѣе постоянный коэффициентъ расширенія имѣетъ водородъ. Сравненіе шкалы ртутнаго термометра и водороднаго показываетъ, что ртуть расширяется по иному закону, чѣмъ газъ, т. е. коэффициентъ расширенія ртути, какъ и всѣхъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ, не постояненъ, а зависитъ отъ температуры. На черт. 1



показана разница между шкалами ртутнаго и водороднаго термометровъ: первый показываетъ больше второго въ зависимости отъ сорта стекла; отклоненія, достигающія между 0^0 и 100^0 наибольшей величины около 45^0 , составляютъ $+0,11$ до $0,15^0$. На томъ же черт. 1 дано сравненіе показаній, получаемыхъ при наполненіи прибора другими газами—азотомъ и углекислотой; разница при азотѣ практически ничтожно мала, углекислота же оказывается непригодной для данной цѣли. Въ настоящее время въ основу измѣренія температуръ принята газовая водородная шкала.

Впрочемъ совершенно точную, т. е. равномерную шкалу можно найти, лишь пользуясь вторымъ закономъ термодинамики—цикломъ Карно. Согласно закона Карно отдача у вполне обратимаго цикла не зависитъ отъ природы рабочаго тѣла, въ чемъ большое преимущество этого способа. Тамсонъ, который первый ввелъ его, поступалъ слѣдующимъ образомъ: бралъ какой-нибудь газъ и измѣнялъ его состояніе, заставляя газъ совершать циклъ Карно, при чемъ при измѣненіи по изотермѣ $T_1 = \text{const.}$ газу сообщалось тепло Q_1 , а по изотермѣ T_2 отъ него отнималось тепло Q_2 ; при такомъ измѣненіи состоянія отдача цикла

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}.$$

На основаніи свойствъ газовъ

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

откуда

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{Q_1}{Q_2}.$$

Повторяя циклъ между изотермами T_1 и T_3 , получаемъ такимъ же образомъ

$$\eta' = \frac{Q_1 - Q_3}{Q_1} = \frac{T_1 - T_3}{T_1},$$

откуда

$$\frac{T_1}{T_3} = \frac{Q_1}{Q_3}. \quad (2)$$

Сопоставляя ур-ія (1) и (2), получаемъ вообще

$$\frac{T_1}{T_n} = \frac{Q_1}{Q_n}. \quad (3)$$

Опредѣляя количества тепла Q_1 и Q_n и зная температуры t_1 и t_n изотермъ въ $^{\circ}\text{Ц.}$, легко найти, что

$$T = t + 273^{\circ}. \quad (4)$$

Шкала эта по способу ея полученія называется термодинамической; 0° ея соотвѣтствуетъ -273° Ц. Реальное значеніе этого 0—полное

отсутствіе какого нибудь теплосодержанія, какого нибудь молекулярнаго движенія, т. е. абсолютный покой, въ силу чего и шкалу эту чаще называютъ абсолютной, а ея 0^0 —абсолютнымъ нулемъ.

Если взять совершенный газъ, строго подчиняющійся законамъ Бойль-Маріотта и Гей-Люссака, и заставить его совершать циклъ Карно, взявъ при этомъ газовую шкалу этого газа, то получимъ то же соотношеніе (3), слѣдовательно: газовая шкала совершеннаго газа совпадаетъ съ абсолютной шкалой.

Водородъ по своимъ свойствамъ настолько близокъ къ совершенному газу, что полученная съ нимъ газовая шкала отличается отъ абсолютной шкалы всего въ сотыхъ доляхъ градуса. Въ виду этого, а также и вслѣдствіе того, что способъ измѣренія при помощи цикла Карно очень сложенъ, на практикѣ пользуются въ качествѣ основныхъ, нормальныхъ, газовыми термометрами, наполняя ихъ водородомъ.

Въ заключеніе надо еще упомянуть, что, кромѣ такъ назыв. стоградусной шкалы Цельсія, принятой въ настоящее время при всѣхъ научныхъ изслѣдованіяхъ, а также и въ обыденной практикѣ въ большинствѣ странъ, въ Россіи и нѣкоторыхъ балканскихъ государствахъ до сихъ поръ пользуются 80-градусной шкалой Реомюра, у которой 0^0 совпадаетъ съ 0^0 Ц., а точка кипѣнія воды обозначается 80^0 , т. е. она отличается отъ шкалы Цельсія лишь болѣе крупными дѣленіями. Въ Великобританіи, ея колоніяхъ и въ С.-А. Соединенныхъ Штатахъ до сихъ поръ пользуются еще часто шкалой Фаренгейта. У этой шкалы 0^0 получается искусственно при помощи охладительной смѣси опредѣленнаго состава, температура же таянія льда обозначается $+32^0$, а кипѣнія воды $+212$ Ф..

Обозначая черезъ t число градусовъ по шкалѣ Цельсія, t_p — Реомюра, а t_f — Фаренгейта, получаемъ для перевода показаній одной шкалы въ показанія другой слѣдующія выраженія

$$t = \frac{5}{4} t_p = \frac{5}{9} (t_f - 32^0), \quad (5)$$

$$t_p = \frac{4}{5} t = \frac{4}{9} (t_f - 32^0), \quad (6)$$

$$t_f = \frac{9}{5} t + 32^0 = \frac{9}{4} t_p + 32^0. \quad (7)$$

Въ дальнѣйшемъ вездѣ будемъ говорить лишь о шкалѣ стоградусной.

Газовые термометры.

2. Общія указанія.—Пользованіе газомъ для измѣренія температуръ основано на характеристическомъ уравненіи совершенныхъ газовъ

$$PV = GRT = GR\left(t + \frac{1}{\alpha}\right), \quad (8)$$

гдѣ P давленіе въ кгр./мт.², V объемъ газа въ мт.³, G вѣсъ взятаго газа въ кгр., R его постоянная, мѣняющаяся въ зависимости отъ природы газа и извѣстная изъ химіи для всѣхъ газовъ, T абсолютная температура, а α коэффициентъ расширенія газа, принимаемый для совершенныхъ газовъ $\alpha = \frac{1}{273}$, а для другихъ газовъ имѣющій нѣсколько большее значеніе.

На первый взглядъ казалось бы достаточнымъ измѣрить P и G рабочего газа и, зная объемъ V , занимаемый имъ, постоянную R и коэффициентъ α , вычислить t . Однако измѣреніе G сопряжено съ очень большими затрудненіями, равнымъ образомъ трудно найти съ достаточной точностью и объемъ V , неизбѣжно измѣняющійся при измѣненіи температуры, поэтому для сколько нибудь достовѣрныхъ отчетовъ температуру t находятъ не по одному наблюденію, а по двумъ, мѣняя произвольно одну или нѣсколько изъ величинъ, входящихъ въ ур-іе (8), и взявъ отношеніе двухъ характеристическихъ уравненій, написанныхъ для разныхъ условій.

Такъ какъ въ ур-іи (8) можно мѣнять или 2 величины, или сразу 3, или 4 или даже всѣ 5, то теоретически различныхъ способовъ измѣренія температуръ при помощи газовъ можно имѣть 26. Такъ какъ измѣненіе R равносильно измѣненію рабочего газа, что сопряжено съ значительнымъ усложненіемъ всей операціи, ничѣмъ не окупаемымъ, то на практикѣ наблюденія дѣлаютъ всегда съ однимъ и тѣмъ же газомъ. Въ такомъ случаѣ остается лишь 4 переменныхъ величины, допускающія все еще 11 различныхъ сочетаній, т. е. 11 способовъ. Изъ этихъ 11 возможныхъ способовъ мы укажемъ лишь главнѣйшіе, положенные въ основу того или иного построеннаго прибора.

Способъ 1: сперва укажемъ выраженіе для нахождения t въ самомъ общемъ случаѣ, когда мѣняются всѣ 4 величины. Ходъ наблюденій долженъ быть таковъ: надо сперва измѣрить давленіе P_0 при нѣко-

торой извѣстной температурѣ t_0 (таянія льда или кипѣнія воды); газъ въ количествѣ G_0 кгр. занимаетъ при этомъ объемъ V_0 , т. е. имѣемъ

$$P_0 V_0 = G_0 R (t_0 + \frac{1}{\alpha}).$$

Затѣмъ измѣряютъ давленіе P при искомой температурѣ t , оставивъ въ приборѣ лишь G кгр. газа, который занимаетъ извѣстный объемъ V ; тогда имѣемъ

$$P V = G R (t + \frac{1}{\alpha});$$

раздѣливъ это уравненіе на предыдущее, получаемъ

$$\frac{P V}{P_0 V_0} = \frac{G (t + \frac{1}{\alpha})}{G_0 (t_0 + \frac{1}{\alpha})},$$

откуда

$$t = \frac{P V G_0}{P_0 V_0 G} (t_0 + \frac{1}{\alpha}) - \frac{1}{\alpha}. \quad (9)$$

На практикѣ этотъ способъ нельзя рекомендовать, такъ какъ онъ требуетъ слишкомъ многихъ измѣреній. Ур-іе (9) выведено лишь какъ общее выраженіе, изъ котораго остальные способы будутъ получаться какъ частные случаи.

Способъ 2: работаютъ съ однимъ и тѣмъ же количествомъ газа, $G = const.$; объемъ поддерживается тоже постоянный, $V = const.$; объ измѣненіи температуры t судятъ по измѣненію P . Для этого измѣряютъ сперва давленіе P_0 при нѣкоторой извѣстной, какъ указано выше, температурѣ t_0 , а затѣмъ опредѣляютъ давленіе P при искомой температурѣ t , заставивъ газъ опять принять начальный объемъ V . Вслѣдствіе того, что $G = G_0$ и $V = V_0$, получаемъ изъ ур-ія (9) прямо

$$t = \frac{P}{P_0} (t_0 + \frac{1}{\alpha}) - \frac{1}{\alpha}. \quad (10)$$

Этотъ способъ очень удобно осуществлять на практикѣ, и на немъ основаны точные приборы, описанные ниже. Недостатокъ этого способа заключается въ томъ, что при измѣреніи высокихъ температуръ получаются чересчуръ большія давленія.

Способъ 3: вмѣсто давленія P мѣняютъ объемъ V ; поступая въ остальномъ подобно предыдущему, получаемъ такимъ же образомъ изъ ур-ія (9)

$$t = \frac{V}{V_0} \left(t_0 + \frac{1}{\alpha} \right) - \frac{1}{\alpha}. \quad (11)$$

Осуществить этотъ способъ въ точности практически затруднительно; именно, при измѣненіи V часть газа будетъ находиться въ пространствѣ съ болѣе низкой температурой, чѣмъ измѣряемая t ; надо будетъ вводить поправку, которая равносильна измѣненію рабочей массы газа G .

Способъ 4: постояннымъ поддерживается только объемъ V , остальные величины— P , T и G мѣняются. Способъ этотъ является улучшеніемъ способа 2 при измѣреніи высокихъ температуръ. Измѣренія ведутся такъ же, какъ и при способѣ 2, но ради уменьшенія P часть газа при повышеніи температуры выпускается. Имѣемъ, слѣдовательно, подобно предыдущему изъ ур-ія (9)

$$t = \frac{P}{P_0} \frac{G_0}{G} \left(t_0 + \frac{1}{\alpha} \right) - \frac{1}{\alpha}. \quad (12)$$

Способъ 5: въ частности можно, и выпуская газъ, сохранять постоянное давленіе P_0 , тогда выраженіе (12) упрощается и принимаетъ видъ

$$t = \frac{G_0}{G} \left(t_0 + \frac{1}{\alpha} \right) - \frac{1}{\alpha}. \quad (13)$$

Способъ 6: вмѣсто того, чтобы дѣлать отчеты при двухъ разныхъ температурахъ, можно дѣлать ихъ при одной и той же искомой, мѣняя лишь G , при чемъ само собой измѣнится P ; объемъ $V = const.$; имѣемъ для этого случая

$$P_1 V = G_1 R \left(t + \frac{1}{\alpha} \right) \quad \text{и} \quad P_2 V = G_2 R \left(t + \frac{1}{\alpha} \right),$$

или, вычитая другъ изъ друга, получаемъ

$$(P_1 - P_2) V = (G_1 - G_2) R \left(t + \frac{1}{\alpha} \right),$$

откуда

$$t = \frac{P_1 - P_2}{G_1 - G_2} \cdot \frac{V}{R} - \frac{1}{\alpha}. \quad (14)$$

Способъ этотъ теоретически равнозначущъ непосредственному пользованію ур-іемъ (8), съ тѣмъ измѣненіемъ, что вмѣсто давленія P и вѣса газа G входятъ разности двухъ давленій и двухъ вѣсовъ. Но такъ какъ $G_1 - G_2$ равняется какъ разъ выпускаему количеству газа, которое можно опредѣлить гораздо точнѣе, чѣмъ полное количество G_1 , заключающееся въ приборѣ, то способъ этотъ въ смыслѣ точности имѣетъ несомнѣнное преимущество.

Для увеличенія точности измѣреній надо имѣть по возможности большую разность количества газа $G_1 - G_2$, что даетъ соотв. большую разность давленій $P_1 - P_2$. Обычно можно брать P_1 равнымъ атмосферному давленію, а P_2 разрѣженію, получаемому при помощи водоструйного насоса, т. е. примѣрно 15—20 мм. ртутнаго столба.

Впервые этотъ способъ былъ примѣненъ Э. Беккерелемъ, который назвалъ свой приборъ термо-волуменометромъ. Вслѣдствіе примѣненія небольшихъ давленій способъ этотъ особенно цѣненъ для измѣренія высокихъ температуръ. Другое его достоинство, которое будетъ выяснено ниже, состоитъ въ томъ, что неизбѣжныя поправки на вліяніе различныхъ обстоятельствъ къ найденной при помощи него температурѣ имѣютъ наименьшую величину, слѣдовательно, при прочихъ равныхъ условіяхъ точность его выше остальныхъ способовъ.

3. Источники ошибокъ.—При практическомъ осуществленіи газового термометра встрѣчается цѣлый рядъ обстоятельствъ, вліяющихъ на точность его показаній; главнѣйшія изъ этихъ обстоятельствъ состоятъ въ слѣдующемъ:

1, коэффициентъ расширенія α въ дѣйствительности не одинаковъ для различныхъ газовъ, какъ было указано на діаграммѣ черт. 1, и, кромѣ того, хотя и слабо, но зависитъ отъ температуры и давленія; именно, α уменьшается по мѣрѣ возрастанія температуры и, наоборотъ, увеличивается по мѣрѣ увеличенія давленія. Изъ всѣхъ газовъ водородъ имѣетъ наиболѣе постоянный коэффициентъ; для него $\frac{1}{\alpha}$ колеблется всего отъ 272,7 до 273,2; съ достаточной точностью можно брать для всѣхъ температуръ и давленій $\frac{1}{\alpha} = 273$. Для азота для температуръ отъ 0 до 100° Ц. можно брать тоже $\frac{1}{\alpha} = 273$. Для воздуха между тѣми же температурами при давленіи 760 мм. ртутнаго столба $\frac{1}{\alpha} = 273$, понижаясь при давленіи въ 3600 мм. до 270.

Другіе газы имѣютъ еще болѣе измѣняющійся коэффициентъ α , и потому ими не слѣдуетъ пользоваться для измѣренія температуръ.

2, при высокихъ температурахъ стѣнки сосуда, заключающаго газъ, становятся газопроницаемы. Такъ, напр., раскаленная платина становится очень проницаемой для H_2 ; при нагреваніи платинового шара, наполненнаго какимъ нибудь газомъ, кромѣ H_2 , въ открытомъ пламени, почти всегда содержащемъ H_2 , послѣдній проникаетъ въ шаръ и, увеличивая этимъ давленіе внутри шара, вызываетъ ошибку въ смыслѣ преувеличенія показаній температуры; наоборотъ, изъ платинового шара, наполненнаго H_2 , послѣдній будетъ вытекать. Для остальныхъ газовъ платина, повидимому, непроницаема; поэтому для высокихъ температуръ лучше замѣнять водородъ азотомъ.

Другой матеріалъ, часто употребляемый для газовыхъ термометровъ—фарфоръ—оказывается при высокихъ температурахъ проницаемымъ для воды. По опытамъ Крафтса въ пирометръ емкостью около 65 см.³ при температурѣ 1350° проникало въ часъ до 2 мгр. воды, что даетъ показанія, преувеличенныя на 70°. Собственно фарфоръ пористый матеріалъ; непроницаемость его достигается лишь благодаря слоя глазури; къ сожалѣнію, слой этотъ размягчается вскорѣ послѣ 1000° и потому при болѣе высокихъ температурахъ достаточно даже небольшого избытка давленія, чтобы приподнять съ фарфора и прорвать слой глазури. Только покрывая газовый сосудъ глазурью и снаружи и изнутри, можно значительно уменьшить вѣроятность проникновенія газа въ толщу стѣнки и сопряженную съ этимъ опасность поврежденія слоя глазури.

Стекло, хотя и не пропускаетъ газы, но зато растворяетъ ихъ въ себѣ, особенно при болѣе высокихъ температурахъ; затѣмъ оно применимо лишь до 500—600° Ц.. Въ послѣднее время удалось изготовить стекло изъ чистаго кварца (SiO_2); этотъ матеріалъ, плавящійся при $t > 2000^\circ$ Ц., до 1200° непроницаемъ ни для водорода, ни для другихъ газовъ; при температурѣ выше 1300° онъ начинаетъ замѣтно размягчаться. Благодаря очень небольшому коэффициенту расширенія кварцевое стекло совершенно не боится рѣзкихъ измѣненій температуръ, такъ что оно является въ настоящее время лучшимъ матеріаломъ для газовыхъ термометровъ до 1000°.

3, при измѣненіи температуры измѣняется и емкость газового сосуда, чѣмъ отнюдь нельзя пренебрегать даже при самыхъ грубыхъ отчетахъ. Въ слѣдующей таблицѣ 1 указаны средніе кубическіе коэффициенты расширенія β для болѣе важныхъ матеріаловъ.

Для фарфора β указана для твердаго, т. е. обожженнаго при температурѣ около 1400°. Для стекла β очень неодинаково; въ общемъ чѣмъ тугоплавче стекло, тѣмъ β менѣе.

Таблица 1.

матеріаль	предѣлы температуръ	β
платина	0—100 ⁰	0,000021
„	0—1000 ⁰	0,000027
фарфоръ Байо . .	0—1000 ⁰	0,000013—17
„ мейсенскій	0—100 ⁰	0,0000081
„ „	0—1400 ⁰	0,0000094
стекло іенск. норм.	0—100 ⁰	0,000024
„ „ 59 ^{III}	0—100 ⁰	0,000017
„ кварцевое .	0—1000 ⁰	0,0000016

4, для точности измѣреній весьма важно, чтобы рабочій газъ былъ абсолютно сухъ; присутствіе даже небольшого количества влаги искажаетъ показанія. Въстѣ съ тѣмъ вполне избавиться отъ влаги очень трудно; именно, трудно просушить самый сосудъ; даже при повторномъ выкачиваніи газа изъ прибора, съ доведеніемъ разрѣженія до значительной величины, и послѣдующемъ наполненіи хорошо просушеннымъ газомъ, на стѣнкахъ прибора останется нѣкоторое количество влаги, и онъ будетъ показывать преувеличенную температуру. Особенно трудно освободиться отъ влаги въ фарфоровомъ пирометрѣ; онъ долженъ быть обязательно глазурированъ и изнутри.

Единственный способъ избѣжать влаги въ сосудѣ—это наполнять его газомъ въ нагрѣтомъ видѣ, градусовъ до 400, и притомъ, конечно, тоже съ повторномъ удаленіемъ газа.

5, наконецъ, на точность показаній имѣетъ еще большее вліяніе величина вреднаго пространства, т. е. объемъ трубки, сообщающей газовый сосудъ съ ртутнымъ манометромъ. Точно учесть вліяніе вреднаго пространства довольно затруднительно, такъ какъ, съ одной стороны, трудно измѣрить этотъ объемъ, съ другой же, еще труднѣе установить, какую часть его считать наполненной газомъ, имѣющимъ окружающую температуру, а какую часть газомъ, имѣющимъ измѣряемую температуру. Въ дѣйствительности рѣзкой границы между этими температурами нѣтъ; температура газа во вредномъ пространствѣ по-

степенно переходить отъ наивысшей до температуры окружающей среды.

Для увеличенія точности прибора надо дѣлать относительное вредное пространство возможно малымъ; въ виду этого объемъ сосуда съ газомъ не долженъ быть слишкомъ малъ, ни въ коемъ случаѣ не менѣе 100 см.³, лучше до 500 или даже 1000 см.³; трубка къ манометру должна быть возможно короткая, волосная, съ сѣченіемъ не болѣе 0,5 мм.² въ случаѣ платины или кварца, и до 1,5 мм.², если она изъ фарфора. Въ хорошихъ приборахъ относительное вредное пространство составляетъ отъ 0,1 и не болѣе 0,5% рабочего объема.

4. Вычисленіе поправокъ.—Только въ томъ случаѣ, если вести измѣренія по 1 способу, т. е. измѣрять каждый разъ точно всѣ величины, можно, по крайней мѣрѣ теоретически, получать сразу правильные отчеты; во всѣхъ остальныхъ случаяхъ нужно вводить нѣкоторыя поправки, такъ какъ величины, которыя мы при различныхъ способахъ считаемъ постоянными, въ дѣйствительности все время мѣняются подъ вліяніемъ различныхъ условий.

Возьмемъ общее ур-іе (9), замѣнивъ въ немъ температуры t абсолютными температурами T , т. е. напомнимъ

$$T = T_0 \frac{P V G_0}{P_0 V_0 G}$$

Замѣнимъ отношеніе давленій $\frac{P}{P_0}$ черезъ $\frac{H \delta}{H_0 \delta_0}$, гдѣ H и H_0 высоты столба ртути въ монометрѣ, а δ и δ_0 плотности ея; тогда получаемъ

$$T = T_0 \frac{H \delta V G_0}{H_0 \delta_0 V_0 G}$$

Если обозначить черезъ T' температуру, полученную по отчетамъ до введенія какихъ либо поправокъ, а черезъ $dT = T - T'$ ошибку въ опредѣленіи этой температуры, то имѣемъ, взявъ, логарифмическіе дифференціалы и замѣтивъ, что начальная температура T_0 является величиной точно извѣстной и, слѣдовательно, постоянной,

$$\frac{dT}{T} = \frac{dH}{H_0} + \frac{d\delta}{\delta_0} + \frac{dV}{V_0} - \frac{dG}{G_0}. \quad (15)$$

Разсмотримъ эти поправки примѣнительно къ указаннымъ выше различнымъ способамъ измѣренія.

Для способа 2: высоты H и H_0 измѣряются въ отдѣльности, поэтому $dH = 0$ и

$$dT = T \left(\frac{d\delta}{\delta_0} + \frac{dV}{V_0} - \frac{dG}{G_0} \right). \quad (16)$$

Плотность ртути мѣняется вслѣдствіе измѣненія температуры окружающаго воздуха отъ t_1 въ $^{\circ}\text{Ц.}$ при первомъ отчетѣ до t_2 при второмъ отчетѣ;

$$\frac{d\delta}{\delta_0} = \frac{\delta - \delta_0}{\delta};$$

но, какъ извѣстно,

$$\delta = \delta_0 [1 - \beta' (t_2 - t_1)],$$

гдѣ коэффициентъ расширенія ртути $\beta' = 0,000182$; откуда

$$\frac{d\delta}{\delta_0} = -0,000182 (t_2 - t_1). \quad (17)$$

Объемъ сосуда съ газомъ V мѣняется вслѣдствіе расширенія стѣнокъ при нагрѣваніи отъ T_0 до T ,

$$\frac{dV}{V_0} = \frac{V - V_0}{V_0},$$

$$V = V_0 [1 + \beta (T - T_0)],$$

гдѣ β объемный коэффициентъ расширенія матеріала сосуда. Замѣтивъ, что если T_0 температура таянія льда, то $T - T_0 = t$, т. е. искомая температура въ $^{\circ}\text{Ц.}$, получаемъ

$$\frac{dV}{V_0} = \beta t. \quad (18)$$

Измѣненіемъ объема вслѣдствіе измѣненія давленія можно вполне пренебречь. Такъ, напр., платиновый сосудъ Севрскаго прибора при увеличеніи давленія на 1000 мм. ртутнаго столба увеличивается въ объемѣ всего на $0,002\%$.

Измѣненіе количества газа G происходитъ въ томъ смыслѣ, что вслѣдствіе наличности вреднаго пространства количество газа, заключающееся въ немъ, будетъ мѣняться съ измѣненіемъ давленія и окружающей температуры.

Если изъ полного количества газа G кгр. во вредномъ пространствѣ находится g_0 кгр. при первомъ отчетѣ и g кгр. при второмъ, то рабочія количества газа будутъ для перваго отчета

$$G_0 = G - g_0,$$

а для второго

$$G' = G - g,$$

откуда поправка на измѣненіе количества газа

$$\frac{dG}{G} = \frac{G' - G_0}{G_0} = \frac{g_0 - g}{G_0}. \quad (19)$$

Величины g_0 и g находимъ изъ уравненій

$$P_0 V_B = g_0 R T_1 \quad \text{и} \quad P V_B = g R T_2,$$

гдѣ V_B объемъ вреднаго пространства, а T_1 и T_2 температуры окружающаго воздуха въ моменты наблюденій въ $^{\circ}$ абс.; далѣе замѣняемъ G_0 изъ уравненія

$$P_0 V_0 = G_0 R T_0,$$

тогда получаемъ изъ ур-ія (19)

$$\frac{dG}{G_0} = \left(\frac{P_0 V_B}{R T_1} - \frac{P V_B}{R T_2} \right) : \frac{P_0 V_0}{R T_0}.$$

Замѣнивъ V_B черезъ νV , гдѣ ν относительное вредное пространство, и замѣтивъ, что съ достаточной точностью можно считать въ данномъ случаѣ $V_0 = V$, получаемъ

$$\frac{dG}{G_0} = \nu \left(\frac{P_0}{T_1} - \frac{P}{T_2} \right) \cdot \frac{T_0}{P_0};$$

замѣтивъ также, что съ достаточной точностью

$$\frac{P}{P_0} = \frac{T}{T_0},$$

получаемъ окончательно

$$\frac{dG}{G_0} = \nu \left(\frac{T_0}{T_1} - \frac{T}{T_2} \right). \quad (20)$$

Такимъ образомъ полная поправка

$$d T = T' [0,000182 (t_1 - t_2) + \beta t + \nu \left(\frac{T}{T_2} - \frac{T_0}{T_1} \right)]. \quad (21)$$

Для выясненія величины этой поправки приведемъ слѣдующій примѣръ: имѣется пирометръ изъ платины; $\nu = 0,005$; $T_0 = 273^0$; $t_1 = 17^0$, а $t_2 = 27^0$ Ц.. Въ таблицѣ 2 указаны всѣ поправки для трехъ измѣренныхъ температуръ t въ 0 Ц..

Таблица 2.

t	$T' \frac{d\delta}{\delta_0}$	$T' \frac{dV}{V_0}$	$T' \frac{dG}{G_0}$	$d T$	$d \theta$
500 ⁰	-1,4	+10,4	+ 6,3	+ 15,3 ⁰	$\pm 0,63$
1000 ⁰	-2,3	+34,4	+21,0	+ 53,1	$\pm 2,10$
1500 ⁰	-3,2	+71,8	+44,0	+112,6	$\pm 4,40$

Изъ таблицы 2 видно, что поправка для разбираемаго способа 2 достигаетъ величины, которой ни въ коемъ случаѣ нельзя пренебрегать.

