

Д. К. Доброевровъ
привать-доцентъ Казанскаго Университета.

ВѢСЫ И ВЗВѢШИВАНІЕ.



Химическіе вѣсы, ихъ теорія, испытаніе и употребленіе.

Съ 15-ю рис. въ текстѣ и таблицей.



КАЗАНЬ.
Типо-литографія Императорскаго университета.
1905.

Печатано по опредѣленію Физико-математическаго факультета при
Императорскомъ Казанскомъ университетѣ. 28 мая 1905 года.

Декань *В. Суворовъ.*

Предисловіе.

Эта небольшая книжка возникла случайно при систематизации и обработкѣ соотвѣтствующаго матеріала, добытаго на практическихъ занятіяхъ по „Физико-химической методикѣ“, которую я началъ излагать съ весенняго семестра 1903 года студентамъ естественникамъ.

Въ этомъ смыслѣ она представляетъ распространенную главу моего курса, распространенную по преимуществу въ описательной части.

Подробности въ этомъ отношеніи могутъ показаться излишними лишь при поверхностномъ взглядѣ на вещи. На дѣлѣ оказывается, что конструктивныя детали, которыхъ приходится касаться, не только важны сами по себѣ, въ практическомъ отношеніи, но кромѣ того, такъ сказать, насквозь пронизаны теоріей.

При этихъ условіяхъ обсужденіе деталей является лучшимъ средствомъ внѣдрить въ сознаніе практиканта взаимоотношеніе различныхъ факторовъ, опредѣляющихъ качество вѣсовъ и точность операціи взвѣшивания. И детали тогда уже не мертвенны, но одухотворены проникающею ихъ теоріей.

Эта книжка выпущена въ свѣтъ въ качествѣ руководства для практикантовъ по курсу физико-химическихъ измѣреній.

Одновременно я имѣлъ въ виду, что содержаніе ея можетъ оказаться небезынтереснымъ и полезнымъ для всякаго вообще натуралиста, имѣющаго дѣло съ числомъ, мѣрою и *вѣсомъ*.

Льщу себя надеждою, что лица, въ рукахъ которыхъ побываетъ эта книжка, не откажутся почтить меня своими замѣчаніями касательно тѣхъ недосмотровъ и погрѣшностей, которые будутъ замѣчены ими при ея чтеніи.

Дмитрій Добросердовъ.



Содержаніе.

Стр.

- Глава I. Количество матеріи, масса и вѣсъ. Сущность взвѣшиванія 1
- Глава II. Вѣсы, какъ рычагъ перваго рода. Статика и динамика вѣсовъ. Понятіе о чувствительности. 5
- Глава III. Детали устройства вѣсовъ въ связи съ требованіями чувствительности и точности 14
- Глава IV. Разновѣсъ. Гусарь или рейтеръ и его употребленіе 27
- Глава V. Монтировка вѣсовъ. Выборъ мѣста. Испытаніе ихъ. Операция простаго взвѣшиванія. Взвѣшиваніе изъ разности.—Правила обращенія съ точными вѣсами 38
- Глава VI. Операция точнаго взвѣшиванія методомъ колебаній (методъ интерполации). Ускоренное взвѣшиваніе методомъ колебаній со вспомогательной таблицей для средней чувствительности.—Автоматическое накладываніе разновѣсовъ. Отчетъ вооруженнымъ глазомъ 57
- Глава VII. Опредѣленіе чувствительности вѣсовъ и измѣненія ея съ нагрузкой. Кривая чувствительности. Графическое интерполированіе. Сравненіе чувствительностей. 71
- Глава VIII. Отношеніе длины плечъ коромысла 87

- Глава IX. Методы абсолютнаго взвѣшиванія. Исключеніе
неравноплечести вѣсовъ. Приведеніе вѣса къ
пустотѣ 95
- Глава X. Вывѣрка набора разновѣсовъ. Приготовленіе до-
лей грамма изъ проволоки 107



Глава I.

Количество матеріи, масса и вѣсъ. Сущность взвѣшиванія.

Въ безсмертномъ твореніи Ньютона „Philosophiae Naturalis Principia mathematica“ (1687) въ отдѣлѣ „Axiomata sive leges motus“ впервые были формулированы основные законы движенія.

Первый изъ этихъ законовъ выражается слѣдующимъ образомъ: всякое тѣло сохраняетъ состояніе покоя или равномернаго прямолинейнаго движенія; пока дѣйствіе силъ не заставитъ его измѣнить своего состоянія. Законъ этотъ выражаетъ особое *свойство матеріи*, называемое *инерціей* или косою. Второй законъ — измѣненіе движенія пропорціонально приложенной движущей силѣ и имѣетъ одинаковое съ ней направленіе—влечетъ за собою слѣдствіе: *сила* въ каждый данный моментъ пропорціональна вызванному ею ускоренію и имѣетъ одинаковое съ нимъ направленіе. Отсюда $f=sw$, гдѣ s —коэффициентъ, свойственный лишь данному тѣлу и различный для различныхъ тѣлъ. Этотъ коэффициентъ зависитъ отъ особаго свойства матеріи, которое мы называемъ инертностью или *массой*. Отсюда тѣла, движущіяся съ одинаковымъ ускореніемъ подъ вліяніемъ одной и той же силы, обладаютъ равными массами. При неравенствѣ же массъ одно и то же ускореніе вызывается неравными силами и одна изъ нихъ будетъ во столько разъ больше другой, во сколько разъ одна масса

больше другой массы. Принявъ массу какого нибудь опредѣленнаго тѣла за единицу массы и обозначивъ для какого нибудь другого тѣла численное значеніе его массы черезъ m , получимъ $f = Cmw$, гдѣ C — новый коэффициентъ пропорціональности, относящійся уже и къ m и къ w . Положивъ $C = 1$, мы увидимъ, что въ формулѣ $f = mw$ мы можемъ произвольно выбрать лишь двѣ изъ трехъ единицъ; выбравъ двѣ, третья опредѣлится сама собою.

Единица массы выбрана произвольно и по первоначальному опредѣленію должна равняться массѣ 1 кубическаго сантиметра воды при ея наибольшей плотности т. е. при 4°C . Эта единица массы называется граммомъ и одноименна съ единицей вѣса; о различіи ихъ будетъ рѣчь ниже.

Само собою очевидно, что масса *однороднаго* тѣла пропорціональна его объему. Съ другой стороны, ясно, что количества вещества *въ однородныхъ* тѣлахъ пропорціональны объемамъ, занимаемымъ этими тѣлами. Отсюда непосредственно выводится слѣдствіе, что *количества матеріи, содержащейся въ однородныхъ тѣлахъ, пропорціональны ихъ массамъ*. Если за единицу количества матеріи принять то количество ся, которое содержится въ тѣлѣ, масса котораго принята за единицу, то количества однородныхъ веществъ будутъ измѣряться ихъ массами.

Этотъ выводъ непосредственно ясенъ лишь для тѣлъ однородныхъ. Чтобы распространить его и на тѣла неоднородныя, будемъ *условно* называть равными такія количества ихъ, которыя обладают одинаковыми массами т. е. подъ вліяніемъ одинаковой силы движутся съ одинаковымъ ускореніемъ. Сдѣлавъ это *допущеніе*, мы получимъ въ обобщенномъ видѣ слѣдующее соотношеніе между количествомъ матеріи и массой: *количество матеріи, заключающейся въ данномъ тѣлѣ, измѣряется его массою*.

Основнымъ закономъ химіи и вообще естествознанія является законъ сохраненія матеріи, который гласитъ:

При всякаго рода физическихъ и химическихъ измѣненіяхъ, которымъ подвергается матерія, она не создается вновь и не исчезаетъ; полное ея количество остается неизмѣннымъ.

Важность этого закона очевидна: зная его, мы имѣемъ возможность при самыхъ сложныхъ химическихъ превращеніяхъ учесть количества веществъ, какъ подвергшихся превра-

ценію, такъ и получившихся въ результатѣ превращенія, такъ какъ количество матеріи до и послѣ превращенія должно остаться неизмѣннымъ. Поэтому химическія превращенія и выражаются уравненіями, въ общемъ же видѣ уравненіемъ:

$$A + B + C + \dots = A_1 + B_1 + C_1 + \dots,$$

въ которомъ сумма количествъ веществъ до превращенія связана знакомъ равенства съ суммой количествъ послѣ превращенія.

Такимъ образомъ мы видимъ, что основной законъ химіи имѣетъ дѣло съ количествами веществъ. Мы уже знаемъ, что количество вещества измѣряется массою. Теперь является вопросъ, какъ измѣрить массу тѣла. Исходя изъ уравненія $f = mw$, легко видѣть, что это можетъ быть достигнуто различными путями. Напр. при нѣкоторомъ постоянномъ ускореніи (w) мы могли бы судить о массахъ, сравнивая силы, потребныя, чтобы придать массамъ данное постоянное ускореніе. Тогда, если силы равны, равны и массы или количества веществъ. Такимъ постояннымъ ускореніемъ можетъ быть напр. ускореніе силы тяжести ($g = 981$ см/сек), такъ что для сравненія и измѣренія массъ мы можемъ обратиться къ сравненію и измѣренію притяженій данныхъ массъ землею т. е. сравнивать вѣса. Такъ какъ вѣсъ есть давленіе на подставку и представляетъ частный случай силы, то для двухъ массъ m и m_1 будемъ имѣть $f = mg$ и $f' = m_1g$, откуда $m : m_1 = f : f_1$, т. е. *отношеніе вѣсовъ дастъ намъ отношеніе массъ.*

Принимая за единицу вѣса вѣсъ какого нибудь тѣла *въ томъ мѣстѣ, гдѣ производится измѣреніе*, вѣсъ другого тѣла можно опредѣлить, уравновѣшивая его подобраннымъ числомъ единицъ вѣса (разновѣсокъ) на рычагѣ перваго или втораго рода, отношеніе плечъ котораго должно быть извѣстно.

Изъ уравненій $f = mw = mg$ видно, что вѣсъ тѣла получается умноженіемъ его массы на напряженіе силы тяжести въ данномъ мѣстѣ; слѣдовательно необходимо строго различать эти два разнородныхъ понятія: измѣряя массу въ граммахъ, вѣсъ, какъ силу, мы должны бы измѣрять въ динахъ. Отсюда тѣло съ массою въ 1 гр. вѣситъ 981 динъ и т. д. (такъ какъ $g = 981$ см/сек въ среднемъ). Замѣтивъ теперь, что ускореніе силы тяжести непостоянно и мѣняется въ зависимости отъ широты мѣста и высоты его надъ уровнемъ моря, мы тотчасъ

увидимъ, что и вѣсъ тѣла, въ противоположность массѣ, не есть величина постоянная и мѣняется въ зависимости отъ величины g ¹⁾, такъ что одна и таже масса въ различныхъ мѣстахъ и на различной высотѣ отъ поверхности земного шара вѣситъ различно.

Принимая во вниманіе вышеуказанное, необходимо ясно представлять себѣ, что на вѣсахъ получается вѣсъ тѣла только при упомянутомъ условіи. Иначе, для каждой широты и для каждой высоты надъ уровнемъ моря должны бы быть свои разновѣски. Если же мы приняли бы напр. за единицу вѣса граммъ т. е. вѣсъ въ Парижѣ такого тѣла, масса котораго граммъ, то тогда намъ необходимо было бы знать соотвѣтствующія поправки, которыя позволили бы въ данномъ мѣстѣ найти истинный вѣсъ разновѣски, которая въ Парижѣ вѣситъ граммъ.

Такимъ образомъ за единицу вѣса принимается вѣсъ тѣла, масса котораго равна единицѣ т. е. грамму. Эта единица вѣса, измѣренная въ динахъ, имѣетъ, такимъ образомъ, въ каждомъ данномъ мѣстѣ различное значеніе, зависящее отъ величины g . Такъ, напр. масса грамма притягивается землею

въ Кіевѣ	(50°27' шир.)	съ силою	981,08	динъ
„ Москвѣ	(55°45' шир.)	—	981,52	—
„ Петербургѣ	(59°56' шир.)	—	981,85	—

Но, измѣняя свое значеніе для каждаго мѣста, единица вѣса всегда отвѣчаетъ единицѣ массы и поэтому одноименна съ ней и называется *граммомъ*.

Такимъ образомъ *взвѣшивание есть опредѣленіе массы тѣла* или количества вещества въ немъ *путемъ сравненія его съ вѣсомъ тѣла, масса котораго единица т. е. граммъ.*

Равнымъ образомъ и *разновѣски являются прежде всего эталонами массы*, и такъ какъ масса тѣлъ въ данномъ мѣстѣ пропорціональна вѣсу, то, гдѣ бы мы не производили взвѣшиваній нашими разновѣсками, вездѣ мы получимъ вѣрное численное значеніе массы. Численное же значеніе вѣса (въ ди-

¹⁾ g для широты $\varphi=45^\circ$ и высоты $h=0$ надъ уровнемъ моря равняется 980,61 сант. Для любыхъ h и φ мы имѣемъ формулу

$$g=980,61(1-0,00259\cos 2\varphi)(1-0,0000000314h).$$

нахъ) путемъ взвѣшиванія узнается только тогда, когда извѣ-
стенъ вѣсъ эталоновъ для мѣста взвѣшиванія, т. е. когда
точно извѣстно ускореніе силы тяжести въ данномъ мѣстѣ.

Глава II.

Вѣсы, какъ рычагъ перваго рода. Статика и
динамика вѣсовъ. Понятіе о чувствительности.

Выше мы указали, что выбравъ за единицу вѣса вѣсъ
какого нибудь тѣла (напр. съ массою въ граммъ) въ томъ
мѣстѣ, гдѣ производится измѣреніе, *вѣсъ другого тѣла можно*
опредѣлить уравновѣшивая его подобраннымъ числомъ еди-
ницъ вѣса (разновѣсками) на рычагѣ перваго или втораго
рода, отношеніе плечъ котораго должно быть извѣстно.

Приборы, служащіе для этой манипуляціи, называются
вѣсами.

Вѣсы химика представляютъ собою прямолинейный и
равноплечій рычагъ перваго рода, что видно изъ слѣдующаго
ихъ устройства.

Главную часть вѣсовъ составляетъ рычагъ, называю-
щійся *коромысломъ*, которое представляетъ собою металличе-
скую полосу, снабженную прорѣзями. Связь средину этой по-
лосы пропущена трехгранная призма, обращенная однимъ изъ
реберъ внизъ; въ концѣ коромысла вдѣланы тая же призма,
но острия ребра ихъ обращены кверху. Средняя призма сво-
имъ острымъ ребромъ опирается на неподвижную горизон-
тальную площадку, вдѣланную въ вертикальную колонку, слу-
жащую опорой всего прибора, на ребра же крайнихъ призмъ
навѣшиваются при помощи тѣхъ или иныхъ подвѣсокъ чашки-
площадки, служація для помѣщенія взвѣшиваемаго тѣла и
разновѣсокъ.

Эти детали отвѣчаютъ *рычагу перваго рода*.

Равноплечимъ этотъ рычагъ будетъ тогда, когда разстоя-
нія реберъ крайнихъ призмъ отъ средней будутъ равны и
всѣ три ребра параллельны.

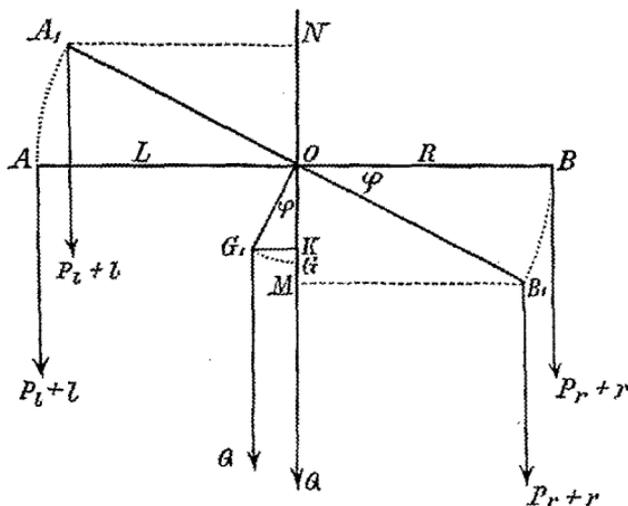
Прямолинейнымъ—когда всѣ три ребра лежатъ въ одной
плоскости.

Разъ коромысло совершенно симметрично и вѣсь обѣихъ чашекъ одинаковъ, то въ состояніи равновѣсія центръ тяжести всей подвижной системы находится на одной отвѣсной линіи съ осью опоры.

I. *Статика вѣсовъ.* Коромысло представляетъ собою частный случай вращающагося тѣла, поэтому для равновѣсія его требуется, чтобы сумма моментовъ всѣхъ приложенныхъ къ нему силъ равнялась нулю.

Для общности представимъ себѣ тотъ случай, когда длины плечъ будутъ различны—лѣваго L , праваго R , вѣса соответствующихъ чашекъ назовемъ l и r , а грузовъ, наложенныхъ на нихъ P_l и P_r . Далѣе, обозначимъ вѣсь самого коромысла Q , а расстояние центра тяжести его отъ оси опоры S . Тогда на коромысло дѣйствуютъ три силы $P_l + l$, $P_r + r$ и Q и пусть, наклонившись къ горизонту на уголъ φ , коромысло приходитъ въ равновѣсіе.

Тогда моменты вращающихся силъ выразятся у насъ такъ (см. фиг. 1):



Фиг. 1.

$$(P_r + r)B'M, - Q.G'K \text{ и } -(P_l + l)A'N \text{ или} \\ (P_r + r)R\cos\varphi, - Q.OG'\sin\varphi \text{ и } -(P_l + l)L\cos\varphi,$$

причемъ получаются знаки разные, такъ какъ первая сила $(P_r + r)$ вращаетъ коромысло въ одну сторону (по часовой стрѣлкѣ), а другія двѣ $(Q, P_l + l)$ въ противоположную.

Равновѣсіе наступитъ, когда сумма моментовъ вращающихся силъ будетъ равна нулю т. е. когда

$$(P_r + r)R \cos \varphi - Q \cdot OG' \sin \varphi - (P_l + l)L \cos \varphi = 0 \text{ или} \\ (P_r + r)R \cos \varphi = (P_l + l)L \cos \varphi + Q \cdot OG' \sin \varphi$$

или, такъ какъ $OG' = S$,

$$(P_r + r)R \cos \varphi = (P_l + l)L \cos \varphi + Q \cdot S \cdot \sin \varphi \dots 1)$$

Если плеча коромысла равной длины и чашки равнаго вѣса т. е. $L = R$, $L + R = 2L$ и $r = l$, $l + r = 2l$, то при $P_l = P_r = 0$ и $\varphi = 0$ т. е. коромысло ненагруженныхъ вѣсовъ съ равными плечами и чашками равнаго вѣса, будучи въ равновѣсіи, приходятъ въ *горизонтальное положеніе*.

При $R = L$ и $r = l$ будемъ имѣть:

$$L(P_r - P_l) \cos \varphi = QS \sin \varphi, \text{ откуда, если } P_r - P_l = p:$$

$$\frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \operatorname{tg} \varphi = p \frac{L}{QS}$$

Но при очень маломъ углѣ $\operatorname{tg} \varphi = \varphi$, откуда получаемъ:

$$\varphi = p \frac{L}{QS} \dots 2)$$

Положимъ теперь, что коромысло нагруженныхъ вѣсовъ не отклонено и находится въ горизонтальномъ положеніи т. е. $\varphi = 0$; тогда $p = P_r - P_l = 0$ и

$$P_r = P_l,$$

т. е. грузы на чашкахъ равны. Если же, напротивъ, грузы не одинаковы т. е. p отлично отъ 0, то коромысло находится къ горизонту подъ нѣкоторымъ угломъ ($\varphi \neq 0$).

Такимъ образомъ, при указанныхъ условіяхъ отсутствіе отклоненія коромысла отъ горизонтальнаго положенія указываетъ на равенство грузовъ, паложенныхъ на обѣ чашки вѣсовъ, и наоборотъ. Наличие отклоненія обнаруживается движеніемъ стрѣлки или указателя, прикрѣпленнаго къ коромыслу; конецъ указателя, перемѣщаясь по шкалѣ, позволяетъ наблюдать и измѣрять отклоненія коромысла.

Чувствительность вѣсовъ.

Для точности взвѣшивавія требуется, чтобы вѣсы были чувствительны т. е. чтобы даже при ничтожномъ несоблюденіи условія $P_l = P_r$ они уже обнаруживали замѣтное отклоненіе отъ положенія равновѣсія, когда $\varphi = 0$ и стрѣлка указываетъ на среднее дѣленіе шкалы, т. е. чтобы уже малѣйшій перегрузъ p на одной изъ чашекъ чувствовался вѣсами и обнаруживался отклоненіемъ указателя.

Для опредѣленія чувствительности, характеризующей качество вѣсовъ, находятъ уголъ отклоненія, отвѣчающій единицѣ перегруза, обыкновенно миллиграмму (0,001 gr).

Посмотримъ теперь, какъ выразится и отъ чего зависитъ чувствительность вѣсовъ. Раздѣлимъ обѣ части уравненія 2) на перегрузъ p , выраженный въ миллиграммахъ и мы получимъ выраженіе для чувствительности Φ т. е. угла отклоненія, отнесеннаго къ миллиграмму перегруза:

$$\Phi = \frac{\varphi}{p} = \frac{L}{QS} \dots \dots \dots 3)$$

Изъ этой формулы явствуетъ, что чувствительность вѣсовъ, опредѣляющая ихъ качество:

- 1) прямо пропорціональна длинѣ коромысла, ¹⁾
- 2) обратно пропорціональна вѣсу коромысла и
- 3) обратно пропорціональна разстоянію его центра тяжести отъ оси опоры.

Изъ формулы чувствительности видно далѣе, что она совсѣмъ не зависитъ отъ величины нагрузки, такъ какъ въ нее 3) совсѣмъ не входитъ $P_l + P_r$. Но такъ дѣло обстоитъ лишь для случая прямолинейнаго рычага т. е. когда ребра вѣсъхъ трехъ призмъ лежатъ въ одной плоскости.

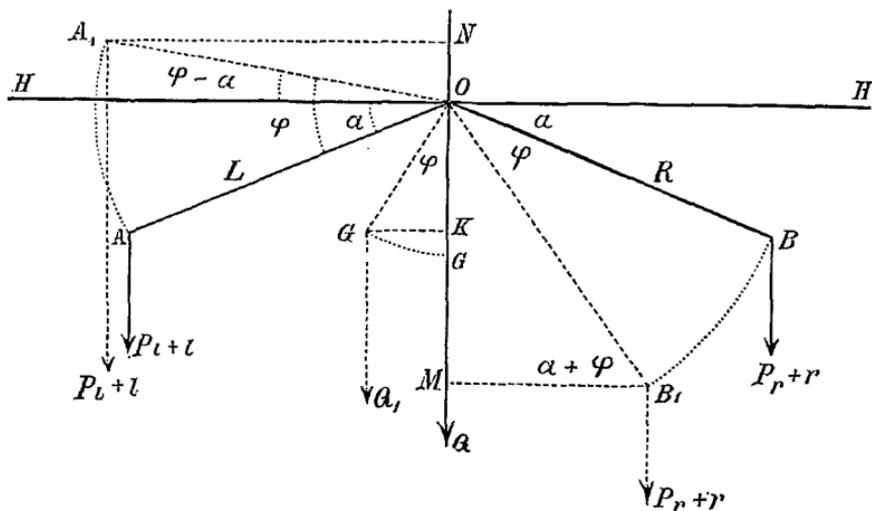
Зависимость чувствительности отъ нагрузки.

Для криволинейнаго рычага мы наблюдаемъ иное отношеніе, именно здѣсь имѣетъ мѣсто зависимость чувствительности отъ величины нагрузки.

Положимъ попрежнему, что вѣсъ чашекъ одинаковъ и плеча равны ($l=r$ и $L=R$), но что ребра крайнихъ призмъ ниже средней и прямая, соединяющія точки привѣсовъ съ

¹⁾ См. однако главу III.