Къ этому надо добавить, что поправка на вліяніе вреднаго пространства, къ сожаленію, далеко не такъ опредѣленна, какъ можно бы думать по ур-ію (20). Какъ указывалось уже выше, температура газа въ соединительной трубкѣ на нѣкоторой части длины не равны температурѣ t_1 соотв. t_2 , а выше ея. Учесть это обстоятельство можно лишь тѣмъ, что за вредное пространство принимаютъ $V_B' < V_B$, оцѣнивая на глазъ, какую часть трубки надо отнести къ объему рабочаго сосуда. Въ зависимости отъ длины трубки неувѣренность въ опредѣленіи точки раздѣла можетъ дать ошибку $d \theta$, которую можно оцѣнить по уравненію, подобному ур-ію (20), замѣнивъ лишь $\nu = \frac{V_B}{V_0}$ черезъ

$$\frac{d V_B}{V_0} = \frac{V_B - V_B'}{V_0},$$

т. е. получаемъ

$$d \theta = T' \frac{d V_B}{V_0} \left(\frac{T_0}{T_1} - \frac{T}{T_2} \right). \quad (22)$$

Чтобы выяснитъ возможную неточность всего измѣренія вслѣдствіе наличности вреднаго пространства, величина $d \theta$ указана въ таблицѣ 2

для слѣдующихъ данныхъ: объемъ газоваго сосуда $V = 100 \text{ см.}^3$; $V_b = \gamma V = 0,5 \text{ см.}^3$; сѣченіе волосной трубки $0,5 \text{ мм.}^2$, длина ея 1000 мм. .

При вычисленіи поправки $T' \frac{dG}{G_0}$ за V_b принималась полная длина трубки; если допустить, что длина ея 100 мм. отъ газоваго сосуда должна быть отнесена къ сосуду, а не къ вредному пространству, то получатся указанные въ таблицѣ величины $d\theta$. Неувѣренность на 100 мм. длины отнюдь нельзя считать преувеличенной.

Величина $d\theta$ даетъ указанія относительно степени точности измѣреній даннымъ приборомъ.

Поправка для способа 3: въ этомъ случаѣ

$$\frac{dT'}{T'} = \frac{dH}{H_0} + \frac{d\delta}{\delta_0} + \frac{dV}{V_0} - \frac{dG}{G_0}; \quad (23)$$

здѣсь

$$\frac{dH}{H_0} = \frac{H - H_0}{H_0}, \quad (24)$$

гдѣ H и H_0 высоты ртутнаго столба при двухъ послѣдовательныхъ отчетахъ, хотя и мало, но отличающіяся другъ отъ друга, такъ какъ практически добиться $P = \text{const.}$ нельзя.

$\frac{d\delta}{\delta_0}$ и $\frac{dV}{V_0}$ вычисляются по указаннымъ выше ур-ямъ (17) и (18).

Послѣдній членъ найдемъ, обозначивъ объемъ не нагрѣтаго газа при первомъ отчетѣ V' , при второмъ V'' , а заключающіеся въ нихъ вѣса газа соотв. черезъ g_0 и g ; тогда имѣемъ подобно предыдущему

$$\frac{dG}{G_0} = \frac{g_0 - g}{G_0},$$

но

$$P V' = g_0 R T_1,$$

$$P V'' = g R T_2,$$

$$P V_0 = G_0 R T_0,$$

подставивъ отсюда g_0 , g и G_0 въ предыдущее уравненіе, получаемъ

$$\frac{dG}{G_0} = \left(\frac{V'}{T_1} - \frac{V''}{T_2} \right) \frac{T_0}{V_0}. \quad (25)$$



Какъ видно, полная поправка $d T$ для этого способа численно больше, чѣмъ для предыдущаго.

Поправка для способа 4: такъ какъ здѣсь количество газа мѣняется, а, слѣдовательно, должно точно измѣряться, то ур-іе (15) преобразуется въ

$$\frac{d T}{T'} = \frac{d \delta}{\delta_0} + \frac{d V}{V_0}. \quad (26)$$

Для количествъ газа имѣемъ, пользуясь указанными выше обозначеніями, соотношенія

$$G_0 = G - g_0 = \frac{H_0 \delta_0 V_0}{R T_0}, \quad (27)$$

$$G' = G - g = G_0 - (g - g_0), \quad (28)$$

$$g_0 = \frac{H_0 \delta_0 V_{v1}}{R T}, \quad (29)$$

$$g_0 = \frac{H \delta V_{v2}}{R T_2}, \quad (30)$$

гдѣ V_{v1} и V_{v2} объемы вреднаго пространства при первомъ и второмъ отчетахъ.

Степень возможной ошибки вслѣдствіе гадательности длины нагрѣтой части соединительной трубки

$$\frac{d \theta}{T'} = \frac{d G_0}{G_0} - \frac{d G'}{G'} = \frac{d G_0}{G_0} \left(1 - \frac{T'}{T_0} \right). \quad (31)$$

Въ таблицѣ 3 даны всѣ поправки для того же прибора, который былъ указанъ выше въ примѣрѣ для способа 2.

Т а б л и ц а 3.

t	$T' \frac{d \delta}{\delta_0}$	$T' \frac{d V}{V_0}$	$d T$	$d \theta$
500 ⁰	-1,4 ⁰	+10,4 ⁰	+9,0 ⁰	±1,4 ⁰
1000	-2,3	+34,4	32,1	4,7
1500	-3,2	+71,8	68,6	9,7

Таблица 3 показываетъ, что поправки для этого способа меньше, чѣмъ для предыдущихъ, но зато возможная ошибка $d\theta$ примѣрно вдвое больше.

Поправка для способа 5: подобно предыдущему

$$\frac{dT}{T} = \frac{dH}{H_0} + \frac{d\delta}{\delta_0} + \frac{dV}{V_0}, \quad (32)$$

гдѣ два послѣднихъ члена вычисляются по ур-ямъ (17) и (18), величина же

$$\frac{dH}{H_0} = \frac{H - H_0}{H_0},$$

зависящая отъ неточнаго соблюденія условія $P = \text{const.}$, зависитъ исключительно отъ умѣлости лица, дѣлающаго отчеты; въ среднемъ можно считать $H - H_0 = 20$ мм.. Въ таблицѣ 4 указаны поправки для того же прибора, что и выше, при чемъ принято $H = 1000$ мм..

Т а б л и ц а 4.

t	$T' \frac{dH}{H_0}$	$T' \frac{d\delta}{\delta_0}$	$T' \frac{dV}{V_0}$	dT	$d\theta$
500°	+15,5°	-1,4°	+10,4°	+24,5°	±1,4°
1000	+25,0	-2,3	+34,4	57,6	4,7
1500	+35,5	-3,2	+71,8	103,1	9,7

Таблица 4 показываетъ сильное увеличеніе dT по сравненію со способомъ 4, взамѣнъ чего способъ 5 ничего не даетъ.

Поправка для способа 6: хотя отчеты дѣлаются съ одной и той же температурой, но наружная температура можетъ измѣниться, что даетъ измѣненіе плотности ртути δ ; далѣе, объемъ V_0 газоваго сосуда измѣняется при низкой температурѣ, слѣдовательно, какъ и выше, надо учесть его расширеніе, а также надо учесть вліяніе вреднаго пространства. Такимъ образомъ получаемъ

$$\frac{dT}{T} = \frac{d\delta}{\delta_0} + \frac{dV}{V_0} - \frac{dG}{G_0}. \quad (33)$$

Первые два члена вычисляются по ур-ямъ (17) и (18), послѣдній же получимъ, обозначивъ черезъ G'_1 и G'_2 дѣйствительныя рабочія количества газа, въ видѣ

$$\frac{dG}{G} = \frac{(G'_1 - G'_2) - (G_1 - G_2)}{G_1 - G_2},$$

при чемъ

$$G_1 = G'_1 + g_1 \quad \text{и} \quad G_2 = G'_2 + g_2,$$

гдѣ g_1 и g_2 количества газа во вредномъ пространствѣ при первомъ и второмъ отчетѣ; отсюда

$$dG = -(g_1 - g_2),$$

или

$$-\frac{dG}{G} = \frac{g_1 - g_2}{G_1 - G_2};$$

далѣе, изъ ур-ія (14) имѣемъ

$$G_1 - G_2 = \frac{(P_1 - P_2) V}{R T};$$

такимъ же образомъ получимъ для вреднаго пространства

$$g_1 - g_2 = \frac{(P_1 - P_2) V_B}{R T},$$

откуда окончательно получаемъ

$$-\frac{dG}{G} = \frac{V_B}{V} = \nu. \quad (34)$$

Такимъ образомъ полная поправка

$$dT = T' [0,000182 (t_1 - t_2) + \beta' t + \nu]. \quad (35)$$

Возможная ошибка отъ незнанія границы между горячимъ и холоднымъ пространствомъ, при пользованіи указанными выше обозначеніями, выразится

$$\frac{d\theta}{T'} = \frac{dV_B}{V}. \quad (36)$$

Въ таблицѣ 5 показаны всѣ соотв. поправки при одинаковыхъ численныхъ данныхъ, какъ и въ предыдущихъ случаяхъ.

Таблица 5.

t	$T' \frac{d\delta}{\delta_0}$	$T' \frac{dV}{V_0}$	$-T' \frac{dG}{G_0}$	dT	$d\theta$
500 ⁰	-1,4 ⁰	+10,4 ⁰	+3,9 ⁰	+12,9 ⁰	±0,77 ⁰
1000	-2,3	+34,4	+6,4	38,5	1,27
1500	-3,2	+71,8	+8,9	77,5	1,77

Изъ таблицы 5 видно, что при этомъ способѣ поправки, не считая одинаковой для всѣхъ способовъ поправки на расширение сосуда, имѣютъ не только сравнительно, но и абсолютно очень небольшую величину; возможная же ошибка $d\theta$ практически ничтожно мала.

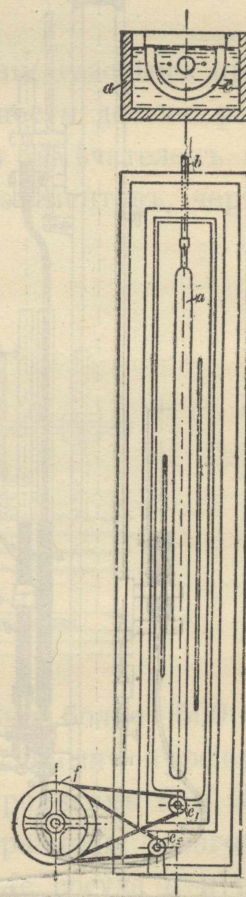
Такимъ образомъ дѣйствительно видно, что этотъ способъ превосходитъ всѣ остальные въ смыслѣ точности показаній; возможная ошибка при хорошемъ приборѣ и тщательномъ веденіи наблюдений не превосходитъ 0,15⁰/о полученной температуры.

5. Конструкціи газовыхъ приборовъ.—Мы уже видѣли, съ какими затрудненіями сопряжено изготовленіе и пользованіе газовыми термометрами. Къ этому надо еще добавить, что вслѣдствіе большихъ размѣровъ измѣрительной части прибора, газоваго сосуда, очень трудно достигать равномерности температуры его, а, кромѣ того, вслѣдствіе тѣхъ же большихъ размѣровъ этими приборами можно измѣрять температуру далеко не всѣхъ тѣлъ, а лишь газообразныхъ и жидкихъ и притомъ занимающихъ значительный объемъ, напр. температуру внутреннего пространства въ печахъ или расплавленнаго металла въ тиглѣ достаточной величины. Поэтому станетъ понятно, почему газовыми приборами пользуются главнымъ образомъ для установленія основной шкалы температуръ, затѣмъ для вѣрки другихъ приборовъ, болѣе пригодныхъ для практическаго пользованія, и только въ рѣдкихъ случаяхъ, и притомъ съ соотвѣстнѣніемъ конструкціи, для непосредственнаго измѣренія температуръ. Въ виду этого и описаніе начнемъ съ нормальнаго прибора, т. е. прибора, при помощи котораго устанавливается принятая теперь шкала температуръ.

Чтобы имѣть шкалу температуръ строго опредѣленную, надо разъ навсегда установить, какой приборъ считать за нормальный, т. е. выбрать рабочій газъ, начальное давленіе и способъ измѣренія.

По постановленію Международной Комиссіи Мѣръ и Вѣсовъ, принятому теперь повсемѣстно, въ качествѣ нормальнаго термометра выбранъ приборъ съ водородомъ, работающій при постоянныхъ объемѣ и количествѣ газа съ начальнымъ давленіемъ при 0° Ц. въ 1000 мм. ртутнаго столба.

На черт. 2—5 изображенъ такой нормальный термометръ, сконструированный Шапюи и находя-

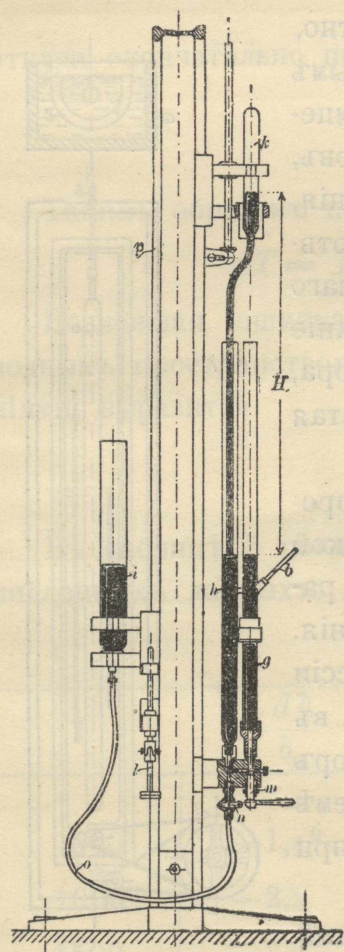


Черт. 2 и 3.

щийся въ Севрѣ; это, слѣдовательно, приборъ, дѣйствующій по способу 2. Онъ состоитъ изъ цилиндрическаго сосуда *a* изъ иридіевой платины, емкостью въ 1038,99 см.³ при 0° Ц.; сосудъ этотъ соединяется съ ртутнымъ манометромъ платиновымъ капилляромъ *b* длиной въ 1 мт.; наполненіемъ ртутью емкость его найдена равной 0,567 см.³; полное вредное пространство равно 1,072 см.³; с металлическое корыто съ двойными стѣнками, наполненное водой, въ которую погружаются и вывѣряемые термометры. Ради постоянства температуры корыто *c* тоже погружено въ воду; *f* шкивъ, приводящій въ дѣйствіе мѣшалки *e*₁ и *e*₂. Корыто *c* сверху закрывается не показанной на чертежѣ стеклянной крышкой, черезъ которую и производятся отчеты ртутныхъ термометровъ.

Для измѣренія температуръ ниже 0° Ц. сосудъ *c* наполняется алко-големъ, а сосудъ *d* охлаждающей смѣсью.

Для опредѣленія 100° сосудъ *c* замѣняется горизонтальной паровой баней, составленной тоже изъ двухъ концентрическихъ оболочекъ съ двойной же крышкой, въ которую вдѣланы вертикальные патрубки для провѣряемыхъ ртутныхъ термометровъ.



Черт. 4.

Измѣрительный приборъ—манометръ—изображенъ на черт. 4: давление газа передается капилляромъ *b* на ртуть въ стеклянномъ сосудѣ *g*, который сообщается одновременно съ открытыми сверху стеклянными сосудами *h* и *i*; *h* служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ чашкой для барометра *k*. Сосудъ *i*, соединенный съ *g* и *h* гибкой желѣзной трубкой *o*, можно перемѣщать вдоль рельса-штатива *p*—грубо прямо отъ руки, а точно при помощи микрометричнаго винта *l*. На черт. 5 показана въ разрѣзѣ въ болѣе крупномъ масштабѣ средняя часть трубки *g*; здѣсь видно платиновое острие, до соприкосновенія съ которымъ поднимается ртуть въ *g* путемъ перемѣщенія *i*; разстояніе отъ платинового острія до начала капилляра всего 0,6 мм.. Барометрическая трубка *k* можетъ перемѣщаться на 70 мм. вверхъ и внизъ по штативу *p*.



Черт. 5.

Краны *m* и *n* служатъ—первый для разобщенія низа *g* съ *h*, а второй—трехходовой—для разобщенія *i* съ *h* и для выпуска

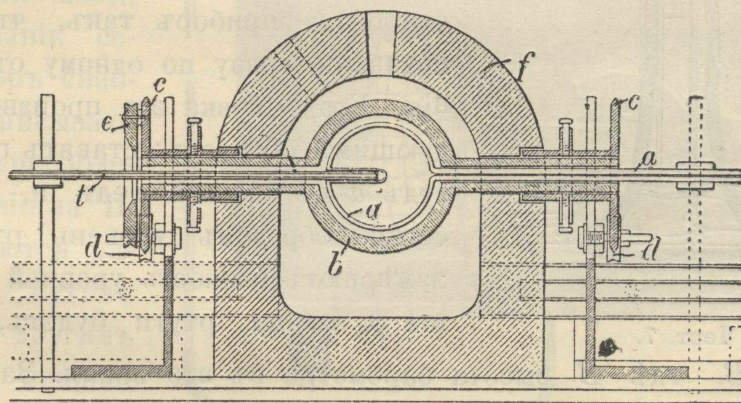
ртути. Отчеты дѣлаются при помощи катетометра; высота H даетъ полное давленіе газа въ термометрѣ.

Одно изъ преимуществъ этого прибора въ томъ, что для опредѣленія давленія H надо сдѣлать всего два отчета, въ другихъ же приборахъ четыре—два у манометра и два у барометра.

Приборъ этотъ очень точенъ и не требуетъ особой вѣвѣрки. Неоднократными наблюденіями установлено, что нагрѣваніе его до 100° не мѣняетъ точки 0° . Примѣнимъ этотъ приборъ для установленія температуръ отъ -25° до $+100^{\circ}$ Ц.

Для высокихъ температуръ такого точнаго газоваго прибора, который можно было бы считать за нормальный, до сихъ поръ еще не построено. Сопоставляя все, что было сказано выше о различныхъ практическихъ затрудненіяхъ при постройкѣ такого прибора, можно намѣтить условія, которыя надо будетъ при этомъ соблюсти: для температуръ до 1000° Ц. сосудъ долженъ быть изъ кварцеваго стекла, а до 1300° —изъ фарфора, со слоемъ глазури изнутри и снаружи; рабочій газъ долженъ быть азотъ; измѣренія надо вести по способу 6—термоволуменометра или вообще по способу, не предполагающему постоянства массы газа.

Одно изъ главныхъ затрудненій при пользованіи газовымъ приборомъ при высокихъ температурахъ состоитъ въ трудности достигъ равномернаго нагрѣванія прибора. Въ этомъ отношеніи замѣчателенъ приборъ, построенный Барусомъ для вѣвѣрки термоэлементовъ, черт. 6:



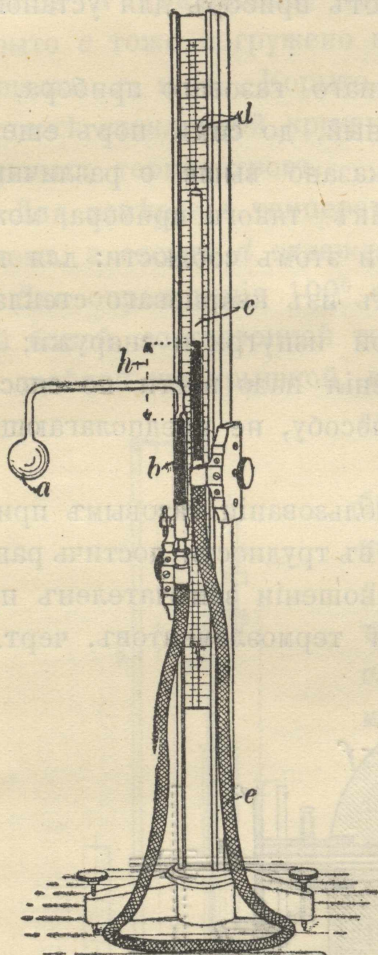
Черт. 6.

газовый фарфоровый сосудъ a , емкостью нѣсколько болѣе 500 см.^3 , окруженъ составленнымъ изъ двухъ половинокъ чугуннымъ муффелемъ b , который при посредствѣ колесъ cc лежитъ на роликахъ d, d, d, d . При помощи шкива e муффель приводится во вращеніе, благодаря чему достигается абсолютно равномерное нагрѣваніе сосуда a и вставляемаго въ углубленіе, сдѣланное въ немъ, термоэлемента t . Муффель

нагрѣвается газовыми горѣлками. Весь приборъ заключенъ въ оболочку f изъ огнеупорнаго матеріала. Барусъ велъ измѣренія по способу 5 — съ постояннымъ давленіемъ газа.

Перейдемъ теперь къ описанію приборовъ, которыми можно пользоваться въ практикѣ для непосредственнаго измѣренія температуръ.

На черт. 7 представленъ приборъ Жоли, часто называемый воздушнымъ термометромъ, такъ какъ водородъ замѣняютъ въ немъ воздухомъ, когда не требуется особенной точности. Измѣренія ведутся по способу 2, т. е. съ постояннымъ количествомъ и объемомъ газа. Установленіе постоянного, начальнаго объема достигается взаимнымъ перемѣщеніемъ трубокъ съ ртутью b и c вдоль стойки d съ дѣленіями въ мм.; b и c сообщаются между собой при помощи резиновой, оплетенной трубки e . Уровень ртути въ b доводится всегда до соприкосновенія съ стекляннымъ остриемъ въ верхней части b .



Черт. 7.

Вмѣсто того, чтобы дѣлать два отчета давленій и вычислять t по ур-ю (10), на практикѣ предпочитаютъ заранее градуировать приборъ такъ, чтобы имѣть показаніе сразу по одному отчету давленія. Градуировка эта производится слѣдующимъ образомъ: ставятъ газовый сосудъ a въ тающій ледъ и, установивъ соотв. образомъ уровень ртути въ b , измѣряютъ разность уровней h_0 : давленіе p_0 въ мм. ртути будетъ, очевидно,

$$p_0 = h_0 + B,$$

гдѣ B высота барометра въ это время. Затѣмъ помѣщаютъ a въ пары кипящей воды при давленіи 760 мм. ртутнаго столба, при чемъ, если барометрическое давленіе $B < 760$ мм., искусственно повышаютъ давленіе паровъ, усиливая интенсивность кипѣнія; опять измѣряютъ разности уровней h_{100} , давленіе $p_{100} = h_{100} + 760$. На каждый 1°Ц. давленіе газа повышается, слѣдовательно, на $\frac{P_{100} - P_0}{100}$ мм. ртутнаго столба. Если при нѣкоторой искомой темпе-

ратурѣ t_x разность уровней будетъ h_x , то, пренебрегая измѣненіемъ барометрическаго давленія, имѣемъ

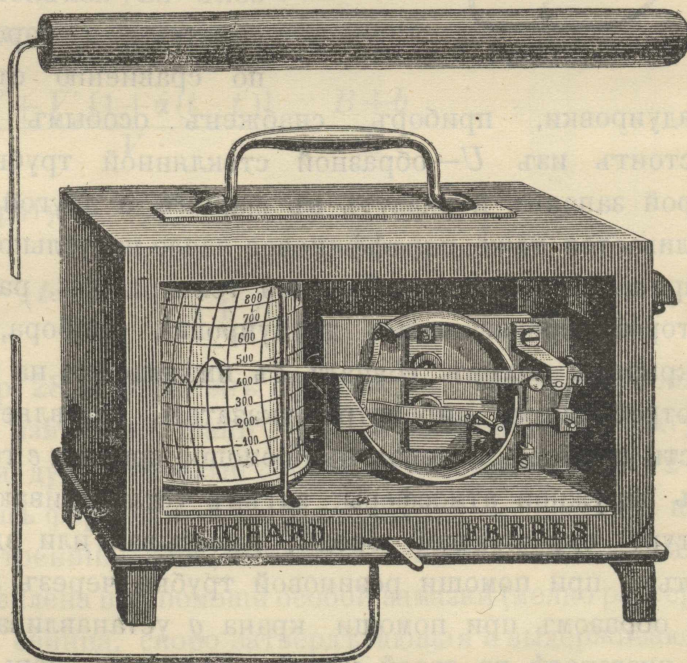
$$t_x = (h_x - h_0) : \frac{P_{100} - P_0}{100} = \frac{h_x - h_0}{P_{100} - P_0} 100. \quad (37)$$

При такомъ способѣ измѣренія избѣгается необходимость вводить поправку на расширение сосуда a , предполагая, что коэффициентъ его расширения мало мѣняется съ температурой. Для болѣе точнаго опредѣленія t надо лишь вычислить по указанному выше поправку на вредное пространство и принять въ расчетъ измѣненіе барометра.

Для температуръ до 500°C . шарикъ a дѣлается изъ боросиликатнаго стекла, до $1000-1100^{\circ}$ изъ кварцеваго стекла, еще выше—до $1300-1400^{\circ}$ —изъ фарфора.

Довольно удобенъ для практики, хотя значительно менѣе точенъ, приборъ фирмы Рихаръ, дѣйствующій въ сущности тоже по способу 2. Приборъ, черт. 8, состоитъ изъ стального сосуда, наполненнаго азотомъ и

сообщающагося при помощи капилляра съ металлическимъ манометромъ Бурдона, стрѣлка котораго показываетъ увеличеніе давленія азота при нагреваніи сосуда. Приборъ снабженъ самозаписывающимъ приспособленіемъ Дѣленія на $^{\circ}\text{C}$. устанавливаются эмпирически, путемъ сличенія съ другимъ приборомъ; поправками на измѣненіе наружной темпера-

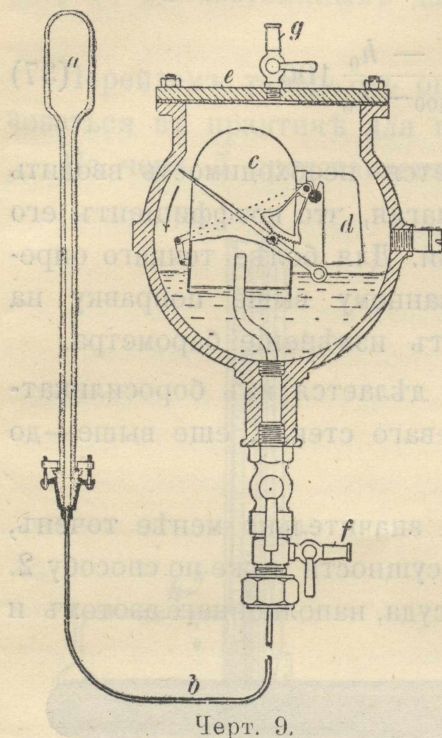


Черт. 8.

туры и барометрическаго давленія пренебрегаютъ. Предѣлы примѣненія прибора $100-700^{\circ}\text{C}$.

Изъ приборовъ, дѣйствующихъ по способу 3, т. е. съ постояннымъ количествомъ газа, но съ переменнымъ объемомъ, опишемъ лишь пирометръ Зигерть-Дюрра, черт. 9. Фарфоровый сосудъ a сообщается

мѣднымъ капилляромъ *b* съ мѣднымъ колоколомъ *c*; колоколъ *c* подвѣшенъ къ плечу короткаго рычага, который можетъ качаться на сталь-



нымъ лезвіи; къ другому плечу рычага прикрѣпленъ противовѣсъ *d*, почти уравновѣшивающій *c*; послѣдній погруженъ нижней кромкой въ парафиновое масло, отдѣляющее пространство подъ колоколомъ отъ наружнаго воздуха. При расширеніи вслѣдствіе нагрѣванія воздуха въ *a*, часть его переходитъ въ *c*, который вслѣдствіе этого поднимается и поворачиваетъ стрѣлку, которая и указываетъ прямо искомую температуру. Приборъ можетъ служить для температуръ отъ 0° до 500° Ц. Градуировка производится эмпирически.

Чтобы избѣжать вычисленія поправки на измѣненіе окружающей температуры и барометрическаго давленія по сравненію съ бывшими во время

градуировки, приборъ снабженъ особымъ указателемъ, который состоитъ изъ U-образной стеклянной трубки, одинъ конецъ которой запаянъ и раздутъ въ шарикъ, а другой открытъ; въ указатель наливается тоже парафиновое масло настолько, чтобы при погруженіи шарика въ воду опредѣленной температуры, равной температурѣ, при которой производилась градуировка прибора, уровень жидкости въ открытомъ колѣнѣ совпалъ съ имѣющейся на немъ мѣткой. Передъ употребленіемъ пирометра указатель вставляется во внутреннюю полость прибора, которая при помощи крышки *e* герметически разобщена отъ наружной атмосферы; затѣмъ устанавливаютъ стрѣлку на температуру окружающей среды, высасывая или вдувая воздухъ въ колоколъ *c* при помощи резиновой трубки черезъ кранъ *f*, потомъ такимъ же образомъ при помощи крана *g* устанавливаютъ уровень жидкости въ указателѣ на своей мѣткѣ. Приборъ очень удобенъ, но, кажется, въ настоящее время фирмой больше не изготавливается, такъ какъ фарфоровые сосуды слишкомъ легко ломались. Это обстоятельство можно устранить, дѣлая сосуды, напр., изъ никкеля, но тогда предѣлъ температуры ограничится примѣрно 1000° Ц..

Можно упомянуть еще о приборахъ, работающих съ перемѣнной массой газа: при нагрѣваніи послѣднему даютъ свободно выходить

изъ прибора, такъ что давленіе его остается равнымъ атмосферному; когда температура установится, измѣряютъ оставшееся количество газа, или выкачивая его ртутнымъ насосомъ (Девилль и Тростъ) или вытѣсняя его углекислотой, которую потомъ поглощаютъ щелочью (В. Мейеръ и Крафтсъ). Искомая температура вычисляется по ур-ю (13) или общѣ по ур-ю (12). Приборами этими на практикѣ не приходится пользоваться.

Однако есть приборъ, работающій тоже съ переменнымъ количествомъ газа, который благодаря своей конструкціи примѣнимъ на практикѣ,—это пирометръ Виборга. Идея его состоитъ въ слѣдующемъ: къ опредѣленному объему V воздуха, принявшаго измѣряемую температуру t , но имѣющаго атмосферное давленіе B , добавляется второй объемъ воздуха V' того же давленія, но другой температуры t' ; послѣ этого весь воздухъ сжимаютъ до прежняго объема V и даютъ ему принять измѣряемую температуру t , которая найдется по возрастанію давленія на величину b .

Если бы весь воздухъ остался подъ давленіемъ B , то онъ занялъ бы объемъ $V + V' [1 + \alpha(t - t')]$. Такъ какъ объемы газа обратно пропорціональны давленіямъ, то имѣемъ соотношеніе

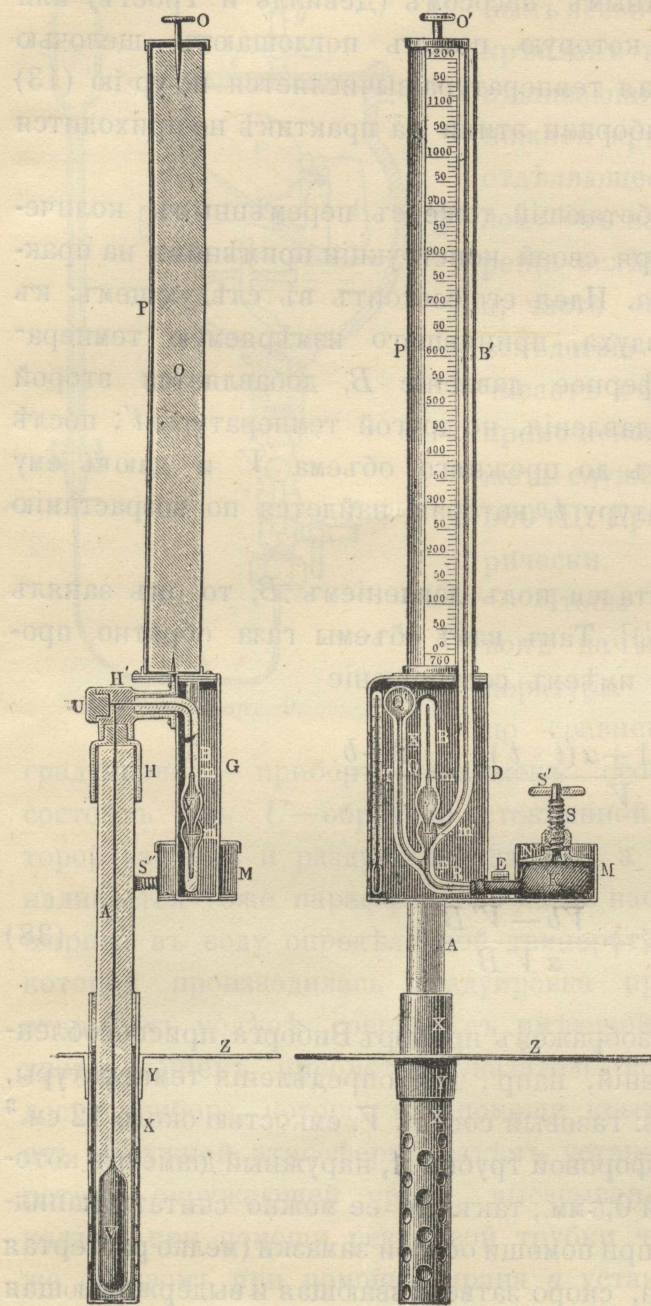
$$\frac{V + V' [1 + \alpha(t - t')]}{V} = \frac{B + b}{B},$$

откуда искомая температура

$$t = t' + \frac{Vb - V'B}{\alpha V'B}. \quad (38)$$

На черт. 10 и 11, стр. 28, изображенъ приборъ Виборга, приспособленный для техническихъ измѣреній, напр., для опредѣленія температуры, нагрѣтаго воздуха при дутьѣ: газовый сосудъ V , емкостью около 12 см.³ образуетъ одинъ конецъ фарфоровой трубки A , наружный діаметръ которой около 20 мм., а внутренній 0,5 мм., такъ что ее можно считать капилляромъ; трубка A закрѣплена при помощи особой замазки (мелко растертая съ глицериномъ окись свинца, скоро затвердѣвающая и выдерживающая температуру до 250° Ц.) въ металлическій наконечникъ H , которымъ ее можно ввернуть въ штуцеръ H' или вертикально, какъ показано на черт. 10, или горизантально, помѣняя мѣстами съ пробкой U . На той же замазкѣ въ H' вдѣланъ стеклянный капилляръ, который отъ точки m на длинѣ 10 мм. расширяется въ трубку около 2 мм. въ діаметръ, а затѣмъ переходитъ въ грушеобразное расширеніе, которое и содержитъ дополнительный объемъ V' , и емкость котораго отъ нижней кромки m'

До m составляетъ около 0,1 V . Справа отъ m' вверхъ идетъ манометрическая трубка B' около 440 мм. высотой; нижнимъ патрубкомъ R



Черт. 10 и 11.

сота ртути въ трубкѣ B' отъ m' до конца столба и дастъ искомое давленіе b въ ур-и (38), по которому и найдется t .

На практикѣ вмѣсто вычисленія t по ур-ю (38) предпочитаютъ сразу получить отчетъ по шкалѣ. Однако въ зависимости отъ различнаго барометрическаго давленія и температуры t' количество воздуха

стеклянные трубки сообщаются съ резиновымъ мѣшкомъ K , въ которомъ находится ртуть; поворачивая винтъ S въ ту или другую сторону, можно или нажимать на мѣшокъ крышкой N и заставлять ртуть подниматься по трубкамъ, или опускать ее.

Наблюденія при помощи этого прибора ведутся слѣдующимъ образомъ: конецъ V , защищенный отъ механическихъ поврежденій продырявленнымъ кожухомъ X , вставляютъ въ изслѣдуемое пространство; воздухъ въ V нагревается до искомой температуры t , и избытокъ его выходитъ черезъ B и B' . Послѣ этого поднимаютъ ртуть до m' , когда B разобщается съ B' , и далѣе до мѣтки m , вгоняя объемъ V' съ температурой t' , отчитываемой по ртутному термометру T , черт. 11, въ V . По мѣрѣ нагреванія этого воздуха давленіе его будетъ расти, и придется поджимать винтъ S , пока ртуть не установится окончательно на мѣткѣ m ; вы-

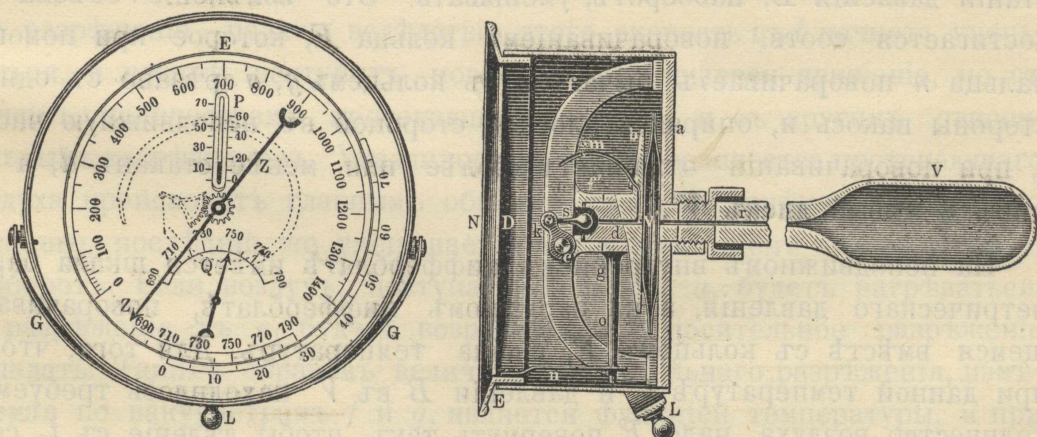
въ добавляемомъ объемѣ V' будетъ разное, а вмѣстѣ съ тѣмъ и высота b при той же разности $t - t'$ будетъ иная, т. е. должна измѣняться длина шкалы, увеличиваясь при возрастаніи B и паденіи t' , и наоборотъ; кромѣ того, и само начало шкалы соотв. перемѣщается. Последнее обстоятельство позволяетъ легко находить требуемую шкалу, повертывая деревянный цилиндрокъ O , на которомъ расположены шкалы для различныхъ количествъ воздуха, т. е. B и t' : именно, если поднять ртуть до мѣтки m , при условіи, что воздухъ въ V' и V имѣетъ одинаковую температуру, то той шкалой, которой начало совпадаетъ съ уровнемъ ртути въ B' , и надо пользоваться при послѣдующемъ отчетѣ.

Этотъ приемъ однако непримѣнимъ, если приборъ уже установленъ, и температуры въ V и V' разныя. Для этого случая имѣется вспомогательная трубка Q , раздутая на концѣ въ шарикъ Q' ; уровень ртути въ B' , соотвѣтствующій 0 шкалы, найдется, если поднять ртуть въ Q до мѣтки x . Это дополнительное приспособленіе основано на той же мысли, что и весь приборъ, именно, что опредѣленное количество воздуха, въ данномъ случаѣ отъ m'' до x , вгоняется въ извѣстный объемъ, и затѣмъ измѣряется полученное давленіе.

При измѣреніи особенно высокихъ температуръ фарфоровую трубку надо обертывать асбестомъ, чтобы не подвергать ее слишкомъ рѣзкимъ колебаніямъ температуры, которыя могутъ легко вызвать ее поломку.

Какъ видно, обращеніе съ приборомъ очень удобное и простое, и отчеты его достаточно точны, такъ какъ шкалы получены не эмпирически, а путемъ вычисленій.

Для менѣе точныхъ набѣуденій Виборгъ переконструировалъ свой приборъ, замѣнивъ ртутный манометръ металлическимъ. Хотя приборъ



Черт. 12 и 13.

получился менѣе точный, но зато и менѣе хрупкій и еще болѣе удобный для пользованія. Этотъ пирометръ представленъ на черт. 12 и 13:

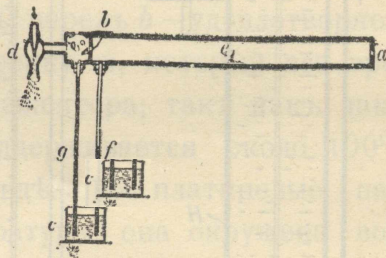
фарфоровый сосудъ V съ воздухомъ, емкостью около 100 см.³, сообщается капиллярнымъ каналомъ съ полостью V' , образованной изъ двухъ пружинящихъ дисковъ, при чемъ при нажатіи на эти диски стерженька s они принимаютъ совершенно плоскую форму и плотно соприкасаются другъ съ другомъ, при прекращеніи нажатія снова принимаютъ свой первоначальный видъ. Въ дискахъ имѣются небольшія отверстія, черезъ которыя сосудъ V , съ одной стороны, сообщается съ атмосферой, съ другой же, при помощи гибкаго свинцоваго капилляра m съ полой манометрической пружиной, которая приводитъ въ дѣйствіе главную стрѣлку Z . Чтобы измѣрить этимъ приборомъ температуру t какого нибудь пространства, вставляютъ въ него сосудъ V , и когда онъ приметъ эту температуру, при помощи находящейся снаружи дужки GLG надавливаютъ s на d ; при этомъ сперва пространства V и V' разобщаются съ атмосферой, а затѣмъ диски V' прижимаются другъ къ другу; воздухъ, заключенный между ними, перегоняется въ V и расширяется вслѣдствіе повышенія температуры; происходящее при этомъ увеличеніе давленія въ V передается на манометрическую пружину, которая поворачиваетъ стрѣлку Z до соотв. дѣленія.

Остается еще сказать о поправкахъ на измѣненіе температуръ t_0 окружающаго воздуха и барометрическаго давленія B по сравненію съ бывшими во время градуировки прибора. Поправки эти сводятся къ тому, чтобы, независимо отъ температуры и давленія, въ сосудѣ V' въ моментъ начала дѣйствія заключалось одно и тоже количество воздуха по вѣсу. Такъ какъ при возрастаніи температуры t_0 удѣльный вѣсъ уменьшается, то объемъ V' надо соотв. увеличивать, при возрастаніи давленія B , наоборотъ, уменьшать. Это измѣненіе объема V , достигается соотв. поворачиваніемъ кольца E , которое при помощи пальца n поворачиваетъ рычагъ o съ кольцомъ g ; g сръзано съ одной стороны наось и, опираясь плоской стороной въ неподвижную часть f , при поворачиваніи отжимаетъ болѣе или менѣе стаканъ d , а съ нимъ и лѣвый дискъ V' .

На неподвижномъ внутреннемъ цифферблатѣ имѣется шкала барометрическаго давленія, а на наружномъ цифферблатѣ, поворачивающемся вмѣстѣ съ кольцомъ E , шкала температуръ. Для того, чтобы при данной температурѣ t_0 и давленія B въ V' находилось требуемое количество воздуха, надо E повернуть такъ, чтобы дѣленіе съ t_0 совпало съ дѣленіемъ B . Тогда стрѣлка Z покажетъ прямо искомую температуру и никакихъ вычисленій поправокъ производить не надо.

Температура t_0 отчитывается по находящемуся на циферблатѣ термометру T , а давление B по находящемуся тамъ же барометру-анероиду Q . Дѣленія главной шкалы производятся, конечно, эмпирически, равно, какъ и вспомогательныхъ шкалъ. Приборъ годится для измѣренія до 1400^0 Ц. Точность его показаній едва ли болѣе $\pm 2^0/0$, но зато въ обращеніи онъ очень удобенъ.

Въ заключеніе опишемъ еще пирометръ Юлинга, усовершенствованный Штейнбартомъ, основанный на совершенно иномъ началѣ, чѣмъ всѣ разобранные выше способы и приборы; именно, онъ основанъ на законахъ прохожденія газа черезъ малыя отверстія. Дѣйствіе этого прибора легко уяснить по схемѣ черт. 14: въ пространствѣ e_2 производится при помощи эжектора d разрѣженіе, подѣйствіемъ котораго въ e_2 перетекаетъ изъ e_1 находящійся тамъ воздухъ, проходя черезъ очень малое отверстіе b ; убыль воздуха въ e_1 пополняется по-



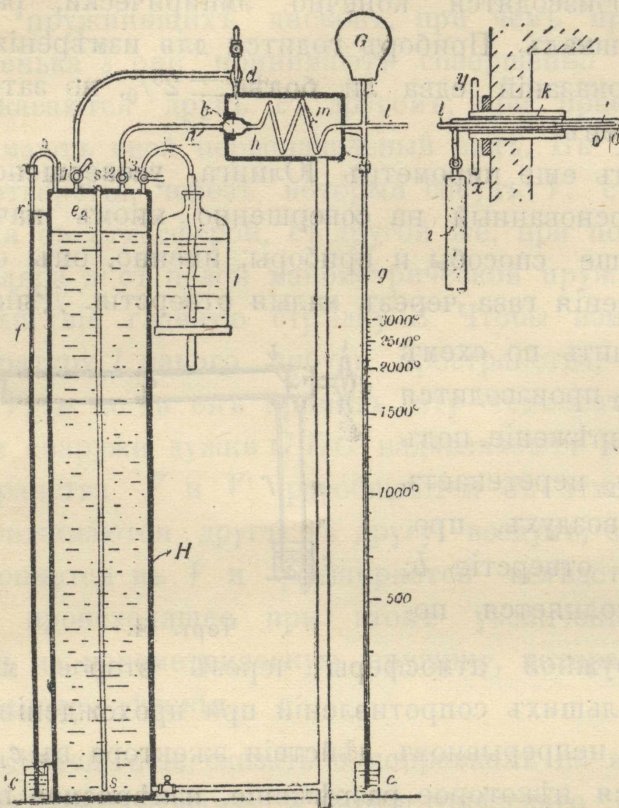
Черт. 14.

ступленіемъ его изъ наружной атмосферы черезъ второе малое отверстіе a ; вслѣдствіе большихъ сопротивленій при прохожденіи черезъ отверстія a и b , при непрерывномъ дѣйствіи эжектора въ e_1 будетъ всегда поддерживаться нѣкоторое разрѣженіе, измѣряемое вакууметромъ f , а въ e_2 еще большее разрѣженіе, измѣряемое вакууметромъ g .

Разность показаній f и g назовемъ относительнымъ разрѣженіемъ. При установившемся движеніи разрѣженіе въ e_2 будетъ постоянно; но если черезъ отверстіе a начнетъ поступать воздуха меньше, чѣмъ выходитъ его черезъ b , то разрѣженіе въ e_1 начнетъ возрастать, а относительное разрѣженіе — падать; вслѣдствіе этого скорость въ b начнетъ уменьшаться, и вскорѣ наступитъ новое установившееся движеніе, но съ другимъ количествомъ протекающаго воздуха и съ другимъ относительнымъ разрѣженіемъ. Указанное измѣненіе количества протекающаго воздуха происходитъ главнымъ образомъ за счетъ измѣненія удѣльнаго вѣса его, послѣдній же уменьшается съ возрастаніемъ температуры и наоборотъ. Если воздухъ, поступающій черезъ a , будетъ нагрѣваться, то разрѣженіе въ e_1 будетъ возрастать, а относительное разрѣженіе — падать. Такимъ образомъ величина относительнаго разрѣженія, измѣряемая по вакууметрамъ f и g , является функціей температуры, и при опредѣленномъ постоянномъ разрѣженіи въ e_2 и опредѣленной величинѣ отверстій a и b по ней можно судить о температурѣ поступающаго воздуха.

Хотя уменьшеніе плотности воздуха въ e_1 вслѣдствіе измѣненія скоростивъ a и b идетъ не пропорціонально возрастанію температуры,

а нѣсколько медленнѣе, такъ что съ возрастаніемъ температуры точность показаній и чувствительность прибора нѣсколько падаютъ, тѣмъ не менѣе онъ остаются вполне достаточными для практическихъ цѣлей. Такъ, напр., въ описываемомъ ниже приборѣ при разрѣженіи въ e_2 (ниже атмосф. давленія) въ 1220 мм. водяного столба измѣненію температуры на 10^0 Ц. соотвѣтствуетъ измѣненіе относительнаго разрѣженія: между 650 и 800^0 Ц.—около 6 мм. водяного столба, между 800 и 1100^0 —около 4,5 мм. и, наконецъ, между 1100 и 1650^0 —все еще около 2 мм.



Черт. 15.

На черт. 15 представленъ схематически весь приборъ: подъ дѣйствіемъ парового эжектора d , высасывающаго воздухъ изъ пространства e_2 , воздухъ притекаетъ туда изъ наружной атмосферы, проходя черезъ фильтръ i съ ватой, затѣмъ черезъ трубку k съ платиновымъ наконечникомъ o , откуда черезъ малое отверстіе a въ платиновомъ же наконечникѣ e , по трубкѣ ll и змѣвику m проходитъ черезъ второе малое отверстіе b и трубку n . Наконечники oe_1 вставляются въ пространство, температура котораго должна быть опредѣлена.

Для того чтобы по вакууметру g , наполненному подкрашенной водой, или по самозаписывающему пружинному вакууметру G имѣть сразу отчетъ въ 0 Ц. безъ всякихъ поправокъ, нужно, во-первыхъ, чтобы разрѣженіе въ e_2 поддерживалось точно на извѣстной высотѣ, во-вторыхъ, чтобы воздухъ при прохожденіи черезъ отверстіе b всегда имѣлъ постоянную температуру. Первое условіе удовлетворяется тѣмъ, что въ сосудѣ H съ полостью e_2 налита вода, въ которую погружена вдѣланная въ крышку трубка s , открытая съ обоихъ концовъ; эжек-

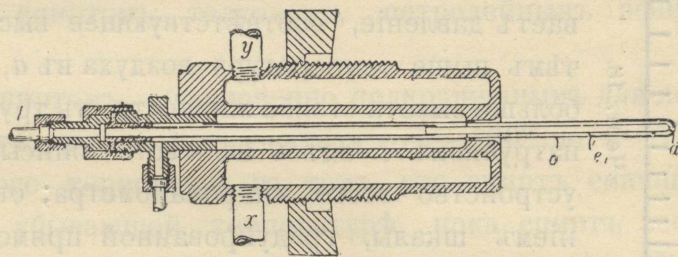
торъ d высасываетъ воздуха нѣсколько больше, чѣмъ сколько можетъ поступать черезъ приборъ, но какъ бы сильно онъ ни работалъ, разрѣженіе не можетъ возрасти выше столба воды, равнаго разстоянію отъ нижняго конца трубки s до уровня воды въ H , такъ какъ недостача воздуха все время пополняется изъ атмосферы по трубкѣ s . Въ существующихъ приборахъ разрѣженіе поддерживается въ 1220 мм. водяного столба. Вслѣдствіе испаренія воды уровень въ H со временемъ понижается, что обнаруживается пониженіемъ уровня въ вакууметрѣ f ниже указателя r ; для пополненія убыли достаточно открыть кранъ $з$, и вода изъ банки t устремится въ H вслѣдствіе разрѣженія въ e_2 .

Второе условіе—постоянство температуры передъ b —удовлетворяется тѣмъ, что воздухъ въ b попадаетъ по змѣвику m , который все время обогрѣвается паромъ, поступающимъ изъ эжектора; такъ какъ давленіе въ h атмосферное, то температура поддерживается около 100^0 Ц.

Наконецъ, чтобы оправа, въ которую вдѣланы платиновые наконечники, не страдала отъ высокой температуры, она окружена водяной рубашкой, черезъ которую проходитъ непрерывный токъ воды, поступающей черезъ патрубокъ x и выходящей черезъ y .

На черт. 16 показана эта часть прибора въ ея конструктивномъ выполненіи; одинаковыми буквами обозначены тѣ же части, что и на черт. 15. Отверстія a и b дѣлаются діаметромъ въ 0,4 мм..

На точность показаній длина трубки l отъ отверстія a до b не имѣетъ вліянія;



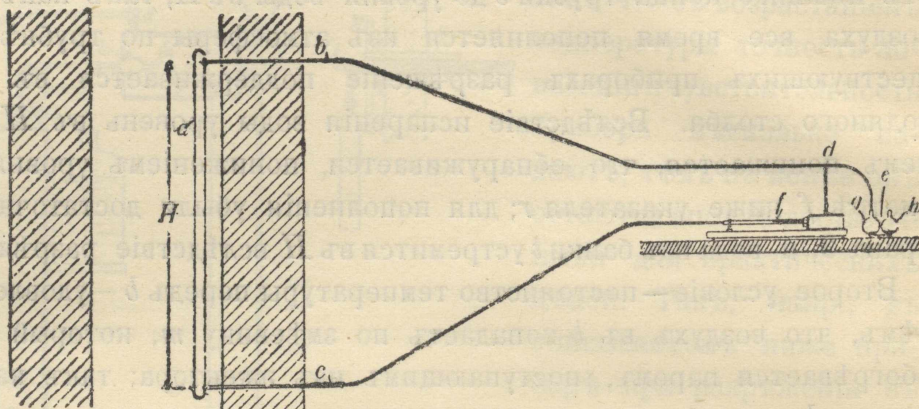
Черт. 16.

надо лишь, чтобы все соединенія были совершенно плотны. Трубку ll можно брать длиной до 150 мт., при діаметрѣ ея въ $3/8''$; такимъ образомъ этотъ пирометръ пригоденъ и для отчетовъ на разстояніи.

Предѣлы температуръ, для которыхъ онъ можетъ служить, отъ 100^0 до 1650^0 Ц. (на черт. 15 показана шкала Фаренгейта); при этомъ по наблюденіямъ проф. Дентона при наивысшей температурѣ точность показаній не менѣе $\pm 1,5^0/0$; по мѣрѣ пониженія температуры точность возрастаетъ. Градуировка шкалы производится, конечно, опытнымъ путемъ, сравненіемъ съ какимъ нибудь другимъ приборомъ. Относительно чувствительности прибора было уже сказано выше.

Въ заключеніе можно еще упомянуть объ измѣреніи температуръ при помощи особенно чувствительнаго манометра съ жидкостью. Схема такой установки въ примѣненіи къ дымовой трубѣ представлена на

черт. 17: *a* вертикальная, закрытая съ обоихъ концовъ трубка изъ мѣди, фарфора или платины, смотря по вы-



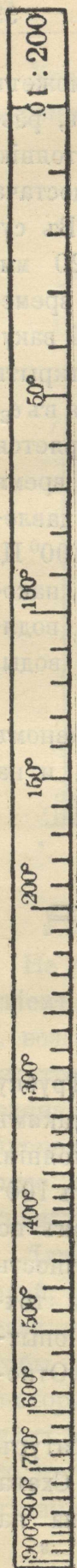
Черт. 17.