точкой опоры O направлены под углом α къ горизонтальной плоскости HN т. е. $NOA=NOB=\alpha$. Пусть при перегрузѣ $P_r - P_l = p$ коромысло отклонится на уголъ φ . Тогда условіемъ равновѣсія будетъ (см. фиг. 2):



Фиг. 2.

$$P_l \cdot A_1 N + Q \cdot G' K - P_r \cdot B' M = 0$$

Такъ какъ $A_1 N = L \cos(\varphi - \alpha)$, $G' K = S \sin \varphi$ и $B' M = B \cos(\varphi + \alpha)$, то

$$P_l L \cos(\varphi - \alpha) + Q \cdot S \sin \varphi - P_r \cdot B \cos(\varphi + \alpha) = 0$$

Припомнимъ, что $R = L$ и $P_r - P_l = p$, а $P_l - P_r = -p$, получаемъ:

$$\begin{aligned} & P_l L (\cos \varphi \cdot \cos \alpha + \sin \varphi \cdot \sin \alpha) + \\ & Q \cdot S \sin \varphi - P_r L (\cos \varphi \cdot \cos \alpha - \sin \varphi \cdot \sin \alpha) = 0 \\ & P_l L \cos \varphi \cdot \cos \alpha + P_l L \sin \varphi \cdot \sin \alpha + \\ & Q \cdot S \sin \varphi - P_r L \cos \varphi \cdot \cos \alpha + P_r L \sin \varphi \cdot \sin \alpha = 0 \\ & \cos \varphi L (P_l - P_r) \cos \alpha + (P_l + P_r) L \sin \varphi \cdot \sin \alpha + Q \cdot S \sin \varphi = 0 \\ & -\cos \varphi L p \cos \alpha + \sin \varphi (P_l L \sin \alpha + P_r L \sin \alpha + Q \cdot S) = 0 \end{aligned}$$

Отсюда, такъ какъ $\frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \operatorname{tg} \varphi$, получаемъ

$$\frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = \frac{Lp\cos\alpha}{P_l L\sin\alpha + P_r L\sin\alpha + QS} = \operatorname{tg}\varphi$$

Положимъ $P_l + P_r = 2P + p$, находимъ

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\varphi &= \frac{Lp\cos\alpha}{2P.L\sin\alpha + pL\sin\alpha + QS} = \frac{1}{\frac{2P+p}{p}\operatorname{tg}\alpha + \frac{QS}{pL}\frac{1}{\cos\alpha}} = \\ &= \frac{1}{\frac{2P+p}{p}\operatorname{tg}\alpha + \frac{QS}{pL}\operatorname{seca}} = \frac{p}{(2P+p)\operatorname{tg}\alpha + \frac{QS}{L}\operatorname{seca}} = \operatorname{tg}\varphi. \end{aligned}$$

При маломъ φ $\operatorname{tg}\varphi = \varphi$, и мы получаемъ ¹⁾

$$\Phi = \frac{\varphi}{p} = \frac{1}{(2P+p)\operatorname{tg}\alpha + \frac{QS}{L}\operatorname{seca}} \dots \dots \dots 4)$$

Изъ этого выраженія чувствительности для криволинейнаго рычага, когда уголъ α положителенъ, видно, что она съ увеличеніемъ нагрузки падаетъ, такъ какъ чѣмъ больше $2P+p$ въ знаменателѣ, тѣмъ меньше дѣлается вся дробь.

Далѣе, для того случая, когда уголъ α отрицателенъ, выраженіе 4) получаетъ такой видъ:

$$\Phi = \frac{\varphi}{p} = \frac{1}{\frac{QS}{L}\operatorname{seca} - (2P+p)\operatorname{tg}\alpha} \dots \dots \dots 5)$$

Уголъ α отрицателенъ тогда, когда ребра крайнихъ призмъ выше ребра средней призмы.

Въ этомъ случаѣ съ возрастаніемъ нагрузки чувствительность растетъ, такъ какъ съ увеличеніемъ $2P+p$ разность въ знаменателѣ дѣлается меньше, а вся дробь больше. При этомъ можетъ случиться, что при нѣкоторой нагрузкѣ $2P+p$ получится такое отношеніе

$$\frac{QS}{L}\operatorname{seca} = (2P+p)\operatorname{tg}\alpha \quad \text{т. е.} \quad \frac{QS}{L}\operatorname{seca} - (2P+p)\operatorname{tg}\alpha = 0.$$

¹⁾ См. другое выраженіе гл. VII, стр. 72.

Тогда $tg\varphi = \frac{1}{0} = \infty$, откуда $\varphi = 90^\circ$ и вѣсы будутъ въ неустойчивомъ равновѣсіи т. е. опрокинутся.

Такимъ образомъ, если мы желаемъ, чтобы чувствительность нашихъ вѣсовъ съ нагрузкою не мѣнялась, и такъ какъ неустойчивое равновѣсіе также недопустимо, то очевидно, что при изготовленіи коромысла необходимо стараться, что бы ребра вѣсъ трехъ призмъ лежали въ одной плоскости.

II. *Динамика вѣсовъ.* Легко представить себѣ, что въ динамическомъ отношеніи вѣсы представляютъ собою физическій маятникъ.

Отсюда для малыхъ угловъ отклоненія достаточно точнымъ является слѣдующее выраженіе для продолжительности одного неполнаго колебанія:

$$t = \pi \sqrt{\frac{J}{M\Sigma g}} \dots \dots \dots 1)$$

гдѣ t —время въ секундахъ, $\pi = 3,14$, J —моментъ инерціи колеблющейся массы M относительно оси вращенія (опоры), Σ —разстояніе центра тяжести *всей* колеблющейся массы отъ этой оси и g —ускореніе силы тяжести ($= 9,81$ m).

Внесемъ теперь π подъ знакъ радикала и положимъ $\frac{\pi^2}{g}$ равнымъ постоянной величинѣ 1,006, которая въ большинствѣ случаевъ можетъ быть отброшена, такъ какъ она достаточно близка къ 1. Тогда, выражая всѣ длины въ метрахъ, будемъ имѣть:

$$t = \sqrt{1,006 \frac{J}{M\Sigma}} \text{ (или просто } = \sqrt{\frac{J}{M\Sigma}}) \dots \dots \dots 2)$$

Такъ какъ $M = \frac{Q + 2P}{g}$, то

$$t = \sqrt{\frac{1,006 \cdot J \cdot g}{(Q + 2P)\Sigma}} \dots \dots \dots 3)$$

Найдемъ теперь моментъ инерціи всей колеблющейся массы $\frac{Q + 2P}{g}$. По неоднократнымъ вычисленіямъ Р. Вннге

моментъ инерціи коромысла оказывается равенъ приближенно (нѣсколько меньше) $\frac{1}{3} \frac{Q}{g} \Sigma^2$; это выраженіе въ всякомъ случаѣ достаточно точно, чтобы ввести его въ дальнѣйшія соображенія. Моментъ инерціи *объихъ* нагрузокъ конечныхъ призмъ опредѣлится очень просто и равенъ $2 \frac{P}{g} L^2$ при $P_2 = P_1$. Отсюда сумма моментовъ инерціи равна

$$\frac{1}{3} \frac{Q}{g} \Sigma^2 + 2 \frac{P}{g} L^2.$$

Движеніе всей системы не измѣнится, если мы замѣнимъ всѣ силы $\frac{1}{3} \frac{Q}{g}$, $\frac{P}{g}$ и $\frac{P}{g}$ силой равной суммѣ ихъ

$$\frac{1}{3} \frac{Q}{g} + \frac{2P}{g} = \frac{Q + 6P}{3g},$$

но съ плечомъ, равнымъ плечу инерціи и такимъ, чтобы сумма моментовъ нанихъ силъ равнялась силѣ $\frac{Q + 6P}{3g}$ т. е. вѣсу всей вращающейся системы, помноженному на это плечо.

Такъ какъ Σ пренебрегаемо мало по сравненію съ L , то плечо, на которое будетъ дѣйствовать вѣсъ всей системы и будетъ равно L , откуда и моментъ инерціи всей системы опредѣлится, какъ

$$J = \frac{Q + 6P}{3g} L^2$$

Тогда, подставляя это значеніе въ выраженіе 3), получаемъ:

$$t = \sqrt{1,006 \frac{(Q + 6P)g \cdot L^2}{3g \Sigma(Q + 2P)}} = \sqrt{1,006 \cdot \frac{Q + 6P}{Q + 2P} \cdot \frac{L^2}{3\Sigma}}$$

Положимъ теперь $\Sigma(Q + 2P) = QS + 2PK$, гдѣ S — разстояніе центра тяжести коромысла отъ оси опоры, а K — разстояніе оси опоры отъ плоскости, проходящей черезъ ребра крайнихъ призмъ. Тогда:

грузки вслѣдствіе прогибанія коромысла, то при конструированіи вѣсовъ и вычисленіи статическихъ моментовъ ихъ полагаютъ равными нулю и уже потомъ на готовыхъ вѣсахъ нормируютъ ихъ путемъ соотвѣтствующихъ приспособленій на коромыслѣ (см. слѣд. главу). Такимъ образомъ приведенныя формулы 4—8 вполне исчерпываютъ отношенія величинъ, на которыя обращаютъ вниманіе при конструированіи вѣсовъ.

О выборѣ времени колебанія см. гл. III и V.

Глава III.

Детали устройства вѣсовъ въ связи съ требованіями чувствительности и точности.

Разсмотримъ теперь детали устройства вѣсовъ (la balance, the balance, die Waage) ¹⁾. Одновременно покажемъ, какія условія должны быть выполнены на практикѣ, чтобы достичь наибольшей чувствительности и точности.

Коромысло. Главную, подвижную часть вѣсовъ представляетъ коромысло (le fléau, the beam, der Waagebalken).

Выборъ матеріала опредѣляется главнымъ образомъ *крѣпостью* его, способностью сопротивляться гнутію, что имѣетъ огромное значеніе, такъ какъ необходимо, чтобы деформация, которую неизбежно претерпѣваетъ коромысло при нагрузкѣ, была возможно меньше. Дѣло въ томъ, что при изгибаніи коромысла, послѣднее превращается уже въ криволинейный рычагъ, для котораго имѣетъ мѣсто зависимость чувствительности отъ величины нагрузки (см. гл. II и VII), причемъ получаются вѣсы съ переменной чувствительностью, что имѣетъ серьезныя неудобства.

Увеличеніе массивности коромысла было бы плохимъ средствомъ для уменьшенія деформация, потому что, какъ мы видѣли, отъ этого пострадала бы чувствительность, такъ какъ она тѣмъ выше, чѣмъ легче коромысло (см. гл. II, стр. 8).

¹⁾ Для облегченія ориентировки въ иностранныхъ руководствахъ и каталогахъ мы сочли не лишнимъ при русскихъ названіяхъ важнѣйшихъ частей вѣсовъ помѣстить въ скобкахъ иностранныя синонимы.

Второе условіе чувствительности вѣсовъ — чувствительность тѣмъ больше, чѣмъ длиннѣе коромысло. Это требованіе, понятное само собою въ теоріи, на практикѣ встрѣчается съ большими затрудненіями. При увеличеніи длины коромысла гнупткость его сильно возрастаетъ, что вызываетъ измѣненіе, обыкновенно уменьшеніе чувствительности съ нагрузкой. Чтобы избѣжать этого, необходимо длинное коромысло дѣлать болѣе массивнымъ, что еще болѣе должно увеличивать его вѣсъ ко вреду чувствительности.

Тѣмъ не менѣе въ прежнее время старались соблюдать это теоретическое требованіе, и до сихъ поръ въ лабораторіяхъ можно видѣть иногда длинноплечіе вѣсы устарѣлой конструкціи. Въ настоящее же время почти исключительно готовятся *короткоплечіе вѣсы системы Бунге* (Hamburg), который первый рѣшилъ отказаться отъ увеличенія чувствительности насчетъ длины коромысла, справедливо разсудивъ, что это увеличеніе не можетъ искупить тѣхъ неудобствъ, которыя проистекаютъ отъ увеличенія вѣса и гнупткости коромысла ¹⁾.

Кромѣ того, вѣсы, какъ легко видѣть, въ динамическомъ отношеніи отвѣчаютъ физическому маятнику, для котораго *время колебанія* тѣмъ больше, чѣмъ оупъ длиннѣе. Такимъ образомъ, продолжительность колебанія для длинноплечихъ вѣсовъ больше, чѣмъ для короткоплечихъ. Значеніе этого неудобства выяснится ниже при описаніи взвѣшиванія методомъ колебаній (гл. VI). Для короткоплечихъ вѣсовъ время колебанія выбирается въ 6—10 секундъ. Для даннаго прибора это достигается соотвѣтствующимъ подвинчиваніемъ подвижнаго грузика на вертикальной оси коромысла, которымъ регулируется разстояніе (S) центра тяжести отъ точки опоры коромысла.

Такимъ образомъ коромысло чувствительныхъ вѣсовъ должно быть *короткимъ* (обыкновенно $2L=13—20$ ст.) тогда оно является относительно легкимъ, мало подверженнымъ *инутію*, и обладаетъ *малымъ періодомъ колебаній*.

¹⁾ Горячимъ сторонникомъ длинноплечихъ вѣсовъ является проф. Dittmar въ Glasgow'ѣ. Нельзя однако не признать, что по крайней мѣрѣ для малыхъ нагрузокъ (не свыше 200 gr.) система Bunge выгоднѣе.

Въ силу этого для изготовленія ихъ выгодно употреблять такіе металлы и сплавы, которые съ одной стороны были бы способны въ достаточной мѣрѣ противостоятъ гнутію, обладая съ другой стороны невысокимъ удѣльнымъ вѣсомъ.

Кромѣ того избранный матеріалъ долженъ по возможности менѣе подвергаться *дѣйствию кислотныхъ паровъ* въ воздухѣ химическихъ лабораторій.

Чаще всего коромысло изготовляется изъ латуни, позолоченой или никкелированной, также фосфорной и алюминіевой бронзы, изъ стали ¹⁾, аргентана, алюминія и въ послѣднее время изъ магналія.

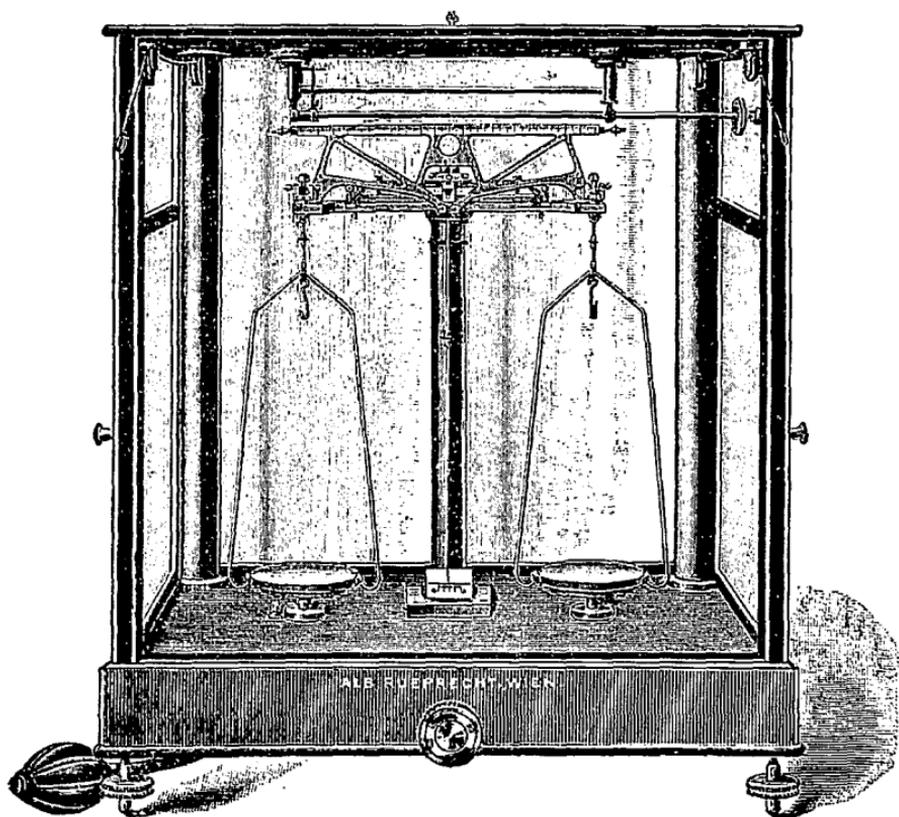
Изъ перечисленныхъ металловъ и сплавовъ указаннымъ условіямъ наиболѣе удовлетворяетъ сплавъ алюминія съ магниемъ (10—25% Mg.). Открытый лишь въ недавнее время Маш'омъ въ Іенѣ, сплавъ этотъ, названный *магналиемъ*, быстро завоевалъ себѣ почетное положеніе въ технику изготовленія точныхъ научныхъ приборовъ.

Удѣльный вѣсъ его въ зависимости отъ содержанія магнія колеблется отъ 2 до 2,5. При такой легкости матеріала коромысло можно дѣлать болѣе толстымъ, причемъ оно все же будетъ легче, чѣмъ изъ какого либо другого матеріала. Чтобы дать понятіе о вѣсѣ коромысла химическихъ вѣсовъ, укажемъ, что коромысло изъ аргентана (уд. в. 8,4—8,7) для вѣсовъ, выдерживающихъ нагрузку по 200 gr. на каждой чашкѣ, вѣситъ 45 gr. такъ что магналиево коромысло тѣхъ же измѣреній (уд. в. 2—2,5) должно вѣситъ приблизительно въ 4 раза менѣе т. е. gr. 12. Такъ что для сообщенія болѣе прочной относительно гнутія коромысло изъ магналія можетъ безъ ущерба для чувствительности быть сдѣлано значительно толще, чѣмъ изъ аргентана. При этомъ при наличности большой твердости магналія получается такой результатъ. Коромысло изъ магналія вѣсовъ Рюпрехта въ Вѣнѣ (Rueprecht, Wien), назначенныя для нагрузокъ не свыше 200 gr. для каждой чашки, въ дѣйствительности даже при нагрузкѣ въ 500 gr. еще не обнаруживаютъ замѣтной дефор-

¹⁾ Этотъ матеріалъ въ настоящее время почти по прямѣняется, потому что, на ряду съ превосходными качествами, сталь обладаетъ весьма существеннымъ недостаткомъ—способностью съ теченіемъ времени намагничиваться.

маціи, вслѣдствіе чего чувствительность вѣсовъ является почти постоянной, причеиъ въ случаѣ крайности можно такимъ образомъ допускать и перегрузъ свыше номинальнаго максимума безъ вреда для прибора.

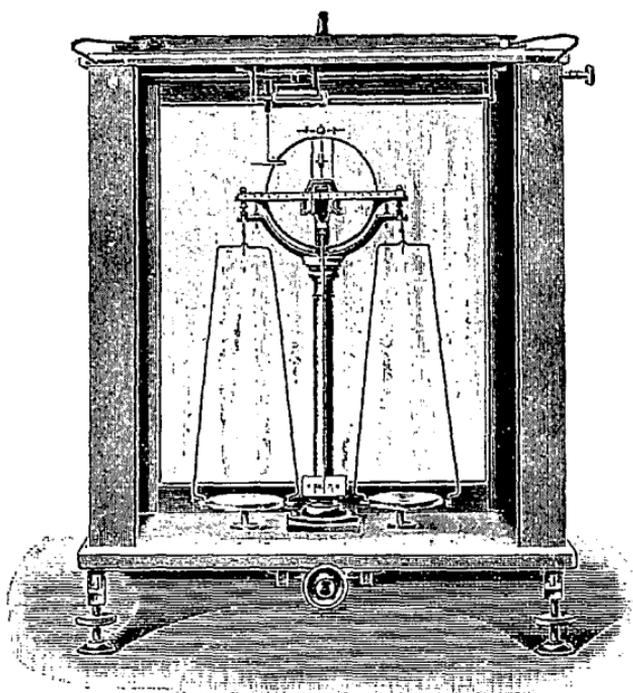
Магналий—сплавъ красиваго бѣлаго цвѣта, принимаетъ высокую полировку. Онъ противостоитъ дѣйствию киелыхъ паровъ лабораторнаго воздуха по меньшей мѣрѣ такъ же успѣшно, какъ золоченая латунь, такъ что золоченіе коромысла изъ магналия, хотя иногда и практикуется, является на самомъ дѣлѣ излишнимъ, бесполезно повышая цѣнность вѣсовъ.



Фиг. 3.

Коромысла изъ другого металла никелируютъ, чаще всего—золотятъ, иногда платинируютъ.

Изъ какого бы матеріала не было приготовлено коромысло, оно никогда не имѣетъ вида сплошного бруска. Напротивъ, чаще всего это пластинка толщиною около 3 мм., снабженная симметрическими вырѣзами въ томъ расчетѣ, чтобы при наименьшемъ вѣсѣ достигъ наибольшаго сопротивленія гнутію. Чаще всего можно встрѣтить на практикѣ типы Рюпрехта и Бунге-Сарториуса; первый можетъ быть иногда выгоднѣе, потому что при немъ нѣтъ надобности въ отдѣльной линейкѣ для рейтера, бесполезно увеличивающей вѣсъ коромысла (фиг. 3 и фиг. 5, 14 и 15 ниже).



Фиг. 4.

Въ послѣднее время пущены въ продажу вѣсы съ циркулярнымъ короткоплечимъ коромысломъ системы Кегн'а фабрики Рюпрехта въ Вѣнѣ (фиг. 4), которое, какъ мы увидимъ ниже, повидимому наиболѣе гарантировано отъ прогибанія (см. гл. VII).

Призмы. Въ середину коромысла и по концамъ его вдѣлываются трехгранныя призмы (les couteaux, the knife-edges, Die Achsen), обыкновенно изъ твердой закаленной стали (рѣже изъ агата) и такимъ образомъ, что острые края крайнихъ призмъ, служащихъ для подвѣса чашекъ, обращены къверху, а средней, опорной призмы—кънизу, причемъ всѣ эти три края должны лежать въ одной плоскости и быть вполне параллельны. Въ противномъ случаѣ, при несоблюденіи перваго условія, коромысло не будетъ уже прямолинейнымъ рычагомъ съ соответствующими послѣдствіями, при не параллельности же реберъ призмъ могутъ мѣняться разстоянія точекъ приложенія силъ (т. е. нагрузокъ) отъ точки опоры. Но въ этомъ послѣднемъ случаѣ будетъ стало быть мѣняться длина плечъ, что вредитъ точности вѣсовъ, которые предполагаются рычагомъ равноплечимъ¹⁾. Для соблюденія же равноплечести разстоянія реберъ двухъ крайнихъ призмъ отъ средней должны быть по возможности равны.

Дальнѣйшимъ конструктивнымъ условіемъ вѣрности и чувствительности вѣсовъ является требованіе, чтобы ребра призмъ были возможно ближе къ прямымъ линіямъ и качанія на этихъ ребрахъ сопровождались по возможности съ меньшимъ треніемъ.

Уменьшеніе тренія достигается тѣмъ, что края призмъ дѣлаются чрезвычайно острыми²⁾, причемъ при дѣйствіи вѣсовъ они опираются на площадки изъ твердаго камня—агата. Чрезвычайно симпатичны и призмы, приготовленныя изъ агата, но ихъ нельзя рекомендовать для нагрузокъ свыше 200 гр. на каждой чашкѣ, такъ какъ при бѣльшихъ нагрузкахъ острый край изъ хрупкаго агата во всякомъ случаѣ легче подвергается риску выкрошиться, чѣмъ край стальной призмы, при случайныхъ болѣе или менѣе грубыхъ сотрясеніяхъ вѣсовъ. Кромѣ того *агатовыя призмы всегда требуютъ специальной „арре-*

¹⁾ Для непытаяя параллельности реберъ трехъ призмъ К. Брауеръ въ Спб. сконструировалъ специальный приборъ, который описанъ въ Журн. Физ.-Химич. Общ. 1877, вып. 9, стр. 326.

²⁾ Поэтому для призмъ характерно французское названіе les couteaux т. е. ножи—терминъ, употребительный и въ русскомъ языкѣ. Хотя остріе представляетъ не линію, но нѣкоторую площадь, однако ширина этой площади оказывается по измѣреніямъ не больше 0,00001 мм. т. е. не болѣе $\frac{1}{100}$ микрона.

тировки“ *подвѣсокъ для чашекъ*, что въ иныхъ случаяхъ лишь безиолезно удорожаетъ вѣсы (объ арретировкѣ см. ниже стр 24).

Употребленіе агатовыхъ призмъ не встрѣчаетъ возраженій лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда воздухъ помѣщенія, гдѣ производятся взвѣшванія, въ значительной степени зараженъ хлоромъ или кислыми парами, такъ какъ агаты несомнѣнно болѣе стойки по отношенію къ химическимъ агентамъ, чѣмъ закаленная сталь. Въ тѣхъ же случаяхъ, когда взвѣшванія ведутся въ специальной вѣсовой комнатѣ, а не въ рабочемъ помѣщеніи лабораторіи, агатовыя призмы могутъ считаться излишними и по указанной причинѣ и не желательными.

Коромысло точныхъ вѣсовъ по длинѣ несетъ дѣленія или непосредственно на себѣ или на особой линейкѣ, неподвижно скрѣпленной и составляющей съ нимъ одно цѣлое. Эти дѣленія предназначены для гусара или рейтера; смыслъ и цѣль этого приспособленія будутъ подробно описаны ниже въ главѣ IV.

При симметричности обоихъ плечъ коромысла легко достичь того, чтобы вѣса ихъ были приблизительно одинаковы. Окончательная регулировка уже послѣ подвѣшыванія чашекъ, тоже приблизительно равнаго вѣса достигается специальнымъ приспособленіемъ различнымъ образомъ. У коромысла типа Рюпрехта по концамъ его имѣются винтики съ мелкой нарезкой по которой могутъ передвигаться взадъ и впередъ винтовые гайки. По закону рычага, желая облегчить то или иное плечо, слѣдуетъ повинчивать гайки по направленію къ средней призмѣ, для утяжеленія—въ противоположную сторону.

У коромысла типа Сарториуса или Бунге наблюдается другая система регулировки и т. п. Описывать всѣ эти приспособленія не имѣетъ смысла, такъ какъ ознакомленіе съ ними на практикѣ займетъ менѣе времени, чѣмъ описаніе ихъ.

Однимъ изъ условій чувствительности вѣсовъ является далѣе *разстояніе центра тяжести коромысла отъ точки опоры*. Чтобы равновѣсіе было устойчивымъ необходимо конечно, чтобы центръ тяжести лежалъ *ниже* оси опоры т. е. остраго ребра средней призмы, и само собою понятно, что чѣмъ меньше это разстояніе т. е. чѣмъ ближе коромысло къ безразличному равновѣсію, тѣмъ меньшій перегрузъ одного плеча вызываетъ нарушеніе равновѣсія т. е. тѣмъ вѣсы чувствительнѣе. Для регулировки этого разстоянія коромысло на-

своей вертикальной оси (Сарториусъ, Бунге) или на указатель (Рюпрехтъ) также несетъ подвижной грузикъ въ видѣ гайки. Подвинчивая ее кверху мы тѣмъ самымъ повышаемъ центр тяжести коромысла и уменьшаемъ разстояніе S , увеличивая такимъ образомъ чувствительность.

Не слѣдуетъ однако увлекаться этимъ приемомъ. Повышеніе чувствительности въ данномъ случаѣ идетъ въ ущербъ устойчивости, и при злоупотребленіи вѣсы легко „опрокидываются“ уже отъ ничтожнаго перегруза.

Указатель и шкала. Кромѣ этихъ придаточныхъ частей коромысло каждаго точныхъ вѣсовъ несетъ на себѣ *указатель* или *стрѣлку* (la aiguille, the pointer, der Zunge), которая должна быть перпендикулярна къ плоскости, въ которой лежатъ ребра всѣхъ трехъ призмъ коромысла. Тогда при равновѣсіи вѣсовъ, когда коромысло горизонтально, конецъ стрѣлки долженъ указывать на среднюю черту шкалы. Длиною указателя должно считаться разстояніе отъ ребра средней призмы до острія указателя. При не вполне надежной установкѣ вѣсовъ или нѣсколько неосторожномъ освобожденіи коромысла остріе тонкаго и довольно длиннаго указателя можетъ вибрировать и тѣмъ затруднять отчетъ его положенія на шкалѣ. Для устраненія вибрацій предпочтительнѣе указатели Бунге, который дѣлаетъ ихъ трехгранными. Еще проще это достигается Руергrecht'омъ утолщеніемъ стержня, который для легкости готовится изъ магналія.

Шкала готовится изъ слоновой кости и помѣщается обыкновенно у подножія опорной колонны, неся на себѣ дѣленія либо миллиметровыя, либо произвольныя, но близкія по величинѣ къ мм.

Позднѣе мы увидимъ, что величина отклоненія отъ какаго нибудь перегруза, выражаемая въ дѣленіяхъ шкалы, зависптъ такъ же и отъ величины отдѣльныхъ дѣленій шкалы и длины указателя. Именно, она тѣмъ больше, чѣмъ длиннѣе указатель и чѣмъ мельче дѣленія. Для сравненія чувствительностей двухъ вѣсовъ необходимо такимъ образомъ знаніе этихъ величинъ. И то, и другое опредѣляется при помощи штангенъ-циркуля. Миллиметровое дѣленіе шкалы является поэтому предпочтительнѣе, такъ какъ иначе пришлось бы вводить въ вычисленіе лишній множитель для перевода дѣленій шкалы на миллиметры. (Объ этомъ см. подробно гл. VII, стр. 83).

Такъ какъ остріе указателя при колебаніяхъ описываетъ дугу, то точнѣе, чтобы и дѣленія шкалы были расположены по дугѣ, такъ чтобы каждая черта ея была какъ бы продолженіемъ указателя. Однако въ большинствѣ случаевъ шкалы прямолинейны, потому что колебанія происходятъ въ малыхъ углахъ, когда дуги практически можно приравнять къ стягивающимъ ихъ хордамъ. Впрочемъ въ точныхъ вѣсахъ нерѣдко выполняется и это условіе.

Указатель прикрѣпляется къ коромыслу не всегда указаннымъ способомъ. Иногда онъ представляетъ продолженіе одного изъ плечъ (чаще всего лѣваго; нерѣдко для симметріи указатель несутъ и оба плеча); тогда длиною его будетъ также разстояніе отъ точки опоры до острія. Въ этомъ случаѣ шкала конечно располагается вертикально.

Во избѣжаніе параллакса при отчитываніи положенія конца указателя на шкалѣ предпочитаютъ, чтобы остріе указателя при колебаніяхъ проходить не мимо дѣленій, а *надъ ними*. Десятая доли дѣленія отчитываются на глазъ.

Обыкновенно отчетъ производится простымъ глазомъ. Обь отчетѣ вооруженнымъ глазомъ см. гл. VI.

Чашки. На крайнія призмы коромысла навѣшиваются чашки (*les plateaux, the pans (scales), die Schalen*) при помощи особаго рода *подвѣсокъ* (*les étriers, the Pan-supports, die Gehänge*), въ которыя вдѣланы агатовыя площадки, налегающія на острія крайнихъ призмъ. Этимъ достигается малое треніе въ пунктахъ приложенія силъ (грузовъ).

Самыя площадки для накладыванія грузовъ — круглой формы и нѣсколько вдавлены къ центру; матеріаломъ для нихъ служитъ обыкновенно платинированная, золоченая или никелированная латунь или аргентанъ. При желаніи эти площадки можно имѣть изъ еще болѣе цѣннаго матеріала — *горнаго хрустала*, обладающаго наряду съ выдающеюся твердостью и неизмѣняемостью по отношенію къ химическимъ агентамъ и другою весьма важною въ данномъ случаѣ особенностью — не гигроскопичностью, въ противоположность сильно гигроскопичному стеклу, примѣненіе котораго для данной цѣли было бы не выгодно. Роскошь эта обходится однако не дешево. Вслѣдствіе трудности обработки горнаго хрустала пара чашекъ изъ него діаметромъ въ 6 сант. удорожаетъ стоимость вѣсовъ рублей на 20.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда не надѣются на аккуратность практикантовъ, во избѣжаніе порчи чашекъ царапаніемъ ихъ, загрязненіемъ кислотами и т. п. практично накладывать на нихъ кружки изъ слюды. Эти накладки діаметромъ мм. на 4 болѣе чашекъ вырѣзываются для упрощенія подгонки ихъ вѣса *изъ одного и того же листика слюды* послѣ начерчиванія циркулемъ. Грубая подгонка производится осторожнымъ подрѣзываніемъ ножницами съ краевъ, окончательная же—царапаніемъ иглою. Послѣдняя подгонка удобно совмѣщается съ нанесеніемъ надписей на накладкахъ, „правая“, „лѣвая“: лишняя буква уменьшаетъ вѣсъ слюдяной пластинки на нѣсколько десятыхъ миллиграмма. По опыту лабораторіи Неорганической Химіи Казанскаго университета эти накладки оказались чрезвычайно практичными въ особенности для „студенческихъ“ вѣсовъ.

Примѣняемые иногда стеклянные накладки значительно менѣе удобны въ силу ихъ большого вѣса и гигроскопичности стекла.

Опорная колонка. Вся эта подвижная система—коромысло съ навѣшенными на него чашками—опирается острымъ ребромъ средней призмы на площадку изъ агата, вдѣланную въ верхней части опорной *колонки*. Послѣдняя—обыкновенно цилиндрической или слабо конической формы. Матеріаломъ служитъ латунь или, у вѣсовъ для большихъ нагрузокъ (свыше килограмма), чугуны. Въ послѣднемъ случаѣ колонна обыкновенно полая, четырехгранная и съ вырѣзами въ томъ разчетѣ, чтобы при наименьшемъ вѣсѣ достигъ наибольшей устойчивости и прочности. У основанія опорной колонки, какъ уже упоминалось, помѣщается шкала для вертикальнаго указателя.

Отвѣсъ. Сверху съ карниза колонки опускается *отвѣсъ* на шелковдй нити служацій для установки основанія вѣсовъ въ горизонтальномъ положеніи. Отвѣсъ при вѣсахъ бываетъ двухъ родовъ. Тяжесть, вытянутая въ остріе книзу, при горизонтальномъ положеніи вѣсовъ должна противостоять острію при основаніи колонки. При другомъ устройствѣ, натянутая тяжестью нить должна проходить черезъ центръ небольшого кольца, прикрѣпленнаго къ колонкѣ; наблюденіе облегчается нанесеніемъ на немъ двухъ перпендикулярныхъ другъ другу діаметровъ. Послѣдняя форма отвѣса пожалуй удобнѣе.

Въ рѣдкихъ случаяхъ, когда отвѣсъ отсутствуетъ, прибѣгаютъ къ помощи *стиртового уровня*, перемѣщая его въ различныхъ направленіяхъ по основной доскѣ вѣсовъ.

Основная доска. Сама колонка неподвижно и строго перпендикулярно укрѣплена на толстой (лишь у очень дешевыхъ вѣсовъ на деревянной) доскѣ изъ мрамора, шифера или стекла. Послѣдніи дѣлаются либо черныя, либо молочнаго цвѣта, либо обыкновенныя — прозрачныя и безцвѣтныя. Придавая вѣсамъ элегантную внѣшность, позволяя держать ихъ въ безупречной чистотѣ, доски изъ мрамора и стекла (толщина ихъ 1,5—2 сант.) имѣютъ еще и то преимущество, что, обладая большимъ вѣсомъ, увеличиваютъ устойчивость прибора.

Арретиръ. Одной изъ необходимѣйшихъ принадлежностей точныхъ вѣсовъ является „арретиръ“ (отъ франц. *agréter*, останавливать; *l'arrêt*, the *arrestment* (*support*), die *Arretierung*), тѣсно связанный съ основной колонкой. Это приспособленіе необходимо для предупрежденія бесполезнаго изнашивания вѣсовъ въ мѣстахъ опоры, когда вѣсы стоятъ безъ употребленія, и грубыхъ потрясеній во время работы при наладываніи разновѣсокъ. Дѣйствіе арретира сводится къ тому, что въ указанные моменты (т. е. почти все время) коромысло поддерживается въ нѣсколькихъ точкахъ вилкой арретира такъ, что остріе средней призмы виситъ надъ опорной агатовой площадкой колонки, не касаясь ея. Это при одинарномъ или среднемъ арретирѣ. При двойной арретировкѣ арретиръ поддерживая одновременно и подвѣски чашекъ надъ крайними призмами предохраняетъ и ихъ отъ затупленія. При дешевыхъ вѣсахъ бываетъ лишь средній арретиръ, при болѣе дорогихъ и точныхъ — арретировка всегда двойная (см. выше объ агатовыхъ призмахъ стр. 19).

Существуетъ нѣсколько системъ арретировки; всѣ онѣ болѣе или менѣе равноцѣнны, и описывать ихъ въ деталяхъ не представляетъ надобности; гораздо быстрѣе ознакомится съ ними на дѣлѣ. Но не мѣшаетъ отмѣтить двѣ *группы*: въ арретирахъ *первой* группы въ нужные моменты поворотомъ колѣнчатой ручки или плоской рубчатой головки, вертикальная ось арретирнаго приспособленія, проходящая внутри опорной колонки и несущая въ верхней части поддерживающую развилку, опускается, причемъ вѣсы, какъ говорятъ, „освобождаются“, причемъ коромысло плавно опускается книзу и всѣ призмы одновременно приходятъ въ соприкосновеніе со своими опорными пластинками; въ арретирахъ *второй* группы опорная вилка напротивъ неподвижно скрѣплена съ опорной колонкой.

При освобожденіи вѣсовъ поворачиваніемъ ручки или головки выдвигается кверху стержень извнутри колонки, въ верхнюю часть котораго вдѣлана агатовая опорная пластинка для средней призмы, причѣмъ коромысло снимаясь съ вилки *поднимается* надъ нею. При арретировкѣ происходитъ обратное: стержень съ опорной пластинкой опускается и въ тотъ моментъ, когда послѣдняя разобщается съ острымъ ребромъ средней призмы, коромысло насаживается на неподвижную поддерживающую вилку.

Плавное и одновременное освобожденіе и фиксированіе всѣхъ частей подвижной системы представляетъ весьма важный элементъ спокойной и точной работы, поэтому необходимо тщательно слѣдить за дѣйствіемъ арретира и въ случаѣ неисправности его немедленно урегулировать подвинчиваніемъ соотвѣтствующихъ частей. Въ случаѣ загрязненія въ нижней части подъ доской пыль и грязь удаляются тряпочкой, смоченной слегка керосиномъ; смазываніе для легкости хода производится вазелиновымъ или костянымъ масломъ съ примѣсью керосина и въ очень умѣренныхъ размѣрахъ. Излишнее усердіе въ данномъ случаѣ приноситъ вредъ, такъ какъ этимъ лишь привлекается пыль.

Можетъ быть не лишнимъ будетъ указать, что *caeteris paribus* слѣдуетъ предпочитать такое устройство арретира, когда головка или колѣчатая ручка для управленія имъ выходитъ изъ подъ основной доски не спереди, а *сбоку съ левой стороны*, что значительно удобнѣе при многихъ манипуляціяхъ.

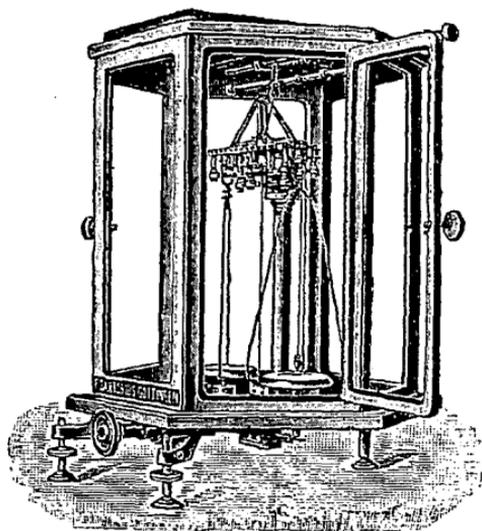
Бываетъ иногда, что коромысло и чашки имѣютъ отдѣльный арретиръ. Въ этомъ случаѣ сначала освобождаются чашки, а потомъ коромысло. При арретированіи—порядокъ обратный.

Во всѣхъ случаяхъ важно, чтобы арретиръ дѣйствовалъ на обѣ чашки одновременно.

Шкафчикъ. Чтобы покончить съ описаніемъ этихъ деталей, укажемъ, что сколько нибудь точные вѣсы должны быть изолированы отъ пыли, воздушныхъ теченій и дыханія взвѣшивающаго лица, а также отъ развѣдающихъ паровъ въ воздухѣ лабораторіи. Это достигается въ извѣстной степени заключеніемъ ихъ въ *шкафчикъ* со стеклами (*la cage, the case, die Gehäuse*), дномъ котораго служитъ основная доска вѣсовъ. Передняя стѣнка шкафчика, сбалансированная на скрытыхъ

блочкахъ, (или закрѣпляемая такъ или иначе) должна *плавно* выдвигаться кверху, открывая доступъ къ прибору. Лѣвая и правая стороны раскрываются дверцами.

Обыкновенно шкафикъ дѣлается изъ краснаго дерева (P'asajou, Mahagoni-wood, Mahagoniholz), рѣже изъ орѣховаго. Въ послѣднее время при болѣе дорогихъ вѣсахъ вошли въ употребленіе стеклянные *шкафики съ металлическими остовомъ* изъ чугуна, латуни, никелированные или крытые золотистымъ лакомъ, алюминія и магналія. Послѣдніе особенно хороши по своей легкости и красотѣ. Преимущество металлических шкафиковъ заключается въ ихъ большей герметичности, такъ какъ нерѣдко дерево при неособенно высокой подготовкѣ коробится, отчего металлъ конечно гарантированъ.



Фиг. 5.

Чаще всего шкафикъ имѣетъ четырех-угольную форму. Въ недавнее время однако выпущены въ видѣ новости извѣстной фирмой Sartorius in Göttingen необычайно изящные шкафики шестиугольной формы (см. фиг. 5).

Въ основную доску вѣсовъ, служащую дномъ шкафика, вдѣланы *винтовые ножки*. Одна въ серединѣ задней стороны (чаще всего, впрочемъ, она лишена нарѣзки), двѣ другія въ

двухъ переднихъ углахъ доски. Подъ коническіе концы этихъ ножекъ подводятся круглыя пластинки съ соотвѣтствующими концамъ ножекъ углубленіями. Эти пластинки служатъ для того, чтобы устранить продавливаніе стола или консоля, на которомъ стоятъ тяжелые вѣсы, острыми концами винтовъ. Подвинчивая послѣдніе при помощи плоскихъ рубчатыхъ головокъ, можно уставить вѣсы по уровню или отвѣсу совершенно горизонтально.

Предохранительный колпакъ. Для большаго предохраненія вѣсовъ отъ упомянутыхъ вредныхъ вліяній практично прикрывать ихъ въ не рабочее время вторымъ колпакомъ, на деревянный остовъ котораго наклеена калька или пергаментная бумага. Для удобства этотъ предохранительный колпакъ подвѣшивается къ потолку и можетъ подниматься и опускаться по мѣрѣ надобности при помощи блочнаго подвѣса съ уравновѣшиваніемъ его дробью.

Глава IV.

Разновѣеъ. Гусаръ и его употребленіе.

Разновѣеъ. *Вѣсъ есть* давленіе на подставку, слѣдовательно *сила.* Тѣмъ не менѣе въ результатѣ взвѣшиванія мы получаемъ *опредѣленіе массы*, такъ какъ, какъ было указано въ гл. I, *масса и вѣсъ строго пропорціональны.*

Единицей массы—граммомъ—считается въ наукѣ 0,001 массы цилиндра изъ придистой плагины (содержащей 10% придія, сплавъ С. К. Девиля; уд. в. его 21,53), хранящаго въ Парижѣ въ Государственномъ архивѣ и названнаго килограммомъ (Kilogramme des Archives).

Международное бюро мѣръ и вѣсовъ въ Севрѣ близъ Парижа (Bureau international des Poids et Mesures à Sèvres; содержится на общія средства культурныхъ государствъ) изготовило изъ того же матеріала образцовые эталоны килограмма и распредѣлило ихъ между государствами участниками. Въ

1891 г. Россія по жребію получила два изъ нихъ, служащіе въ нашемъ отечествѣ *основными прототипами килограмма*: № 26, хранящійся въ Академіи Наукъ и № 12—въ Главной Палатѣ мѣръ и вѣсовъ въ Петербургѣ. Ихъ объемы (при 0°) и истинныя массы:

№ 26—объемъ 46,410 куб. с.; масса 1 kgr—0,0032 mgr.

№ 12—объемъ 46,407 куб. с.; масса 1 kgr+0,0680 mgr.

Точность опредѣленія массы равна ± 0.002 mgr. т. е. 2/1 000 000 000. Вѣсъ этихъ эталоновъ въ Парижѣ и въ безвоздушномъ пространствѣ выразится тѣми же числами, какъ и масса.

По первоначальному предположенію килограммъ долженъ былъ равняться вѣсу одного литра т. е. 1 куб. дес. чистой воды при 4°С, стало-быть граммъ—вѣсу 1 в. сант. при 4°С. Болѣе точныя опредѣленія этого соотношенія дали позднѣе нѣсколько меньшую цифру: именно, масса 1 в. с. воды при ея наибольшей плотности равна 0,99995 гр. съ погрѣшностью $\pm 0,00002$ гр. ¹⁾ Иначе, *узаконенный граммъ равенъ* массѣ не 1 в. с., а 1,00005 в. с. чистой воды при 4°С.

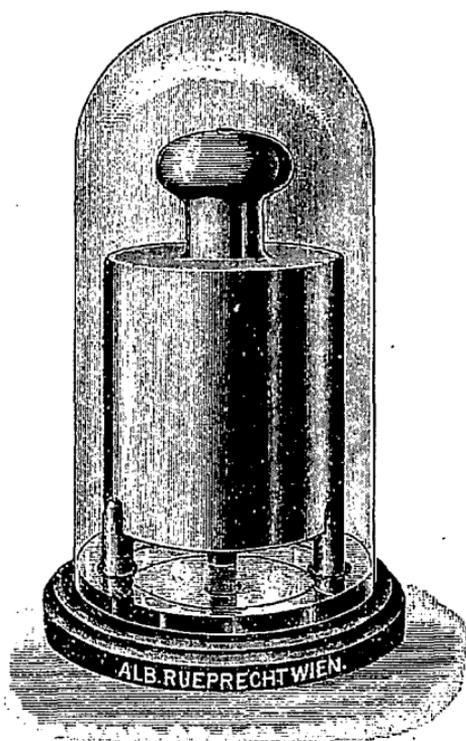
Такимъ образомъ въ настоящее время оставлена мысль, привлекательная въ теоретическомъ отношеніи, опредѣлять единицы вѣса, пользуясь вѣсомъ опредѣленнаго объема воды; хотя бы уже потому, что *вѣсы представляютъ наиболее точный измѣрительный приборъ*, между тѣмъ какъ сличеніе длинъ компараторами значительно уступаетъ по точности взвѣшиванію. При такихъ условіяхъ единицы вѣса практичнѣе опредѣлять внѣ зависимости отъ единицы длины, что и дѣлается на самомъ дѣлѣ, такъ какъ исходнымъ пунктомъ при изготовленіи международныхъ мѣръ служитъ непосредственное сравненіе копій килограмма съ *архивнымъ килограммомъ*, совершенно оставляя въ сторонѣ вѣсъ кубич. дециметра воды.

Механики, приготовляющіе разновѣсы, должны имѣть въ своемъ заведеніи точную основу всѣхъ выпускаемыхъ ими разновѣсокъ. Такой основой является напр. у Ruerrecht'a въ

¹⁾ По Менделѣеву (Врем. Главн. Палаты мѣръ и вѣсовъ, ч. 2, стр. 143) вѣроятнѣйшій вѣсъ 1 литра чистой воды при 4°С. въ пустотѣ равенъ 999,847 гр. По Масѣ de Lérynaу († въ нач. этого года) нѣсколько больше —999,959 гр.

Вѣнѣ килограммъ-прототипъ, вѣсъ котораго опредѣленъ въ Интернаціональномъ Бюро въ Севрѣ съ точностью до 0,01 мг. въ пустотѣ. Имѣя килограммъ, близкій до такой степени къ истинному, и базируясь на немъ, механикъ имѣетъ возможность выпускать разновѣсы для *абсолютныхъ* взвѣшиваній, которыя имѣютъ особенное значеніе для физиковъ, для провѣрочныхъ учрежденій, для электротехниковъ (калибровка амперметровъ электрохимическимъ путемъ) и т. п.

Во всякомъ случаѣ каждое учрежденіе или лицо, имѣющее дѣло съ точными взвѣшиваніями, также должно имѣть въ своемъ распоряженіи основу для сравненій, чтобы всегда быть въ состояніи привести свои результаты къ абсолютному вѣсу.



Фиг. 6.

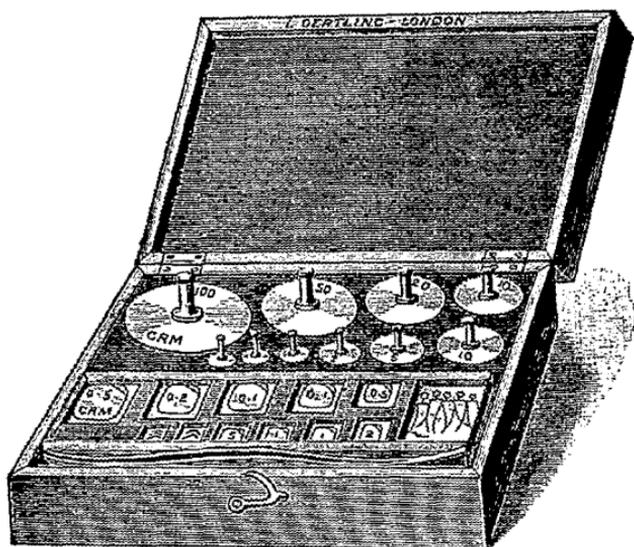
Приготовление такихъ основныхъ гирекъ связано съ большими трудностями, сопряженными съ большой затратой времени, почему они представляютъ довольно значительную цѣнность. Эти трудности особенно увеличиваются съ величиною гирекъ въ особенности въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется приготовить ихъ изъ цѣльнаго куска металла безъ какихъ либо приспособленій для подгонки. Здѣсь главное затрудненіе падаетъ на выборъ подходящаго матеріала, влекущей за собой массу предварительныхъ хлопотливыхъ изслѣдованій и пробъ. Изъ нѣсколькихъ кусковъ равнаго вѣса обыкновенно находится лишь одинъ удовлетворяющій весьма стро-

гимъ требованіямъ плотности и однородности матеріала, такъ какъ неизмѣнность разъ установленнаго вѣса гарантируется прежде всего именно надлежащимъ удѣльнымъ вѣсомъ въ связи съ отсутствіемъ пустотъ (раковинъ) въ матеріалѣ.

Такие kilogrammes-types высшего качества готовят из твердой вальцованной латуни из цельного куска, причем подгонка веса производится исключительно позолотой. Килограмм такого качества стоит 300 fr. и сохраняется под стеклянным колоколом на треножнике из слоновой кости (+36 fr.), см. фиг. 6.

Для химических лабораторий важно иметь грамме-тупе из чистой платины (10% Ir.), сделанный из цельного куска. Имѣя его, мы всегда будем имѣть возможность вывѣрить свой набор разновѣсокъ по отношенію къ истинному грамму и производить абсолютныя взвѣшиванія съ определенной точностью (см. главу X). Стоимость его приблизительно 40 fr.