сотъ измѣряемой температуры; у концовъ въ *a* придѣланы два горизонтальныхъ патрубковъ *b* и *c* изъ того же материала; при помощи этихъ патрубковъ и резиновыхъ или мѣдныхъ тонкихъ трубокъ внутренняя полость *a* сообщается съ двумя патрубками микроманометра Крелля, который показываетъ давленіе, соответствующее высотѣ *H* столба воздуха; чѣмъ выше температура воздуха въ *a*, тѣмъ онъ легче, и тѣмъ больше высота столба жидкости въ трубкѣ *f*, сообщаемой съ патрубкомъ *c*. Здѣсь не мѣсто описывать весьма остроумное устройство этого микроманометра; ограничимся лишь указаніемъ шкалы, градуированной прямо на $^{\circ}\text{C}$. для прибора, въ которомъ измѣрительная трубка имѣетъ наклонъ 1:200, а высота $H = 1000$ мм., черт. 18.

Черт. 18.

Чтобы давленіе воздуха въ *a* всегда равнялось атмосферному, къ соединительной трубкѣ присоединяется при помощи тройника *d* регуляторъ давленія *e*, состоящій изъ двухъ открытых сверху, сообщающихся внизу стеклянныхъ шариковъ, образующихъ водяной запоръ; при повышеніи температуры и связанномъ съ этимъ расширеніи воздуха въ *a* избытокъ его выходитъ черезъ *e* наружу, при пониженіи температуры воздухъ, наоборотъ, черезъ *e* засасывается въ *a*.

Микроманометръ можно устанавливать на разстояніи нѣсколькихъ метровъ отъ трубки *a*, что является лишнимъ достоинствомъ этого прибора, весьма удобнаго, правда, лишь для извѣстныхъ случаевъ, какъ-то: для измѣренія темпера-



туръ въ вертикальныхъ каналахъ, дымоходахъ, стоякахъ трубопроводовъ съ горячимъ воздухомъ и т. д..

О чувствительности и точности показаній можно судить по шкалѣ, представленной на черт. 18 въ натуральную величину.

Приборы съ жидкостями.

6. Подраздѣленіе.—Приборы, въ которыхъ рабочимъ тѣломъ является жидкость, можно подраздѣлить на двѣ группы: къ первой относятся приборы, при помощи которыхъ температура измѣряется по видимому увеличенію объема жидкости, ко второй приборы, показывающіе температуру по сопряженному съ увеличеніемъ объема въ замкнутомъ пространствѣ возрастанію давленія жидкости; такъ какъ при высокихъ температурахъ жидкость въ этихъ приборахъ переходитъ въ парообразное состояніе, то эти приборы являются какъ бы переходной ступенью къ газовымъ пирометрамъ, работающимъ съ постояннымъ количествомъ и объемомъ.

Сперва разберемъ приборы первой группы, потомъ второй.

7. Стекланные термометры.—Въ качествѣ рабочаго тѣла можно пользоваться ртутью, спиртомъ, толуоломъ, петролейнымъ эфиромъ, пентаномъ и др..

Термометромъ со спиртомъ, обыкновенно подкрашеннымъ для яснаго отчета въ синій цвѣтъ, можно пользоваться отъ -100° до $+75^{\circ}$ Ц. Недостатокъ спиртового термометра въ томъ, что спиртъ смачиваетъ стекло, и потому при убывающей температурѣ, пока спиртъ весь не стечетъ, приборъ даетъ невѣрныя, уменьшенныя, показанія. Однако при измѣреніи температуръ ниже -10° спиртовой термометръ слѣдуетъ предпочитать ртутному, такъ какъ ртуть стансвится при этихъ температурахъ вязкой. Кромѣ того, спиртовой термометръ незамѣнимъ для измѣреній въ полѣ переменныхъ токовъ, такъ какъ ртутный даетъ въ этомъ случаѣ невѣрныя показанія подъ вліяніемъ вихревыхъ токовъ.

Вмѣсто спирта термометры наполняютъ часто толуоломъ $C_6H_5CH_3$; область измѣренія такого прибора — 100° до $+50^{\circ}$ Ц. Для особенно низкихъ температуръ, до -200° Ц., термометръ наполняютъ петролейнымъ эфиромъ или пентаномъ C_5H_{12} .

Наиболѣе распространеннымъ приборомъ для измѣренія температуръ является стекланный ртутный термометръ, состоящій изъ нижняго сосуди́ка, шарика, и волосной трубки, снабженной шкалой, которая нанесена или на самой трубкѣ или на особой, расположенной

рядомъ съ ней пластинкѣ. Для измѣренія температуры жидкостей трубка вмѣстѣ со шкалой заключается въ стеклянную же трубку-кожухъ. Для лучшей видимости ртутнаго столбика волосная трубка обыкновенно сильно сплюснута.

При выборѣ сорта стекла нужно имѣть въ виду два основныхъ требованія: коэффициентъ расширенія стекла долженъ быть возможно равномеренъ и малъ, и термическое послѣдѣйствіе стекла должно быть по возможности мало. Термическимъ послѣдѣйствіемъ называется остающееся на нѣкоторое время измѣненіе плотности стекла подъ вліяніемъ измѣненія температуры и сопряженное съ этимъ измѣненіе емкости сосуда съ ртутью, влекущее за собой перемѣщеніе основныхъ точекъ (0^0 и 100^0), а слѣдовательно и всей шкалы прибора. Объясняется это явленіе молекулярными перемѣщеніями, происходящими въ стеклѣ въ теченіе продолжительнаго времени послѣ того, какъ стекло было подвергнуто дѣйствию иной температуры. Такъ, емкость сосуда послѣ изготовленія прибора уменьшается въ теченіе большого промежутка времени, иногда нѣсколькихъ лѣтъ; это даетъ непрерывное повышеніе всѣхъ показаній прибора. Наоборотъ, всякое нагрѣваніе вызываетъ временное пониженіе показаній. Тщательными опытами Германскаго Имперскаго Физико-Техническаго Института установлено, что пониженіе показаній исчезаетъ тѣмъ быстрѣе, чѣмъ выше температура, которую термометръ имѣлъ передъ погруженіемъ въ тающій ледъ; въ виду этого при опредѣленіи основныхъ точекъ нужно сперва опредѣлять 100^0 и затѣмъ возможно быстро переносить термометръ въ тающій ледъ.

Величина послѣдѣйствія, а также и временныхъ пониженій особенно велика въ стеклахъ, содержащихъ свинецъ, а также въ стеклахъ, содержащихъ калий и натрій одновременно, которыя поэтому для термометровъ не годятся; такимъ образомъ наилучшими являются тугоплавкія стекла.

Измѣненіе основныхъ точекъ въ значительной мѣрѣ уменьшается, если готовый термометръ подвергнуть очень продолжительному, въ теченіе нѣсколькихъ недѣль, отжигу въ парахъ сѣры, ртути или кадмія. Обработанные такимъ способомъ французскіе термометры снабжаются надписью «resuit».

Указаннымъ требованіямъ удовлетворяютъ такимъ образомъ далеко не всѣ сорта стекла.

Хорошіе термометры дѣлаются въ Германіи изъ іенскаго стекла, такъ наз. нормальнаго термометрическаго, или изъ стекла марки 16^m или еще лучшаго сорта — боросиликатоваго 59^m; для очень высокыхъ температуръ, свыше 500^0 и до 575^0 , примѣняется болѣе тугоплавкое іенское сожигательное

стекло (Verbrennungsglas). Въ послѣднее время ртутные термометры стали дѣлать даже до $+ 750^{\circ}$ Ц., употребляя для этого кварцевое стекло; впрочемъ эти термометры не могутъ получить сколько нибудь значительнаго распространенія вслѣдствіе своей чрезвычайной дороговизны. Французскіе хорошіе термометры дѣлаются изъ особаго тугоплавкаго стекла, «verre dur».

Что касается расширенія ртути, то, какъ уже упоминалось, она расширяется тоже не вполнѣ равномерно, хотя и равномерно другіхъ жидкостей; именно коэффициентъ расширенія ея растетъ съ температурой. Германскимъ Имперскимъ Физико-Техническимъ Институтомъ найдено, что у вполнѣ цилиндрической трубки изъ іенскаго стекла 59^м, у которой промежутокъ 0° — 100° , принимая во вниманіе расширеніе и ртути и стекла, равенъ, напр., 100 мм., показанія 200° , 300° , 400° и 500° Ц. соотвѣтствуютъ уже не 200, 300, 400 и 500 мм., а 200,4, 304,1, 412,3 и 527,8 мм. выше 0° . Это увеличеніе коэффициента расширенія ртути, конечно, принимается во вниманіе при изготовленіи термометровъ.

Особое преимущество ртути надъ другими жидкостями состоитъ въ томъ, что ее легко имѣть абсолютно чистой отъ всякихъ примѣсей. Благодаря этому достигается полная сравнимость показаній термометровъ различнаго происхожденія.

Другое преимущество—широкіе предѣлы температуръ: обыкновенный ртутный термометръ съ безвоздушной волосной трубкой можно употреблять отъ -35° до $+ 330^{\circ}$, даже 340° Ц.; при 357° ртуть закипаетъ. Для повышенія верхняго предѣла повышаютъ точку кипѣнія ртути, наполняя пространство надъ ртутью какимъ нибудь индифферентнымъ относительно нея газомъ, азотомъ или углекислотой, подъ давленіемъ въ 10—25 атм.. При этомъ получается возможность измѣрять температуры до 550° даже 575° , а при кварцевомъ стеклѣ и до 750° Ц. Однако присутствіе газа надъ ртутью отзывается на точности показаній низкихъ температуръ, такъ что такими приборами слѣдуетъ пользоваться лишь для температуръ свѣше 300° Ц.

Наконецъ, надо упомянуть о соотношеніи емкости сосуда и размѣровъ волосной трубки. Для увеличенія чувствительности термометра въ смыслѣ указанія малыхъ измѣненій температуръ сосудъ надо брать большой емкости, а трубку—малого сѣченія; впрочемъ, при слишкомъ тонкой трубкѣ чрезмѣрно возростають сопротивленія движенія ртути. Съ другой стороны, для того, чтобы показанія термометра возможно меньше отставали по времени отъ измѣненій температуры, емкость сосуда должна быть возможно малой. Равнымъ образомъ большой сосудъ съ

соотв. большимъ количествомъ ртути отнимаетъ много тепла отъ тѣла, температуру котораго требуется опредѣлить, что можетъ повлечь за собой замѣтное пониженіе этой температуры. Въ зависимости отъ соотношенія емкости сосуда и сѣченія трубки находится длина l^0 , которая обычно колеблется отъ 0,7 мм. при дѣленіяхъ въ цѣлые градусы, до 6—7 мм. при дѣленіи въ $0,1^0$; въ термометрахъ для калориметрическихъ цѣлей съ дѣленіями въ $0,01^0$ длина l^0 доходитъ до 70 мм..

Въ хорошихъ приборахъ емкость сосудовъ дѣлается въ 50—60 разъ больше емкости трубки отъ 0^0 до 100^0 .

8. Поправки показаній ртутнаго термометра.—При научныхъ изслѣдованіяхъ, когда требуется опредѣлить температуру съ точностью до $0,1^0$ или даже еще точнѣе, показанія даже лучшаго, нормальнаго термометра, снабженнаго свидѣтельствомъ изъ Германскаго Имперскаго Физико-Техническаго Института или другого официальнаго учрежденія, нуждаются въ цѣломъ рядѣ поправокъ

1, вліяніе термическаго послѣдствія учитывается самымъ надежнымъ способомъ тѣмъ, что вывѣряютъ возможно чаще основныя точки (0^0 и 100^0) и находятъ такимъ образомъ поправку λ_t , которую надо прибавить къ показанію прибора, исправленному уже согласно свидѣтельства или таблицы, составленной по сличенію даннаго прибора съ нормальнымъ. Способъ опредѣленія основныхъ точекъ указанъ ниже, въ отдѣлѣ вывѣрки приборовъ.

Строго говоря, измѣненіе положенія основныхъ точекъ наступаетъ при каждомъ измѣненіи измѣряемой температуры, т. е. каждой температурѣ соотвѣтствуетъ свое особое положеніе основныхъ точекъ. Такимъ образомъ поправку на приниженіе нуля надо вводить при каждомъ отчетѣ температуры; только вводя эту поправку, получимъ согласные между собой и съ газовой шкалой результаты при измѣреніи температуръ различными, по составу стекла и величинѣ приниженія, термометрами. Для полученія этихъ поправокъ самое надежное свѣрить данный приборъ при различныхъ температурахъ съ газовымъ и составить соотв. таблицу поправокъ. Гюйомъ составилъ такую таблицу для французскаго термометра изъ verre dur; приниженіе доходитъ при 100^0 почти до $0,1^0$. Нѣмецкіе изслѣдователи даютъ эмпирическія формулы, напр., вида

$$\lambda_t = at + bt^2; \quad (39)$$

для стекла 16^m Бѣтхеръ даетъ $a = 0,00071$, $b = 0,00008$; это даетъ при 100^0 величину $\lambda_t = 0,871^0$. Для стекла 59^m a и b нѣсколько меньше.

Если только возможно, эту поправку лучше всего опредѣлять непосредственно наблюденіемъ.

2, поправка на неравноѣрное расширеніе ртути, т. е. на отклоненіе показанія отъ газовой шкалы, если при строго цилиндрической трубкѣ длина cadaго градуса постоянна. Какъ уже указано раньше, для термометровъ выше 200^0 расширеніе ртути принимается во вниманіе при самомъ изготовленіи шкалы. Термометры до 100^0 можно исправлять, пользуясь особыми таблицами или графическимъ изображеніемъ, черт. 1.

Если указанная выше таблица поправокъ на измѣненіе основныхъ точекъ составлена при помощи сличенія съ газовымъ термометромъ, то и эта поправка вошла въ нее сама собой.

3, поправка на вліяніе давленія. Сосудъ съ ртутью испытываетъ давленіе, внѣшнее — атмосферное и внутреннее — отъ столбика ртути. Вліяніе этихъ давленій взаимно противоположно, но оба они стремятся измѣнить емкость сосуда и тѣмъ сдвинуть основныя точки, а, слѣдовательно, и всю шкалу.

Если термометръ былъ градуированъ при высотѣ барометра 760 мм., то при иной высотѣ B надо ввести поправку

$$\mu' = -\beta'(B - 760), \quad (40)$$

гдѣ β' коэффициентъ, опредѣляемый опытнымъ путемъ. Численно β' колеблется отъ 0,0001 до 0,0002; для термометровъ изъ *verre dur* $\beta' = 0,000121$; для стекла 59^m $\beta' = 0,000152$. Такимъ образомъ вся поправка μ' не превосходитъ $0,01^0$ и ею можно почти всегда пренебрегать.

Давленіе ртутнаго столбика, раздавая сосудъ, понижаетъ показанія. Поправка можетъ быть вычислена въ видѣ

$$\mu'' = \beta'' l \frac{\delta}{\delta_0} \cos \alpha, \quad (41)$$

гдѣ l длина столбика ртути въ мм., δ_0 плотность ртути при 0^0 , и δ при измѣряемой температурѣ t , α уголъ оси термометра съ отвѣсной линіей; коэффициентъ β'' нѣсколько больше β' , такъ какъ къ расширенію сосуда присоединяется еще сжатіе самого ртутнаго столбика. Приблизительно можно считать

$$\beta'' = \beta' + 0,000015.$$

Непосредственное нахожденіе β'' производится путемъ наблюденія показаній термометра при 100^0 въ вертикальномъ и горизонтальномъ положеніи.

Для длиннаго термометра поправка β'' можетъ достигнуть до $0,1^0$.

Полная поправка $\mu = \mu' + \mu''$; она увеличивается, если надъ ртутью находятся слѣды газа, сжимаемаго при повышеніи температуры. Конечно, этой поправкой можно совершенно пренебрегать въ приборахъ для высокихъ температуръ, наполняемыхъ газомъ подъ большимъ давленіемъ.

4, поправка на выступающій столбикъ ртути. Нормально градуировка термометровъ производится такимъ образомъ, что вся ртуть подвергается дѣйствию соотв. температуры. Поэтому, если во время работы часть волосной трубки съ ртутью высывается наружу, то эта часть столбика ртути будетъ имѣть другую температуру, а, слѣдсва-тельно, и длина ея будетъ иная, чѣмъ еслибы она была вся погружена въ данную среду; вслѣдствіе этого показаніе термометра будетъ отличаться отъ истинной температуры, и надо ввести нѣкоторую поправку ν , называемую «поправкой на столбикъ»,

$$\nu = n(t' - t_c)\alpha, \quad (42)$$

гдѣ t' температура, которую показываетъ термометръ, t_c температура столбика, n число градусовъ, на которое столбикъ высунулся, α кажущійся коэффициентъ расширенія ртути, принимая во вниманіе расширеніе стеклянной трубки. Въ зависимости отъ состава стекла величина эта колеблется отъ $\alpha = 0,00027$ для обыкновеннаго іенскаго стекла и до $\alpha = 0,000155$ для стекла 59^m.

t_c измѣряется вспомогательнымъ термометромъ, который вѣшается рядомъ съ основнымъ такъ, чтобы его шарикъ приходился на половинѣ высоты высунутаго столбика. Если длина этого столбика не велика, то вслѣдствіе хорошей теплопередачи ртути средняя температура его будетъ выше наружной температуры t_c , вслѣдствіе чего нѣкоторые авторы считаютъ болѣе правильнымъ уменьшать α , именно брать $\alpha = 0,000135$. Существуютъ и другія выраженія для ν , чѣмъ ур-іе (41), но будучи болѣе сложнаго вида и потому менѣе удобны для практическаго пользованія, они тоже не даютъ вполне достовѣрной величины, почему мы ихъ здѣсь и не приводимъ.

При особенно точныхъ измѣреніяхъ поправка ν опредѣляется непосредственно термометромъ Мальке, въ которомъ сосудъ съ ртутью сдѣланъ въ видѣ тонкой длинной трубки. Термометры эти надо имѣть въ видѣ набора различной длины отъ 50 до 200 мм. и брать такой, чтобы длина трубки-сосуда равнялась высотѣ выдающагося столбика, тогда приборъ Мальке, повѣшенный рядомъ, дастъ непосредственно искомую поправку ν въ $^{\circ}$ Ц.

Поправка ν самая существенная изъ всѣхъ, и часто ею нельзя пренебрегать даже при неособенно точныхъ опытахъ. О величинѣ ошибки, устраняемой введеніемъ этой поправки, можно судить по слѣдующимъ примѣрамъ: измѣряется температура дымовыхъ газовъ, $t' = 378^0$; термометръ изъ іенскаго стекла, $\alpha = 0,0002$, былъ засунутъ въ борозъ до дѣленія 50^0 ; окружающая температура $t_c = +29^0$, тогда

$$\nu = (378 - 50)(378 - 29) \cdot 0,0002 = 23^0.$$

Показаніе 378^0 или 401^0 —большая разница, а примѣръ взятъ вовсе не крайній.

Въ подобныхъ случаяхъ ошибка можетъ дойти до 50^0 — 70^0 , т. е. термометръ можетъ показывать 550^0 , а дѣйствительная температура шарика будетъ 600^0 — 620^0 , когда стекло дѣлается уже тягучимъ, т. е. приборъ можетъ быть легко испорченъ, если забыть объ этой поправкѣ.

Однако и при менѣе высокихъ температурахъ поправкой на столбикъ нельзя пренебрегать; напр., пусть температура воды, поступающей въ рубашку газовой машины, $t_1' = 17,1^0$, а выходящей $t_2' = 59,6$, въ помѣщеніи же $t_c = 25^0$; тогда, если оба термометра высунуты отъ -5^0 , поправки составятъ: $\nu_1 = (17,1 + 5,0)(17,1 - 25,0) \cdot 0,0002 = -0,03^0$, а $\nu_2 = (59,6 + 5,0)(59,6 - 25,0) \cdot 0,0002 = -0,45^0$. Разность температуръ, по которой вычисляется теплота, унесенная водой, видимая $59,6 - 17,1 = 42,5^0$, а дѣйствительная на $0,03 + 0,45 = 0,48^0$ больше; ошибка равна $\frac{0,48}{42,5} \cdot 100 = 1,1\%$.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда не хотятъ производить поправки на столбикъ, видя на глазъ, что она не неособенно велика, по крайней мѣрѣ нельзя давать результаты опытовъ со многими десятичными знаками.

Впрочемъ въ такомъ случаѣ, когда надо измѣрить не абсолютную температуру, а лишь разность двухъ температуръ, и притомъ не очень сильно отличающихся одна отъ другой, ошибку можно почти уничтожить, если вставлять термометры такъ, чтобы столбики ртути у обоихъ высывались на одинаковое число градусовъ.

Казалось бы проще уже при калиброваніи или при вывѣркѣ термометра высовывать ртутный столбикъ на столько же, насколько онъ будетъ наружѣ при работѣ. Но такъ какъ температура столбика, равная приблизительно температурѣ окружающаго воздуха, можетъ измѣняться тоже въ широкихъ предѣлахъ, то такой способъ мало надеженъ. Только термометры для температуръ выше 200^0 иногда градуируются «при выступающемъ столбикѣ», такъ какъ колебанія

температуры воздуха ничтожны по сравненію съ такими высокими измѣряемыми температурами. У такихъ термометровъ нужно соблюдать условіе, чтобы весь столбикъ былъ наружѣ; это не всегда удобно, и потому иногда дѣлаютъ часть трубки отъ шарика безъ дѣленій; эта часть и должна быть вся погружена въ среду, температура которой измѣряется.

9. Конструкціи ртутныхъ термометровъ.—Главные части каждого стекляннаго термометра были указаны выше.

Подобно газовымъ термометрамъ и ртутные можно разбить на двѣ группы: на нормальные приборы, которыми пользуются лишь для вывѣрки другихъ, и на рабочіе термометры, служащіе для непосредственнаго измѣренія температуръ. Помимо особой тщательности изготовленія нормальные термометры должны удовлетворять и нѣкоторымъ особымъ конструктивнымъ требованіямъ.

Германское Имперское Учрежденіе выработало слѣдующія условія для нормальныхъ термометровъ: главные нормальные пирометры—ртутные съ точками 0^0 и 100^0 на шкалѣ, которые можно калибровать сами по себѣ, безъ помощи другихъ приборовъ; дѣленія должны быть строго одинаковой длины; ошибки въ дѣленіяхъ, въ калибрѣ, допускаются не болѣе $0,05$ наименьшаго дѣленія; ширина штриха не болѣе $0,1$ дѣленія, волосная трубка должна кончаться уширеніемъ, изъ котораго выкаченъ воздухъ вполнѣ. Градуировка этихъ термометровъ производится по крайней мѣрѣ черезъ каждые 10^0 . Допускаемая наибольшія ошибки въ шкалѣ составляютъ:

- 1, для основныхъ точекъ $0,10^0$,
- 2, для ошибокъ въ калибрѣ разница наибольшихъ отклоненій $0,25^0$,
- 3, приниженіе точки 0^0 послѣ получасового нагрѣванія при 100^0 по истеченіи 5 минутъ нахожденія термометра въ тающемъ льду не болѣе $0,10^0$ Ц.

Нормальные термометры иногда градуируются такъ, что при нанесеніи дѣленій принимаются во вниманіе ошибки въ трубкѣ и поправки на газовую шкалу; такіе приборы называются тоже нормальными перваго разряда, но уже не главными.

Нормальными термометрами второго разряда называются приборы, поправки къ которымъ нельзя опредѣлить сами по себѣ, а лишь сличеніемъ съ главнымъ нормальнымъ термометромъ; кромѣ того, и ошибки въ дѣленіяхъ въ нихъ допускаются нѣсколько большія. Собственно говоря это уже не нормальные, а лишь хорошіе рабочіе приборы.

Чтобы рабочіе термометры не получались слишкомъ длинными, но чтобы вмѣстѣ съ тѣмъ для точной вывѣрки имѣлись обѣ основныя точки,

шкалу дѣлають часто укороченной; для этого замѣняютъ расширеніемъ часть волосной трубки послѣ 0^0 , соответствующую расширенію ртути до температуры, отъ которой должны начаться дѣленія шкалы.

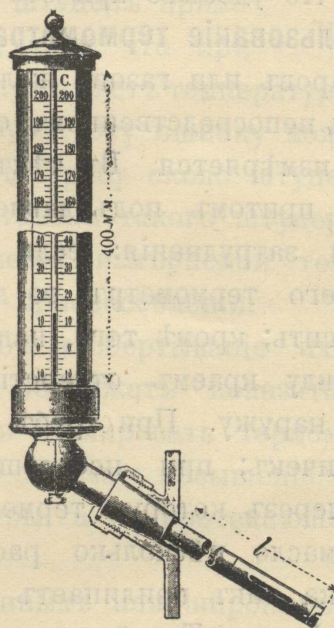
Наоборотъ, для техническихъ цѣлей нерѣдко желательно, чтобы начало шкалы отстояло отъ шарика съ ртутью на значительномъ разстояніи, напр., для измѣренія температуръ въ каналахъ и дымоходахъ, когда термометръ надо просунуть черезъ отверстіе въ стѣнкѣ значительной толщины. Эта часть волосной трубки отъ шарика до начала дѣлается длиной до 50 см., иногда же и до 100 и даже до 200 см..

Въ смыслѣ конструкции термометры можно разбить еще на двѣ группы: на термометры со шкалой и на палочные термометры. У первыхъ позади тонкой волосной трубки находится шкала, обыкновенно изъ молочнаго стекла; волосная трубка вмѣстѣ со шкалой окружена второй стеклянной трубкой — кожухомъ.

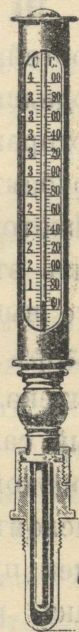
Палочные термометры состоятъ изъ одной лишь волосной, но очень толстостѣнной трубки, наружнаго діаметра 4—10 мм.; дѣленія наносятся прямо на трубкѣ въ видѣ углубленныхъ черточекъ, заполненныхъ черной краской. Преимущества палочныхъ термометровъ — большая прочность, меньшій наружный діаметръ и невозможность случайнаго перемѣщенія шкалы; недостатокъ — краска на дѣленіяхъ легко стирается и возобновить ее довольно трудно.

Употребляемые въ технику термометры часто снабжаются металлическимъ кожухомъ для предохраненія отъ механическаго поврежденія. Нижняя часть кожуха, окружающая самый шарикъ, дѣлается или съ прорѣзями или закрытой и наполненной для теплопередачи масломъ, ртутью или мелкими металлическими опилками для температуръ выше 300^0 . Термометръ перваго рода, для измѣренія температуры газовъ въ дымоходахъ, представленъ на черт. 19; длину вставляемой части l можно имѣть отъ 150 до 1500 мм., уголъ наклона — отъ 0^0 до 90^0 . Термометръ второго рода, для ввертыванія въ трубопроводъ перегрѣтаго пара, показанъ на черт. 20; длина $l \geq 80$ мм.

Наконецъ, надо еще упомянуть о термометрахъ, которые рабо-

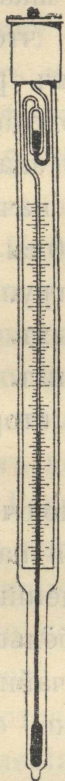


Черт. 19.



Черт. 20.

таютъ съ переменнымъ количествомъ ртути. Это приборы съ очень мелкими дѣленіями въ $0,01^{\circ}$ или даже еще мельче, которые во избѣжаніе слишкомъ длинной шкалы дѣлаются для небольшихъ предѣловъ



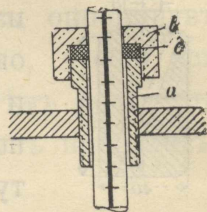
температуръ, всего на $6-8^{\circ}$ (длина термометра 350 до 700 мм.). Чтобы термометромъ, устроеннымъ, напр., для предѣловъ температуръ отъ $+5$ до $+11^{\circ}$, пользоваться для иныхъ, болѣе высокихъ предѣловъ, напр., отъ 50 до 56° , часть ртути перегоняютъ въ верхнее уширеніе. Благодаря этому столбикъ ртути какъ бы укоротится, и, когда конецъ его будетъ стоять противъ дѣленія 5° , это будетъ соответствовать уже, напр., 50° . При перегонкѣ малаго количества ртути разность отчетовъ будетъ по прежнему показывать достаточно точно разность температуръ въ $^{\circ}\text{C}$, а чтобы узнать абсолютное число градусовъ при такихъ отчетахъ, приборъ надо сравнивать съ нормальнымъ термометромъ. При перегонкѣ большихъ количествъ, надо заново опредѣлять цѣну дѣленій.

На черт. 21. изображенъ термометръ Бекмана, въ которомъ отдѣленіе части столбика ртути дѣлается особенно легко. Иногда термометръ Бекмана дѣлается со шкалой, раздѣленной не на доли градуса, а на миллиметры или просто на извѣстное число, напр., 1000 равныхъ частей,

Черт. 21. что удобнѣе при отсчитываніи разности температуръ.

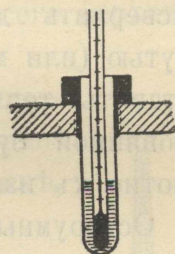
10. Пользованіе термометрами.—При измѣреніи температуръ жидкостей, паровъ или газовъ желательно, чтобы шарикъ съ ртутью находился въ непосредственномъ соприкосновеніи съ тѣломъ, температура котораго измѣряется. Въ тѣхъ случаяхъ, когда это тѣло течетъ по трубамъ и притомъ подъ давленіемъ, такое введеніе представляетъ нѣкоторыя затрудненія: если въ трубѣ высверлить отверстіе и вставить въ него термометръ, то давленіе въ трубкѣ будетъ стремиться его выбросить; кромѣ того, надо заполнить какой нибудь набивкой зазоръ между краемъ отверстія и термометромъ, чтобы жидкость не вытекала наружу. При трубѣ большого діаметра можно сдѣлать особый сальничекъ; при небольшой трубѣ можно обойтись резиновой пробкой, черезъ которую термометръ просовываютъ, смазавъ его слегка масломъ; масло нѣсколько растворяетъ резину, и черезъ нѣсколько дней пробка такъ прилипаетъ къ стеклу, что ее нельзя снять иначе, какъ разрѣзавъ. Такой термометръ съ слегка конической пробкой вставляется возможно туго въ отверстіе, которое полезно слегка надрѣзать метчикомъ; привязывая пробку къ трубѣ проволокой, можно такимъ способомъ вставлять термометръ даже до довольно большого

давленія въ трубѣ. Если термометръ приходится вставлять въ данное отверстіе и удалять довольно часто, то лучше устроить зажимъ въ родѣ употребляемыхъ для водомѣрныхъ стеколъ, черт. 22: въ трубу впаиваютъ или плотно ввертываютъ кусочекъ мѣдной трубки *a* съ рѣзью на утолщенномъ наружномъ концѣ; нажимная гайка *b* давитъ на резиновое кольцо *c* и тѣмъ даетъ требуемую плотность; термометръ удерживается силой тренія; кромѣ того, можно приклеить къ нему резину, какъ и выше, смазавъ его масломъ. Когда термометръ вынуть, подъ гайку *b* подкладывается жестяной или картонный кружокъ.



Черт. 22.

При очень большихъ давленіяхъ приходится отказываться отъ непосредственнаго введенія и пользоваться штуцеркомъ въ родѣ показаннаго на черт. 23. Штуцерокъ дѣлается изъ мѣдной трубки и наполняется масломъ; для лучшей теплопередачи масло замѣняютъ иногда ртутью; въ такомъ случаѣ штуцеръ долженъ быть, конечно, желѣзный; при болѣе высокихъ температурахъ сверхъ ртути наливаютъ масло, чтобы избѣжать испаренія ея. Въ вертикальную трубу штуцеръ вставляется наклонно подъ угломъ въ $30-45^{\circ}$. Недостатокъ такого способа введенія состоитъ въ томъ, что часть теплоты переходитъ черезъ штуцеръ прямо къ трубѣ и отъ послѣдней излучается, такъ что при высокихъ температурахъ парикъ термометра имѣетъ температуру нѣсколько ниже, чѣмъ среда, движущаяся по трубѣ. Эту ошибку можно уменьшить, даже почти уничтожить, обернувъ трубу около штуцера тепло- непроницаемымъ слоемъ. Другой недостатокъ такого штуцера—отставаніе показаній термометра отъ измѣненій измѣряемой температуры вслѣдствіе большой теплоемкости всего приспособленія.

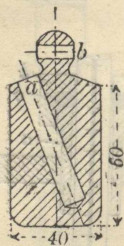


Черт. 23.

Прикладываніе термометра къ трубѣ и обертываніе ихъ мѣдной проволокой для лучшей теплопередачи не можетъ показать температуры внутри трубы, какъ бы хорошо ни изолировать термометръ отъ лучеиспусканія. Этимъ способомъ можно отмѣчать повышение или пониженіе температуры лишь стѣнокъ трубы, а не протекающей по ней жидкости.

При измѣреніи температуры въ длинныхъ или широкихъ каналахъ иногда нельзя достать до изслѣдуемаго мѣста даже длиннымъ термометромъ; тогда можно прибѣгнуть къ вспомогательному металлическому тѣлу, черт. 24; это цилиндрикъ, лучше всего изъ желѣза или чугуна, какъ достаточно теплоемкаго, но въ тоже время не слишкомъ тепло-

проводнаго матеріала, т. е. не очень быстро остывающаго, съ діаметромъ около 40 мм., высверленнымъ углубленіемъ *a*, куда наливается ртуть, и ушкомъ *b*, въ которое вдѣвается конецъ желѣзнаго прута, на которомъ цилиндрикъ вставляется въ изслѣдуемое пространство. Минуть черезъ 10—15, когда онъ приметъ искомую температуру, его быстро вынимаютъ и погружаютъ въ *a* ртутный термометръ, наибольшій подъемъ ртути въ которомъ покажетъ искомую температуру. Конечно, этотъ способъ даетъ нѣсколько преуменьшенную температуру, но при умѣломъ пользованіи ошибка невелика.



Черт. 24.

Если измѣряемая температура выше 350° Ц., то ртуть въ *a* закипитъ, вмѣсто нея надо тогда взять свинецъ или цинкъ.

Чтобы измѣрить температуру твердаго тѣла, напр., вкладыша подшипника или якоря электродвигателя послѣ работы, лучше всего высверлить для этого въ данной детали отверстие, наполнить его ртутью (или масломъ, если матеріалъ тѣла амальгамируется ртутью) и вставить термометръ. Менѣе надежно обернуть шарикъ термометра оловянной бумагой для лучшей теплопередачи и, прижавъ возможно плотно къ измѣряемому тѣлу, сверху прикрыть хорошенько ватой.

Остроумный способъ опредѣленія высокихъ температуръ при помощи стекляннаго ртутнаго термометра предложилъ Каріо: надо наблюдать по секундомѣру время, въ теченіе котораго столбикъ ртути поднимается на опредѣленное число градусовъ. Скорость подъема ртути въ каждомъ термометрѣ находится въ зависимости отъ высоты температуры; эту зависимость можно найти, или одновременно измѣряя температуру какимъ нибудь пирометромъ, или производя рядъ такихъ наблюдений при разныхъ температурахъ (въ предѣлахъ шкалы даннаго термометра) и продолживъ дальше полученную такимъ путемъ кривую скоростей.

Въ заключеніе нужно упомянуть еще о разрывѣ ртутнаго столбика. Волосная трубка обыкновенно оканчивается вверху расширеніемъ, въ которое ртуть попадаетъ, если термометръ нагрѣтъ выше своей предѣльной температуры; безъ этого расширенія онъ лопнулъ бы. Во время работы надо слѣдить, чтобы въ этомъ расширеніи не оставалось ртути, такъ какъ иначе показанія термометра будутъ меньше дѣйствительной температуры. Если ртуть не совсѣмъ чиста, то часть столбика можетъ оторваться вслѣдствіе удара, напр., при пересылкѣ, и безъ нагрѣванія. Чтобы соединить столбикъ, можно слегка постукивать нижнимъ концомъ термометра о столъ (дерево)

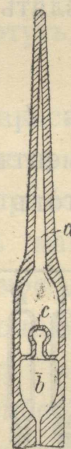
или, держа въ правой рукѣ, сильно и рѣзко ударять ее объ лѣвую, или воспользоваться центробѣжной силой: держа термометръ за верхній конецъ, быстро размахивать рукой.

Въ приборахъ до 250° Ц., въ которыхъ надъ ртутью безвоздушное пространство, разорвавшійся столбикъ можно соединить, опрокинувъ термометръ шарикомъ вверхъ и слегка постукивая его, чтобы вся ртуть стекла въ расширеніе на концѣ трубки. Если затѣмъ поставить термометръ шарикомъ внизъ, то ртуть стечетъ и разрывъ пропадетъ. Иногда эту операцію приходится повторить.

Въ приборахъ, наполненныхъ сверху газомъ подъ давленіемъ, разрывъ столбика происходитъ рѣже, почти исключительно вслѣдствіе нагрѣванія выше предѣльной температуры или слишкомъ быстрого остыванія. Въ этихъ приборахъ надо, осторожно нагрѣвая шарикъ съ ртутью на коптящемъ пламени, поднять уровень ртути до верхняго расширенія и затѣмъ дать медленно остывать. Операцію надо вести очень осторожно, чтобы ртуть отнюдь не наполнила всего верхняго расширенія, иначе приборъ разорветъ.

Если возможно по размѣрамъ оторвавшейся части столбика, то лучше дѣйствовать наоборотъ: охладить термометръ настолько, чтобы вся ртуть собралась въ шарикъ, конечно, при помощи постукиванія или встряхиванія.

Въ термометрахъ для очень высокихъ температуръ, свыше 500° , верхнее расширеніе съ газомъ имѣетъ оттянутый кончикъ *a*, черт. 25, который заливается послѣ наполненія газомъ шеллакомъ, а затѣмъ уже запаивается. Чтобы при нагрѣваніи, когда шеллакъ можетъ растопиться, онъ не могъ попасть въ волосную трубку, расширеніе на ея концѣ имѣетъ перегородку съ отверстіемъ *c* въ видѣ патрубочка. При чрезмѣрно высокой температурѣ ртуть, заполнивъ полость *b*, выльется черезъ отверстіе *c*; обратно ввести ее въ волосную трубку уже нельзя, и приборъ испорченъ.



Черт. 25.

11. Максимальные и минимальные термометры.—Хотя эти приборы употребляются преимущественно въ метеорологіи, но они могутъ быть полезны и въ технику. Обычно это стеклянные термометры, наполненные жидкостью (ртутью и спиртомъ), съ довольно тѣсными предѣлами температуръ— 40 до $+50^{\circ}$ Ц.

Максимальные термометры обыкновенно наполняются ртутью. Въ термометръ Резефорда съ горизонтальной волосной трубкой передъ (надъ) ртутью находится стальной цилиндрикъ, который не смачивается ртутью и при укорачиваніи столбика при паденіи температуры остается

въ занятомъ имъ положеніи; обратно цилиндрикъ отводятъ магнитомъ. Недостатокъ этого прибора въ томъ, что цилиндрикъ иногда прилипаетъ къ ртути, и тогда приборъ начинаетъ дѣйствовать какъ обыкновенный термометръ.

Въ другихъ максимальныхъ термометрахъ столбикъ ртути просто разорванъ; небольшой кусочекъ его отдѣленъ отъ остальной части пузырькомъ воздуха. При пониженіи температуры этотъ оторванный кусочекъ продолжаетъ показывать наивысшую температуру, достигнутую передъ тѣмъ приборомъ. Послѣ отчета оторванный кусочекъ приближается къ остальной части легкимъ постукиваніемъ—въ настѣнныхъ термометрахъ съ толстымъ капилляромъ, или встряхиваніемъ—въ медицинскихъ термометрахъ. Недостатокъ этихъ приборовъ: пузырекъ воздуха иногда проскакиваетъ вверхъ, и столбикъ соединяется.

Въ приборахъ Негретти и Замбра капилляръ въ нижней части перетянутъ суженіемъ, вслѣдствіе этого при пониженіи температуры весь столбикъ отрывается отъ главной массы ртути и остается въ капиллярѣ. Такъ какъ при пониженіи температуры столбикъ самъ по себѣ тоже укорачивается, то къ отчитываемой температурѣ надо прибавлять поправку, аналогичную ур-ю (42),

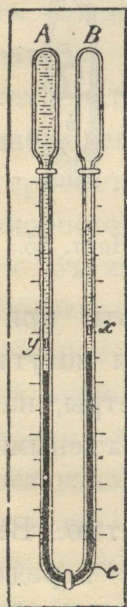
$$\Delta t = (t_1 - t_2) n. \alpha, \quad (43)$$

гдѣ t_1 показаніе прибора въ $^{\circ}\text{Ц.}$, t_2 температура въ помѣщеніи въ моментъ наблюденія, n полная длина оторванного столбика въ $^{\circ}\text{Ц.}$, α тотъ же коэффициентъ расширенія, что въ ур-и (42).

Минимальные термометры наполняются подкрашеннымъ спиртомъ или толуоломъ; у конца спиртового столбика въ капиллярѣ лежитъ тоненькая стеклянная палочка съ утолщеніями на концахъ; термометръ подвѣшивается въ горизонтальномъ положеніи. При повышеніи температуры спиртъ проходитъ мимо стеклянной палочки, а при пониженіи, вслѣдствіе смачиванія ея спиртомъ, увлекаетъ за собой. Обратно палочка перемѣщается легкимъ постукиваніемъ.

Обыкновенно максимальный и минимальный термометры (для наблюденія температуры въ помѣщеніи или для метеорологическихъ работъ) соединяются на общей дощечкѣ.

Для тѣхъ же цѣлей сконструированъ и приборъ Сикса, черт. 26: шарикъ *A* заполненъ спиртомъ, расширеніе котораго и служитъ измѣрителемъ температуры: въ шарикѣ *B* находится небольшое количество эфира, упругость паровъ котораго постоянно надавливаетъ на спиртъ столбикъ ртути *c*, раздѣляющій спиртъ отъ эфира. Назначеніе этого



Черт. 26.

столбика перемѣщать находящіеся надъ нимъ стальные цилиндрики x и y ; при повышеніи температуры останавливается, пропуская мимо себя расширяющійся спиртъ и показывая наинисшую температуру, цилиндрикъ y , при пониженіи—останавливается x . Послѣ отчета x и y снова придвигаются къ ртути при помощи магнитика.

12. Пирометры съ жидкостями.—Приборы для измѣренія болѣе высокихъ температуръ, примѣрно выше 300° — 400° Ц., принято называть пирометрами. Названіе это нѣсколько сбивчиво, такъ какъ съ введеніемъ ртутныхъ термометровъ, измѣряющихъ до 550° — 700° Ц., провести строго разницу между термометромъ и пирометромъ нельзя.

Ртутный пирометръ, или тальпотазиметръ основанъ на томъ, что при кипѣніи жидкости существуетъ вполне опредѣленное соотношеніе между давленіемъ и температурой паровъ. Желѣзный сосудъ, въ которомъ находится ртуть, соединяется желѣзной же волосной трубкой съ манометромъ, который эмпирически раздѣленъ на $^{\circ}$ Ц. При этомъ соединительная волосная трубка и пружинящая трубка манометра наполняются жидкой ртутью, конденсирующей тамъ какъ въ болѣе холодномъ пространствѣ. Количество ртути должно быть таково, чтобы при всѣхъ температурахъ въ сосудѣ оставалось еще жидкая ртуть, и пары ея были, слѣдовательно, насыщенные.

Тальпотазиметръ теоретически неточенъ, такъ какъ онъ зависитъ отъ давленія атмосферы и при разной высотѣ барометра будетъ давать разныя показанія: измѣряемая температура вызываетъ въ приборѣ нѣкоторое опредѣленное абсолютное давленіе, тогда какъ манометръ показываетъ не абсолютное, а лишь избыточное надъ атмосфернымъ давленіе. При болѣе точныхъ опытахъ надо вводить поправку на высоту барометра, опредѣливъ ее опытнымъ путемъ.

Такой приборъ, изготовляемый фирмой Шефферъ и Буденбергъ, примѣнимъ для температуръ отъ 300° до 750° Ц. (краснаго калѣнія желѣза). Тальпотазиметръ съ эфиромъ вмѣсто ртути примѣнимъ для температуръ отъ 50° до 180° Ц.

Если въ приборѣ въ родѣ тальпотазиметра заполнить ртутью въ холодномъ состояніи все пространство: сосудикъ, соединительную трубку и пружину манометра, то получимъ ртутный пирометръ, основанный на повышеніи давленія жидкой ртути вслѣдствіе невозможности ей свободно расширяться при повышеніи температуры. Шкала такого прибора дѣлится на $^{\circ}$ Ц. тоже эмпирически. Соединительную трубку, имѣющую наружный діаметръ около 6 мм., можно дѣлать до 50 мт. длиной и пользоваться этимъ приборомъ для отчетовъ на разстояніи. Впрочемъ температура ртути въ соединительной трубкѣ

вліяетъ на показанія прибора; ввести поправку въ этомъ случаѣ труднѣе, чѣмъ въ стеклянномъ термометрѣ; поэтому стараются, чтобы

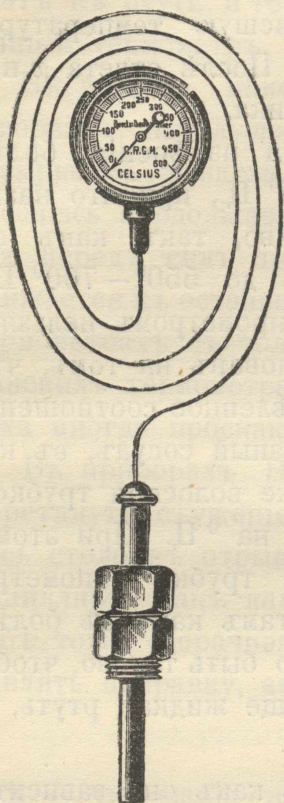
количество ртути въ соединительной трубкѣ и манометрѣ было возможно мало; кромѣ того, при колебаніяхъ температуры въ помѣщеніяхъ, черезъ которыя проходитъ трубка, послѣднюю слѣдуетъ хорошенько изолировать.

На черт. 27 представленъ подобный приборъ для измѣренія температуры перегрѣтаго пара съ трубкой, свернутой для пересылки. Въ тѣхъ случаяхъ, когда стальной сосудикъ съ ртутью подвергается дѣйствію кислотъ, его покрываютъ свинцовой оболочкой. Такіе приборы примѣнимы для температуръ отъ -20° до $+350^{\circ}$, если же верхняя часть манометрической пружины наполнена азотомъ подъ давленіемъ, то отъ $+50^{\circ}$ до $+600^{\circ}$ Ц.

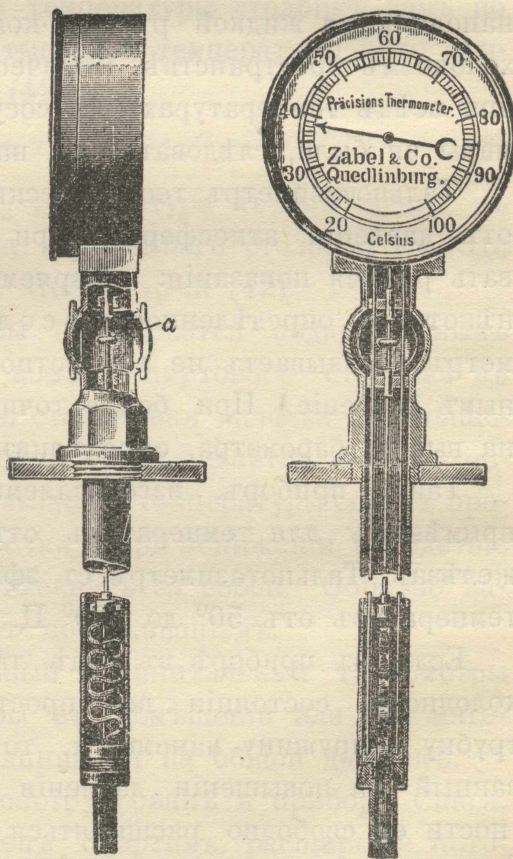
Вмѣсто обыкновеннаго манометра Бурдона нѣкоторые заводы придаютъ пружинѣ

особый видъ и закладываютъ ее въ цилиндрической стержень прибора. Таковъ, напр., пирометръ Цабеля, черт. 28 и 29: при нагреваніи трубка, изогнутая въ видѣ волнообразной ленты и вся заполненная ртутью, подъ давленіемъ послѣдней нѣсколько выпрямляется; это движеніе передается черезъ посредство зубчатаго сегмента стрѣлкѣ; вслѣдствіе своеобразнаго вида пружинящей трубки движеніе строго линейное и дѣленія шкалы поэтому равномерныя. Такой приборъ примѣнимъ до 1500° Ц. Для высшихъ темпера-

туръ пружина располагается въ кожухѣ указательнаго приспособленія, и нагреванію подвергается особый стальной сосудикъ, соединяемый съ пружиной тонкой стальной же трубкой. Съ азотомъ (15 атм.) сверхъ ртути, такой приборъ строится до 5000° Ц.



Черт. 27.

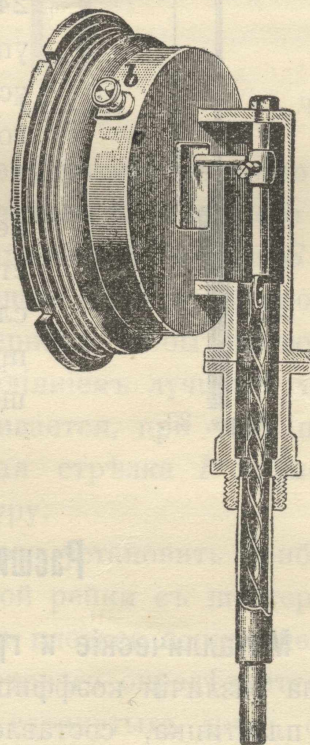
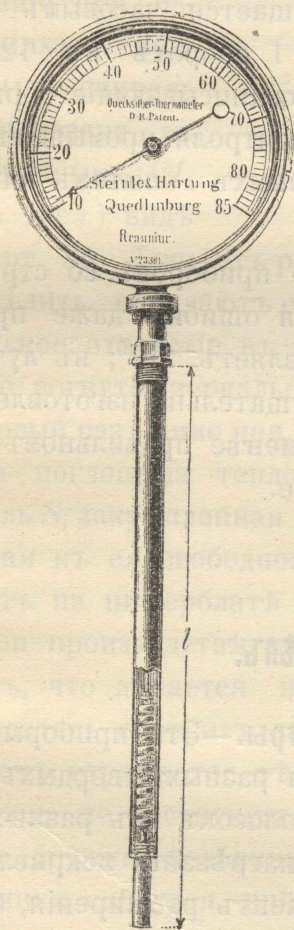


Черт. 28 и 29.

Пирометры Штейнле и Гартунгъ, черт. 30 и 31, основаны на томъ же принципѣ и отличаются лишь конструкціей пружинящей трубки, которая при повышеніи температуры нѣсколько раскручивается.

Заводъ Дрейеръ, Розенкранцъ и Дроопъ изготовляетъ приборы съ такой же спиральной трубкой для измѣреній отъ -20° до $+250^{\circ}$ Ц.; длина стержня l дѣлается отъ 70 до 3000 мм..

Фирма Вегенеръ и Махъ употребляетъ пружину, скрученную изъ стальной полый ленты, черт. 32; приборъ имѣетъ шкалу отъ -20° до $+500^{\circ}$ Ц.; какъ и всѣ предыдущіе, съ эмпирически нанесенными дѣленіями, его надо отъ времени до времени свѣрять съ точнымъ, нормальнымъ приборомъ и составлять таблицу поправокъ. Нѣкоторые изъ

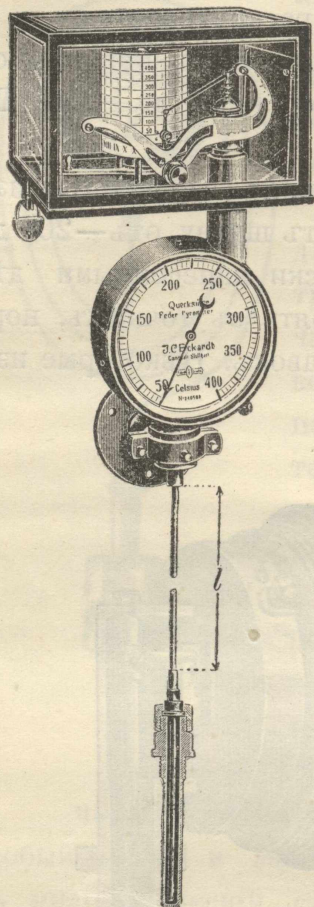


Черт. 30 и 31.

Черт. 32.

этихъ приборовъ имѣютъ приспособленіе, позволяющее нѣсколько передвигать стрѣлку для приведенія показаній въ болѣе близкое совпаденіе съ истинными температурами. Напр., приборъ по черт. 28 устанавливается поворачиваніемъ колесика a ; у пирометра по черт. 32 для этого надо вращать въ ту или другую сторону пуговку b .

Описанные приборы нерѣдко снабжаются второй—максимальной стрѣлкой, подталкиваемой основной при повышеніи температуры и остающейся на мѣстѣ при пониженіи ея.



Черт. 33.

Термометры и пирометры со стрѣлками дѣлаются часто самозаписывающими, черт. 33: рычагъ, приводимый въ дѣйствіе отъ того же механизма, что и стрѣлка, поднимаясь или опускаясь въ зависимости отъ температуры, чертитъ прикрѣпленнымъ къ его концу перомъ кривую на листѣ бумаги, надѣтомъ на барабанъ; барабанъ вращается часовымъ механизмомъ и дѣлаетъ 1 оборотъ въ 12 или 24 часа. Такіе самозаписывающіе приборы употребляются для контроля промышленныхъ установокъ; для точныхъ опытовъ они не годятся.

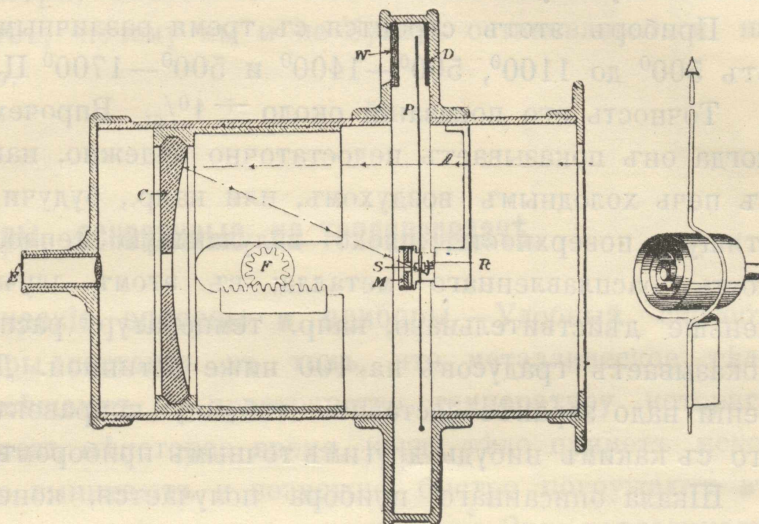
Вообще точность приборовъ со стрѣлкой не велика; возможная ошибка даже при частой провѣркѣ составляетъ $\pm 10^0$; въ лучшемъ случаѣ, у особенно тщательно изготовленнаго прибора, $\pm 5^0$, а при менѣе правильномъ обращеніи гораздо больше.