Набор разновѣсокъ для химиковъ. Употребляемые химиками при взвѣшиваніи наборы разновѣсокъ представляютъ изъ себя плоскіе ящички изъ красного или ореховаго дерева съ замочкомъ или крючкомъ, выложенные внутри бархатомъ и

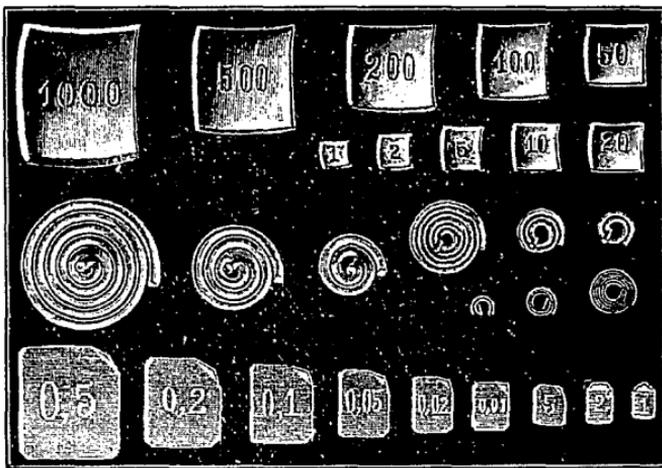


Фиг. 7.

снабженные гнѣздами для помѣщенія отдѣльныхъ болѣе крупныхъ гирекъ (кончая граммомъ); разновѣски меньшихъ раз-

мѣровъ (доли грамма) помѣщаются въ томъ же ящикѣ въ соотвѣтствующихъ вырѣзахъ въ брусеѣ изъ чернаго или грушеваго дерева и прикрываются отъ пыли толстой стеклянной пластинкой. Тутъ же въ особомъ гнѣздѣ помѣщается и пинцетъ для разновѣсовъ. (См. фиг. 7).

Наборъ разновѣсовъ для аналитическихъ работъ *высшаго качества* готовится, кончая граммомъ, изъ густо золоченой; вальцованой латуни ¹⁾; подраздѣленія грамма выдѣлываются изъ платины. Кромѣ того интервалъ отъ 10 до 1 mgr. нерѣдко готовится изъ алюминія, такъ какъ послѣдній удобнѣе для такихъ мелкихъ подраздѣлений: вслѣдствіе его низкаго удѣльнаго вѣса разновѣски получаютъ объемистѣе. Стоимость разновѣса описываемаго достоинства довольно значительна: при общемъ вѣсѣ въ 200 gr. и наибольшей гирькѣ 100 gr. приблизительно 48 fr.



Фиг. 8.

Аналитическіе наборы второй категоріи—попроче: крупные гирьки никелированы, подраздѣленія грамма изъ никеля

¹⁾ По желанію можно имѣть также и густо платинированныя гирьки; стоимость разновѣса повышается при этомъ на 10%.

и алюминія. Такой разновѣсъ и стоитъ соотвѣтственно дешевле, хотя незначительно.

Разновѣски, кончая граммомъ, имѣютъ цилиндрическую или слабо коническую форму съ высокой головкой для захватыванія ихъ пинцетомъ. Разновѣски меньше грамма обыкновенно выдѣлываются въ видѣ пластинокъ съ загнутымъ верхнимъ правымъ угломъ для удобства захватыванія кончиками пинцета; бываютъ также и вогнутыя цѣликомъ съ приподнятыми четырьмя углами. Алюминіевыя разновѣски прѣготовляютъ также изъ проволоки, свернутой въ плоскую спираль. Всѣ эти формы изображены на фиг. 8.

Разновѣски располагаются въ наборѣ по величинѣ ихъ въ слѣдующемъ порядкѣ чиселъ:

1—1—1—2—5—10—10—20—50—100—
—100—200—500—1000 и т. д. I.

или:

1—2—2—5—10—20—50—100—
—200—200—500—1000 и т. д. II.

или:

1—2—3—4—10—20—30—40—100—
—200—300—400—1000 и т. д. II.

Выборъ этихъ чиселъ опредѣляется тѣмъ практическимъ соображеніемъ, чтобы при наименьшемъ числѣ разновѣсокъ имѣть возможность составить всѣ числа отъ 1 до 1000 и т. д.

Наиболѣе распространеннымъ является первое расположеніе. Третья же система предложена относительно недавно, въ 1895 году, Д. И. Менделѣевымъ; она имѣетъ не мало преимуществъ, но еще не вошла въ обычай у механиковъ и выполняется повидимому только по заказу.

Обращаясь къ частностямъ разновѣсовъ можно указать, что экстра-точные разновѣсы прѣготавливаются обыкновенно изъ иридиевой платины или, въ граммъ и больше, изъ горнаго хрустала. И тотъ и другой матеріалъ цѣнится благодаря своей стойкости по отношенію ко всевозможнымъ вреднымъ воздѣйствіямъ, особенно горный хрусталь по своей большой твердости. (Употребленіе стекла для разновѣсовъ немыслимо вслѣдствіе его гигроскопичности).

Въ настоящее время имѣются въ продажѣ отдѣльно наборы граммовыхъ подраздѣленій, а по желанію и отдѣльныя разновѣски, изъ платины, никкеля и алюминія, такъ что всегда имѣется возможность либо имѣть въ запасѣ дублиеты подраздѣленій, либо прикупать отдѣльныя гирьки *ex tempore* въ случаѣ утери или поломки.

Во всякомъ случаѣ при крайности необходимо умѣть самому приготовить съ достаточной точностью испорченную или потерянную гирьку. Способъ приготовленія будетъ описанъ ниже въ главѣ X.

Въ настоящее время, когда имѣются въ продажѣ отдѣльные ящики съ наборомъ отъ 1 до 0,01 gr. изъ никкелевой жести, стоящіе очень дешево (6 fr., въ ящикѣ изъ краснаго дерева, съ тремя рейтерами и пинцетомъ), въ лабораторіяхъ среднихъ и высшихъ школъ при большомъ числѣ практикантовъ практично вводить такой порядокъ. Каждому приступающему къ работамъ выдается (или продается) на все время такой отдѣльный ящичекъ подѣ его личной отвѣтственностью напр. залогъ, равный стоимости). При обратномъ приѣмѣ въ случаѣ порчи или утери чего либо залогъ возвращается съ соотвѣтственнымъ вычетомъ. Такимъ образомъ инвентарь учрежденія будетъ всегда поддерживаться въ надлежащемъ состояніи и даже съ выгодой для самихъ работающихъ, такъ какъ при общемъ разновѣсѣ, въ особенности у начинающихъ, подраздѣленія грамма до того „измочаливаются“, что вполне возможна утеря по кусочкамъ, которую трудно замѣтить по внѣшнему виду, между тѣмъ это вноситъ неточность въ работу цѣлой группы лицъ. При указанномъ же порядкѣ весь инвентарь поддерживается всегда въ полной свѣжести, а небрежность въ обращеніи сдерживается и парализуется матеріальной отвѣтственностью каждаго практиканта за свой грѣхъ.

Въ настоящее время аналитическіе разновѣсы даже средняго достоинства приготовляются съ большою тщательностью. Тѣмъ не менѣе по разнымъ причинамъ, хотя бы потому, что онѣ при употребленіи снашиваются, необходимо умѣть провѣрять ихъ; этотъ приѣмъ будетъ подробно описанъ въ главѣ X.

Гусаръ или рейтеръ. Въ каждомъ наборѣ въ особомъ гнѣздѣ лежитъ одинъ или нѣсколько *гусаровъ или рейтеровъ* (le cavalier, the rider, der Reiter). Такъ называется разновѣска изъ проволочки платиновой или алюминіевой, сложен-

ной вдвое и перекрученной по срединѣ на нѣсколько оборотовъ, такъ что сверху получается ушко, а снизу двѣ растопыренныхъ ножки. Эта разновѣска, вѣсящая обыкновенно 1 сантиграммъ (0,01 gr., см. однако ниже) приспособлена такимъ образомъ въ насаживанію ея верхомъ на коромысло съ дѣленіями (Ruerecht и др.) или на особую линейку, неподвижно скрѣпленную съ коромысломъ (Bunge, Sartorius и др.) Отсюда и ея названіе гусарь или рейтеръ.

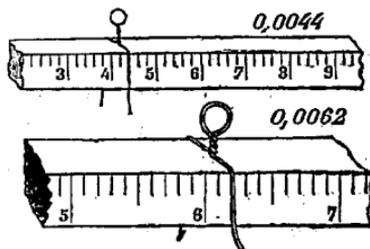
Рейтеръ изъ платиновой проволоки врядъ ли можно рекомендовать для обычныхъ каждодневныхъ аналитическихъ взвѣшиваній, такъ какъ они по необходимости очень тонки, почему неудобны для обращенія и легко гнутся и ломаются. Въ этихъ случаяхъ обыкновенно замѣняютъ его *алюминіевымъ*. Послѣдній при меньшей химической стойкости матеріала удобнѣе для обращенія, такъ какъ при одинаковомъ вѣсѣ онъ естественно крупнѣе. Можно особенно рекомендовать его для „студенческихъ“ вѣсовъ.

Линейка для рейтера обыкновенно металлическая, но иногда готовится и изъ слоновой кости. При бѣльшей легкости ея и явственности черныхъ дѣленій на бѣломъ, она имѣетъ, однако, то неудобство, что даже при наилучшей подготовкѣ матеріала она не гарантирована отъ сокращенія и покорабливанія.

Линейка для рейтера, полная длина которой между крайними дѣленіями равна разстоянію между крайними призмами или длинѣ коромысла $2L$, раздѣлена въ каждой половинѣ своей (или только справа) на 10 равныхъ частей, обозначенныхъ цифрами, причемъ нуль отвѣчаетъ острію средней призмы. Каждое дѣленіе раздѣлено въ свою очередь на 5 или, при болѣе чувствительныхъ вѣсахъ, на 10 равныхъ дѣленій.

Цѣль и смыслъ этого приспособленія слѣдующій. По закону рычага грузъ, перемѣщаемый по длинѣ плеча, уравновѣшиваетъ на другомъ плечѣ такую долю своего вѣса, какую долю всей длины плеча представляетъ разстояніе его до точки опоры. Соотвѣтственно этому рейтеръ (вѣсящій 0,01 gr.), помѣщенный на *последнемъ* дѣленіи праваго плеча равенъ по своему дѣйствию *сантиграммовой* разновѣскѣ, помѣщенной на правую чашку; перемѣщенный на *пятое* крупное дѣленіе шкалы т. е. на вдвое близкомъ разстояніи отъ средней призмы, онъ будетъ вѣсить уже вполонину меньше и по своему

дѣйствию равенъ 0,005 гр. или пяти миллиграммамъ на правой чашкѣ и т. д. Отсюда число миллиграммовъ и соотвѣствующихъ долей его прямо отчитывается по дѣленіямъ линейки. На фиг. 9 положеніе гусара отвѣчаетъ напр. 0,0044 гр. и 0,0062 гр.



Фиг. 9.

Рейтеръ на нулевой чертѣ вѣсить 0 и ненагруженные вѣсы не должны при этомъ выходить изъ равновѣсія. Если же это случится, то это укажетъ на неправильность шкалы, и тогда необходимо вносить соотвѣствующую поправку, которая находится слѣдующимъ образомъ.

Пусть вѣсы напр. находятся въ равновѣсіи и указатель стоитъ на среднемъ дѣленіи. Если при нулевомъ положеніи рейтера вѣсы выходятъ изъ равновѣсія, то передвиганіемъ рейтера по шкалѣ можно найти такое дѣленіе, когда равновѣсіе не нарушается. Положимъ это случится въ положеніи 0,3 *вправо* отъ 0. Тогда во всѣхъ случаяхъ изъ отчета рейтера нужно *вычитать* эту поправку, и положеніе его на фиг. 9 будетъ напр. отвѣчать уже не 0,0062, а 0,0059 гр. При смѣщеніи нуля шкалы *влево* найденная поправка соотвѣственно *прибавляется* къ отчету рейтера.

Употребленіе рейтера сводится къ замѣнѣ имъ подраздѣлений сантиграмма. Иначе, тысячныя и десятитысячныя доли грамма (т. е. миллиграммы и его части), отвѣчающія 3-му и 4-му знаку записи, вывѣшиваются, не прибѣгая къ соотвѣствующимъ разновѣскамъ набора, а при посредствѣ лишь одного рейтера, простымъ передвиганіемъ его по плечу коромысла.

Послѣднее производится правой рукой при помощи особого стержня, проходящаго черезъ боковую стѣнку шкафа справа и оканчивающагося послѣ двукратнаго изгиба подъ прямымъ угломъ крючкомъ, на которомъ и висить ушкомъ рейтеръ внѣ употребленія. Движеніе стержня должно быть легкимъ и плавнымъ, безъ толчковъ и тренія, что достигается содержаніемъ его въ трущихся мѣстахъ въ чистотѣ и легкимъ смазываніемъ *американскимъ* вазелиномъ. Необходимо, чтобы приспособленіе для передвиганія рейтера не могло спадать и ложиться на коромысло. Въ хорошихъ вѣсахъ это вполне достигается употребленіемъ противовѣса, который одновременно способствуетъ легкости и плавности передвиженія. Принципъ противовѣса, какъ кажется, впервые былъ примененъ въ этомъ случаѣ Еван'омъ.

Линейка съ выемками. При не вполне осторожномъ арретированіи вѣсовъ вполне возможно смѣщеніе рейтера вслѣдствіе толчка ранѣе отчета его положенія; въ особенности это можетъ имѣть мѣсто на отдѣльной рейтерной линейкѣ, представляющей *тонкую* пластинку, при которой плоскость соприкосновенія ея съ рейтеромъ очень мала, почти точка. Въ виду этого при отдѣльныхъ линейкахъ цѣлесообразно *нововведеніе Бунге*, который наноситъ на нихъ машиннымъ способомъ не черточки, а маленькія выемочки, что вполне гарантируетъ рейтеръ отъ сбрасыванія. Гусаръ получаетъ такимъ образомъ сѣдло и сидитъ на немъ прочно (см. фиг. 13).

Важнымъ усовершенствованіемъ рейтерной линейки является очень остроумный *приемъ использования всей длины* ея въ цѣляхъ большаго удобства и точности при пользованіи гусаромъ. Этотъ приемъ заключается въ томъ, что дѣленія наносятъ, начиная (0) съ лѣваго края лѣвой половины линейки, дѣля ея *цѣликомъ* на десять частей съ десятичнымъ же подраздѣленіемъ. Такимъ образомъ шкала удлинняется вдвое. Всего наносится 100 равныхъ дѣленій, причемъ 0 находится въ соотвѣтствіи съ ребромъ лѣвой крайней призмы, а сотое дѣленіе—съ ребромъ правой призмы. При этомъ вѣсъ рейтера долженъ быть уже 0,005 gr. т. е. $\frac{1}{2}$ сантиграмма, чтобы перемѣщеніе его отъ цифры до цифры отвѣчало 1 mgr., а отъ дѣленія до дѣленія 0,1 mgr. Перекладываніе по всей длинѣ отъ 0 до 100 отвѣчаетъ 1 cgr. (0,01 gr.).

Чтобы эти соотношенія были правильны, необходимо вѣсы урегулировать такъ, чтобы они были въ равновѣсїи, когда рейтеръ поставленъ на нуль. Тогда дѣйствительно, *передвигаясь отъ нуля слѣва на право* къ средней цифрѣ 5, отвѣчающей по положенію точкѣ опоры, онъ при каждой цифрѣ *облегчается* на $\frac{1}{5}$ своего вѣса т. е. на 1mg, что *отвѣчаетъ* тому же самому *увеличенію етса на правомъ плечѣ*. Въ серединѣ линейки (цифра 5) вѣсъ его уменьшится въ пять разъ, что равняется наложенію на правое плечо 5 mgr. За цифрой 5 вправо, неся съ собой наложеніе на правое плечо 5 mgr., рейтеръ съ каждой послѣдующей цифрой прибываетъ на $\frac{1}{5}$ своего вѣса (такъ какъ *каждое* плечо раздѣлено цифрами на *пять* частей), слѣдовательно на 1 mgr., что и при считается къ результату движенія по лѣвому плечу. Такимъ образомъ отчетъ показаній рейтера, при указанномъ способѣ дѣленія шкалы по всей длинѣ, производится какъ обыкновенно, забывая совершенно о томъ, что онъ вѣситъ не 0,01 gr., а въ половину меньше т. е. 0,005 gr.

Но необходимо помнить и *нельзя забывать*, что все это будетъ правильно только тогда, когда пустые вѣсы, имѣя рейтеръ на нуль, находятся въ равновѣсїи. Это отвѣчаетъ снятію рейтера со шкалы при обыкновенномъ способѣ. Итакъ, *при новомъ способѣ рейтеръ никогда не снимается со шкалы*: при бездѣйствїи его онъ все время виситъ на 0 и сдвигается съ него только тогда, когда требуется вывѣсить миллиграммы и доли mgr.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда чувствительность вѣсовъ настолько велика, что получается возможность взвѣшивать до сотыхъ долей миллиграмма, умѣстно употребленіе вмѣсто сантиграммоваго рейтера—миллиграммоваго. Тогда миллиграммы вывѣшиваются изъ набора, а цифры шкалы при употребленіи рейтера (въ 0,001 gr.) дадутъ десятые доли mgr., а послѣднія дѣленія и сотые доли.

Кромѣ описанныхъ уже гусаровъ по преимуществу въ Англіи и странахъ, говорящихъ по англійски, въ ходу еще 12-миллиграммовый гусаръ (0,012 gr.), который предполагаетъ дѣленіе праваго плеча на 12 равныхъ частей, промежутки же между цифрами сохраняютъ десятичное дѣленіе. Этотъ способъ дѣленія оправдывается тѣмъ, что при немъ удобнѣе оцеривать рейтеромъ въ тѣхъ случаяхъ, когда тре-

буется положить болѣе 9 и менѣе 11 mgr., такъ какъ тогда онъ легко можетъ быть перемѣщаемъ въ практически очень важномъ интервалѣ между 9 и 11-ымъ дѣленіями плеча. Съ этой стороны онъ очень практиченъ. Невыгода его только въ томъ, что при такой системѣ дѣленія рейтерной линейки являются нѣсколько болѣе мелкими (въ 1,2 раза), чѣмъ при десятичной. Кромѣ того, такой способъ дѣленія обходится дороже.

Ниже, въ главѣ X, мы опишемъ приемъ изготовленія рейтера изъ алюминіевой проволоки.

Глава V.

Монтировка вѣсовъ. Выборъ мѣста. Испытаніе ихъ. Манипуляція простого взвѣшиванія. Взвѣшиваніе изъ разности. Правила обращенія съ точными вѣсами.

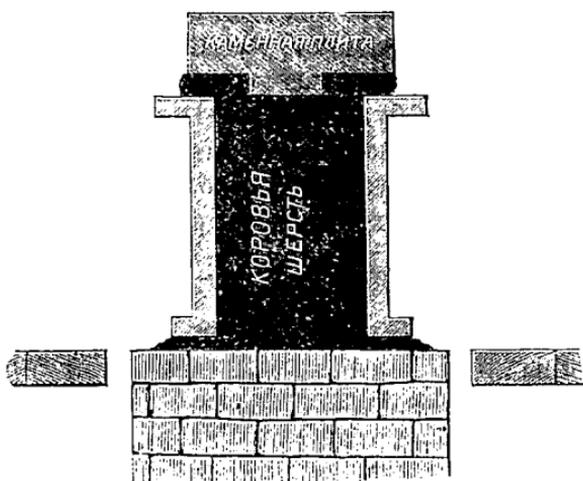
Точные вѣсы должны быть установлены на подставкѣ, свободной отъ сотрясеній.

Обыкновенно для этой цѣли употребляются *консоли, прикрепленныя къ капитальнымъ стѣнамъ*, или въ послѣднія уже при постройкѣ зданія *вдѣлываются каменные плиты на предусмотрѣнныхъ мѣстахъ*.

Въ иныхъ случаяхъ, требующихъ большой точности, и этого бываетъ недостаточно. Тогда возводятъ особый *каменный пьедесталъ* на прочномъ фундаментѣ, уходящемъ въ землю *до материка*, причемъ необходимо, чтобы онъ нигдѣ не касался пола и стѣнъ зданія.

Въ исключительныхъ случаяхъ, напр. на заводахъ, гдѣ сильныя машины, напр. мощный паровой молотъ, производятъ сильнѣйшія сотрясенія почвы на значительномъ радиусѣ, необходимо прибѣгнуть къ болѣе сложной установкѣ. На каменномъ фундаментѣ, выходящемъ изъ пола лабораторіи, устанавливается деревянный ящикъ, набитый шерстью, лучше всего коровьей. На этотъ ящикъ накладывается массивная каменная плита и притомъ такъ, чтобы она своими краями не опиралась на ящикъ, а на слой шерсти. Подобный же слой

шерсти долженъ быть и между нижними краями ящика и фундаментомъ, какъ это изображено на фиг. 10.



Фиг. 10.

Во всѣхъ этихъ случаяхъ должно соблюдаться общее правило: устанавливать вѣсы на такой высотѣ отъ пола, что бы коромысло было на уровнѣ глазъ сидящаго за вѣсами наблюдателя. Это весьма существенное условіе спокойной работы.

Мѣсто для вѣсовъ должно быть выбрано такимъ образомъ, что-бы невозможно было освѣщеніе прямыми солнечными лучами, вдали отъ вентиляціи, отопленія, дверей и т. п. однимъ словомъ такъ, что-бы вѣсы не могли подвергаться рѣзкимъ колебаніямъ температурныхъ условій. Отсюда необходимо старательно *избѣгать помѣщенія ихъ на подоконникахъ*, какъ это часто дѣлается, такъ какъ въ данномъ случаѣ чрезвычайно трудно уберечь этотъ весьма чуткій приборъ отъ рѣзкаго нагрѣванія и охлажденія. И разъ къ этому принуждаетъ недостатокъ мѣста, необходимо во первыхъ задѣлать двойныя рамы по зимнему, заклеивъ всѣ щели плотной глян-

цовитой бумагой, и во вторыхъ защитить вѣсы отъ прямыхъ лучей солнца, завѣсивъ нижнюю половину рамы бѣлой бумагой.

Цѣлесообразность подобнаго рода предосторожностей видна изъ слѣдующаго простаго подсчета. Допустимъ, что вслѣдствіе неравномѣрнаго нагрѣванія температура лѣваго плеча на 1°C выше температуры праваго. Положимъ, что длина плеча 10 ст., тогда плечо, температура котораго выше, вслѣдствіе расширенія будетъ длиннѣе. Если коромысло изъ латуни съ коэффициентомъ линейнаго расширенія 0,000019, то по закону рычага грузъ на лѣвомъ плечѣ уравнивается большимъ, чѣмъ слѣдуетъ числомъ разновѣсокъ на правомъ, именно въ отношеніи длины плечъ $\frac{10,00019}{10} = 1,00002$.

Тогда при взвѣшиваніи напр. 10 gr. погрѣшность отъ указанной причины получится въ 0,2 mgr., для 50 gr. уже въ цѣлый миллиграмъ и т. д.

По полученіи и осторожной распаковкѣ вѣсовъ необходимо дать имъ „притти въ себя и оправиться“: нѣсколькихъ дней стоянія на предназначенномъ для нихъ мѣстѣ достаточно, чтобы успѣли выравняться кое какія различія въ температурѣ и упругія натяженія различныхъ частей прибора.

Только тогда приступаютъ къ *установкѣ и испытанію* вѣсовъ.

Установка вѣсовъ.

1. Прежде всего вѣсамъ придаютъ строго *горизонтальное положеніе* при помощи винтовыхъ ножекъ и отвѣса (см. глава III, стр. 23 и 27). Если послѣдній отсутствуетъ, обращаются къ спиртовому уровню. Соответствующимъ вращеніемъ винтовыхъ ножекъ добиваются того, чтобы противолежащія острія отвѣса были одинъ продолженіемъ другого или нить отвѣса, при другомъ устройствѣ, проходила бы черезъ центръ кольца т. е. покрывала бы марки, нанесенныя по краямъ его, при смотрѣніи съ обѣихъ сторонъ колонны. При употребленіи уровня пузырькъ воздуха при его перемѣщеніяхъ въ различныхъ направленіяхъ по основной доскѣ долженъ сохранять среднее положеніе.

2. Достигнувъ горизонтальности установки, необходимо добиться того, чтобы *время колебанія* коромысла (герр. стрѣлки) было подходящимъ. Это регулируется путемъ передвиженія винтового грузика по вертикальной оси коромысла смотря по надобности вверхъ или внизъ, что соответственно мѣняетъ разстояніе центра тяжести отъ точки опоры (разст. S). Обыкновенно стараются время колебанія довести до 6—10 секундъ при короткоплечихъ и 10—15 секундъ при длинноплечихъ вѣсахъ. Впрочемъ эта установка производится уже на фабрикѣ, гдѣ грузикъ устанавливаютъ на орѣшникъ, такъ что остается только провѣрить время колебанія.

Для опредѣленія времени колебанія вѣсовъ наблюдаютъ при помощи секундомѣра время, потребное для 10 прохожденій стрѣлки черезъ среднюю черту шкалы. Отсчитавъ истекшее время дѣлятъ результатъ на 10, что даетъ время одного колебанія. Секундомѣръ пускаютъ въ ходъ при 1-омъ прохожденіи и останавливаютъ на одиннадцатомъ.

Можно пользоваться и обыкновенными часами (что менѣе удобно), но необходимо отмѣтить, что далеко не у всѣхъ часовъ согласованъ минутный и секундный ходъ. Кромѣ того при употребленіи обыкновенныхъ часовъ необходимо участіе двухъ лицъ. *Примѣръ:*

Прохожденіе 1-ое	15'	43"
„	11-ое	17' 08"

Разность $1' 25'' = 85''$ отвѣч. 10 колебаніямъ.
8,5'' отвѣч. 1-ому колебан.

Регулировка времени колебанія сводится въ сущности къ установкѣ надлежащей чувствительности, которая пропорціональна квадрату t . Слишкомъ большая чувствительность неудобна, такъ какъ черезчуръ удлинняетъ время взвѣшиванія (колебанія слишкомъ продолжительны) и вызываетъ не-правильности въ установкѣ, что лишаетъ ее всякихъ выгодъ.

3. Затѣмъ ненагруженные вѣсы приводятъ приблизительно къ *среднему положенію на шкалѣ*. Освободивъ коромысло, наблюдаютъ отклоненія стрѣлки вправо и влево отъ средней черты. Отклоненія эти должны быть въ обѣ стороны приблизительно одинаковы; разницей въ 1, даже 2 дѣленія въ ту или

другую сторону можно пренебречь. Регулировка въ данномъ случаѣ производится или подвинчиваніемъ подвижныхъ грузиковъ по концамъ коромысла (Рюпрехтъ), либо соотвѣтствующимъ поворотомъ флажка. И тотъ, и другой пріемъ сводится къ облегченію того плеча, которое перетягиваетъ, или утяжеленію того, которое легче. Если, напр. стрѣлка больше отклоняется *вправо*, то *правое* плечо *тяжелее* и его слѣдуетъ *сдѣлать легче* тѣмъ или инымъ способомъ; напр. подвинчиваніемъ праваго грузика ближе къ средней призмѣ или новорачиваніемъ флажка по направленію часовой стрѣлки и т. д. Перемѣщенія эти должны производиться постепенно, иначе при нетерпѣніи регулировка потребуетъ очень много времени.

Установка считается законченной, когда (1) вѣсы по отвѣсу или уровню горизонтальны, когда (2) время колебанія (чувствительность) подходяще урегулировано (6—10 или 10—15 сек.) и когда (3) при колебаніи пустыхъ вѣсовъ отклоненія стрѣлки въ ту и другую сторону отъ средней линіи приблизительно одинаковы.

Тогда можно приступить къ *испытанію вѣсовъ*.

Испытаніе. Послѣднее сводится къ тому, что убѣждаются, насколько механикъ удовлетворилъ главнѣйшимъ условіямъ правильности и точности взвѣшивания (точность конструкции).

Обыкновенно стараются убѣдиться:

- I. Въ какой мѣрѣ устранено треніе въ мѣстахъ опоры.
- II. Насколько прямолинейны и параллельны острия ребра призмы.
- III. Насколько одинаковы по вѣсу плеча коромысла и чашки вѣсовъ.
- IV. Насколько совершенно устройство подвѣсокъ.
- V. Насколько велика чувствительность вѣсовъ и какъ она зависитъ отъ нагрузки.
- VI. Насколько неравны по длинѣ плеча коромысла.

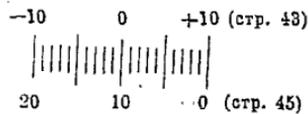
Но прежде чѣмъ мы займемся этимъ, необходимо ознакомиться съ чрезвычайно важнымъ *пріемомъ опредѣленія положенія равновѣсія* вѣсовъ или такъ называемой нулевой точки *методомъ колебаній*.

Определение положенія равновѣсія методомъ колебаній (при пустыхъ вѣсахъ обозначается l_0) сводится къ тому, чтобы, не дожидаясь полнаго успокоенія вѣсовъ, узнать какое положеніе заняла бы стрѣлка вѣсовъ на шкалѣ, если бы мы на самомъ дѣлѣ выждали, когда они придутъ въ состояніе покоя.

При большой чувствительности такихъ вѣсовъ намъ пришлось бы ждать очень долго, прежде чѣмъ вѣсы успокоились и мы могли бы отсчитать положеніе неподвижной стрѣлки на шкалѣ.

Поэтому *никогда* не ждутся, пока прекратятся колебанія, но путемъ наблюденія и отчета послѣднихъ опредѣляютъ то положеніе стрѣлки на шкалѣ, какое она *заняла бы, если бы* вѣсы пришли въ состояніе покоя.

Шкала, по которой производятся отчеты (фиг. 11) включаетъ въ себѣ обыкновенно 20 дѣленій: 10 направо и 10 налево отъ средней черты. Обыкновенно эту послѣднюю обозначаютъ 0 и отъ нея считаютъ въ право и влево до 10, каждое дѣленіе мысленно подраздѣляется на 10 частей, и эти десятиыя доли опредѣляются на глазъ.



Фиг. 11.

Для опредѣленія точки покоя необходимо сдѣлать по этой шкалѣ отчетъ нѣкотораго нечетнаго числа точекъ поворота стрѣлки т. е. точекъ, когда стрѣлка мѣняетъ направленіе своего движенія. Обыкновенно *достаточно* сдѣлать *три* *последовательныхъ* отчета, иногда берутъ пять и понятно что точность окончательнаго опредѣленія тѣмъ больше, чѣмъ больше число последовательныхъ отчетовъ.

Требованіе нечетности числа отчетовъ опредѣляется слѣдующимъ соображеніемъ. При колебаніи коромысла размахи стрѣлки съ теченіемъ времени все убываютъ, хотя и очень

медленно. Если бы трение въ движущихся частяхъ было безконечно мало, то размахи, въ правую и лѣвую сторону отъ положенія покоя были бы чрезвычайно близки другъ къ другу, почти совпадали бы. Тогда достаточно было бы сдѣлать два отчета въ разныя стороны и взять среднее. Последнее отвѣчало бы тому положенію стрѣлки на шкалѣ, какое заняла бы она послѣ безконечно большого числа колебаній. Но такъ какъ трение налицо, то и размахи, хотя и медленно, но замѣтно убываютъ, поэтому каждому колебанію въ одну сторону отвѣчаетъ не одно колебаніе въ другую сторону, по полусумма предыдущаго и послѣдующаго. Поэтому, чтобы опредѣлить положеніе равновѣсія, мы должны взять минимумъ 3 послѣдовательныхъ колебанія; тогда отчету въ одну сторону будетъ отвѣчать полусумма отчетовъ въ другую сторону. Точка равновѣсія опредѣлится, какъ ариомет. среднее изъ одного отчета въ одну сторону и полусуммы двухъ отчетовъ въ другую сторону. Сказанное для трехъ колебаній остается въ силѣ и для любого нечетнаго $(2n + 1)$ числа колебаній. Берутъ ариометическое среднее изъ колебаній въ одну сторону и ариометическое среднее въ другую сторону, складываютъ ихъ и берутъ полусумму.

На практикѣ пріемъ чрезвычайно простъ. Отчеты по лѣвую сторону отъ средней черты (0) обозначаютъ—, по правую +. Положимъ мы имѣемъ ненагруженные вѣсы. Осторожно освобождаемъ коромысло. Вѣсы начинаютъ колебаться. *Пропустимъ первыя 3—5 колебаній*, которыя нѣсколько неправильны отъ толчка арретира, а затѣмъ начнемъ послѣдовательные отчеты положенія стрѣлки на шкалѣ, оцѣнивая десятые доли на глазъ.

Возьмемъ, напр. пять колебаній.

	1-ый примѣръ.		2-ой примѣръ.	
колеб.	влѣво	вправо	влѣво	вправо
1	—4,6			+ 3,4
2		+ 5,1	—4,5	
3	—4,4			+ 3,2
4		+ 4,9	—4,3	
5	—4,2	ср. 5,0	ср.—4,4	+ 3,0
	ср.—4,4	—4,4	+ 3,2	ср.—3,2
		+ 0,6:2 = + 0,3	—1,2:2 = 0,6	

Такимъ образомъ О—пунктъ или положеніе стрѣлки въ ожидаемомъ покоѣ опредѣляется изъ пяти отчетовъ такъ: (1 прим.).

$$\left[\frac{-4,6 + -4,4 + -4,2}{3} + \frac{+5,1 + 4,9}{2} \right] : 2 = +0,3$$

Тотъ же примѣръ (1-ый) въ упрощенной записи: (среднія всегда проще брать въ умѣ, какъ въ 2-омъ примѣрѣ, отчеты влѣво пинуть на лѣво, отчеты вправо—правѣ).

$$\begin{array}{r} 4,6 \\ 4,4 \\ \underline{4,2} \\ 4,4 \end{array} \quad \begin{array}{r} 5,1 \\ \underline{4,9} \\ 5,0 \\ \underline{4,4} \\ 0,6 \end{array} + 0,3$$

Подписывая меньшее среднее подъ большимъ, для окончательнаго результата берутъ знакъ большаго средняго. Какъ легко видѣть, при различныхъ знакахъ ариеметическихъ среднихъ, взятіе полусуммы ихъ сводится къ вычитанію и дѣленію остатка на два.

Чтобы избѣжать путаницы со знаками (хотя при привычѣ эти вычисленія дѣлаются почти манинально), можно *настоятельно рекомендовать* дѣлать записи отчетовъ болѣе удобнымъ, хотя и нѣсколько менѣе вагляднымъ способомъ.

За нулевое дѣленіе примемъ крайнюю правую черту (ранѣе +10), тогда прежній нуль будетъ 10, лѣвая крайняя 20. Тогда знаки устраниются. Отчетъ производится прежнимъ порядкомъ. Очевидно, что колебанія, заходящія за среднюю черту слѣва имѣютъ отчетъ <10, справа> 10. Въ конечномъ итогѣ получается цифра близкая къ 10 (или прежнему нулю, средней чертѣ). Напр.

15,2		Упрощенная запись:
	5,3	15,2 5,3
15,0		15,0 <u>5,5</u>
	<u>5,5</u>	14,8 <u>5,4</u>
<u>14,8</u>	10,8 : 2 = 5,4	<u>15,0</u> 15,0
45:3 = 15	<u>15</u>	<u>10,2</u>
	20,4 : 2 = 10,2	(среднія берутся въ умѣ).

Отчетъ положенія покоя = 10,2 т. е. на 0,2 влѣво отъ прежняго 0 (по прежнему обозначенію — 0,2).

При обыкновенныхъ взвѣшиваніяхъ вполне *достаточно трехъ отчетовъ.*

Умѣя опредѣлять 0—пунктъ ¹⁾ перейдемъ теперь къ *испытанію* вѣсовъ (см. стр. 42).

Испытаніе вѣсовъ.

I. Чѣмъ меньше треніе въ мѣстахъ сопряженія, тѣмъ вѣсы чувствительнѣе. Слабость тренія обнаруживается тѣмъ, что колебанія затухаютъ очень медленно.

Пріемъ: вѣсы осторожно освобождаютъ и, пропустивъ первыя 3—5 колебаній, начинаютъ послѣдовательные отчеты. Если треніе мало, то они въ одну и ту же сторону отличаются другъ отъ друга на 0,1—0,2 дѣленія. (См. предыдущіе примѣры отчетовъ)

II. Если острия ребра призмъ не прямолинейны (и острия съ дефектами) и не параллельны, то при послѣдовательныхъ арретировкахъ и освобожденіяхъ нуль—пунктъ мѣняется значительно.

Пріемъ: Для испытанія послѣдовательно освобождаютъ, опредѣляютъ нуль—пунктъ методомъ колебаній, арретируютъ и т. д. нѣсколько разъ.

Вполнѣ хорошіе вѣсы, послѣ того какъ они „пришли въ себя“ и установлены совершенно правильно, держатъ нуль—пунктъ продолжительное время съ точностью до 0,1—0,2 дѣленія.

III. Хорошіе вѣсы должны имѣть вполнѣ симметричное коромысло съ плечами одинаковаго вѣса. Разъ это такъ и вѣсы въ равновѣсіи, то послѣ снятія чашекъ послѣднее не должно значительно мѣняться.

Пріемъ: При испытаніи послѣдовательно опредѣляютъ 0—пунктъ при пустыхъ вѣсахъ, и во второй разъ, снявъ

¹⁾ 0—пунктомъ (нулевой точкой) называютъ отчетъ установленъ пустыхъ вѣсовъ и обозначаютъ 1,.

чашки. *Большая* разность установокъ покажетъ, что коромысло съ дефектами и подогнано къ равновѣсію вѣсомъ чашекъ. Отсюда и вѣсъ послѣднихъ неодинаковъ.

IV. У точныхъ вѣсовъ установка не должна мѣняться при перемѣнѣ мѣста нагрузки на чашкѣ вѣсовъ. Это измѣненіе зависитъ отъ конструкціи подвѣсокъ—промежуточной части между чашкой и коромысломъ. При надлежащемъ устройствѣ ихъ краевыя призмы при всякомъ положеніи груза на чашкахъ соприкасаются съ агатовой пластинкой подвѣски всегда одинаково т. е. по одной и той же прямой линіи своего ребра. Въ противномъ случаѣ при перемѣнѣ положенія груза линія соприкосновенія можетъ превращаться въ площадь соприкосновенія и въ различныхъ случаяхъ различно, что сводится къ измѣненію длины плеча. Въ результатѣ, взвѣшивая послѣдовательно одно и то же тѣло, но мѣняя его положеніе на вѣсахъ, мы при плохомъ устройствѣ подвѣсокъ получимъ вѣсъ мѣняющимся.

Пріемъ: При испытаніи на обѣ чашки вѣсовъ кладутъ двѣ одинаковыхъ гирьки, напр. по 10 gr (лучше по 50 gr. если имѣется запасной наборъ), и опредѣляютъ 0—пунктъ. Арретируютъ—и одну изъ гирекъ перемѣщаютъ на чашкѣ, напр. ставятъ ближе къ краю. Вновь опредѣляютъ положеніе равновѣсія. У хорошихъ вѣсовъ разница двухъ установокъ не должна быть больше индивидуальной ошибки отчета т. е. обыкновенно 0,1—0,2 дѣленія.

V. Чувствительность аналитическихъ вѣсовъ бываетъ различна; обыкновенно ее выражаютъ разностью установокъ до и послѣ перегруза на одной изъ чашекъ въ одинъ миллиграммъ.

Въ каталогахъ и прейсъ-кураптахъ фабрикантовъ вѣсовъ чувствительность выражается нѣсколько иначе. Именно, чувствительностью называютъ минимальный перегрузъ, который еще ощущается вѣсами. Если напр. указана чувствительность 0,1 mgr., то это значитъ, что разность между положеніемъ равновѣсія при пустыхъ вѣсахъ и при перегрузѣ на одномъ плечѣ въ 0,1 mgr. еще замѣтна т. е. равна 0,1—0,2 дѣленія шкалы. Тогда чувствительность въ нашемъ выраженіи опредѣлится такъ:

$$0,1 \text{ mgr} : 0,2 \text{ дѣл.} = 1 : x ; x = 2 \text{ дѣл.}$$

Обратное разсужденіе: отъ перегруза въ 1 mgr. отклоненіе=2 дѣл. Чувствительностью (въ ват.) будетъ грузъ, который производитъ еще замѣтное (0,2 дѣл.) отклоненіе:

$$2 : 1 = 0,2 : x ; x = 0,1 \text{ mgr.}$$

Лучшіе аналитическіе вѣсы обнаруживаютъ измѣненіе установки на 1 дѣленіе при перегрузѣ уже въ 0,1 mgr.; одному mgr. отвѣчаетъ уже огромная разность въ 10 дѣленій (чувств.=10). Такимъ образомъ при отчетѣ вооруженнымъ глазомъ можно отлично замѣчать отклоненія при перегрузѣ 0,01 mgr. Точность взвѣшиванія при такомъ отчетѣ не менѣе $\frac{1}{200}$ mgr. т. е. 0,000005 gr.

Средніе же аналитическіе вѣсы обладаютъ меньшей чувствительностью, отвѣчающей въ среднемъ 2—5 дѣленіямъ при перегрузѣ въ 1 mgr. При такой чувствительности взвѣшиванія производятся съ точностію не менѣе 0,1 mgr. (при чув.=2), что вполне достаточно при обыкновенныхъ аналитическихкихъ работахъ. Слишкомъ большая чувствительность (болѣе 4—5) обыкновенно не только излишня, но и неудобна, лишь бесполезно замедляя манипуляцію взвѣшиванія.

Пріемъ: Для приблизительнаго ознакомленія съ чувствительностью вѣсовъ, опредѣляютъ сначала 0—пунктъ пустыхъ вѣсовъ. Затѣмъ на правое плечо накладываютъ *рейтеромъ* 1 mgr. и вновь находятъ установку. Развѣца установокъ и даетъ чувствительность въ дѣленіяхъ шкалы. Если при вложеніи 1 mgr. будетъ замѣтно уже, что перегрузъ великъ, то рейтеръ ставятъ на 0,5 mgr. и продѣлываютъ ту же операцію. Полученный результатъ умноженіемъ на 2 относятъ къ 1 mgr. перегруза.

Чтобы получить понятіе о степени измѣненія чувствительности съ увеличеніемъ нагрузки, опредѣливъ ее при пустыхъ вѣсахъ, повторяютъ ту же операцію при $\frac{1}{2}$ предѣльной нагрузки на каждой чашѣ. При этихъ условіяхъ можно допустить разность въ чувствительности, выражающуюся даже двумя дѣленіями. Обыкновенно измѣненіе чувствительности бываетъ значительно меньше. Въ настоящее время даже при дешевыхъ вѣсахъ (около 80 р.) можно имѣть практически неизмѣнную чувствительность въ интервалѣ среднихъ нагрузокъ.

Подробное изложеніе опредѣленія чувствительности и ея измѣненія отнесено вами къ главѣ VII.

VI. Какъ бы не было велико искусство механика, условіе неравноплечести вѣсовъ можетъ быть выполнено лишь съ извѣстнымъ, хотя бы и очень большимъ приближеніемъ. Цѣль испытанія обнаружить насколько велико это приближеніе.

Если вѣсы удовлетворительны въ смыслѣ неравноплечести, то очевидно вѣсъ тѣла не долженъ мѣняться при взвѣшиваніи на различныхъ чашкахъ вѣсовъ, такъ какъ въ обоихъ случаяхъ онъ дѣйствуетъ на плечо одной и той же длины.

Пріемъ: При испытаніи накладываютъ на обѣ чашки вѣсовъ по 20 gr. и опредѣляютъ изъ 3—5 отчетовъ положеніе равновѣсія. Вѣсы хороши, если послѣ перестановки гирекъ разность отчетовъ не превышаетъ 2,5 дѣленія шкалы.

Точному опредѣленію отношенія длины плечъ коромысла ниже будетъ посвящена особая глава (VIII). Въ настоящее время укажемъ только, что при обыкновенныхъ аналитическихъ работахъ, когда взвѣшиваемое тѣло всегда лежитъ па-одномъ и томъ же (лѣвомъ) плечѣ, когда вѣсъ его опредѣляется изъ разности двухъ взвѣшиваній, когда, наконецъ, дѣло идетъ не объ абсолютномъ, но объ относительномъ взвѣшиваніи, вопросъ о неравноплечести не представляетъ большого значенія.

Операция взвѣшиванія. Простѣйшій пріемъ.

Положимъ, что вѣсы установлены и при равновѣсіи ихъ стрѣлка *приблизительно* указываетъ на среднее дѣленіе.

Вѣсы арретированы.

Раскрываютъ лѣвую дверку (или, если боковыхъ дверокъ нѣтъ, приподнимаютъ на половину переднюю) и кладутъ взвѣшиваемое тѣло (*всегда*) на лѣвую чашку вѣсовъ.

Дверцу закрываютъ.

Затѣмъ, раскрывъ правую дверцу, начинаютъ накладывать разновѣски. При этомъ *всегда поступаютъ систематически*: разновѣски пробуютъ, *начиная съ завѣдомо большей* и въ порядкѣ ихъ расположенія. Попытки прикидывать на глазъ и угадывать вѣсъ должны быть рѣшительно оставлены: какъ показалъ долговременный опытъ, онѣ приводятъ лишь къ путаницѣ и потерѣ времени; можно напередъ утверждать, что нетерпѣніе будетъ наказано.

Обращеніе съ разновѣсками требуетъ особенной тщательности. *Ихъ никогда не слѣдуетъ брать руками*, для этого

служить прицель съ востянными кончиками, чтобы потъ, жиръ или грязь нальцевъ не пристали къ гирькамъ и не измѣнили ихъ вѣса. *Разновѣски могутъ находиться либо въ ящикъ, каждая въ своемъ гнѣздѣ, либо на правой чашкѣ въсовъ и нигдѣ больше.*

Наложивъ завѣдомо большую гирьку, *осторожно* начинаютъ освобождать арретиръ. Тотчасъ отклоненіе стрѣлки влѣво (при гирькѣ завѣдомо большей) укажетъ, что гирька велика. Арретируютъ.

Такъ какъ разновѣски *всегда* владутся на правую чашку и только на правую, то гирьку приходится снять и владется слѣдующая.

Вѣсы освобождаютъ.

Тотчасъ по направленію отклоненія стрѣлки обнаруживается—мало или много. Влѣво—много, вправо—мало. Положимъ—вправо; стало быть мало—арретируютъ.

Накладываютъ слѣдующую и т. д. и т. д.

Въ избѣжаніе порчи чувствительныхъ вѣсовъ *всякому перемѣщенію на чашкахъ въсовъ непременно предшествуетъ арретировка.* Это правило должно соблюдаться *неукоснительно.*

Доходятъ до десятихъ долей грамма—пріемъ остается тотъ же.

Также и еотыя доли.

Наконецъ, приходится накладывать тысячныя т. е. *миллиграммы.* Тогда закрываютъ правую дверцу, и *начинаютъ дѣйствовать рейтеромъ* (см. стр. 33).

Сначала онъ насаживается на половину плеча (цифра 5); положили—много; арретируютъ. Пересаживаютъ на 2—освобождаютъ—мало и т. д. Словомъ дѣйствуютъ такъ же, какъ и раньше и въ томъ же порядкѣ. Каждый разъ арретируютъ, пересаживаютъ гусара, освобождаютъ и т. д.

Наконецъ, доходятъ до того положенія, когда при одной цифрѣ—мало, а при слѣдующей—много. Тогда гусара пересаживаютъ между этими двумя послѣдующими цифрами до тѣхъ поръ, пока послѣ полного освобожденія вѣсовъ стрѣлка не будетъ отклоняться одинаково по ту и по другую сторону отъ средней линіи. Для большей правильности пропускаятъ 3—5 колебаній.

Разъ это достигнуто, взвѣшивание закончено. Вѣсы арретируютъ.

Запись. Запись производится сначала по пустымъ мѣстамъ ящика. Разъ система расположенія разновѣсокъ известна, нѣтъ ничего проще этого. Складываютъ латунныя гирьки по пустымъ мѣстамъ—получаются цѣлыя, десятыя доли даютъ первый десятичный знакъ, сотыя—второй. Цифра вѣво отъ гусара на линейкѣ даетъ число миллиграммовъ—третья десятичная; четвертая опредѣляется также по положенію рейтера между цифрами линейки. (Не слѣдуетъ забывать при этомъ, что промежутокъ между цифрами дѣлится и на 5 и на 10 частей).

Затѣмъ запись провѣряется при убираниі разновѣсокъ на свои мѣста.

Можно *настоятельно посоветовать не пренебрегать этимъ приемомъ*: подобная двойная запись, какъ показываетъ опытъ, отлично *гарантируетъ* отъ послѣдствій разсѣянности и случайной путаницы при записи вѣса. Можно нерѣдко наблюдать, какъ неправильная запись сводитъ на нѣтъ подчасъ кропотливую работу по анализу, который самъ по себѣ безукоризненъ и могъ бы порадовать экспериментатора своими результатами. Самые опытные лица придерживаются двойной записи результатовъ взвѣшивания, пренебреженіе же этимъ приемомъ характерно для новичковъ, которые однако часто выразительно наказываются за это бесполезной потерей времени.

Заключивъ взвѣшиваніе, мы получаемъ результатъ, выраженный въ цѣлыхъ съ четырьмя десятичными знаками, на примѣръ 13,4379: эта точность вполне достаточна при обычныхъ работахъ.

Погрѣшность взвѣшивания.