Расширеніе твердыхъ тѣлъ.

13. Металлическіе и графитовые пирометры.—Эти приборы основаны на различіи коэффициентовъ расширенія разныхъ твердыхъ тѣлъ: напр., пластинка, составленная изъ двухъ полосокъ изъ разныхъ металловъ, спаянныхъ другъ съ другомъ, при нагрѣваніи искривляется, при чемъ металлъ, имѣющій бѣльшій коэффициентъ расширенія, будетъ на выпуклой сторонѣ. Сдѣлавъ передачу этого движенія къ стрѣлкѣ циферблата и нанеся дѣленія эмперическимъ путемъ, можно отсчитывать температуру, до которой нагрѣта такая пластинка. Такіе приборы довольно распространены при метеорологическихъ наблюденіяхъ, такъ какъ ихъ очень легко сдѣлать самозаписывающими.

Для высшихъ температуръ такіе металлическіе приборы не строились.

Лишь въ самое послѣднее время появился подобный приборъ для измѣренія температуръ отъ 500° до 1700° ; это спиральный пирометръ Фэри, черт. 34 и 35. Приборъ этотъ состоитъ изъ двухъ узкихъ поло-
сокъ металла, ши-
риной всего въ
2 мм., имѣющихъ
различные коэф-
фициенты расши-
ренія, спаянныхъ
вмѣстѣ и сверну-
тыхъ въ спираль
для увеличенія де-
формаций при из-
мѣненіяхъ темпе-
ратуры; спираль
эта показана въ
увеличенномъ ($\frac{3}{1}$
натур. вел.) видѣ



Черт. 34.

Черт. 35.

на черт. 35. Лучи отъ раскаленного тѣла, температуру котораго хотятъ опредѣлить, попадаютъ сперва на вогнутое зеркало *C*, а съ него черезъ маленькое отверстіе въ зеркальцѣ *M* на спиральку *S*; позади *S* стоитъ второе вогнутое зеркальце *R*, вновь отражающее на *S* лучи, прошедшіе въ первый разъ мимо нея. Вся спираль *S* зачернена, чтобы она возможно лучше поглощала тепловые лучи. Подъ вліяніемъ лучистой теплоты спираль *S*, закрѣпленная въ центрѣ, раскручивается, при чемъ прикрѣпленная къ ея свободному концу алюминиевая стрѣлка *P* прямо показываетъ на циферблатѣ *D* соотв. температуру.

При производствѣ наблюденій надо сперва установить приборъ на фокусъ, что дѣлается при помощи зубчатой рейки съ шестерней *F*; наблюдатель смотритъ черезъ окуляръ *E* на плоское зеркальце *M*, въ которомъ отражается тѣло, температура котораго опредѣляется; пока установка не достигнута, въ *M* видны двѣ сдвинутыхъ другъ относительно дружки половинки изображенія раскаленного тѣла; когда эти половинки сойдутся, приборъ установленъ правильно.

При производствѣ отчетовъ сперва устанавливаютъ приборъ на фокусъ, затѣмъ закрываютъ переднее отверстіе прибора и особымъ приспособленіемъ устанавливаютъ на нуль стрѣлку, затѣмъ открываютъ объективъ и слѣдятъ за перемѣщеніемъ стрѣлки, которая сперва отклоняется очень быстро, а затѣмъ все медленнѣе и медленнѣе. Достигнувъ нѣкотораго дѣленія, которое и дастъ искомую температуру,

стрѣлка по-немногу начнетъ идти назадъ вслѣдствіе того, что весь приборъ постепенно нагрѣвается. Для слѣдующаго отчета надо вновь установить стрѣлку на нуль. На производство одного отчета идетъ около полуминуты.

Приборъ этотъ строится съ тремя различными шкалами дѣленій: отъ 500° до 1100° , 500° — 1400° и 500° — 1700° Ц.

Точность его показаній около $\pm 1^{\circ}/_{\circ}$. Впрочемъ возможны случаи, когда онъ показываетъ недостаточно надежно, напр., въ случаѣ дутья въ печь холоднымъ воздухомъ, или напр., будучи направленъ на блестящую поверхность, плохо излучающую тепло, какъ напр. поверхность расплавленнаго металла; въ этомъ случаѣ онъ показываетъ меньше дѣйствительнаго; напр. температуру расплавленной мѣди онъ показываетъ градусовъ на 100 ниже истинной. Для подобныхъ измѣреній надо заранѣе составить таблицу поправокъ, свѣряя показанія его съ какимъ нибудь другимъ точнымъ приборомъ.

Шкала описаннаго прибора получается, конечно, эмпирически, и потому ее нужно время отъ времени провѣрять. Въ общемъ приборъ очень удобенъ и при правильномъ обращеніи достаточно надеженъ.

Этотъ приборъ по наружному виду и по способу обращенія похожъ на описанные ниже свѣтовые пирометры.

Изъ приборовъ, основанныхъ на расширеніи твердыхъ тѣлъ, надо еще упомянуть о графитовыхъ пирометрахъ, подвергаемыхъ непосредственному дѣйствию изслѣдуемой температуры.

Изъ всѣхъ твердыхъ тѣлъ графитъ имѣетъ одинъ изъ наименьшихъ коэффициентовъ расширенія, поэтому удобно одну пластинку брать графитовую, другую металлическую (желѣзную); если соединить ихъ только на одномъ (нижнемъ) концѣ, то при нагрѣваніи разность удлиненія свободныхъ концовъ, передаваемая стрѣлкѣ, будетъ служить мѣриломъ достигнутой температуры.

Къ сожалѣнію, такіе пирометры очень скоро становятся невѣрными, особенно при нагрѣваніи выше 600° Ц., такъ какъ пластинки получаютъ остающееся удлиненіе. Даже при частой провѣркѣ точность показаній ихъ не болѣе $\pm 20^{\circ}$ Ц., а при менѣе внимательномъ обращеніи возможная ошибка еще больше.

Область ихъ примѣненія $+350^{\circ}$ до $+1000^{\circ}$ Ц., однако температурамъ выше 700° — 800° ихъ можно подвергать лишь на короткое время.

Одно время графитовые пирометры, изготавливаемые и до сихъ поръ очень многими заводами наравнѣ съ другими приборами, получили въ практикѣ довольно широкое, но совершенно незаслуженное распро-

страненіе. Недостатки ихъ: неточность, необходимость частой провѣрки, очень медленное слѣдованіе за колебаніями температуры въ виду большой массы измѣрительной части, легкая порча отъ удара и, наконецъ, громоздкіе размѣры; вмѣстѣ съ тѣмъ они не имѣютъ никакихъ особыхъ преимуществъ, почему мы и не будемъ останавливаться на нихъ болѣе подробно.

Приборы, основанные на теплопередачѣ.

14. Калориметрическіе способы и приборы.—Удобный способъ измѣреніе температуры состоитъ въ томъ, что металлическое тѣло извѣстной массы помѣщаютъ въ пространство, температуру котораго хотятъ измѣрить; черезъ нѣкоторое время, когда тѣло приметъ истинную температуру, его вынимаютъ и возможно быстро погружаютъ въ сосудъ, содержащій точно извѣстное количество воды. Зная теплоемкость c тѣла, его вѣсъ g , вѣсъ воды въ сосудѣ w , включая сюда и водяной эквивалентъ сосуда, имѣемъ при температурѣ воды до погруженія t_1 и конечной температурѣ тѣла и воды t_2 для опредѣленія температуры тѣла t до погруженія соотношение

$$cg(t-t_2) = w(t_2-t_1),$$

откуда

$$t = \frac{w}{cg}(t_2-t_1) + t_2. \quad (44)$$

Калориметръ Фишера, черт. 36 и 37, стр. 56, основанный на этой идеѣ, состоитъ изъ сосуда A изъ тонкой листовой мѣди діаметромъ въ 50 мм., высотой около 125 мм.; онъ подвѣшенъ въ деревянномъ ящикѣ m ; пространство между A и m заполнено волокнистымъ азбестомъ или стеклянной ватой B . Сверху A закрывается мѣдной крышкой съ двумя отверстіями: бѣльшее около 30 мм. въ діам. съ воронкой v для мѣшалки r и для опусканія металлическихъ цилиндриковъ, меньшее—для термометра t . Термометръ берется съ очень малымъ шарикомъ ртути съ шкалой $0^\circ-50^\circ$, подраздѣленной на $0,1^\circ$, карманъ s изъ продырявленнаго мѣднаго же листа предохраняетъ термометръ отъ ударовъ мѣшалкой; послѣдняя состоитъ изъ мѣднаго кружка, припаяннаго къ толстой мѣдной проволоки; наверху имѣетъ ручку, деревянную или костяную.

Примѣръ: до введенія цилиндрика термометръ показывалъ $16,1^0$, послѣ установился на $24,5^0$, подъемъ температуры $t_2 - t_1 = 8,4^0$, имѣемъ

$$\begin{array}{rcl} 8^0 & \text{соотвѣтствуетъ} & \dots \dots \dots 763^0 \\ 0,4 & \text{„} & 9 \times 0,4 = \dots \dots \dots 3,6 \\ & \text{конечная температура } t_2 = & \dots \dots \dots 24,5 \end{array}$$

$$\text{отсюда } t = \dots \dots \dots 791,1^0 \text{ Ц.}$$

Если примѣнять цилиндрикъ изъ платины, то можно опредѣлять температуру до 1600^0 . Если $w=250$, а $g=20$ гр., то можно пользоваться въ этомъ случаѣ для сбереженія времени таблицей 7.

Таблица 7.

$t_2 - t_1$ 0 Ц.	1	2	3	4	5
t „	369	696	995	1272	1530
на $0,1 (t_2 - t_1)$ „	33	30	28	26	

Для болѣе точныхъ опытовъ слѣдуетъ брать вдвое меньшій сосудъ, чтобы w равнялось 120 гр.; для этого случая надо пользоваться таблицей 8.

Таблица 8

$t_2 - t_1$ 0 Ц.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t „	368	519	670	820	963	1096	1230	1355	1473
на $0,1 (t_2 - t_1)$ „	17	15	15	14	14	13	13	12	

Помимо неизмѣняемости платиновые цилиндрики имѣютъ то преимущество, что при погруженіи ихъ вода не закипаетъ вслѣдствіе очень малой теплоемкости платины, и потому не происходитъ потери на испареніе.

Для лучшей теплопередачи цилиндрики часто дѣлаютъ не сплошными, а полыми, просверленными.

Калориметры Вейнгольда, Годлея и др. отличаются отъ описаннаго только деталями конструкціи; обращеніе съ ними совершенно одинаковое.

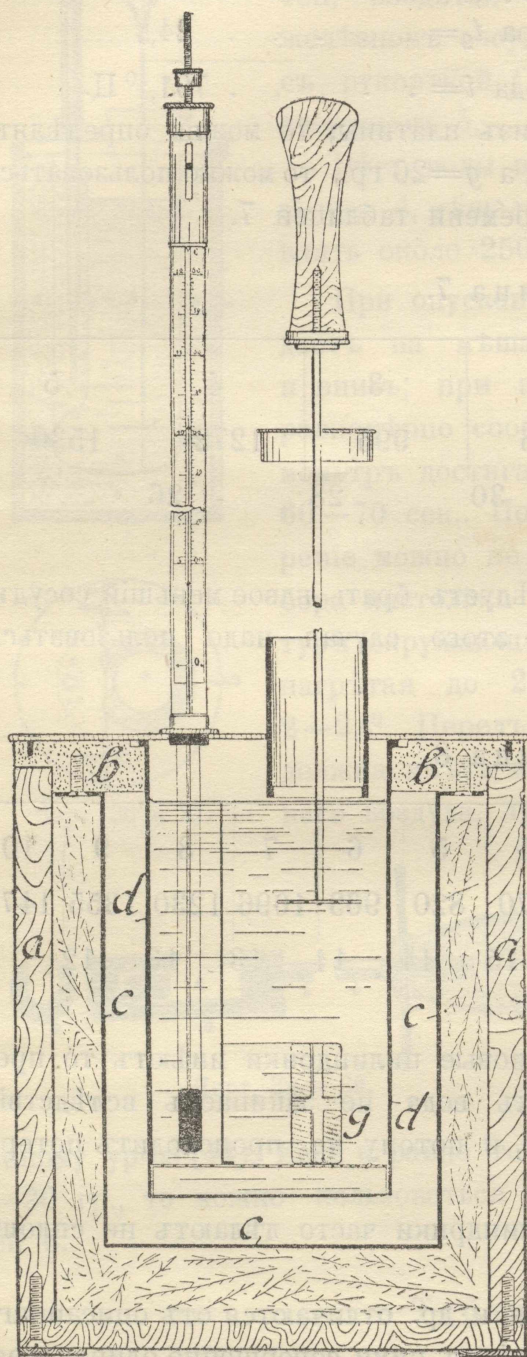
Приборъ Фукса, черт. 40, стр. 58, отличается отъ предыдущаго приспособленіями, позволяющими все опредѣленіе производить очень быстро и получать отчетъ сразу безъ всякихъ вычисленій. Сосудъ d изъ полированной съ обѣихъ сторонъ ради уменьшенія лучеиспусканія нике-

левой жести отдѣляется отъ второго такого же сосуда с воздушной прослойкой. Все помѣщено въ деревянный ящикъ *a*. Цилиндрики (изъ никеля или платины) имѣютъ два перпендикулярныхъ сверленія для

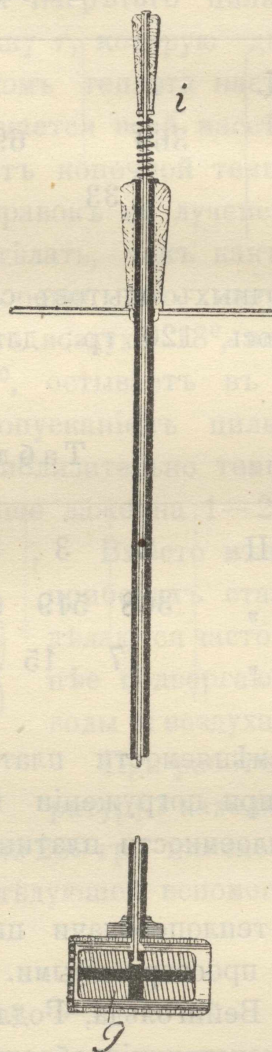
увеличенія площади теплопередачи. Очень удобно приспособленіе для перенесенія цилиндриковъ и помѣщенія ихъ въ измѣряемое пространство, черт. 41: чтобы опустить цилиндрикъ *g* въ калориметръ,

достаточно повернуть сосудъ открытымъ концомъ внизъ и, потянувъ за ручку *i*, вытянуть защелку.

При опытѣ наливаютъ въ сосудъ *d* воду, количество которой разъ навсегда определѣно прилагаемымъ при приборѣ сосудомъ съ мѣткой; температура воды должна лежать между 16° и 17° Ц. Перемѣшавъ воду, устанавливаютъ передвижную шкалу термометра такъ, чтобы ея



Черт. 40.



Черт. 41.

0 былъ на высотѣ конца столбика ртути. Послѣ введенія въ калориметръ нагрѣтаго цилиндрика наивысшее положеніе столбика ртути покажетъ на шкалѣ прямо искомую температуру t въ $^{\circ}$ Ц.

Работать этимъ приборомъ удобно и гораздо быстрее, чѣмъ предыдущимъ, но точность его показаній вслѣдствіе эмпирическаго градуированія шкалы и притомъ при условіяхъ, соблюдать которыя при работѣ не всегда можно, конечно меньше.

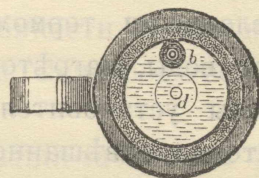
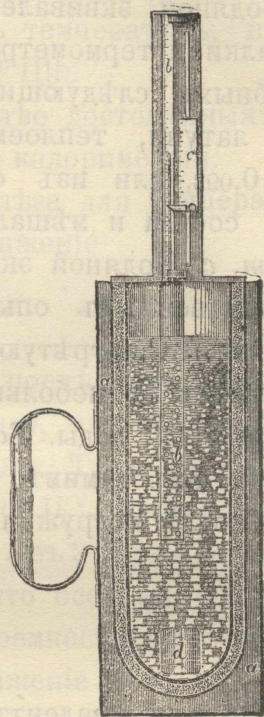
Пирокалориметръ Сименса, черт. 42 и 43, имѣетъ тоже эмпирически градуированную шкалу, но даетъ результаты нѣсколько точнѣе, такъ какъ вѣсъ цилиндриковъ и воды въ немъ больше, кромѣ того, онъ позволяетъ вводить поправки на температуру воды и на измѣненіе вѣса цилиндриковъ. Наливъ въ сосудъ *a* воду (568 см.³), устанавливаютъ указатель передвижной шкалы *c* на высотѣ ртути въ термометрѣ. Когда послѣ введенія нагрѣтаго цилиндрика температура воды достигнетъ наибольшей величины, искомая температура *t* найдется въ видѣ суммы отчетовъ по основной шкалѣ термометра *b* и передвижной *c*. Поправки на лучеиспусканіе въ виду хорошей изоляціи прибора производить не приходится.

Цилиндриками изъ мѣди или желѣза можно измѣрять температуру до 1000°. Нормальный желѣзный цилиндрикъ долженъ вѣсить 112 гр., мѣдный 137, а платиновый 402,6. При частомъ употребленіи первые два теряютъ въ вѣсѣ, и тогда показанія, отсчитанныя по передвижной шкалѣ, надо множить на отношеніе нормальнаго вѣса къ дѣйствительному.

Примѣръ: мѣдный цилиндрикъ сталъ вѣсить 129 гр.; при отчетѣ прочтено на термометрѣ 36°, на передвижной шкалѣ 870°, истинная температура

$$t = 36 + 870 \frac{137}{129} = 960^\circ \text{ Ц.}$$

Упомянемъ еще о способѣ Сентиньона, или Севрской Мануфактуры: въ изслѣдуемое пространство вставляютъ двойную металлическую трубку (эксплораторъ); по внутренней трубкѣ притекаетъ вода, по наружной она вытекаетъ; воду пропускаютъ съ постоянной скоростью, достаточной для того, чтобы избѣжать парообразованія. Измѣряя температуры притекающей и отходящей воды, вычисляютъ по данному расходу ея температуру въ изслѣдуемомъ пространствѣ. Способъ этотъ не можетъ дать надежныхъ результатовъ, такъ какъ теплопроводность



Черт. 42 и 43.

стѣнокъ трубки сильно мѣняется, уменьшаясь вслѣдствіе осаждающейся на нее сажи и золы.

15. Опредѣленіе водяного эквивалента.—Для того, чтобы водяной пирометръ (калориметръ) давалъ хорошіе результаты, надо чтобы всѣ данныя, вводимыя въ вычисленія, были возможно точны.

Водяной эквивалентъ прибора, т. е. калориметрическаго сосуда, мѣшалки и термометра, опредѣляется для калориметра Фишера и ему подобныхъ слѣдующимъ образомъ: сосудъ и мѣшалка дѣлаются или изъ латуни, теплоемкость которой при комнатной температурѣ $c_a = 0,093$, или изъ серебра, теплоемкость котораго $c_c = 0,056$; если въсь сосуда и мѣшалки вмѣстѣ m гр., то ихъ водяной эквивалентъ $w_1 = m$ с. Водяной эквивалентъ w_2 термометра лучше опредѣлить непосредственнымъ опытомъ; для этого термометръ нагрѣваютъ, погруживъ его въ нагрѣтую до 30^0 — 40^0 ртутную ванночку, и затѣмъ быстро опускаютъ въ небольшой сосудъ, содержащій точно взвѣшенное количество p гр. воды. Если температура термометра до погруженія, указанная имъ самимъ, t_1 , температура воды до погруженія термометра t_2 , а послѣ погруженія t_3 , то

$$w_2 = p \frac{t_3 - t_2}{t_1 - t_3}, \quad (45)$$

а полный эквивалентъ всего прибора $w = w_1 + w_2$.

Еще удобнѣе находить w слѣдующимъ опытомъ: въ сосудъ съ вставленными термометромъ и мѣшалкой вливаютъ нормальное количество воды, нагрѣтой примѣрно до 30^0 Ц.; когда температура t_1 всей системы установится, быстро выливаютъ эту воду, наливаютъ вмѣсто нея точно взвѣшанное количество p холодной воды съ температурой t_2 примѣрно 15^0 Ц. и наблюдаютъ температуру t_3 , которая установится на этотъ разъ. Изъ равенства теплотъ до и послѣ смѣшенія

$$w t_1 + p t_2 = (p + w) t_3,$$

получаемъ

$$w = p \frac{t_3 - t_2}{t_1 - t_3}, \quad (46)$$

выраженіе, тождественное съ ур-іемъ (45).

16. Измѣняемость теплоемкостей.—Для пользованія калориметрами и ур-іемъ (44) надо знать еще теплоемкость c рабочаго цилиндрика. Какъ извѣстно, теплоемкость металловъ не постоянна, а мѣняется,

возрастая для большинства съ повышеніемъ температуры. Къ сожалѣнію, до сихъ поръ мы не имѣемъ вполне достовѣрныхъ значеній для теплоемкостей при различныхъ температурахъ, несмотря на большое число опытовъ и обширную литературу по данному вопросу. Найденныя разными авторами величины отличаются другъ отъ друга до 8⁰/₀ (платина), что при измѣреніи высокихъ температуръ, напр., 1500⁰ Ц., равносильно возможной ошибкѣ въ 120⁰ Ц!!..

Тѣмъ не менѣе приведемъ имѣющіяся наиболѣе достовѣрныя данныя относительно металловъ, употребляемыхъ въ калориметріи.

Для опредѣленія средней теплоемкости желѣза для температуръ отъ 0⁰ до 660⁰ Пюншонъ даетъ слѣдующее выраженіе

$$c_{ж} = 0,1102 + 0,000025 t + 0,0000000547 t^2; \quad (47)$$

эти данныя подтверждаются довольно хорошо послѣдними опытами Обергоффера. Нужно имѣть при этомъ въ виду, что теплоемкость желѣза сильно возрастаетъ отъ содержанія углерода. Такъ, по опытамъ Обергоффера среднія теплоемкости отъ 0⁰ до 650⁰ Ц.: чистаго желѣза $c_{ж} = 0,1432$, съ содержаніемъ 1⁰/₀ углерода $c = 0,1454$, а съ 2⁰/₀ уже $c = 0,1476$.

Наиболѣе постоянна теплоемкость платины, что особенно цѣнно въ данномъ случаѣ; Виоль даетъ для средней теплоемкости платины для температуръ отъ 0⁰ до 1200⁰ Ц. слѣдующее выраженіе

$$c_n = 0,0317 + 0,000006 t; \quad (48)$$

Въ таблицѣ 9, стр. 62, приведены среднія теплоемкости, вычисленныя по этимъ выраженіямъ, а также установленныя непосредственными опытами.

Для большей надежности можно вмѣсто пользованія таблицами 5—9 находить теплоемкости опытнымъ путемъ, пользуясь тѣмъ самымъ калориметромъ, каторымъ предполагають работать: нагрѣваютъ данный цилиндръ до нѣкоторой опредѣленной температуры t , напр., въ парахъ воды при атмосф. давленіи, а для болѣе высокихъ температуръ въ печи, газовой или электрической, при чемъ дѣйствительная температура должна быть измѣрена контрольнымъ приборомъ. Нагрѣтый такимъ образомъ цилиндръ опускають такъ же быстро, какъ и при работѣ, въ калориметръ, содержащій, включая и его эквивалентъ, w кгр. воды обыкновенно 15⁰ Ц. Когда послѣ тщательнаго перемѣшиванія температура воды перестанетъ подниматься, вычисляютъ c изъ ур-ія (44), въ которомъ теперь всѣ остальные величины извѣстны,

$$c = \frac{w(t_2 - t_1)}{g(t - t_2)}. \quad (49)$$

Таблица 9.

пределы температур ° Ц.	платина, Вюль	никель	железо, Пшоньонъ	мѣдь	серебро
0 — 100	0,0323	0,113	0,113	0,0933	0,056
0 — 200	329	115	117	944	—
0 — 300	335	120	123	955	—
0 — 400	341	127	129	966	—
0 — 500	347	128	137	977	—
0 — 600	353	129	145	—	—
0 — 700	359	130	157	—	—
0 — 800	365	131	169	—	—
0 — 900	371	133	175	—	—
0 — 1000	377	136	180	—	—
0 — 1100	383	—	—	—	—
0 — 1200	389	—	—	—	—
0 — 1300	(395)	—	—	—	—
0 — 1400	(401)	—	—	—	—

Чтобы упростить дальнѣйшія вычисленія, можно находить не s , требующее опредѣленіе вѣса тѣла g на особенно точныхъ вѣсахъ, а теплоемкость данного тѣла $C = sg$,

$$C = \frac{w(t_2 - t_1)}{t - t_2}.$$

Найдя s указаннымъ способомъ для 3 температуръ, наименьшей, средней и наибольшей при предстоящихъ работахъ, можно составить интерполированіемъ таблицу, какъ указанные выше таблицы 5—8.

Такое непосредственное опредѣленіе теплоемкости имѣетъ вмѣстѣ съ тѣмъ характеръ повѣрки всего прибора, при чемъ сами собой вносятся всѣ поправки на лучеиспусканіе и охлажденіе при переносѣ нагрѣтаго тѣла, т. е. какъ бы поправка на самое обращеніе съ приборомъ данного наблюдателя.

Въ заключеніе надо сказать, что не смотря на все приборъ Фишера является наряду съ газовыми термометрами однимъ изъ наиболѣе на-

дежныхъ для опредѣленія высокихъ температуръ. Главные недостатки его: невозможность производить отчеты чаще, чѣмъ черезъ 10 или даже 15 мин., зависимость результатовъ отъ ловкости и навыка наблюдателя и сравнительно ограниченная область его примѣненія, именно имъ нельзя измѣрять температуру твердыхъ или жидкихъ тѣлъ, а лишь пространствъ, заполненныхъ тѣмъ или инымъ газомъ высокой температуры.