Посмотримъ теперь въ сколько единицахъ четвертаго знака выразится *погрѣшность взвѣшивания*, произведеннаго описаннымъ приемомъ. Вспомнимъ, что сначала мы установили вѣсы такъ, что стрѣлка пустыхъ вѣсовъ отклонялась лишь приблизительно (съ разницей даже до 2-хъ дѣленій) одинаково въ лѣвую и правую сторону отъ средней линіи. Кончали взвѣшиваніе при болѣе отрогомъ равенствѣ качаній. Подождемъ первая установка достигнута при 7 дѣл. вѣво и 5 вправо. Тогда среднее положеніе приблизительно 1 дѣленіе вѣво (—1). Допустимъ, что, кончая взвѣшиваніе, имѣемъ 6 дѣл. вѣво и 6,4 вправо, тогда среднее положеніе 0,2 дѣл. вправо

(+ 0,2). Тогда неточность взвѣшиванія будетъ отвѣчать разницѣ этихъ установокъ, выраженной въ доляхъ миллиграмма.

Подсчетъ простъ. Положимъ чувствительность вѣсовъ 2,0 т. е. при перегрузкѣ въ 1 mgr. измѣненіе установки равно 2 дѣленіямъ. Посмотримъ какому перегрузку соотвѣтствуетъ разность нашихъ установокъ при взвѣшиваніи. Пишемъ пропорцію:

$$2 \text{ дѣл.} : 1 \text{ mgr.} = 1,2 : x ; x = \frac{1,2}{2} = 0,6 \text{ mgr.}$$

Слѣдовательно *при нашихъ установкахъ*—1,0 и + 0,2 (разность ихъ=—1,2) *допущена погрѣшность въ 0,6 mgr.*, которую слѣдовало бы прибавить къ записанному результату.

Допускаемая погрѣшности подобнаго рода, конечно, не малы въ сравненіи съ чувствительностью вѣсовъ. Если послѣдняя равна 2, то это значитъ, что наши вѣсы еще чувствуютъ перегрузъ въ 0,1 mgr., который обнаружится разностью установокъ на 0,2 дѣленія, какую можно еще найти методомъ колебаній при отчетѣ невооруженнымъ глазомъ.

Такимъ образомъ, при взвѣшиваніи указаннымъ способомъ мы, во первыхъ, не используемъ чувствительность (даже относительно небольшую) нашихъ вѣсовъ, во вторыхъ, допускаемъ ошибку довольно значительную. Такая ошибка при анализѣ вполне недопустима, такъ она одна можетъ дать погрѣшность при вычисленіи процентнаго содержанія въ нѣсколько десятыхъ %.

Между тѣмъ при обыкновенныхъ анализахъ, въ особенности при аналитическихъ упражненіяхъ практикантовъ, взвѣшиваніе производится именно этимъ способомъ, несмотря на его неточность. Дѣло объясняется тѣмъ, что *всѣ взвѣшиванія при анализѣ производятся изъ разности* т. е. вѣсъ навѣски, осадка и т. п. каждый разъ находится вычитаніемъ изъ двухъ взвѣшиваній. При такомъ приѣмѣ погрѣшности, допущенныя при обоихъ взвѣшиваніяхъ и направленные въ одну сторону, при вычитаніи взаимно уничтожаются и не отражаются на разности, погрѣшность которой равна лишь разности приблизительно одинаковыхъ погрѣшностей двухъ взвѣшиваній.

Примѣръ:

1-е взв. 13,6783 (съ погр.—0,4 mgr.) т. е. $13,6779 + 0,4 \text{ mgr.}$
 2-е взв. 13,1937 (съ погр.—0,6 mgr.) т. е. $13,1931 + 0,6 \text{ mgr.}$
 (Найд. в.) $0,4846$ = (ист. в.) $0,4848 - 0,2 \text{ mgr.}$

Взвѣшиваніе изъ разности необходимо примѣняется химиками уже потому, что при анализахъ приходится судить о вѣсѣ вещества, осадка и т. п. по убыли или привѣсу сосуда. Кромѣ того, при точныхъ вѣсахъ во избѣжаніе порчи чашекъ недопустимо накладываніе взвѣшиваемаго вещества непосредственно на чашку вѣсовъ. Въ случаѣ же жидкостей и веществъ гигроскопическихъ невозможность этого приѣма самоочевидна. Кромѣ того въ огромномъ большинствѣ случаевъ мы даже прямо лишены возможности избѣжать взвѣшиванія изъ разности, такъ какъ не въ состояніи сполна отдѣлить вещество (напр. прокаленный въ тиглѣ осадокъ) отъ стѣнокъ сосуда.

Поэтому даже въ тѣхъ случаяхъ анализа, когда мы удобно и безопасно для вѣсовъ можемъ отвѣсить вещество, непосредственно положивъ его на чашку вѣсовъ, стало быть изъ одного взвѣшиванія, мы должны совершенно отказаться отъ этого приѣма уже въ силу указанной неточности одиночнаго взвѣшиванія.

Всего чаще неопытному практиканту представляется соблазнъ одиночнаго взвѣшиванія при отвѣшиваніи навѣски въ видѣ негигроскопическихъ кристалликовъ или металлической проволоки и сплавовъ, напр. при анализѣ мѣднаго купороса ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) или латуни и т. п.

Разочтемъ теперь, какая получится погрѣшность въ томъ случаѣ, если дѣйствительно нетерпѣливый новичекъ соблазнится возможностью одиночнаго взвѣшиванія якобы для сбереженія времени.

Положимъ, кристалликъ мѣднаго купороса, взвѣшенный непосредственно на лѣвой чашкѣ вѣсовъ, вѣситъ 0,2328 (съ погр.—0,6 mgr; ист. вѣсъ 0,2322; вѣсы обыкновен. аналитическіе съ чувствительностью напр. 2). Это—навѣска. Требуется опредѣлить въ ней количество SO_3 осажденіемъ купороса хлористымъ баріемъ (BaCl_2) т. е. найти вѣсъ полученнаго BaSO_4 , откуда можно вычислить $\%$ -ное содержаніе SO_3 и сравнить его съ теоретической цифрой.

Положимъ, что при анализѣ ничего не утеряно, а навѣска представляетъ химически чистый $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Вѣсъ

осадка, собраннаго съ фильтра и прокаленнаго въ тигль, по необходимости найденъ изъ разности двухъ взвѣшиваній, напр.

Вѣсъ тигля съ осадкомъ 12,0016 (погр. вѣв. + 0,4 mgr)

” ” ” одного 11,7847 (погр. вѣв. + 0,6 mgr)

Вѣсъ осадка $BaSO_4$ 0,2169 (погр. вѣв. — 0,2 mgr)

Зная отношеніе 233,49 ($BaSO_4$) : 80,06 (SO_3), легко перевести 0,2169 $BaSO_4$ на SO_3 , причемъ получаемъ

$$\frac{0,2169 \cdot 80,06}{233,49} = 0,0744 \text{ } SO_3 \text{ въ нашей навѣскѣ.}$$

Умноживъ на 100 и раздѣливъ на навѣску, получаемъ %-е содержаніе SO_3 въ мѣдномъ купоросѣ: $\frac{0,0744 \cdot 100}{0,2328} = 31,95\%$,

тогда какъ по теоріи требуется $\frac{80,06 \cdot 100}{249,74} = 32,06\%$. Такимъ

образомъ въ случаѣ идеальнаго анализа т. е. при отсутствіи потерь получилась бы погрѣбность въ нашемъ случаѣ $32,06 - 31,95 = 0,11\%$ т. е. болѣе 0,1% только отъ того, что навѣска взята была не изъ разности. Между тѣмъ осажденіе SO_3 въ видѣ $BaSO_4$ представляетъ одну изъ точнѣйшихъ количественныхъ операцій.

Далѣе, если бы мы захотѣли на основаніи этого анализа суждать о чистотѣ мѣднаго купороса, то даже при отсутствіи потерь мы получили бы цифру сильно уклоняющуюся отъ дѣйствительной. Зная соотношеніе: 233,49 ($BaSO_4$) : 249,74 ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), легко по количеству $BaSO_4$ (0,2169) найти количество мѣднаго купороса въ навѣскѣ и слѣдовательно %-ное содержаніе его въ данномъ препаратѣ.

$$\frac{0,2169 \cdot 249,74}{233,49} = 0,2320 \text{ вмѣсто } 0,2328 \text{ или } \frac{0,2320 \cdot 100}{0,2328} = 99,65\%.$$

При полной чистотѣ нашего препарата и при отсутствіи потерь при анализѣ эта значительная разность $100,00 - 99,65 = 0,35\%$ произошла лишь отъ одиночнаго отвѣшпванія навѣски.

Главнѣйшія правила, которыя должны быть соблюдаемы при взвѣшиваніи.

(Катехизисъ вѣсовщика).

Эти правила являются простымъ слѣдствіемъ предыдущаго изложевія и приводятся здѣсь вкратцѣ и частью въ догматической формѣ со ссылкой лишь на тѣ мѣста брошюры, гдѣ читатель найдетъ соотвѣтствующую подробную мотивировку. Во всякомъ случаѣ каждый практикантъ долженъ сознательно относиться къ каждому изъ высказанныхъ здѣсь требованій, что обезпечиваетъ ихъ выполненіе и безъ чего всякія предписанія остаются втунѣ.

1. Вѣсы должны быть горизонтально установлены на подставкѣ, не подвергающейся сотрясеніямъ, причѣмъ равнымъ образомъ должна быть устранена возможность неравномѣрнаго нагрѣванія ихъ частей. (см. стр. 38 и слѣд.).

2. Какъ и всякій точный приборъ, вѣсы требуютъ деликатнаго съ ними обхожденія. Необходимо избѣгать ударовъ и толчковъ, рѣзкаго подниманія и опусканія передней стѣнки, порывистаго оперированія арретиромъ. Ходъ арретира и рейтерной подачи долженъ быть плавнымъ (см. стр. 36). Вѣсы освобождаются отъ пыли при помощи мягкой барсучьей кисти. (Вата въ данномъ случаѣ совершенно непримѣнима).

3. Разновѣсокъ нельзя касаться руками; для этого служить исключительно пинцетъ. Разновѣски могутъ находиться либо на чашкѣ вѣсовъ, либо въ своихъ гнѣздахъ, и нигдѣ больше (стр. 49—50).

4. Какъ вѣсы, такъ и ящикъ съ разновѣсомъ, держатся открытыми лишь столько времени, сколько это необходимо, и закрываются тотчасъ по минованіи надобности (см. стр. 25-27).

5. Для предохраненія вѣсовъ отъ окисленія и ржавленія въ шкафчикѣ вѣсовъ ставятъ сосудикъ съ ѣдкою или натронной известью или хлористымъ кальціемъ.

6. Всякія перемѣщенія грузовъ на чашкахъ вѣсовъ должны совершаться только при полной арретировкѣ ихъ. Во избѣжаніе грубыхъ толчковъ арретировку всего умѣстнѣе производить тогда, когда при качаніяхъ стрѣлка находится вблизи средняго дѣленія.

7. Вѣсы не должны перегружаться выше назначенной для нихъ нормы.

8. Разновѣски накладываются всегда на правую чашку вѣсовъ, взвѣшиваемое же тѣло на лѣвую.

9. Колебанія чашекъ вѣсовъ при взвѣшиваніи не допускаются, такъ какъ это ведетъ къ погрѣшности, потому что развивающаяся при этомъ центробѣжная сила прибавляется къ вѣсу.

10. Наложеніе разновѣсокъ должно совершаться систематически безъ пропусковъ и начиная съ завѣдомо большей гирьки (стр. 49).

11. Взвѣшиваніе заканчивается при вполнѣ закрытыхъ вѣсахъ (стр. 25).

12. Вѣсъ при анализѣ всегда узнается по разности (стр. 52).

13. Запись результата должна быть двойная: по пустымъ гнѣздамъ набора и по равновѣскамъ при раскладываніи ихъ по мѣстамъ (стр. 51).

14. Необходимо отказаться отъ протиранія стеклянныхъ частей шкафика *непосредственно* передъ взвѣшиваніемъ, что можетъ повести къ грубой ошибкѣ вслѣдствіе электростатическихъ притяженій.

15. Когда нагруженные вѣсы близки къ равновѣсію, то часто бываетъ но легко заставить ихъ колебаться. Этого достигаютъ легкимъ поднятіемъ арретира до соприкосновенія съ коромысломъ съ послѣдующимъ опусканіемъ его. Въ иныхъ случаяхъ удобнѣе легкое дуновеніе въ закрытые вѣсы при опущенномъ арретирѣ, причемъ воздухъ проникаетъ въ шкафчикъ сквозь щели и приводитъ въ движеніе коромысло. Въ болѣе дорогихъ вѣсахъ имѣется специальное приспособленіе: воздухъ вдвухъ струя ето подталкиваетъ снизу лѣвую чашку. (См. фиг. 3).

16. Температура взвѣшиваемаго тѣла должна быть одинакова съ температурой самихъ вѣсовъ, иначе возникающія воздушныя теченія вносятъ большую погрѣшность и даже препятствуютъ взвѣшиванію. Фарфоровые тигли послѣ прокаливанія должны остывать въ эксикаторѣ рядомъ съ вѣсами въ теченіе не менѣе 25-ти минутъ, платиновые—10 минутъ. То-

же замѣчаніе относится и къ холоднымъ предметамъ, при которыхъ лишнимъ поводомъ къ большой погрѣшности является сгущеніе водяныхъ паровъ изъ воздуха на поверхности холоднаго предмета.

Г л а в а VI.

Операция точнаго взвѣшиванія методомъ колебаній (методъ интерполяціи). Ускоренное взвѣшиваніе методомъ колебаній со вспомогательной таблицей для средней чувствительности.—Автоматическое накладываніе разновѣсокъ. Отчетъ вооруженнымъ глазомъ.

Въ предыдущей главѣ мы познакомились со способомъ отысканія установки вѣсовъ при ихъ равновѣсіи помощью метода колебаній.

Тотъ же методъ даетъ намъ возможность производить взвѣшиванія не приближенно, какъ рассматривалось выше (V), но настолько точно, насколько позволяетъ чувствительность данныхъ вѣсовъ.

Способъ основанъ на достаточно точномъ допущеніи, что *малые углы отклоненія пропорціональны вызывающимъ ихъ перегрузкамъ*. Если, напр. перегрузъ въ 0,1 mgr вызываетъ смѣщеніе 0—пункта на 0,3 дѣленія, то перегрузъ въ 0,2 mgr вызоветъ смѣщеніе на 0,6 дѣленія и т. д. И наоборотъ, если смѣщенію установки въ 0,3 дѣл. отвѣчаетъ перегрузъ 0,1 mgr., то смѣщенію въ 0,6—0,2 mgr. и т. д.

Разъ мы знаемъ это, операция точнаго взвѣшиванія не представитъ затрудненія для пониманія.

Сначала опредѣлимъ установку пустыхъ вѣсовъ методомъ колебаній; пусть она будетъ l_0 .

Первоначальный ходъ взвѣшиванія ничѣмъ конечно не отличается отъ уже описаннаго (стр. 49). Наконецъ, доходятъ до того момента, когда при насаживаніи рейтера на одну изъ цифръ линейки оказывается мало (напр. при всей

нагрузкѣ p_1 mgr.); на слѣдующую—много (напр. p_2), такъ что разность $p_2 - p_1 = 0,0010 = 1$ mgr. Тогда методомъ колебаній опредѣляютъ установки l_1 и l_2 для нагрузокъ p_1 и p_2 , причѣмъ $l_1 < l_0$ и $l_0 < l_2$, такъ что $l_2 > l_0 > l_1$. Этими тремя опредѣленіями установокъ l_0, l_1, l_2 при нагрузкахъ 0, p_1 и p_2 (причемъ $p_2 - p_1 = 1$ mgr.) и закончена собственно операція взвѣшиванія. Далѣе слѣдуетъ вычисленіе.

Очевидно, разница въ установкѣ $l_2 - l_1$ отвѣчаетъ перегрузкѣ $p_2 - p_1 = 1$ mgr. Искомый вѣсъ тѣла P находится по своему значенію между вѣсами p_2 и p_1 , и нашей задачей является вычислить какой разницѣ въ доляхъ mgr. отвѣчаетъ разница въ установкѣ $l_2 - l_0$, (эти вѣсколько десятыхъ долей mgr. придется отнять отъ p_2 , чтобы получить P) или сколькимъ долямъ mgr отвѣчаетъ разность установокъ $l_0 - l_1$ (эти доли mgr. нужно будетъ прибавить къ p_1 , чтобы получить P).

Основываясь на принятомъ нами допущеніи, что малыя отклоненія пропорціональны вызывающимъ ихъ перегрузкамъ, легко, зная отклоненія, найти эти перегрузы изъ пропорціи:

$$(l_2 - l_1) : 1 = l_0 - l_1 : x_1 ; \quad x_1 = \frac{l_0 - l_1}{l_2 - l_1} \text{ mgr.}$$

$$(l_2 - l_1) : 1 = l_2 - l_0 : x_2 ; \quad x_2 = \frac{l_2 - l_0}{l_2 - l_1} \text{ mgr.}$$

Для того, чтобы найти искомый вѣсъ тѣла т. е. нагрузку при l_0 , нужно или прибавить x_1 къ p_1 , когда установка $l_1 < l_0$ или вычесть x_2 изъ p_2 , когда установка $l_2 > l_0$. Тогда

$$P = p_1 + \frac{l_0 - l_1}{l_2 - l_1} = \left(p_2 - \frac{l_2 - l_0}{l_2 - l_1} \right)$$

Примѣръ:

Устан. пуст. вѣсовъ.	Нагр. 12,345	Нагр. 12,346
14,5	13,7	8,2
5,7	4,6	16
14,3	13,5	8,4
5,9	4,8	15,8
14,1	13,3	8,6
5,8	4,7	15,9
14,3	13,5	8,4
20,1	18,2	24,3
$l_0 = 10,05$	$l_1 = 9,1$	$l_2 = 12,15$
$l_2 - l_1 = 0,95$	$l_2 - l_1 = 3,05$	$l_2 - l_0 = 2,1$
	$p_2 - p_1 = 1 \text{ mgr}$	

Отсюда къ 12,345 слѣд. прибавить столько долей mgr., сколько отвѣчаетъ разности установки въ 10,05—9,11=0,95 дѣл. т. е. $3,05 : 1 = 0,95 : x_1$, $x_1 = \frac{0,95}{3,05} = 0,31$ mgr. Тогда, искомый вѣсъ $P = 12,345 \text{ gr} + 0,31 \text{ mgr} = 12,34531$.

Или иначе:

Отъ 12,346 слѣдуетъ отнять сколько. отвѣчаетъ разницѣ установокъ въ 12,15—10,05=2,1 дѣл. т. е.

$3,05 : 1 = 2,1 : x_2$; $x_2 = \frac{2,1}{3,05} = 0,69$ mgr. Тогда искомый в

$$P = 12,346 \text{ gr.} - 0,69 \text{ mgr} = 12,36531.$$

Очевидно прибавленіе вычисленной поправки, сводясь къ простому приписыванію цифръ, проще вычитанія, поэтому *на практикѣ предпочитаютъ* именно *первую поправку*, когда находятъ сколько нужно прибавить къ p_1 соответственно разности установокъ $l_0 - l_1$, когда $l_1 < l_0$.

Посмотримъ теперь, что такое представляетъ величина $l_2 - l_1$. Это разниа установокъ, отвѣчающая разности нагрузокъ $p_2 - p_1 = 1$ mgr т. е. *чувствительность*, согласно опредѣленію, данному на стр. 8.

При операциі взвѣшиванія не всегда бываетъ удобно отыскивать разницу въ установкахъ $l_2 - l_1$ при разницѣ въ нагрузкѣ $p_2 - p_1$, равной непремѣнно 1 mgr. Въ зависимости отъ чувствительности приходится брать разницу $p_2 - p_1$ въ нѣсколько (напр. 2) mgr. или напротивъ въ доляхъ mgr. (напр. 0,5). Необходимо добиваться того, чтобы одна установка напр. l_1 была по одну сторону установки при пустыхъ вѣсахъ (l_0), а другая l_2 —по другую, т. е. чтобы $l_2 > l_0 > l_1$, напр. какъ въ предыд. прим. $12,15 > 10,5 > 9,10$.

Такимъ образомъ величина $l_2 - l_1$ не всегда даетъ непосредственно чувствительность : въ общемъ видѣ чувствительность выразится такъ: $\frac{l_2 - l_1}{p_2 - p_1}$ т. е. частному отъ дѣленія разности установокъ на разность нагрузокъ; въ частности, когда $p_2 - p_1 = 1$ mgr., выраженіе $\frac{l_2 - l_1}{p_2 - p_1}$ переходитъ въ $l_2 - l_1$, какъ въ нашемъ предыдущемъ примѣрѣ.

Тогда вычисленіе въ общемъ видѣ представится такъ:

Нагрузки: 0 p_1 p_2
 Установки: l_0 l_1 l_2

Чувствительность $\frac{l_2-l_1}{p_2-p_1}$ (отвѣчаетъ 1-ому mgr. въ дѣленіяхъ шкалы); отсюда l_2-l_0 отвѣч.: $\frac{l_2-l_1}{p_2-p_1} : 1 = (l_2-l_0) : x_2$; $x_2 = (l_2-l_0) \frac{p_2-p_1}{l_2-l_1}$, а l_0-l_1 отвѣчаетъ $\frac{l_2-l_1}{p_2-p_1} : 1 = (l_0-l_1) : x_1$; $x_1 = (l_0-l_1) \frac{p_2-p_1}{l_2-l_1}$. Отсюда $P = p_1 + (l_0-l_1) \frac{p_2-p_1}{l_2-l_1}$ (или $= p_2 - (l_2-l_0) \frac{p_2-p_1}{l_2-l_1}$). A¹⁾.

Но по опредѣленію $\frac{l_2-l_1}{p_2-p_1}$ есть чувствительность вѣсовъ при данной нагрузкѣ; обозначимъ ее E (по нѣм. die Empfindlichkeit); тогда $\frac{p_2-p_1}{l_2-l_1} = \frac{1}{E}$, такъ что

$$P = p_1 + \frac{l_0-l_1}{E} \left(\text{или} = p_2 - \frac{l_2-l_0}{E} \right). \quad . \quad . \quad . \quad B.$$

Примѣръ:

Положимъ, что нагрузкамъ: 0 71478,5; 71479,0 mgr.
 отвѣчаютъ установки 9,8 дѣл.; 9,4; 10,1

Тогда чувствительность при данной нагрузкѣ (прибл. 71,5 gr.) $E = \frac{10,1-9,4}{71479,0-71478,5} = \frac{0,7}{0,5} = 1,4$. Вѣсъ тѣла P выразится тогда:

$$P = 71478,5 + \frac{9,8-9,4}{1,4} = 71478,5 + \frac{6,4}{1,4} = 71,47879 \text{ gr. или}$$

$$= 71479,0 - \frac{10,1-9,8}{1,4} = 71479,0 - \frac{0,3}{1,4} = 71,47879.$$

¹⁾ См. гл. VII объ интерполированіи.

Изъ предыдущаго примѣра видно, что при взвѣшиваніи методомъ колебаній необходимо знаніе чувствительности, выраженной въ дѣленіяхъ шкалы ($E = \frac{l_2 - l_1}{p_2 - p_1}$ которая и входитъ въ формулу *A*). Для этой цѣли и находятъ *два* установки *при двухъ* нагрузкахъ.

Но положимъ теперь, что чувствительность *E* намъ извѣстна уже тѣмъ или инымъ образомъ и она постоянна т. е. не мѣняется съ измѣненіемъ нагрузки. Тогда изъ уравненія *A* очевидно, что для знанія вѣса тѣла (*P*) необходимо, кромѣ установки пустыхъ вѣсовъ (l_0), знать еще *только одну установку* l_1 либо l_2 для нагрузокъ p_1 или p_2 . Такимъ образомъ взвѣшиваніе значительно упрощается.

Положимъ, что чувствительность данныхъ вѣсовъ уже извѣстна намъ и равна, какъ выше, 1,4. Если установка пустыхъ вѣсовъ $l_0 = 9,8$, то зная, что при нагрузкѣ 71,4785 установка 9,4, тотчасъ находимъ вѣсъ тѣла по форм. *A*:

$$P = 71478,5 + \frac{9,8 - 9,4}{1,4} = 71478,5 + 0,29 = 71478,79 \text{ mgr.} = 71,47879 \text{ gr.}$$

Если бы была найдена напр. установка 10,1 ($= l_2; l_2 > l_0$) при нагрузкѣ 71,4790, то мы нашли бы конечно (см. примѣръ выше) ту же величину:

$$P = 71479,0 - \frac{10,1 - 9,8}{1,4} = 71479,0 - 0,21 = 71478,79 \text{ mgr.} = 71,47879.$$

Такимъ образомъ, зная чувствительность, достаточно найти только одну установку, причемъ если найденная установка численно больше установки при пустыхъ вѣсахъ (см. выше случ. 2); $10,1 > 9,8$, то поправка вычитается, если же меньше [см. сл. 1) $9,4 < 9,8$]—поправка прибавляется.

Изъ выраженія *B* видно, что для нахождения окончательнаго вѣса приходится находить частное отъ дѣленія разности установокъ на чувствительность *E*. Вычисленіе упрощается, если мы дѣленіе на *E* замѣнимъ умноженіемъ на величину ей обратную т. е. $\frac{1}{E}$, которую можно вычислить разъ навсегда.

Назовемъ ее E_{rec} . (reciprocale). Если E представляеть число дѣлений шкалы, отвѣчающее перегрузу въ 1 mgr., то $E_{rec} = \frac{1}{E}$ есть не что иное, какъ перегрузъ, выраженный въ mgr., отвѣчающій одному дѣленію шкалы. Отсюда мы получаемъ болѣе вразумительное и болѣе удобное для вычисленія выраженіе.

$$F = p_1 + (l_0 - l_1)E_{rec}. \quad (\text{или } = p_2 - (l_2 - l_0)E_{rec}) \quad . \quad . \quad C.$$

Примѣръ: Дано $E=1,4$; тогда $E_{rec} = \frac{1}{1,4} = 0,71$, $l_0 = 9,8$.

При нагрузкѣ 71,4785 установка 9,4. Отсюда—
 $P = 71,4785 + (9,8 - 9,4) \cdot 0,71 = 71,4785 + 0,4 \cdot 0,7 = 71,47878$.

Какъ мы увидимъ ниже, чувствительность вѣсовъ, вообще говоря, вслѣдствіе нѣкотораго гнущія коромысла не является постоянной, мѣняясь съ нагрузкой. Поэтому, какъ въ предыдущемъ случаѣ, считая чувствительность постоянной при всякихъ нагрузкахъ, допускаютъ нѣкоторую погрѣшность, которая однако настолько незначительна, что въ огромномъ большинствѣ случаевъ, когда требуется только 4 десятичныхъ знака въ записи, ею можно вполне пренебречь. Порядокъ величины этой погрѣшности легко вычислить.

Въ предыдущемъ примѣрѣ мы нашли, что при нагрузкѣ въ 71 gr. чувствительность равна 1,4. Допустимъ, что при нагрузкѣ въ 10 gr. она на самомъ дѣлѣ будетъ вдвое больше, именно 2,8, но при взвѣшиваніи мы примемъ, что она останется прежней т. е. 1,4.

При нагрузкахъ 0 (пустые вѣсы) и 10,4785 установки 9,8 и 9,4; тогда, принимая $E=1,4$ находимъ вѣсъ тѣла

$$\begin{aligned} &= 10478,5 + \frac{9,8 - 9,4}{1,4} = 10478,5 + 0,29 = 10478,79 \text{ mgr.} \\ &= 10,47879. \end{aligned}$$

Пользуясь же настоящей чувствительностью $E=2,8$, вы-

числяемъ $P = 10478,5 + \frac{9,8 - 9,4}{2,8} = 10478,5 + 0,14 =$
 $= 10478,64 \text{ mgr.} = 10,47864.$

Отсюда погрѣшность даже при значительномъ измѣненіи чувствительности (вдвое) равна $10,47879 - 10,47864 = 0,15$ mgr, что въ обычныхъ случаяхъ анализа, когда дается четыре десятичныхъ, не имѣетъ никакого значенія.

Позднѣе въ главѣ VII мы увидимъ, что даже средняго качества вѣсы, въ особенности новѣйшей конструкціи, мѣняють свою чувствительность въ гораздо меньшей степени, такъ что ошибка при принятіи чувствительности постоянной не выходитъ изъ сотыхъ долей mgr.

На практикѣ *взвѣшиваніе* значительно *упрощается* при пользованіи особой *вспомогательной таблицей*, которая упраздняетъ вычисленія. Послѣднія сводятся къ тому, чтобы узнать, какимъ долямъ миллиграмма отвѣчаютъ такіа то разности установокъ. Такъ какъ эти разности обыкновенно въ десятыхъ доляхъ дѣленія, то, зная чувствительность, легко разъ навсегда вычислить перегрузы, отвѣчающіе 0.1, 0.2, 0.3...0.9 дѣленія. Иными словами, такъ какъ поправка къ вѣсу, найденному при данной установкѣ напр. l_1 , равна $\frac{l_0 - l_1}{E}$ (см. форм. А), то требуется составить таблицу поправокъ для любой разницы установокъ въ предѣлахъ отъ 0.1—0.9 дѣл. Такъ напр. для чувствительности 2,8 вычислится такая таблица:

2,8 дѣл. отвѣч. 1 mgr.	}	$x_1 = \frac{0,1}{2,8} = 0,04$ mgr.
0,1 " " x_1		
2,8 отвѣч. 1 mgr.	}	$x_2 = \frac{0,2}{2,8} = 0,07$
0,2 " x_2		
и т. д.		и т. д.

Иначе, вычисляютъ $\frac{l_0 - l_1}{E}$, когда $l_0 - l_1$ равно 0.1...0.9 дѣл., т. е. въ нашемъ случаѣ частныя:

$$\frac{0,1}{2,8}; \frac{0,2}{2,8}; \frac{0,3}{2,8}; \frac{0,4}{2,8} \dots \dots \frac{0,9}{2,8}.$$

Тогда получаютъ такую таблицу, причемъ полученные данныя для пользованія округляются до десятыхъ долей mgr.

Таблица для чувствит. 2,8.

0.1 дѣл. отв.	0,04 mgr.	округл.	—0
0.2 " "	0,07 " "		—0,1
0.3 " "	0,107 " "		—0,1
0.4 " "	0,142 " "		—0,1
0.5 " "	0,18 " "		—0,2

и т. д.

Тогда (см. предыдущій примѣръ!) при разницѣ установокъ $9,8 - 9,4 = 0,4$ при нагрузкѣ $10,5785$ мы тотчасъ находимъ въ таблицѣ, сколько долей mgr. нужно въ данномъ случаѣ прибавить (такъ какъ $l < l_0$), чтобы получить точный вѣсъ: въ таблицѣ разности установокъ $0,4$ соотвѣтствуетъ $0,14$ mgr., откуда получаемъ $10,47864$. Послѣдняя, пятая десятичная (меньше пяти) въ большинствѣ случаевъ просто откидывается; если она 5 или больше 5, то предыдущая увеличивается на 1.

При небольшомъ навыкѣ взвѣшиваніе методомъ колебаній при большой точности требуетъ въ сущности не больше времени, чѣмъ обыкновенно практикуемое, если пользоваться вспомогательной таблицей, составленной для средней чувствительности, давая въ тоже время полную увѣренность въ работѣ.

Легко видѣть, что трактуемая вспомогательная таблица становится излишней при пользованіи выраженіемъ C , вводящимъ E_{rec} или обратную чувствительность (смыслъ которой выясненъ выше (см. стр. 62), такъ какъ введеніе этой величины до крайности упрощаетъ вычисленіе, дѣлая его въ тоже время въ высшей степени нагляднымъ. Справка съ таблицей (не говоря уже о времени, затраченномъ на ея составленіе) займетъ пожалуй не меньше времени, чѣмъ почти мгновенное *помноженіе* въ умѣ разности установокъ на E_{rec} . Прибавимъ, что для послѣдней достаточно знанія первой десятичной.

Само собою разумѣется, *высшая степень* точности и высшее использованіе чувствительности вѣсовъ достигается при взвѣшиваніи съ одновременнымъ опредѣленіемъ чувствительности при данной нагрузкѣ (съ отысканіемъ пяти данныхъ: l_0, l_1, l_2, p_1 и p_2).

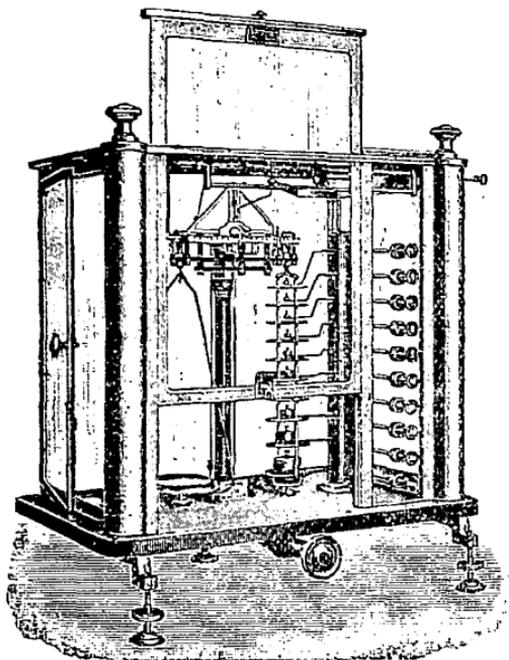
Автоматическое наладываніе разновѣсокъ.

Автоматическое наладываніе разновѣсокъ имѣетъ особенное значеніе тогда, когда аналитику приходится ежедневно производить значительное число взвѣшиваній, какъ напр. нерѣдко въ заводскихъ лабораторіяхъ. Въ этомъ случаѣ кропотливая операція взвѣшиванія при частомъ повтореніи дѣлается въ высшей степени тягостной и вполне понятно стремленіе ускорить ее по возможности и тѣмъ облегчить работающаго. Къ тому же побуждаетъ и забота о сбереженіи времени. Нерѣдко на долю заводской лабораторіи падаетъ постоянный контроль производства, и вполне естественно требованіе, чтобы контрольные анализы не отставали отъ послѣдняго. Это требованіе при кропотливости аналитическихъ опредѣленій заставляеть искать всевозможныхъ средствъ, чтобы добиться возможной быстроты работы. Къ числу ихъ принадлежитъ и автоматическое наладываніе разновѣсокъ.

Собственно говоря, названіе „автоматическое“ неправильно. Суть дѣла заключается въ томъ, что взвѣшивающій наладываетъ разновѣски не при помощи пинцета изъ набора, стоящаго отдѣльно, а при посредствѣ особыхъ стерженьковъ наладываетъ и снимаетъ съ чашки вѣсовъ разновѣски, находящіяся внутри шкафика. Стерженьки эти проходятъ либо спереди или справа черезъ боковую стѣнку шкафика, или ими манипулируютъ снизу. Число ихъ отвѣчаетъ числу разновѣсокъ. При этомъ правую чашку вѣсовъ приходится измѣнить такимъ образомъ, что она при томъ же вѣсѣ несетъ не одну общую площадку, а нѣсколько, именно по числу разновѣсокъ. Площадки эти снабжены вырѣзами, которыя позволяютъ, манипулируя рычажками, поднимать гирьки надъ площадками, снимая ихъ такимъ образомъ, и наладывать ихъ, опуская ихъ такъ, чтобы они краями легли на края вырѣза. Подобнаго рода устройство можно видѣть на вѣсахъ Сартoriusа фиг. 12. Выгодная особенность этой системы заключается въ томъ, что она даетъ возможность пользоваться гирьками обычнаго типа. Въ данномъ случаѣ наладываются автоматически только цѣлые граммы. Доли же грамма взвѣшиваются также автоматически, но уже при помощи рейтеровъ соотвѣтствующаго вѣса т. е. для десятыхъ рейтеръ вѣсомъ 1 gr., для сотыхъ—0,1 gr. и т. д. Система эта конечно не

единственная. Обыкновенно разновѣски выдѣлываются въ формѣ чечевиць, цилиндровъ и т. п. которыя автоматически накладываются вмѣсто площадокъ на развилки или крючки, прикрѣпленныя къ общему стержню. Описывать всѣ эти системы не имѣетъ, конечно, смысла. Укажемъ только на систему Руергеcht'a, гдѣ сохранена главная площадка для накладки крупныхъ разновѣсокъ отъ руки, для подраздѣлений же грамма существуетъ особая площадка, снабженная круглыми отверстиями, на краяхъ которыхъ при манипулиро-

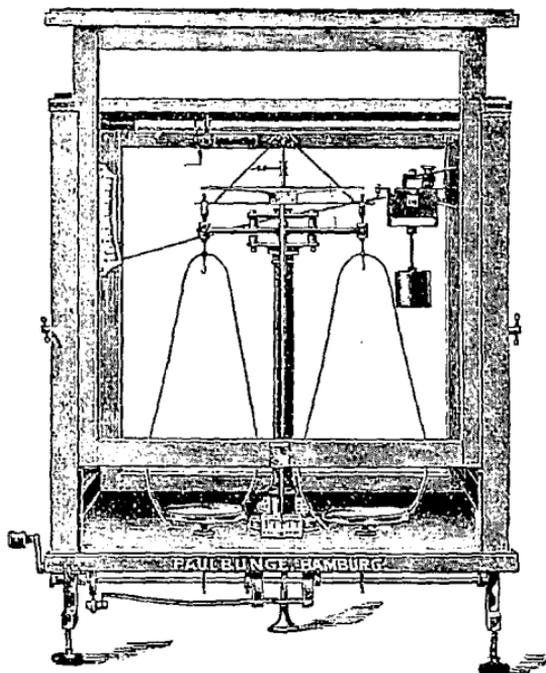
Фиг. 12.



ваніи стержнями и остаются подраздѣленія грамма, изготовленныя особымъ образомъ изъ проволоки. Система эта представляется наиболѣе удобной и рациональной.—Къ усовершенствованіямъ, сильно ускоряющимъ взвѣшиваніе, принадлежитъ остроумное приспособленіе Бунге, которое можетъ быть присоединено ко всякимъ вѣсамъ, удорожая ихъ стоимость рублей на 25. Суть дѣла заключается въ томъ, что это приспособ-

бленіе даетъ возможность безъ предварительныхъ докучливыхъ пробъ сразу получить вѣсъ тѣла въ граммахъ, такъ что остается только опредѣлить подраздѣленія грамма обычнымъ путемъ. Для этого, какъ всегда, тѣло кладется на лѣвую чашку, поднимается арретиръ самого приспособленія и освобождается коромысло. Тотчасъ длинный указатель, передвинувшись по вертикальной шкалѣ, укажетъ число граммовъ числомъ цѣлыхъ дѣлений. Тогда приспособленіе арретируютъ своимъ арретиромъ, вѣсы запираютъ, на правую чашку кладутъ столько граммовъ, сколько указано, и взвѣшивание продолжается, какъ обыкновенно. Приспособленіе это рассчитано до 100 гр. (см. фиг. 13). Роль описаннаго приспособленія можетъ въ иныхъ случаяхъ сыграть болѣе простой и доступ-

Фиг. 13.



ный приборъ—именно обыкновенные вѣсы для писемъ; разумѣется они должны показывать граммы. Ихъ устриваютъ съ

двумя чувствительностями для двухъ областей нагрузокъ. Такіе вѣсы въ превосходномъ выполненіи Fritz Köhler'a (Universitäts-Mechaniker, Leipzig) стоятъ всего 3,5 марки, взвѣшивая до 100 gr. и съ меньшей чувствительностью до 250 gr. и могутъ прекрасно служить для приблизительнаго опредѣленія вѣса тѣла. Они могутъ пригодиться для лабораторіи и во многихъ другихъ случаяхъ.

Отчетъ вооруженнымъ глазомъ.

Для увеличенія точности взвѣшиванія нерѣдко прибѣгаютъ къ отчету вооруженнымъ глазомъ.

Въ простѣйшемъ случаѣ пользуются лупою съ небольшимъ увеличеніемъ, которую помѣщаютъ внутри шкафика передъ шкалой на подходящей высотѣ и разстояніи такъ, чтобы взвѣшивающій при обыкновенномъ положеніи головы передъ вѣсами видѣлъ увеличенное дѣйствительное изображеніе указателя и шкалы (Landolt); еще практичнѣе употребленіе для той же цѣли прямоугольныхъ лупъ, почти вдвое растягивающихъ шкалу. Подобнаго рода лупы снабжаются для удобства тяжелой подставкою съ головчатымъ шарниромъ.

Слѣдующее приспособленіе P. Bunge даетъ большое удобство въ тѣхъ случаяхъ, когда, при быстро колеблющихся вѣсахъ, желаютъ непосредственно отчитывать 0,1 mgr. Къ основной колонкѣ прикрѣпляютъ чечевицу-зеркало (ахроматическій объективъ съ серебряной наводкой) съ пятикратнымъ увеличеніемъ, которое превосходно отражаетъ въ себѣ полностью безъ рефлексовъ и искаженій шкалу изъ молочнаго стекла, дѣленную на $\frac{1}{5}$ mm. и помѣщенную сантиметра на 2 выше шкалы изъ слоновой кости.

Тогда взвѣшиваніе до mgr. производятъ, пользуясь послѣдней шкалой, и къ описанному зеркалу обращаются только при опредѣленіи десятыхъ mgr. Такъ какъ зеркаломъ пользуются только въ послѣдній моментъ и смотрятъ обоими глазами, то глаза нисколько не утомляются, между тѣмъ какъ отчетъ производится быстро и точно. Приспособленіе это можетъ легко прилажено ко всякимъ вѣсамъ.

Еще большей точности можно достигъ, пользуясь при отчетѣ микроскопомъ. Послѣдній снабженъ крестомъ нитей и

вдѣланъ въ переднюю дверку шкафика подъ угломъ 45° . Увеличеніе его 10. Отчетъ производится по бѣлому стеклянному микрометру прикрѣпленному къ стрѣлкѣ сантиметра на 4 выше острія и также подъ угломъ 45° . Микрометръ имѣетъ 10 миллиметровыхъ дѣленій, съ подраздѣленіемъ на десять (всего 100 дѣленій), частей; при цѣлыхъ миллиметрахъ стоятъ соотвѣтствующія цифры. Въ микроскопѣ мельчайшее дѣленіе шкалы ($\frac{1}{10}$ мм) представляется такимъ образомъ увеличеннымъ въ 10 разъ т. е. въ видѣ 1 мм., а отчетъ возможенъ по крайней мѣрѣ съ точностью до $\frac{2}{10}$, слѣдовательно мы въ состояніи опредѣлять перегрузъ на одной чашекѣ, отвѣчающій 0,02 дѣл. (соотв. мм. 0,02). Если у насъ вѣсы отъ перегруза въ 1 мгг. отклоняются на 2,5 дѣл. (2,5 мм.), то даже при такой невысокой чувствительности взвѣшиванія будутъ производиться съ точностью до 0,005 или $\frac{1}{200}$ мгг, если производить отчетъ черезъ микроскопъ.

Одновременно это приспособленіе не мѣшаетъ для обыкновенныхъ взвѣшиваній пользоваться обычной шкалой и тогда точность взвѣшиванія $\frac{1}{10}$ мгг.

Огромное сбереженіе времени при значительной точности достигается при помощи слѣдующей остроумной конструкціи. Прежде всего стараются получить вѣсы колеблющія весьма быстро. Это достигается тѣмъ, что цепгръ тяжести коромысла значительно понижаютъ.

Въ главѣ II, стр. 13 мы видѣли, что время колебанія обратно пропорціонально корню квадратному изъ S , т. е. разстоянію центра тяжести коромысла отъ оси опоры т. е.

$$t = a \sqrt{\frac{1}{S}} \quad (\text{гдѣ } a \text{ множитель пропорціональности}).$$

Отсюда, если мы увеличимъ это разстояніе въ 10 разъ по сравненію съ вѣсами позволяющими ту же точность взвѣшиванія, то мы получимъ вѣсы, колеблющіеся въ $\sqrt{10}$ разъ скорѣе т. е. прибр. въ 3 раза. Но увеличивъ S въ 10 разъ, мы какъ легко видимъ изъ выраженія 3-яго, глава II, стр. 8, тѣмъ самымъ понизимъ чувствительность вѣсовъ въ 10 разъ, такъ что, если напр. 1 мгг. перегруза производилъ ранѣе отклоненіе въ 10 дѣленій (высокая чувствительность), то теперь это отклоненіе будетъ только 1 дѣл. Но это имѣетъ и свои выгоды, такъ какъ при прежней чувствительности необходимо

много разъ арретировать и освободить вѣсы, прежде чѣмъ мы опредѣлимъ третью и четвертую десятичную; въ данномъ же случаѣ, когда отъ одного mgr. указатель отклоняется на одно дѣленіе, первая же проба даетъ возможность опредѣлить третью десятичную сразу. Посмотримъ теперь, какъ быть дальше. Разъ 1 mgr. даетъ отклоненіе въ одну сторону 1 дѣл., то точность взвѣшиванія очень не велика именно до $\frac{1}{2}$ mgr. Этимъ удовлетвориться никакъ нельзя. Чтобы сохранить только что выясненную выгоду быстроты, вводятъ отчетъ четвертой и оцѣнку пятой десятичной при помощи коллимаціонной зрительной трубы, находящейся слѣва или справа на уровнѣ коромысла. Подробное описаніе заняло бы слишкомъ много мѣста, укажемъ лишь, что, опредѣливъ третью десятичную (0,01 вызываетъ отклоненіе 1 дѣл.), при помощи трубы послѣ однократной арретировки и освобожденіи тотчасъ отчитываютъ четвертую и оцѣниваютъ пятую. Такимъ образомъ, допустивъ пониженіе чувствительности въ цѣляхъ ускоренія взвѣшиванія, уничтожаютъ невыгоду этого пониженія отчетомъ въ трубу ¹⁾.

Значительное пониженіе центра тяжести коромысла (со отв. увеличеніе (въ 10 р.) разстоянія S) влечетъ за собою новое удобство. Благодаря этому величины измѣненія чувствительности съ нагрузкой становятся въ 10 разъ меньше, что дѣлаетъ ее почти постоянной. Это явствуетъ изъ того, что всякая деформація коромысла отъ прогиба, производимаго нагрузкой, мѣняетъ разстояніе S , влияя въ тоже время на чувствительность. Очевидно, что *ceteris paribus*, чѣмъ больше S , тѣмъ меньше влияніе прогиба на чувствительность, тѣмъ

¹⁾ Представимъ себѣ теперь, что описанные выше вѣсы съ микроскопомъ снабжены приспособленіемъ, позволяющимъ мѣнять по желанію положеніе центра тяжести, напр. въ 7 разъ (на практикѣ такое приспособленіе примѣняется и стоитъ +10 марокъ). Такіе вѣсы даже при нагрузкѣ въ 100 gr. колеблются только 10 сек. Тогда такіе вѣсы могутъ служить тройко.

1) Какъ обыкновенные аналитическіе вѣсы, когда величина S нормальна и отчетъ простымъ глазомъ. Чувствительность $\frac{1}{10}$ mgr.

2) Быстро вѣшающіе аналитическіе вѣсы, когда центръ тяжести опущенъ глубоко, а отчетъ—по молочной шкалѣ микроскопомъ. Чувствительность та же— $\frac{1}{10}$ mgr.

3) Физическіе вѣсы, когда S нормально и отчетъ микроскопомъ на молочной шкалѣ. Чувствительность $\frac{1}{200}$ mgr.

она постоянна¹⁾). Значеніе этого фактора—постоянства чувствительности—для операціи точнаго и быстраго взвѣшиванія достаточно выяснено въ этой главѣ²⁾).

Я съ намѣреніемъ остановился какъ бы съ излишней подробностью на этихъ конструктивныхъ деталяхъ. Эти примѣры являются лучшимъ средствомъ изучить взаимоотношеніе различныхъ факторовъ, опредѣляющихъ чувствительность и точность операціи взвѣшиванія.

Глава VII.

Опредѣленіе чувствительности вѣсовъ и измененія ея съ нагрузкой. Кривая чувствительности. Графическое интерполированіе. Сравненіе чувствительностей.

Припомнимъ выраженіе чувствительности (гл. II).

$$\Phi = \frac{\varphi}{p} = \frac{L}{QS}$$

Мы видимъ, что она не зависитъ отъ нагрузки, такъ какъ въ это выраженіе не входитъ $P_1 + P_2$. Но, какъ мы знаемъ, это правильно лишь для прямолинейнаго рычага, когда всѣ три острія призмъ находятся въ одной плоскости т. е. когда линія AOB (фиг. 2) является прямой и уголъ $\alpha = 0$.

Не такъ обстоитъ дѣло для рычага криволинейнаго. Тутъ можетъ быть два случая: возможно, что острія крайнихъ призмъ будутъ лежать выше ребра средней призмы (случ. 1)

¹⁾ Для наиболѣе тонкихъ взвѣшиваній для метрическихъ и иныхъ (физическихъ) цѣлей, требующихъ высшей точности, пользуются зеркальнымъ отчетомъ. Для этого на коромыслѣ укрѣпляется зеркало, отраженіе отъ котораго (зайчика) при колебаніяхъ коромысла колеблется по удаленной (3—4 ш.) шкалѣ. Точки поворота отчитываютъ въ зрительную трубу.

²⁾ Укажемъ, что приспособленіе зрительной трубы повышаетъ стоимость вѣсовъ на 150 герм. марокъ.

и прямыя, соединяющія крайнія призмы со средней, будутъ къ горизонтальной линіи подъ угломъ напр. α ($-\alpha$). Во вторыхъ, можетъ случиться (сл. 2), что ребра крайнихъ призмъ будутъ ниже ребра средней призмы, такъ что линіи, соединяющія ихъ съ послѣднимъ составятъ съ горизонтальной линіей какіе нибудь углы α . Если въ первомъ случаѣ мы придадимъ углу знакъ — ($-\alpha$), то во второмъ мы будемъ имѣть $+\alpha$ (см. сл. 2-ой на фиг. 2). На фиг. 1 $\alpha=0$ и коромысло представляетъ рычагъ прямолинейный.

Въ главѣ II, стр. 10 выведено выраженіе чувствительности въ общемъ видѣ т. е. когда α не равенъ 0, в коромысло криволинейно. Изъ него простымъ преобразованіемъ находимъ:

$$\Phi = \frac{\varphi}{p} = \frac{L \cos \alpha}{(2P+p)L \sin \alpha + QS}$$

Это выраженіе показываетъ, что въ случаѣ криволинейнаго рычага чувствительность зависитъ не только отъ L , Q , S , какъ для прямолинейнаго, но также и отъ общей нагрузки $(2P+p)$ и угла α т. е. степени изогнутости коромысла.