17. Пирометры, основанные на точкахъ плавленія.—Идея этого способа состоитъ въ томъ, что дѣйствию изслѣдуемаго источника тепла подвергаютъ рядъ тѣлъ съ разной, но заранее извѣстной температурой (точкой) плавленія. Тѣла выбираются такъ, чтобы ихъ точки плавленія разнились другъ отъ дружки сравнительно на небольшое число $^{\circ}\text{C}$., напр., на 20° — 30° . Послѣ того, какъ тѣла эти примутъ изслѣдуемую температуру, ихъ вынимаютъ; часть тѣлъ окажется расплавленными, остальные нѣтъ. Искомая температура лежитъ, очевидно, между температурой t_1 плавленія того изъ расплавившихся тѣлъ, точка плавленія котораго выше остальныхъ, и температурой t_2 наиболѣе легкоплавкаго тѣла изъ числа не расплавившихся. Если считать за искомую температуру

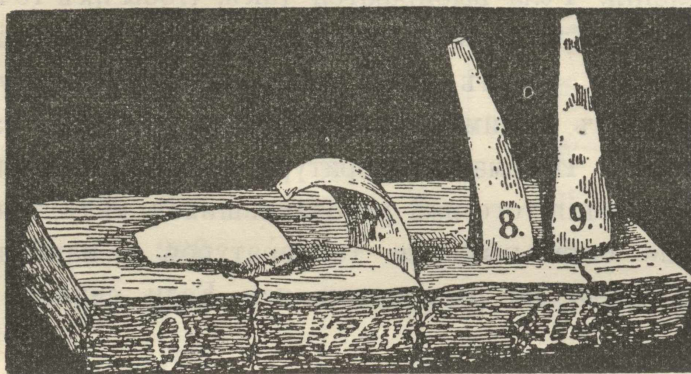
$$t = \frac{t_1 + t_2}{2},$$

то точность измѣренія, очевидно, равна $\pm \frac{t_2 - t_1}{2}$.

Въ качествѣ тѣлъ съ извѣстной точкой плавленія можно брать, напр., металлы и ихъ сплавы: кадмій 315° , свинецъ 327° , цинкъ 418° , серебро 955° , золото 1064° , платина 1780° ; сплавы серебра съ золотомъ для промежуточныхъ между 955° и 1064° температуръ и золота и платины между 1064° и 1780° . Добавленіе къ золоту 5% платины повышаетъ температуру плавленія примѣрно на 30° — 35° ; однако Зегеръ нашелъ, что сплавы золота съ содержаніемъ платины болѣе 15% не обладаютъ достаточнымъ постоянствомъ температуры плавленія вслѣдствіе происходящей ликвиции. Сплавы берутся въ видѣ небольшихъ кусочковъ ленты, вѣсомъ 0,1—0,2 гр. Наборы послѣдовательнаго ряда сплавовъ доставляются многими фирмами готовые. Главный недостатокъ этого способа—небольшіе предѣлы температуръ, для которыхъ онъ примѣнимъ, небольшая точность и дороговизна при употребленіи благородныхъ металловъ.

Гораздо болѣшимъ распространеніемъ пользуются пирамидки Зегера, изготовляемая изъ смѣси кремнезема, глинозема, извести и поташа; чѣмъ больше кремнезема и глинозема, тѣмъ выше точка плавленія;

пониженіе точки плавленія достигается, кромѣ того, еще прибавленіемъ небольшого количества окиси желѣза. Размѣры пирамидокъ — высота 60 мм., сторона треугольника основанія около 19 мм.; для высшихъ температуръ пирамидки дѣлаются меньшихъ размѣровъ — 30×9 мм.. На каждой пирамидкѣ выдавливается при ея формовкѣ номеръ, указывающій ея температуру плавленія. Пирамидка считается расплавленной, когда она настолько размягчится, что вершина ея согнется на бокъ и коснется или почти коснется поверхности, на которой она стоитъ. На черт. 44 показанъ примѣръ опредѣленія температуры пирамидками



Черт. 44.

Зегера: № 6 расплавился совершенно, № 7 какъ разъ достигъ своей температуры плавленія 1270° Ц., № 8 почти, а № 9 еще совсѣмъ не тронуть; температура была, слѣдовательно, около 1270° . Если бы въ

этомъ случаѣ не одна пирамидка не расплавилась, пришлось бы поставить болѣе легкоплавкія, №№ 3—5.

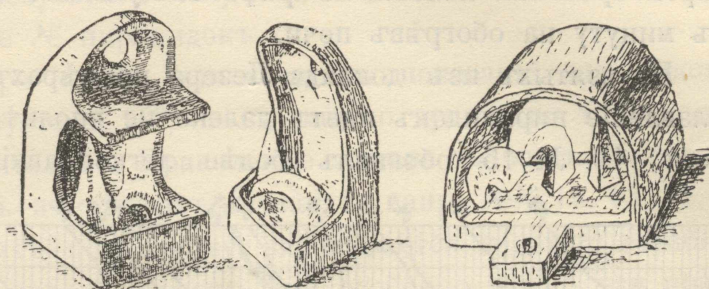
Пирамидки эти изготовляются въ настоящее время 59 номеровъ:

№№ 022—010	для температуръ отъ 590° до 950° черезъ 30° ,
№№ 09—01 и 1—20	„ „ „ 970° до 1530° „ 20° ,
№№ 26—36	„ „ „ 1650° до 1850° „ 20° ,
№№ 37—42	„ „ „ 1880° до 2030° „ 30° ,
№№ 21—25 (1550° — 1630°) теперь не изготовляются, такъ какъ ихъ точки плавленія лежали чересчуръ близко другъ къ другѣ.	

При первоначальномъ опредѣленіи температуры такими пирамидками ихъ ставятъ 10—12 штукъ послѣдовательныхъ точекъ плавленія, выбираемыхъ выше и ниже предполагаемой температуры изслѣдуемой точки. Чтобы пирамидки не падали, когда онѣ начнутъ гнуться, ихъ приклеиваютъ слегка глиной къ шамотной доскѣ и притомъ нѣсколько наклонно такъ, чтобы при сгибаніи № оказался наверху.

При работѣ съ этими пирамидками надо слѣдить, чтобы онѣ не подвергались непосредственному дѣйствію пламени; для этого ихъ окружаютъ огнеупорными кирпичами или ставятъ на особыя подставки изъ огнеупорнаго матеріала съ предохранительными боковыми и верхними щитками, черт. 45—47.

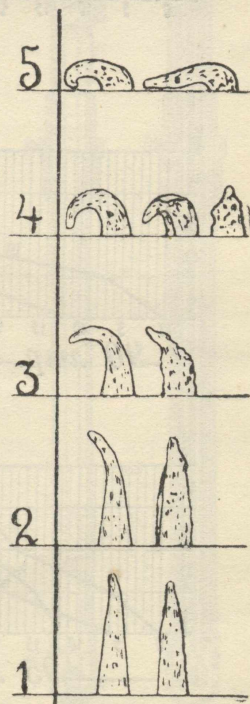
О точности показаній Зегеровскихъ пирамидокъ можно судить по обстоятельнымъ опытамъ, произведеннымъ въ 1907 г. К. Лезеромъ. Лезеръ наблюдалъ не температуры, при которыхъ плавятся эти пирамидки, а слѣдилъ за постепеннымъ порядкомъ плавленія послѣдовательныхъ №№ ихъ.



Черт. 45—47.

Результаты его наблюдений не даютъ абсолютныхъ указаній, но зато рисуютъ очень ясно пригодность этихъ пирамидокъ для практическихъ цѣлей, когда важно не столько знать дѣйствительную температуру въ печи, сколько имѣть возможность слѣдить за тѣмъ, чтобы устанавливалась нѣкоторая опредѣленная, необходимая въ данномъ случаѣ температура.

Лезеръ поступалъ слѣдующимъ образомъ: ставилъ въ особую газовую печь рядъ изъ 14 послѣдовательныхъ №№ пирамидокъ, охватывающій промежутокъ температуръ въ 260° , затѣмъ постепенно нагрѣвалъ печь и черезъ особыя окошечки слѣдилъ за послѣдовательными измѣненіями, происходившими съ пирамидками по мѣрѣ повышенія температуры. Результаты наблюдений онъ составлялъ въ графики, образцы которыхъ даны ниже. Въ этихъ графикахъ въ горизонтальномъ направленіи, по оси абсциссъ, откладывались минуты, протекшія съ момента наступленія перваго измѣненія въ наиболѣе легкоплавкой пирамидкѣ; по вертикальному направленію проводились на равномъ разстояніи другъ отъ дружки 5 линій, 1—5, соотвѣтственно пяти ступенямъ измѣненія состоянія, которыя отмѣчались. Схематически эти ступени представлены на черт. 48.

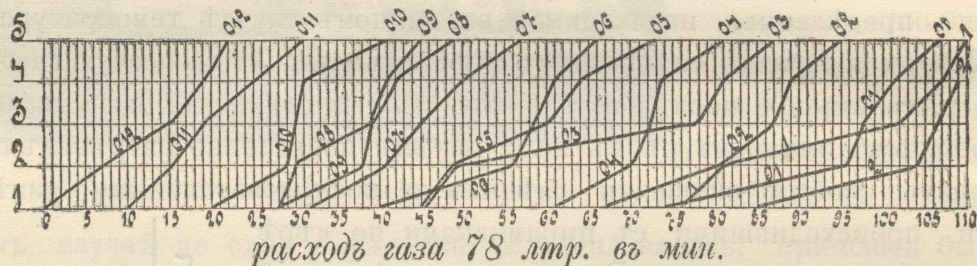
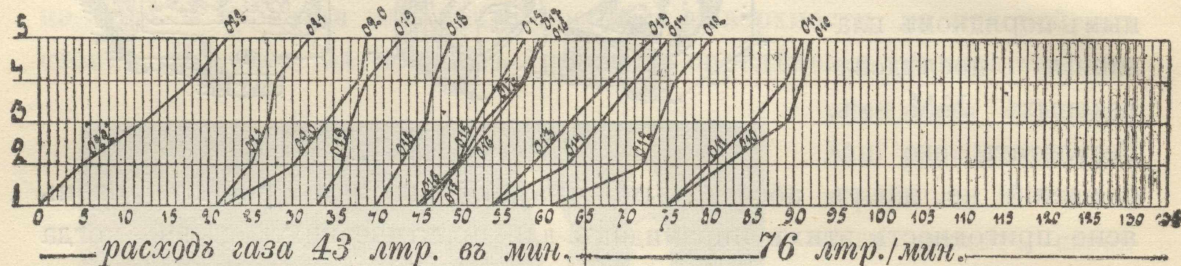


Черт. 48.

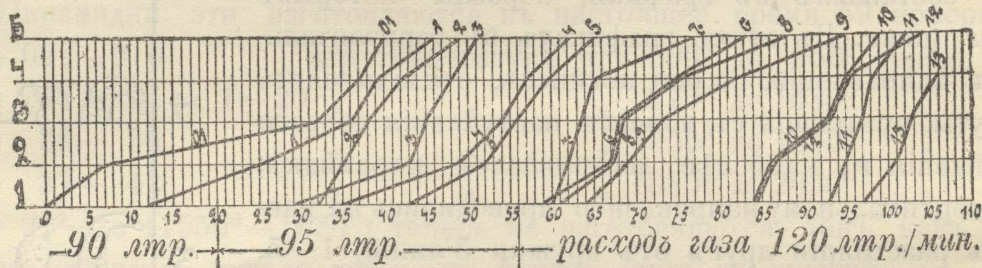
Ступень 1—начало плавленія, появленіе легкаго наклона верхушки; уловить этотъ моментъ довольно трудно, особенно если при этомъ пирамидка не нагибается, а только осѣдаетъ; поэтому отмѣтка этой ступени на графикахъ должна считаться только приблизительной. Ступень 2—можно считать первой вполне характерной. Ступень 3 и 4 тоже легко точно отмѣчать, тогда какъ отмѣтка ступени 5, конца плавленія, опять

сопряжено съ неувѣренностью. Такимъ образомъ для оцѣнки явленій имѣютъ дѣйствительное значеніе лишь ступени 2—4. Для полной характеристики явленій на графикахъ указанъ еще соотв. расходъ газа въ минуту на обогрѣвъ печи.

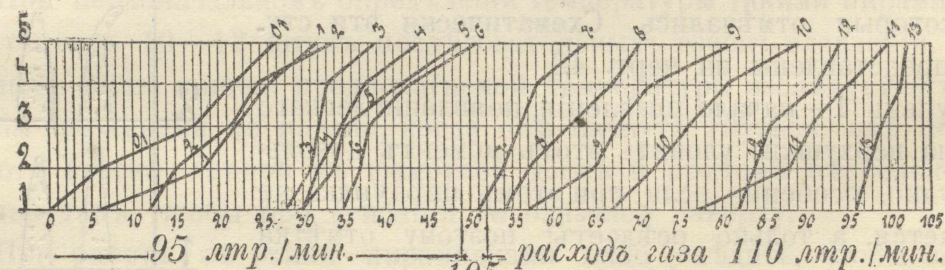
На взятыхъ изъ доклада Лезера примѣрахъ графиковъ видно, что плавленіе пирамидокъ идетъ далеко не вполнѣ равномерно; напр., на черт. 49 № 15 обогналъ болѣе легкоплавкіе №№ 17 и 16, № 13



Черт. 50.



Черт. 51.



Черт. 52.

обогналъ № 14; на черт. 50 нарушенъ порядокъ № 6 и № 12, который только къ 5 ступени попадаетъ на свое мѣсто. Нѣсколько лучше обстоитъ дѣло на черт. 51; но, съ другой стороны, такъ какъ

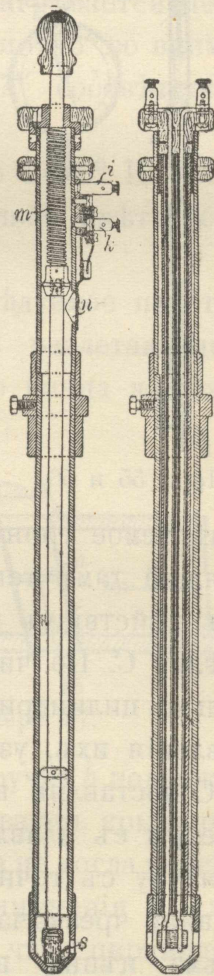
опыты, представленные на черт. 51 и 52, произведены почти при тождественныхъ условіяхъ, то сравненіе этихъ графиковъ показываетъ, насколько различные результаты получаются съ отдѣльными экземплярами одного и того же № пирамидокъ.

Изъ опытовъ Лезера видно, что точность показаній пирамидокъ далеко не соотвѣтствуетъ $\pm 10^0$, какъ можно думать по таблицамъ, даваемымъ ихъ изготовителями. Правильнѣе считать точность показаній всего лишь $\pm 20^0$, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ, напр., №№ 15, 13, 12, 6, въ изготовленіе которыхъ, повидимому, вкрадывается какая-то ошибка, даже лишь $\pm 40^0$. Съ другой стороны, что особенно важно для практики, отдѣльные экземпляры одного и того же № въ общемъ даютъ достаточно близкія показанія.

Описанныя пирамидки, равно какъ и подставки къ нимъ изготовляются лабораторіей Зегера въ Берлинѣ. Такія пирамидки, но нѣсколько иного состава, изготовляются также Королевскимъ Фарфоровымъ заводомъ въ Берлинѣ.

Фирма Фома Фиртъ и Сынъ въ Ригѣ изготовляетъ подобные же пирометры по способу Брэрлей подъ названіемъ сентинэль (часовой, сторожъ). Это цилиндрики 20 мм. высотой и 12 мм. въ діаметрѣ, изготовляемые изъ солей разныхъ металловъ или смѣсей ихъ; ставятъ ихъ въ небольшихъ фарфоровыхъ чашечкахъ. Точки плавленія этихъ солей очень рѣзки; достаточно увеличенія температуры на 1—2° Ц., чтобы произошелъ переходъ изъ твердаго сразу въ жидкое состояніе. Если температура опускается ниже точки плавленія, то эти соли затвердѣваютъ, при чемъ расплавленная блестящая поверхность становится матовой. Цилиндрики—сентинэль могутъ быть изготовляемы для любой точки плавленія; они довольно распространены въ металлургическихъ производствахъ, а также при закалкѣ стали.

Чтобы слѣдить за моментомъ плавленія цилиндрика въ закрытой, напр., закалочной печи, сентинэль вставляется въ приборъ, изображенный на черт. 53: при помощи винтовой пружины *m* цилиндрикъ *s* нажимается на дно сдѣланной изъ желѣзной газовой трубы оправы. Когда требуемая температура, соотвѣтствующая въ тоже время плавленію *s*, будетъ достигнута, *s* распла-

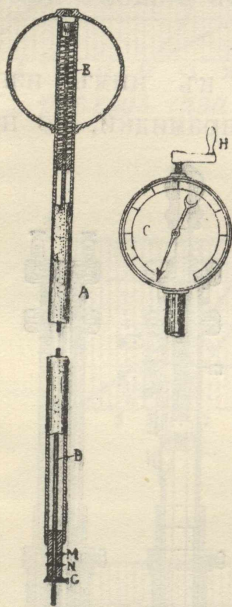


Черт. 53 и 54.

вится, стержень, опирающийся на него, упадетъ и, нажавъ на выступъ *n*, замкнетъ токъ электрическаго звонка, присоединеннаго къ зажимамъ *i* и *k*.

На черт. 54 изображена другая, болѣе простая, но менѣе удобная конструкція, въ которой въ моментъ плавленія цилиндрика токъ, наоборотъ, размыкается.

Въ заключеніе укажемъ еще подобный же приборъ, позволяющій слѣдить снаружи печи или топки за моментомъ плавленія сплавовъ въ родѣ пирометровъ—сентинэль, изготовляемый фирмой Дюкомэ въ Парижѣ. Приборъ этотъ, черт. 55 и 56, состоитъ изъ металлической, желѣзной или никелевой трубки *A* съ такимъ же стержнемъ *B*; стержень оттягивается все время вверхъ спиральной пружиной *E*; верхній конецъ *B* соединенъ при помощи зубчатаго сектора со стрѣлкой, которая стоитъ на 0 при нижнемъ положеніи стержня *B*; на нижній, выступающій конецъ *B* надѣвается наборъ цилиндриковъ *M, N...* изъ сплавовъ съ заранѣе извѣстной, постепенно возрастающей температурой плавленія; между цилиндриками—пирометрами вставляются не плавящіеся желѣзные кружечки; чека *G* удерживаетъ кружечки на стержнѣ; послѣдній приводится въ нижнее положеніе при помощи отжимнаго винта съ рукояткой *H*, который затѣмъ удаляется.



Черт. 55 и 56.

Если «заряженный» такимъ образомъ пирометръ вставить сквозь отверстіе въ кладкѣ въ изслѣдуемое горячее пространство, то по мѣрѣ того, какъ вслѣдствіе царящей тамъ температуры цилиндрики будутъ плавиться, стержень *B* подъ дѣйствіемъ пружины *E* будетъ втягиваться внутрь и передвигать стрѣлку *C*. По числу дѣленій, пройденныхъ стрѣлкой *C*, можно судить, сколько цилиндриковъ расплавилось, а зная послѣдовательность точекъ плавленія ихъ, узнать и температуру изслѣдуемаго пространства.

Сопоставляя все сказанное, можно придти къ заключенію, что пирометры съ плавленіемъ тѣлъ позволяютъ лишь опредѣлять температуру съ точностью до 20° — 40° , а не измѣрять ее. Тѣмъ не менѣе, въ виду чрезвычайной простоты обращенія съ ними, они могутъ быть весьма цѣнны въ извѣстныхъ случаяхъ практики, когда неважно знать дѣйствительную температуру, а важно поддерживать нѣкоторую опредѣленную температуру, оказавшейся по опытамъ въ данномъ производствѣ наивыгоднѣйшей.

18. Термофоны.—Такія же однократныя показанія и съ той же степенью точности даетъ такъ назыв. термофонъ, или взрывной пирометръ, предложенный Виборгомъ и основанный на теплопроводности. Это плоскіе цилиндрики около 20 мм. въ діаметрѣ и 10 мм. высотой, штампованные изъ глины опредѣленной, сравнительно малой теплопроводности, внутри которыхъ находится небольшое количество вещества, взрывающагося при повышеніи температуры до извѣстной величины. По существу этотъ способъ имѣетъ нѣкоторое сходство съ способомъ Каріо, стр. 46, опредѣленія высокихъ температуръ по времени подъема ртути въ стеклянномъ термометрѣ.

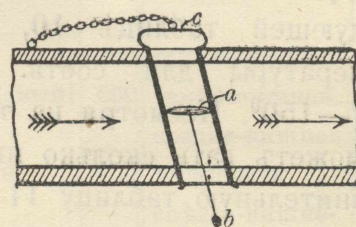
При употребленіи термофона его подвергаютъ дѣйствію изслѣдуемаго источника тепла и замѣчаютъ по секундомѣру время, которое проходитъ до взрыва; по приложенной фирмой таблицѣ находятъ соотв. температуру. Время до взрыва зависитъ отъ того, подвергается ли термофонъ дѣйствію лишь горячихъ газовъ или нагревается черезъ теплопередачу отъ нагрѣтаго твердаго тѣла, что принято во вниманіе въ таблицѣ. Такъ, напр., въ первомъ случаѣ 57'' соотвѣтствуетъ 800° Ц., а во второмъ лишь 620° Ц.

Примѣнимы термофоны отъ 300° Ц. (3'24'',6) до 2400° Ц. (29,6''). Передъ употребленіемъ термофонъ долженъ обязательно имѣть температуру не ниже 18° и не выше 22° Ц.

Обыкновенно термофонъ кидаютъ прямо въ изслѣдуемое пространство, но въ случаѣ, если таковое нельзя засорять разлетающимися осколками, его можно вводить въ закрытую съ одного конца желѣзную или никелевую трубку.

На черт. 57 показано приспособленіе для пользованія термофономъ при опредѣленіи температуры горячаго воздуха, подаваемого въ доменную печь: *a* желѣзная трубка діаметромъ около 23 мм., съ толщиной стѣнокъ около 2 мм., вдѣланная нѣсколько наклонно въ воздухопроводъ; примѣрно въ серединѣ трубки держатъ за ручку *b* подвижное дно; когда термофонъ брошенъ въ трубку *a*, ее закрываютъ крышкой *c*, которая прикрѣплена на цѣпочкѣ, чтобы при взрывѣ она не могла улетѣть.

Точность показаній термофоновъ, область ихъ примѣненія и, главное, ихъ достоинства и недостатки примѣрно тѣ же, что у пирамидокъ Зегера; впрочемъ пользованіе ими предполагаетъ наличность секундомѣра, зато ихъ забрасываніе гораздо проще, чѣмъ установка и выниманіе пирамидокъ.



Черт. 57.

Приборы, основанные на оптических явленияхъ.

19. Свѣтовые пирометры.—Такъ какъ тепловые и свѣтовые измѣненія имѣютъ одинаковую природу, именно состоятъ въ измѣненіи числа и розмаха колебаній молекулъ тѣла, при чемъ только число свѣтовыхъ волнъ въ единицу времени выше, чѣмъ большинства тепловыхъ волнъ, то опредѣленіе температуры по свѣтовымъ явлениямъ одно изъ самыхъ естественныхъ и, можетъ быть, и самыхъ надежныхъ. Такъ какъ измѣненіе испускаемаго тѣломъ свѣта, или, что по существу то же самое, его цвѣта становится замѣтнымъ, лишь начиная отъ 400° — 500° Ц., то и способъ этотъ приложимъ лишь для высшихъ температуръ, главнымъ образомъ для различныхъ печей и топковъ.

Всѣ приемы и приборы свѣтового опредѣленія температуръ можно разбить на двѣ группы: основанные на измѣненіи цвѣта или спектра, качественный приемъ, и основанные на измѣненіи свѣтосилы, количественный или фотометрический приемъ.

Къ первой группѣ относится опредѣленіе температуры на-глазъ, приборы Мезюрэ-Нуэля и Гемпеля; ко второй группѣ различные пирометры-фотометры.

Нагрѣвая какое нибудь твердое тѣло, напр., кусокъ желѣза, легко замѣтить, что цвѣтъ его по мѣрѣ нагрѣванія измѣняется; начиная отъ темнаго, онъ приобретаетъ постепенно вишневый, затѣмъ красный, желтый и, наконецъ, бѣлый цвѣтъ.

Приблизительную оцѣнку температуры по цвѣту можно дѣлать по слѣдующей таблицѣ 10, установленной Пуйэ. По другимъ опытамъ температуры для соотв. цвѣтовъ нѣсколько ниже, примѣрно на 100° — 150° . Несмотря на то, что опредѣленіе температуры на-глазъ не можетъ дать сколько нибудь достовѣрныхъ цифръ, приведемъ еще сравнительную таблицу 11 шкалъ температуръ, принятыхъ въ различныхъ странахъ, въ виду того, что въ металлургическомъ дѣлѣ до сихъ поръ нерѣдко пользуются этимъ способомъ, опредѣляя температуру печи или раскаленнаго металла по ихъ цвѣту.

Принимая во вниманіе, что разные лица по разному понимаютъ одно и тоже названіе цвѣта, а главнымъ образомъ, что цвѣтосприимчивость глаза наблюдателей очень различна, и, наконецъ, что цвѣтъ раскаленнаго тѣла кажется глазу различной яркости въ зависимости отъ оствѣщенія помѣщенія, въ которомъ находится наблюдатель, становится понятнымъ стремленіе замѣнить такую оцѣнку приборами, въ которыхъ субъективизмъ наблюдателя имѣлъ бы меньшее вліяніе.

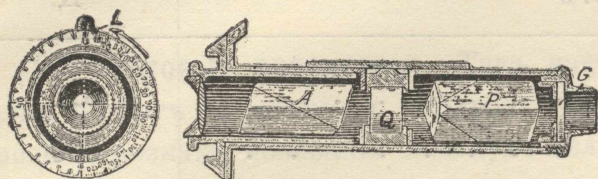
Таблица 10.

цвѣтъ	° Ц.
начало свѣченія	525
очень темно-красный	600
темно-красный	700
начало вишнево-краснаго	800
вишнево-красный	900
яркій вишнево-красный	1000
темно-оранжевый	1100
свѣтло-оранжевый (желтый)	1200
бѣлый	1300
яркій бѣло-калильный	1400
ослѣпительно бѣло-калильный	1500—1600

Таблица 11.

французская шкала	°Ц.	нѣмецкая	°Ц.	Гоуэ (америк.)	°Ц.	Тэйлоръ-Уйтъ	°Ц.
начинающійся красный . .	515					крово-крас- ный	532
очень темно- красный . .	600	буро-красный	550		625	темно-красный	565
темно-красный	700	темно-красный	650	темно-красный	650	темно-вишнев.	635
темно-вишнев.	800					средне-вишнев.	676
вишневый . .	900	вишневый . .	750	вишневый . .	700	вишневый . .	746
свѣтло-вишне- вый	1000	свѣтло-вишне- вый	800	свѣтло-красный	860	свѣтло-вишне- вый	843
оранжевый . .	1100	оранжевый . .	900	желтый	950	оранжевый . .	899
желтый	1200	желтый	1000	желтый	1000	свѣтло-оранже- вый	940
		свѣтло-желтый	1100	свѣтло-желтый	1050		
				очень свѣтло- желтый	1100	палевый	996
бѣлый свароч- ный	1300	бѣлый	1200	бѣлый	1150	свѣтло-палевый	1080
бѣлый блестя- щій	1400	бѣлый блестя- щій	1300			бѣлый	1204
бѣлый ослѣпи- тельный . .	1500	бѣлый ослѣпи- тельный . .	1500				

Улучшеніе этого опредѣленія на-глазъ представляетъ пирометрическая трубка Мезюрэ и Нуэля, черт. 58 и 59. Лучи свѣта отъ раска-



Черт. 58 и 59.

ленного тѣла, пройдя черезъ матовое стекло *G*, благодаря чему достигается равномерное освѣщеніе поля зрѣнія, падаютъ на поляризаторъ *P*.

Поляризаторъ—призма Николя—состоитъ изъ кристалла известковаго шпата, разрѣзаннаго перпендикулярно къ его оптической оси; обѣ половинки затѣмъ снова склеены канадскимъ бальзамомъ.

Падающій на призму лучъ состоитъ изъ поперечныхъ колебаній эфира. Если лучъ простой, т. е. состоитъ только изъ одного цвѣта, то призма заставитъ его колебаться только въ плоскости главнаго свѣченія, т. е. проходящей черезъ кристаллографическую ось ромбоэдра шпата перпендикулярно къ одной изъ его плоскостей. Лучъ, пройдя поляризаторъ, попадаетъ на вторую призму Николя—анализаторъ *A*. Если анализаторъ поставить такъ, чтобы его главная плоскость совпала съ таковой же поляризатора, то лучъ пройдетъ чрезъ него безпрепятственно; если же анализаторъ повернуть на 90° , то его плоскость поляризації встанетъ перпендикулярно къ плоскости поляризатора, лучъ не будетъ пропущенъ, и поле зрѣнія будетъ затемнено.

Кусокъ кварца *Q*, вырѣзанный перпендикулярно къ его оси, помѣщенный между поляризаторомъ и анализаторомъ, отклонитъ плоскость поляризації на опредѣленный уголъ, и поле зрѣнія просвѣтлѣетъ. Если анализаторъ повернуть на этотъ уголъ въ ту же сторону, поле зрѣнія снова потемнѣетъ.

Въ дѣйствительности черезъ стекло *G* поступаетъ не простой лучъ, а сложный, состоящій изъ совокупности различныхъ цвѣтовъ; поэтому анализаторъ будетъ гасить не весь свѣтъ, а лишь одинъ какой нибудь цвѣтной лучъ, поле зрѣнія будетъ окрашено, и при поворачиваніи анализатора получается цѣлый рядъ цвѣтовъ.

Кварцевая пластинка *Q* отклоняетъ плоскость поляризації для различныхъ цвѣтныхъ лучей на различный уголъ; поэтому, смотря по составу свѣта, анализаторъ надо поворачивать на тотъ или иной уголъ, чтобы получить одно и тоже окрашиваніе поля зрѣнія. Такъ какъ составъ, т. е. составные цвѣта луча мѣняются съ температурой, приближаясь съ ея возрастаніемъ къ бѣлому, то уголъ поворота анализатора при полученіи одного и того же окрашиванія поля зрѣнія зависитъ отъ температуры. За нормальное окрашиваніе въ этомъ при-

боръ принять желтый цвѣтъ, грязно-лимоннаго оттѣнка. Для практическаго пользованія приборомъ составляется таблица, указывающая прямо температуру изслѣдуемаго луча по углу поворота, отчитываемому на кругъ дѣленій L . Такъ, напр., уголъ поворота въ 6° соотвѣтствуетъ 900° до 1000°Ц. , уголъ въ 5° — 1200° до 1300°Ц. , а въ 3° — 1400° до 1500°Ц.

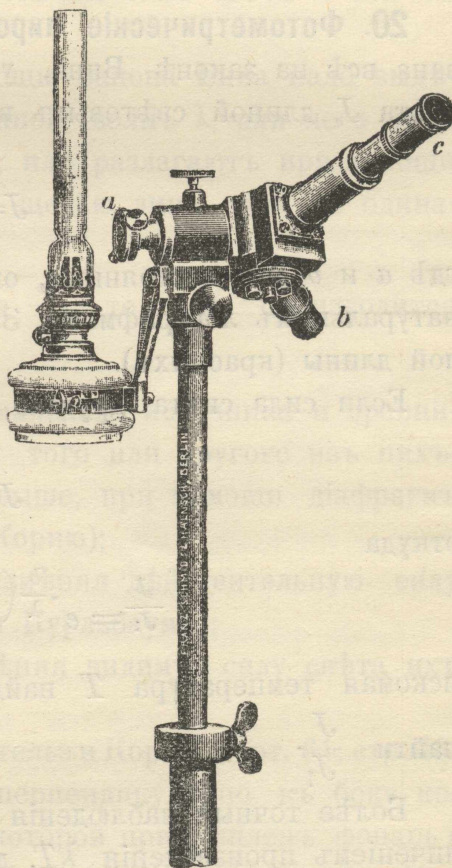
При приборѣ имѣется еще объективъ и собирательное стекло, необходимые для опредѣленія температуръ ниже 900° , когда сила свѣта недостаточно велика.

Такъ какъ цвѣтъ различныхъ тѣлъ, твердыхъ и газообразныхъ, при высокихъ температурахъ хотя и близокъ, но не одинаковъ, то для большей точности полезно направлять трубку всегда на опредѣленное тѣло, напр., желѣзо и въ томъ случаѣ, если его нѣтъ въ печи, нарочно класть въ нее для этого кусокъ желѣза.

Какъ видно, приборъ не можетъ давать точныхъ показаній, но для многихъ случаевъ практики въ рукахъ опытнаго наблюдателя, хорошо различающаго цвѣтныя оттѣнки, онъ вполне удовлетворяетъ своему назначенію. При этомъ онъ очень простъ, дешевъ, показанія его не мѣняются отъ времени и не нуждаются ни въ какихъ поправкахъ.

Другой, такой же простой приборъ, спектральный пирометръ Гемпеля, черт. 60. Онъ основанъ на томъ наблюденіи, что длина спектра луча, испускаемаго раскаленнымъ тѣломъ и преломленнаго призмой, растетъ вмѣстѣ съ температурой. Приборъ состоитъ изъ призмы, заключенной въ кожухъ, къ которому прикрѣплены труба a со шкалой, труба b съ перекрестными нитями и зрительная (увеличительная) труба c ; послѣдняя можетъ поворачиваться для наблюденія любого мѣста спектра. Противъ трубы a находится лампа для освѣщенія шкалы. Весь приборъ укрѣпленъ на выдвижной подставкѣ.

Для опредѣленія температуры трубу b направляютъ на раскаленное тѣло и смотрятъ въ c , до какого дѣленія шкалы достигаетъ синій конецъ спектра. Дѣленія шкалы нанесены эмперически и даютъ прямо искомую температуру въ $^\circ\text{Ц.}$



Черт. 60.

Такъ какъ спектры различныхъ тѣлъ нѣсколько отличаются другъ отъ друга, то нужно или направлять трубу всегда на тѣло, съ которымъ производилась градуировка шкалы,—шамотъ, которымъ обдѣлано внутри большинство печей, или найти поправку въ $^{\circ}\text{Ц.}$, опредѣливъ нѣкоторую среднюю температуру другого тѣла одновременно этимъ приборомъ и другимъ—точнымъ. Показанія прибора съ такой поправкой при опредѣленіи температуры того же тѣла будутъ вѣрны при температурахъ ниже проверенной съ точностью $\pm 20^{\circ}$, выше проверенной—съ точностью $\pm 50^{\circ}\text{Ц.}$ Предѣлы измѣренія этимъ приборомъ 700° — 1350°Ц. , для цвѣточувствительнаго глаза до 1600°Ц. О величинѣ ошибки при несоблюденіи поправки можно судить изъ того, что бѣлыя тѣла, напр., известъ, даютъ ту же длину спектра при температурѣ на 100° ниже температуры шамота, а темныя, напр., мартеновская печь, при температурѣ почти на 100° выше шамота. Такимъ образомъ приборъ этотъ какъ въ отношеніи простоты конструкціи и обращенія, такъ равно и въ отношеніи точности близокъ къ предыдущему.

20. Фотометрическіе пирометры.—Фотометрическіе приборы основана всѣ на законѣ Вина, указывающемъ зависимость между силой свѣта J , длиной свѣтовыхъ волнъ λ и абсолютной температурой T ,

$$J = a \lambda^{-5} e^{-\frac{b}{\lambda T}}. \quad (50)$$

гдѣ a и b двѣ постоянныя, опредѣляемыя изъ опытовъ, а e основаніе натуральныхъ логарифмовъ. Законъ этотъ справедливъ для волнъ малой длины (красныхъ).

Если сила свѣта другого источника J_1 , а температура его T_1 , то

$$J_1 = a \lambda^{-5} e^{-\frac{b}{\lambda T_1}},$$

откуда

$$\frac{J}{J_1} = e^{-\frac{b}{\lambda} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)} = e^{\frac{b}{\lambda} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T} \right)}, \quad (51)$$

искомая температура T найдется по извѣстнымъ b , λ и T_1 , если найти $\frac{J}{J_1}$.

Болѣе точныя наблюденія обнаружили отклоненія, особенно съ увеличеніемъ произведенія λT , дѣйствительныхъ явленій отъ ур-ія (50). Планкъ предложилъ замѣнить его другимъ, ближе соотвѣтствующимъ наблюденіямъ, именно

$$J = a \lambda^{-5} \left[e^{\frac{b}{\lambda T}} - 1 \right]^{-1}, \quad (52)$$

откуда получается соотношеніе

$$\frac{J}{J_1} = \frac{e^{\frac{b}{\lambda T_1}} - 1}{e^{\frac{b}{\lambda T}} - 1}. \quad (53)$$

Указанная зависимость между J , λ и T была подтверждена тщательными опытами, произведенными Луммеромъ и Прингсгеймомъ въ Имперскомъ Физико-Техническомъ Институтѣ.

Ур-ія (50) и (52) справедливы лишь для лучей, испускаемыхъ абсолютно черными тѣлами. Абсолютно чернымъ называютъ тѣло, которое поглощаетъ всѣ падающіе на него лучи. Однако практически всѣ твердыя и жидкія тѣла, особенно при высшихъ температурахъ, можно считать абсолютно черными.

Источникъ свѣта, служащій для сравненія, можетъ быть и не чернымъ тѣломъ, но тогда надо найти заранее температуру T_1 , которую имѣло бы абсолютно черное тѣло при той же силѣ свѣта и той же длинѣ волнъ.

Для измѣренія температуръ при помощи закона Вина надо выдѣлить простой лучъ съ опредѣленной длиной волнъ λ , для чего лучъ или пропускаютъ черезъ цвѣтное стекло, или разлагаютъ при помощи призмы въ спектръ и выдѣляютъ узкой щелью лишь лучи съ одинаковой длиной волнъ.

Что касается опредѣленія силы свѣта $\frac{J}{J_1}$, то оно производится весьма различно:

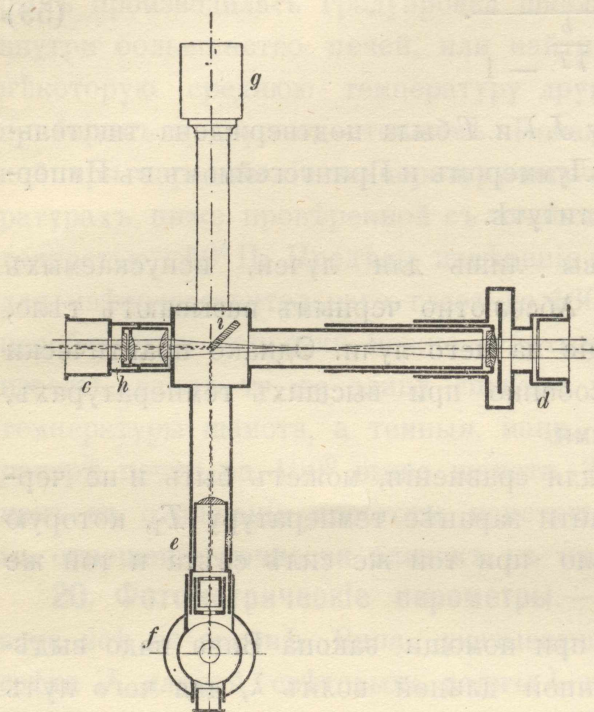
1, можно уравнивать силу свѣта нормального источника и сравнимаго съ нимъ, ослабляя силу свѣта того или другого изъ нихъ, смотря по тому, температура котораго выше, при помощи діафрагмъ или дымчатыхъ стеколъ (Ле-Шательэ и Корню);

2, можно сравнивать источники, измѣняя дѣйствительную силу свѣта основного источника (Гольборнъ и Курльбаумъ);

3, можно сравнивать источники, измѣняя видимую силу свѣта ихъ при помощи поляризатора (Ваннеръ).

Устроенный по схемѣ 1 приборъ Ле-Шательэ и Корню, черт. 61, стр. 76, состоитъ изъ зрительной трубы $c-d$, перпендикулярно къ боку которой призоединена труба e , къ концу которой прикрѣпленъ фонарь f съ лампой, съ которой сравнивается свѣтъ отъ изслѣдуемато тѣла. Въ трубѣ e находится плоско-выпуклое стекло и діафрагма, черезъ которая свѣтъ отъ лампы падаетъ на узенькое зеркало i , поставленное подъ угломъ въ 45° въ главномъ фокусѣ трубы $c-d$; фокусъ упомяну-

таго плоско-выпуклаго стекла совпадаетъ съ главнымъ фокусомъ трубы c ; g противовѣсъ, уравнивающий лампу.



Черт. 61.

которомъ легче вести наблюденія, по которое примѣнимо лишь для болѣе высокихъ температуръ.

Силу свѣта раскаленнаго тѣла сравниваютъ съ указанной лампой, для чего приводятъ къ одинаковой степени освѣщенія совпадающія изображенія свѣта лампы и изслѣдуемаго тѣла. Равенство освѣщенія, т. е. ослабленіе того или другого источника свѣта, достигается измѣненіемъ отверстія діафрагмы передъ объективомъ или передъ лампой, смотря по тому, который изъ источниковъ свѣта надо ослабить, и вставкой передъ діафрагмами темныхъ, дымчатыхъ стеколъ.

Если равенство освѣщенія достигнуто при n_0 числѣ дымчатыхъ стеколъ, d_0 диаметрѣ отверстія діафрагмы и f_0 фокусномъ разстояніи въ трубѣ c , у нормальной лампы, и соотв. n_1 , d_1 и f_1 въ объективѣ d , у изслѣдуемаго источника свѣта, то нужное намъ отношеніе силы свѣта J_1 послѣдняго къ силѣ свѣта J_0 нормальной лампы выразится, если k коэффициентъ поглощенія цвѣтнымъ стекломъ въ окулярѣ, уравненіемъ

$$\frac{J_1}{J_0} = \frac{k^{n_1}}{k^{n_0}} \left(\frac{d_1}{d_0} \right)^2 \left(\frac{f_1}{f_0} \right)^2$$

Какъ уже сказано, для сравненія надо брать простой лучъ; всего лучше брать красный, такъ какъ сила красныхъ лучей вслѣдствіе особаго устройства нашего глаза измѣняется весьма быстро, именно въ отношеніи 1:1000000 между 600° и 1800° Ц.; въ виду этого можно получать точные результаты даже при неособенно точномъ измѣреніи силы свѣта. Красный лучъ съ длиной волны $\lambda = 659$ получается помѣщеніемъ передъ окуляромъ стекла h , окрашеннаго окисью мѣди.

Иногда красное стекло замѣняютъ зеленымъ, пропускающимъ лучи съ $\lambda = 546$, при

или проще для вычислений

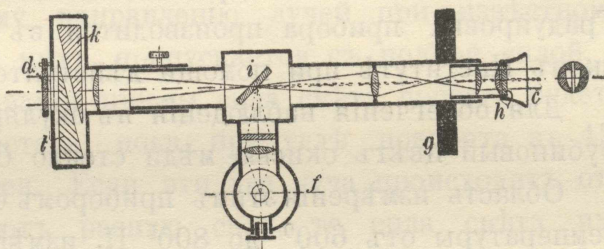
$$\frac{J_1}{J_0} = \left(\frac{1}{k} \right)^{n_0 - n_1} \left(\frac{d_1}{d_0} \right)^2 \left(\frac{f_0}{f_1} \right)^2. \quad (54)$$

Для стеколъ, употребляемыхъ въ приборѣ Ле-Шателье, — для красныхъ $k = \frac{1}{11}$, для зеленыхъ $k = \frac{1}{7}$.

Вычисления по ур-ю (51), (53) или (54) могутъ быть сдѣланы заранее и сведены въ таблицу, тогда обращеніе съ приборомъ значительно упрощается.

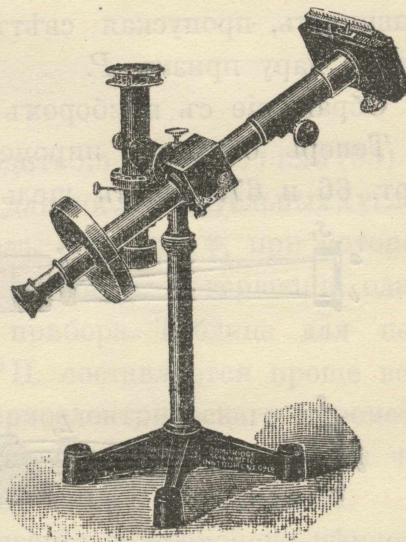
Описанный приборъ пригоденъ для измѣренія температуръ примерно отъ 700^0 до 2000^0 ; для болѣе низкихъ температуръ чувствительность его быстро понижается.

На черт. 62 представлена схема того-же прибора, усовершенствованнаго проф. Фэри. Главная разница состоитъ въ томъ, что зеркальце i образовано на большомъ стеклѣ съ помощью узкой посеребренной полоски, такъ что отраженіе свѣта лампы f получается въ



Черт. 62 и 63.

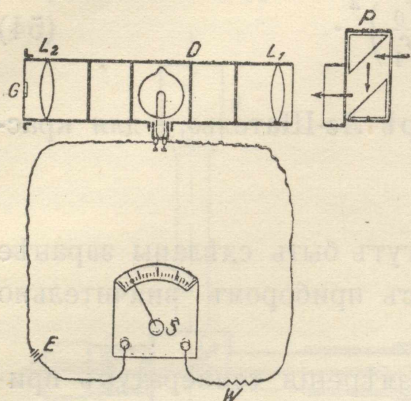
серединѣ окуляра въ видѣ узкой же полоски, перерѣзающей изображение изслѣдуемаго тѣла (на черт. 63 — раскаленнаго тигля). Затѣмъ вмѣсто діафрагмы передъ объективомъ находятся двѣ поглощающія призмы k и l ; перемѣщая ихъ перпендикулярно къ оси главной трубы, можно измѣнять толщину слоя, проходимого лучами изслѣдуемаго тѣла, и тѣмъ измѣнять ихъ силу; d добавочное темное стекло для опредѣленія высокихъ температуръ. Искомая температура находится по таблицѣ въ зависимости отъ показанія шкалы положенія призмъ k и l . Черт. 64 представляетъ внѣшній видъ этого прибора.



Черт. 64

Пирометръ Гольборна и Курльбаума, изготовляемый фирмой Сименсъ и Гальске и дѣйствующій по схемѣ 2, въ сущности представляетъ лишь конструктивное усовершенствованіе предыдущаго.

Приборъ этотъ, черт. 65, состоитъ изъ зрительной трубы съ чечевицами L_1 и L_2 и рядомъ діафрагмы D . Въ главномъ фокусѣ трубы нахо-



Черт. 65.

дится электрическая лампочка накаливанія; лампочка питается токомъ (4 вольта) отъ аккумуляторной батареи E ; сила тока регулируется реостатомъ W такъ, чтобы сила свѣта лампы сдѣлалась равной силѣ свѣта изслѣдуемого раскаленного тѣла; этотъ моментъ легко и рѣзко узнается по тому, что нить лампочки, бывшая или свѣтлѣе или темнѣе фона, вдругъ становится невидимой; соотв. сила тока, указываемая амперметромъ S , даетъ

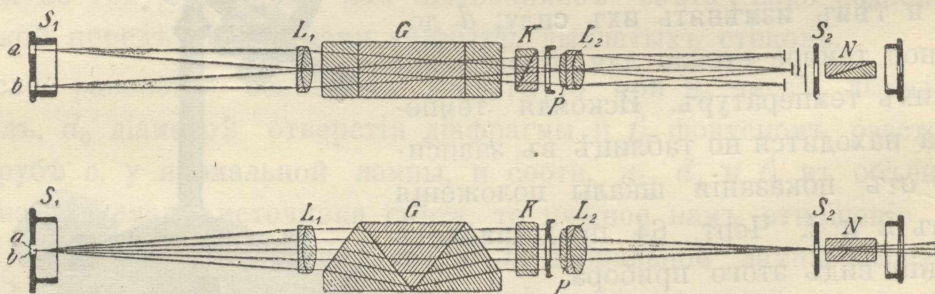
температуру нити, откуда уже нетрудно или вычислить температуру тѣла или взять ее изъ заранее составленной градуировочной таблицы. Градуировка прибора производится въ Имперскомъ Физико-Техническомъ Институтѣ при помощи дѣйствительно черного тѣла.

Для облегченія наблюденія въ окулярѣ вставляется окрашенное въ рубиновый цвѣтъ окисью мѣди стекло G .

Область измѣренія этимъ приборомъ отъ 600^0 до 1900^0 Ц.; при этомъ температуры отъ 600^0 до 800^0 Ц. измѣряются безъ краснаго стекла, а для измѣренія отъ 1200^0 до 1900^0 вставляется стекло двойной толщины (4 мм.). Наконецъ, температуры выше 1900^0 , т. е. выше температуры нити лампы можно, не вычисляя ихъ абсолютной величины, сравнивать, пропуская свѣтъ раскаленного тѣла ради его ослабленія черезъ пару призмъ P .

Обращеніе съ приборомъ нетрудно, и показанія его очень точны.

Теперь опишемъ пирометръ Ваннера, дѣйствующій по схемѣ 3, черт. 66 и 67. Черезъ щель a поступаютъ лучи изслѣдуемаго тѣла,



Черт. 66 и 67.

черезъ щель b лучи отъ источника свѣта, взятаго за сравненіе— 6-вольтовой лампочки накаливанія, питаемой токомъ отъ небольшой аккумуляторной батареи. Оба пучка лучей проходятъ черезъ сложную

чечевицу L_1 , а затѣмъ черезъ сложную призму G , дающую прямое изображеніе, при чемъ лучи преломляются и даютъ два спектра. При дальнѣйшемъ прохожденіи черезъ пару призмъ K изъ горнаго хрусталя эти два спектра разлагаются на двѣ пары спектровъ, при чемъ въ каждой парѣ спектры получаютъ поляризованными по взаимно перпендикулярному направленію. Послѣ прохожденія черезъ двойную призму P число спектровъ удваивается, т. е. всего въ окуляръ L_2 попадаютъ 8 спектровъ; уголъ призмы P берется такой, чтобы изъ этихъ восьми спектровъ 2, одинъ горизонтально поляризованный отъ лампы и одинъ вертикально поляризованный отъ изслѣдуемаго источника, сблизилась для облегченія ихъ сравненія. Посылаемые ими красные лучи съ опредѣленной длиной волнъ λ заполняютъ обѣ половины поля зрѣнія, на которое смотрятъ черезъ призму Николя N . Щель S_2 передъ этой призмой задерживаетъ всѣ прочіе лучи спектровъ.

При прохожденіи черезъ призму Николя двухъ поляризованныхъ по взаимно перпендикулярному направленію лучей при извѣстномъ положеніи призмы одинъ изъ нихъ пропускается съ полной силой, а другой гасится; при поворачиваніи призмы сила свѣта перваго будетъ ослабляться, а втораго возрастать, пока при углѣ поворота въ 45° сила обоихъ лучей сравняется. Если эти два луча происходятъ отъ разныхъ источниковъ и имѣютъ разную силу, то сила свѣта ихъ послѣ прохожденія черезъ призму Николя сравняется не при 45° , а при нѣкоторомъ другомъ углѣ поворота φ ; этотъ уголъ опредѣлитъ отношеніе силы свѣта обоихъ лучей, именно

$$\frac{J}{J_1} = \operatorname{tg}^2 \varphi. \quad (54)$$

Дальнѣйшее вычисленіе можно производить по ур-ю (51) или (53). На практикѣ пользуются таблицей, въ которой для послѣдовательныхъ угловъ φ показаны прямо соотв. температуры. Уголъ поворота φ , при которомъ обѣ половины поля зрѣнія оказываются освѣщены совершенно одинаково, отчитывается по шкалѣ у окуляра прибора. Таблица для перевода показаній пирометра Виннера въ $^\circ\text{Ц.}$ составляется проще всего при помощи сличенія съ показаніями термоэлектрическаго пирометра, нагрѣваемаго въ электрической печи съ платиновой обмоткой, при чемъ пирометръ Ваннера направляютъ на самый спай термоэлемента.

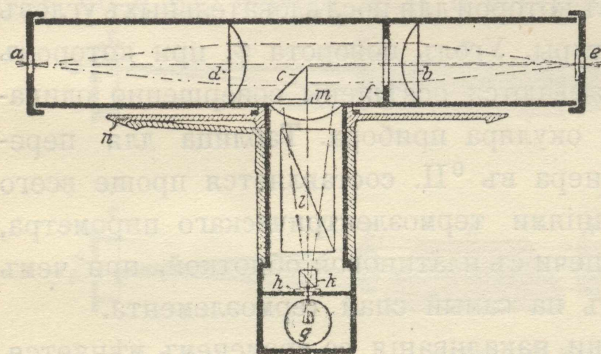
Сила свѣта осміевой лампочки накаливанія со временемъ мѣняется, а, кромѣ того, зависитъ отъ напряженія тока батареи; поэтому силу свѣта ея необходимо отъ времени до времени провѣрять, сравнивая въ томъ же приборѣ съ силой свѣта нормальной лампы, въ которой

горить амилоуксусный эфиръ. Если при сравненіи съ этой лампой получится неодинаковое освѣщеніе обѣихъ половинъ поля зрѣнія, то лампу накаливанія передвигаютъ при помощи установочнаго винта ближе или дальше отъ объектива, пока не будетъ достигнуто одинаковое освѣщеніе обѣихъ половинъ поля зрѣнія. Если даже при крайнемъ приближеніи лампы верхняя половина поля зрѣнія освѣщена слабѣ нижней, то это показываетъ на недостаточную силу тока; тогда надо подзарядить аккумуляторную батарею, напряженіе которой, когда она вполне заряжена, должно составлять 6,2 вольта. Если при достаточно заряженной батарее верхняя половина освѣщена все же слабѣ нижней, то это показываетъ на ненормально большое сопротивленіе въ цѣпи, надо осмотрѣть и очистить всѣ соединенія.

При перезарядкѣ сильно заряженной батарее можетъ случиться, наоборотъ, что даже при крайнемъ удаленіи лампы верхняя половина поля зрѣнія остается освѣщенной сильнѣе нижней, тогда надо нѣсколько разрядить батарею, пропуская токъ отъ нея черезъ обыкновенную лампу накаливанія, пока при повторной проверкѣ съ амилоуксусной лампой не получится требуемаго результата. Такую проверку надо дѣлать не рѣже, чѣмъ черезъ 100, въ крайнемъ случаѣ 150 наблюденій.

Область примѣненія этого прибора отъ 900° до 2000° Ц., а если поставить передъ объективомъ дымчатое стекло, то и до 4000° Ц и даже выше. Точность его показаній при извѣстномъ навыкѣ составляетъ $0,5-1\%$; при температурахъ выше 1400° она нѣсколько уменьшается, падая къ 2000° до 3% .

Обращеніе съ приборомъ очень удобно, проверка его точна и проста, основанъ онъ на теоретически и практически доказанномъ законѣ, такъ что степень точности его показаній не подлежитъ сомнѣнію.



Черт. 68.

Этимъ объясняется широкое распространеніе, которое онъ получилъ въ сравнительно короткое время. На схемѣ черт. 66 и 67 приборъ показанъ примерно въ $1/3$ натуральной величины.

Въ заключеніе опишемъ еще новѣйшую конструкцію пирометра Ваннера, предназначенную для измѣренія болѣе низкихъ температуръ, отъ 625° до 1000° Ц. Особенность этого прибора, черт. 68, состоитъ по сравненію съ пре-