Разберемъ сначала случай, когда уголъ $= +\alpha$ и коромысло отвѣчаетъ случаю фиг. 2. Здѣсь при возрастаніи $2P+p$ дробь уменьшается; одновременно въ знаменателѣ же увеличивается уголъ α т. е. степень изогнутости коромысла, такъ что чувствительность непрерывно убываетъ съ увеличеніемъ нагрузки.

При отрицательномъ же уголѣ α ($-\alpha$) при увеличеніи нагрузки происходитъ слѣдующее. Сначала уг. $-\alpha$ уменьшается (коромысло спрямляется) и чувствительность нарастаетъ. Она достигаетъ своего максимума, когда $\alpha = 0$ т. е. коромысло выпрямится и станетъ прямолинейнымъ. Тогда $\sin \alpha = 0$, а $\cos \alpha = 1$ и выраженіе для чувствительности приметъ знакомый намъ видъ:

$$\Phi = \frac{\varphi}{p} = \frac{L}{QS},$$

когда чувствительность уже не зависитъ отъ нагрузки (положеніе на фиг. 1). Съ дальнѣйшимъ возрастаніемъ нагрузки коромысло будетъ продолжать изгибаться, $\angle \alpha$ сдѣлается положительнымъ и будетъ возрастать. Тогда мы будемъ имѣть

повтореніе случая 2-ого, когда, какъ мы уже знаемъ, чувствительность съ нагрузкой непрерывно падаетъ.

При современномъ развитіи практической механики удовлетворить требованію прямолинейности нетрудно. Гораздо труднѣе построить такое коромысло которое бы не только было прямолинейнымъ при пустыхъ вѣсахъ, но и сохраняло эту прямолинейность и при нагрузкѣ.

При недостаточно совершенной конструкціи коромысла естественно, что при нагрузкѣ вѣсовъ коромысло изгибается и эта деформация увеличивается по мѣрѣ увеличенія нагрузки. Одновременно мѣняется и чувствительность, и очевидно, что ходъ ея измѣненія стоитъ въ зависимости отъ хода деформации коромысла подъ вліяніемъ все увеличивающейся нагрузки, который въ различныхъ случаяхъ имѣетъ особый характеръ въ зависимости отъ конструкціи коромысла.

На практикѣ мы встрѣчаемся съ тремя случаями; I.—Коромысло прямолинейно при пустыхъ вѣсахъ ($2P=0$), когда $\alpha=0$. II.—При пустыхъ вѣсахъ крайнія призмы выше средней (уголъ $-\alpha$). III.—Коромысло остается все время прямолинейнымъ ($\alpha=0$, является практически несгибаемымъ) при нагрузкахъ не выше предѣльной.

Во первомъ случаѣ мы будемъ имѣть непрерывное паденіе чувствительности, причемъ максимумъ ея будетъ конечно при пустыхъ вѣсахъ. Этотъ случай и есть самый обыкновенный (см. на таблицѣ графику S , стр. 82).

Во второмъ случаѣ чувствительность сначала растетъ, достигаетъ въ нѣкоторомъ интервалѣ между $2P=0$ и максимальной нагрузкой своего максимума (когда α сдѣлается $=0$) и затѣмъ снова непрерывно убываетъ.

Сравнивая сказанное съ разборомъ случая, когда $\angle \alpha$ отрицателенъ, легко видѣть, что для указанного хода измѣненія чувствительности необходимо, чтобы коромысло имѣло совершенно опредѣленную конструкцію. Именно, при пустыхъ вѣсахъ крайнія призмы должны быть нѣсколько выше средней и съ такимъ расчетомъ, чтобы при нѣкоторой средней нагрузкѣ коромысло спрямилось ($\angle \alpha=0$). При этой нагрузкѣ и будетъ имѣть мѣсто максимальная чувствительность. Съ дальнѣйшимъ увеличеніемъ $2P$ чувствительность будетъ опять падать.

Въ новѣйшихъ вѣсахъ такая конструкція уже преобладаетъ; это справедливо по крайней мѣрѣ для издѣлій лучшихъ мастерскихъ (Sartorius, Bunge, Société, G n voise, Oertling in London, Ruerrecht in Wien, Nemetz in Wien и др.). На самомъ дѣлѣ, она является болѣе выгодной, такъ какъ максимумъ чувствительности въ этомъ случаѣ имѣетъ мѣсто въ нѣкоторомъ интервалѣ обыкновенныхъ нагрузокъ, а не при пустыхъ вѣсахъ.

Самой совершенной конструкціей (случай III) будетъ та, при которой коромысло сохраняетъ свою прямолинейность т. е. не подвергается гнутію, если только нагрузки не переходятъ за предѣлъ назначеннаго для вѣсовъ максимума. Эта конструкція позволяетъ, такимъ образомъ, взвѣшивание при постоянной чувствительности, что особенно важно для метода колебаній. Само собою разумѣется подобное коромысло можетъ быть построено лишь для небольшихъ нагрузокъ (не выше 200 gr.), и строго говоря прямолинейность можетъ быть осуществлена лишь для одной какой нибудь опредѣленной нагрузки.

Въ трактуемомъ отношеніи оказались почти идеальными новѣйшіе вѣсы системы Керпъа (фабр. Ruerrecht, Wien) съ оригинальнымъ круговымъ коромысломъ, которые по моимъ изслѣдованіямъ обнаруживаютъ огромное постоянство чувствительности, которая при 0—100 gr. колеблется лишь въ предѣлахъ 0,2 дѣленія. Ниже приведена для нихъ найденная мною таблица измѣненія чувствительности, а также и графика ея. Указанные результаты достигнуты, благодаря удачной системѣ коромысла. Эти вѣсы заслуживаютъ самаго широкаго распространенія, какъ недорогіе аналитическіе вѣсы отличной конструкціи (см. фиг. 4, см. также графику *K*, стр. 82).

Перейдемъ теперь къ практикѣ опредѣленія чувствительности и ея измѣненія съ измѣненіемъ нагрузки.

Какъ мы знаемъ, чувствительность опредѣляется угломъ отклоненія, вызваннымъ единицей (обыкновенно миллиграммомъ) перегруза:

$$\Phi = \frac{P}{p}.$$

Но измѣреніе угловъ было бы затруднительно, поэтомъ на практикѣ чувствительность, какъ мы знаемъ, выражается

въ дѣленіяхъ шкалы указателя. Тогда чувствительностью (E) мы будемъ называть измѣненіе установки вѣсовъ, вызванное единицей перегруза на одной изъ чашекъ т. е. 1 mgr.

Такъ, если на чашкахъ вѣсовъ находятся грузы (выр. въ mgr.) P_1 и P_2 при установкѣ l_1 , а при P_1 и $P_2 + p$ установка равна l_2 , то чувствительность равна

$$E = \frac{l_2 - l_1}{p},$$

причемъ $l_2 - l_1$ отвѣчаетъ перемѣщенію точки равновѣсія, иначе конца указателя по шкалѣ отъ p mgr. перегруза, выраженному въ дѣленіяхъ шкалы.

Допустимъ теперь, что мы желаемъ опредѣлить чувствительность ненагруженныхъ вѣсовъ. Тогда находятъ прежде всего установку пустыхъ вѣсовъ ($P_1 = P_2 = 0$) по нѣсколькимъ качаніямъ; назовемъ ее l_0 .

Обыкновенно достаточно при взвѣшиваніи трехъ колебаній; при опредѣленіи же чувствительности лучше брать пять колебаній. При этомъ нужно обратить вниманіе на слѣдующее. Колебанія, непосредственно слѣдующія за освобожденіемъ коромысла, всегда неправильны вслѣдствіе толчка арретира, поэтому отчетъ ихъ начинаютъ, пропустивъ первые 3—5 колебаній. Лучше же всего, начавъ записъ отчетовъ, продолжать ее до тѣхъ поръ, пока не получимъ 3 или 5 послѣднихъ отчетовъ, отличающихся другъ отъ друга только 1—2 десятыхъ дѣленія. Такія малыя разницы накажутъ, что колебанія совершаются уже вполнѣ правильно; ихъ только и слѣдуетъ принимать во вниманіе. Вотъ примѣры:

нал.	напр.	нал.	напр.	нал.	напр.
14,9	7,7	15,9	13,4	14,9	10,4
13,5	8,0	15,5	13,7	14,5	10,7
13,2	8,1	15,3	13,8	14,3	10,8
13,0	8,2	15,1	15,2	14,1	14,2
12,9	8,5	15,2	29,0 : 2 =	14,2	25,0 : 2 =
12,8	8,7		= 14,5		= 12,5
12,85	8,9				
8,7	8,7				
<hr/>					
21,55 : 2 =					
= 10,78					

Опредѣливъ l_0 , накладываютъ затѣмъ при помощи рейтера на одно изъ плечъ $p \text{ mgr}$ (обыкновенно 1 mgr) такъ, чтобы установка перешла по другую сторону отъ средней черты, что въ данномъ случаѣ *практически* удобнѣе. Если напр. у насъ l_0 было 10,6, то слѣдующую установку удобнѣе брать меньше 10. Тогда при $P_1=0$ и $P_2=p$ получаемъ установку l_2 и находимъ чувствительность при пустыхъ вѣсахъ.

$$E_0 = \frac{l_2 - l_1}{p}; \text{ при } p=1 \text{ mgr} \quad E_0 = l_2 - l_1$$

$$\text{при } p=0,5 \text{ mgr} \quad E_0 = 2(l_2 - l_1)$$

$$\text{при } p=2 \text{ mgr} \quad E_0 = 1/2 (l_2 - l_1) \text{ и т. п.}$$

Или: Наложивъ на каждую чашку вѣсовъ по 10 гр., опредѣлимъ установку. Затѣмъ на одно изъ плечъ наложимъ рейтеромъ еще 1 шгр, чтобы установка перешла по другую сторону средней линіи (10). Тогда разность установокъ, дѣленная на перегрузку въ миллиграммахъ, даетъ чувствительность при нагрузкѣ въ 10 гр.

Примѣръ:

$$P_l = 10000 \quad P_r = 10000 \quad l_1 = 9,82$$

$$P_l = 10000 \quad P_r = 10001 \quad l_2 = 12,50$$

$$p = \quad \quad 1 \text{ шгр} \quad \quad \quad 2,68 = l_2 - l_1$$

$$E = \frac{l_2 - l_1}{p} = 12,5 - 9,82 = 2,68 \text{ дѣл.}$$

Таковъ приемъ опредѣленія чувствительности въ дѣленіяхъ шкалы.

Зная этотъ приемъ, для обследованія вліянія нагрузки опредѣляютъ чувствительность при послѣдовательномъ возрастаніи нагрузокъ отъ 0 до максимальной черезъ пять, десять граммовъ или больше, смотря по желанію. Чѣмъ больше опредѣленій, тѣмъ яснѣе, конечно, представится ходъ измѣненія.

Нижеслѣдующая таблица представляетъ ходъ измѣненія чувствительности однихъ изъ вѣсовъ Sartorius'a (Goettingen) (на таблицѣ стр. 82 см. графику S).

Нагр.	E	Въ данномъ случаѣ наблюдается не-
1	4,6	прерывное паденіе чувствительности съ
2	4,5	возрастаниемъ нагрузки—случай типичный
5	4,4	(см. конструкція I, стр. 73). Въ среднемъ
10	4,2	для интервала отъ 5—20 гр. ее можно
20	3,8	принять равной 4,1. Коромысло гнется.
50	3,3	
100	2,1	

Слѣдующая таблица относится къ однимъ изъ вѣсовъ Ruerecht'a (Wien) (смотри графику B, стр. 82).

Нагр.	E	Сначала наблюдается увеличеніе чув-
0	2,7	ствительности, максимумъ ея въ интервалѣ
10	3,0	20—50 гр., и убываніе до 100 гр. Случай
20	3,2	типичный—отвѣчаетъ конструкціи II. Ко-
50	3,2	ромысло гнется.
100	1,4	

Для интервала 0—50 гр можно составить вспомога-тельную таблицу (см. стр. 63) для средней чувствительности = 3,1.

Нижеслѣдующая таблица представляетъ ходъ измѣненія чувствительности для однихъ изъ вѣсовъ системы Кегп'a (фабр. Ruerecht, Wien) для нагрузокъ 0, 5, 10, 20, 50, 70, 100 гр. (см. графику K на табл. стр. 82). Примѣръ разработанъ подробнѣе.

Нагр.	$l_2 - l_1$	p	E	E
0	$11,04 - 9,65 = 1,39$	0,5	$E_0 = \frac{1,39}{0,5} = 2,78$	окр. = 2,8
5	$11,95 - 8,9 = 3,05$	1,0	$E_5 = \frac{3,05}{1} = 3,05$	— 3,0
10	$12,63 - 6,7 = 2,93$	1,0	$E_{10} =$	$= 2,93$ — 2,9
20	$12,45 - 9,63 = 2,82$	1,0	$E_{20} =$	$= 2,82$ — 2,8
50	$10,35 - 7,46 = 2,89$	1,0	$E_{50} =$	$= 2,89$ — 2,9
70	$10,80 - 8,02 = 2,78$	1,0	$E_{70} =$	$= 2,78$ — 2,8
100	$10, 0 - 7,0 = 3,00$	1,0	$E_{100} =$	$= 3,00$ — 3,0

Случай отвѣчаетъ положенію на фиг. 1, причемъ коромысло не изгибается въ предѣлахъ нагрузокъ 0—100 gr., для которыхъ чувствительность можно считать постоянной ($E_{const} = 2,9$). Конструкция отвѣч. III, стр. 73.

Знаніе хода измѣненія чувствительности имѣетъ большое значеніе для упрощенія взвѣшиванія. Мы знаемъ (стр. 64), что для точнѣйшихъ взвѣшиваній необходимо знаніе трехъ установокъ l_0 , l_1 и l_2 при нагрузкахъ O , P_1 , P_2 , причемъ послѣднее опредѣленіе l_2 при нагр. P_2 необходимо для опредѣленія чувствительности при данной нагрузкѣ. Теперь ясно, что манипуляція значительно бы упростилась, если бы была напередъ извѣстна чувствительность при данной нагрузкѣ. Тогда опредѣленіе l_2 при P_2 отпало бы. Это и имѣетъ мѣсто на самомъ дѣлѣ, разъ у насъ имѣется указанная таблица измѣненія чувствительности съ нагрузкой. Тогда чувствительность при всякой данной нагрузкѣ легко найти простымъ интерполированіемъ.

Интерполированіе въ общемъ видѣ состоитъ въ слѣдующемъ. Пусть нѣкоторая величина y находится въ зависимости отъ другой величины x , такъ что каждому значенію x отвѣчаетъ опредѣленное значеніе y ; это обозначаютъ выраженіемъ: y составляетъ функцію x , $y=f(x)$. Измѣненія этихъ двухъ, связанныхъ другъ съ другомъ послѣднимъ уравненіемъ величинъ, пропорціональны другъ другу. Допустимъ, мы уже знаемъ, что величинамъ x_1 и x_2 отвѣчаютъ y_1 и y_2 . Требуется найти значеніе y_0 для x_0 , имѣющаго значеніе промежуточное между x_1 и x_2 , такъ что $x_2 > x_0 > x_1$.

Тогда приращенію $x_2 - x_1$ отвѣчаетъ приращеніе $y_2 - y_1$, откуда $\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ будетъ отвѣчать приращенію y -овъ на единичу x -овъ. Разности $x_0 - x_1$ отвѣчаетъ тогда $(x_0 - x_1) \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$, слѣдовательно

$$y_0 = y_1 + (x_0 - x_1) \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Иначе, разности $x_2 - x_0$ отвѣчаетъ $(x_2 - x_0) \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$, слѣдовательно

$$y_0 = y_2 - (x_2 - x_0) \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}.$$

Это интерполяционные формулы в общем виде. Сравнивая их с формулами для взвешивания методом колебаний (А, стр. 60, гл. VI), мы видим, что они одинаковы, и что указанный прием взвешивания сводится в сущности к интерполированию, почему он называется также и *методом интерполирования*.

В применении к данному случаю чувствительность (y) является функцией нагрузки (x) и изменения этих величин взаимно пропорциональны.

Допустим, что взвешивается приблизительно 12,3 г (ост. десятчные отбрасываются) и найдено l_0 и l_1 при P_1 . Из таблицы изменения чувствительности для данных весов, напр. табл. 1, весы S, мы знаем, что при нагрузке 10 г чувствительность 4,2, при следующей же нагрузке 20 г — 3,8. Стало быть искомая чувствительность при нагрузке 12,3 г ($E_{12,3}$) находится между этими двумя табличными; она определится по интерполяционной формуле так:

$$E_{12,3} = 4,2 + (12,3 - 10) \frac{3,8 - 4,2}{20 - 10} = 4,2 - 2,3 \cdot 0,04 = 4,1.$$

Найденная таким путем чувствительность для данной нагрузки подставляется в (интерполяционную же) формулу взвешивания (А, стр. 60).

$$P = p_1 + \frac{l_0 - l_1}{E} = p_2 - \frac{l_2 - l_0}{E}.$$

Графическое изображение хода изменения чувствительности и графическое интерполирование. Графическое представление результатов предпочтительнее табличного вследствие большой наглядности и легкости интерполяции.

Для этого пользуются прямоугольной системой координат т. е. берут на плоскости две взаимно перпендикулярные прямые и на одной из них, напр. оси абсцисс (оси x -овъ) откладывают от начала координат т. е. от точки пересечения прямых, отрезки пропорциональные нагрузкам,

а на другой—оси ординатъ или оси *y* овъ—откладываютъ найденныя чувствительности. Затѣмъ изъ точекъ, отложенныхъ на оси абсциссъ, проводятъ линіи параллельныя оси ординатъ, а изъ точекъ на оси ординатъ проводятъ линіи параллельныя оси абсциссъ. Тогда получится нѣсколько точекъ пересѣченія, которыя соединяютъ прямыми линіями или же проводятъ (если этихъ точекъ много) отъ руки или при помощи гибкой линейки ¹⁾ плавную кривую, которая бы захватывала собою по возможности всѣ точки.

Указанныя точки пересѣченія легче находить такимъ образомъ. Изъ точекъ, нанесенныхъ напр. на горизонтальной оси (оси абсциссъ, оси *y*-овъ), возставляютъ перпендикуляры и на нихъ уже (а не на самой оси ординатъ) откладываютъ отрѣзки пропорціональныя чувствительности и эти точки соединяютъ прямыми линіями или кривой.

Интерполяція при такомъ способѣ представленія результатовъ совершается крайне просто и быстро. Что-бы узнать напр. чувствительность при любой нагрузкѣ, мы должны отъ начала координатъ отложить по горизонтальной оси (оси нагрузкахъ) отрѣзокъ пропорціональный *данной* нагрузкѣ и возставить перпендикуляръ. Послѣдній пересѣчетъ нашу графику въ какой нибудь точкѣ. Длина перпендикуляра отъ его основанія до этой точки и представитъ тогда по длинѣ искомую чувствительность при данной нагрузкѣ.

Построеніе графикъ и графическая интерполяція въ высшей степени упрощается, если пользоваться заранѣе подготовленной *бумагой*, на которой уже нанесены двѣ системы параллельныхъ и взаимно перпендикулярныхъ линій, равно отстоящихъ одна отъ другой. Такая бумага находится и въ продажѣ въ большихъ листахъ и рулонахъ; на ней чаще всего разстоянія между линіями въ 1 mm. Такая бумага называется *координатной* и въ частности *миллиметровой бумагой*.

Въ этомъ случаѣ обходятся при готовой сѣти уже безъ измѣрительной линейки, потому что длина каждаго отрѣзка опредѣляется на бумагѣ очень точно числомъ миллиметровъ или иныхъ дѣленій, захваченныхъ даннѣмъ отрѣзкомъ. Въ

¹⁾ Гибкая линейка состоитъ изъ соединенныхъ вмѣстѣ стальной и толстой свинцовой пластинокъ. Благодаря упругости стали она даетъ правильный изгибъ, а приданный ей видъ сохраняется, благодаря свинцу.

нашемъ случаѣ, возставивъ перпендикуляръ отъ данной нагрузки на горизонтальной оси до пересѣченія его съ графикой, непосредственно отчитываютъ на бумагѣ искомую чувствительность.

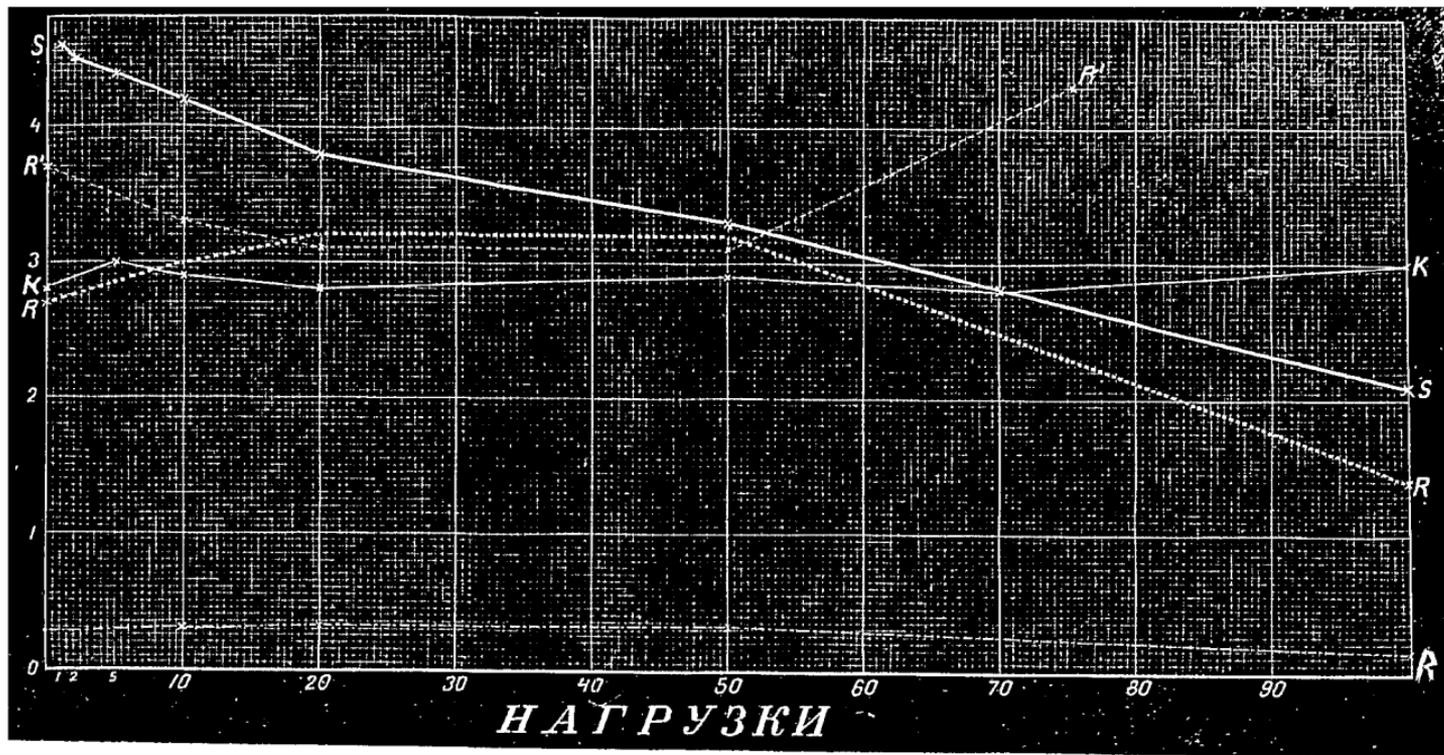
Въ тѣхъ случаяхъ, когда значительному измѣненію одной величины отвѣчаетъ незначительное измѣненіе другой, представляется болѣе удобнымъ пользоваться по двумъ направленіямъ двумя различными масштабами.

Таково положеніе и въ нашемъ случаѣ. При измѣненіи нагрузокъ отъ 0 до 100 (напр. табл. 2, стр. 77 для вѣсовъ R.) чувствительность мѣняется только отъ 2,7 до 1,4. При этихъ условіяхъ, принявъ миллиметровое дѣленіе ($1 \text{---} 1 \text{ мм}$) въ обоихъ случаяхъ, мы для интервала нагрузокъ получили бы на бумагѣ длину 10 ст., а для интервала чувствительностей 1,3 шш, причемъ десятыя для чувствительности отвѣчали бы десятымъ долямъ шш, что естественно затруднило бы вычерчиваніе кривой и повредило бы точности графическаго интерполированія. Если мы для устраненія этого неудобства будемъ считать каждое дѣленіе бумаги за 1 десятую, то интервалъ нагрузокъ 0—100 уложился бы тогда только на 100 сант. и мы получили бы тогда огромную таблицу длиною въ цѣлый метръ. Чтобы избѣжать обоихъ неудобствъ, практичнѣе всего поступить такъ: откладывать нагрузки по прежнему, считая 1 дѣленіе за 1 gr. (при миллиметр. бумагѣ $100 \text{ gr.} = 10 \text{ ст.}$), откладывая же чувствительности, считать напр. за единицу 10 дѣленій на бумагѣ: тогда при миллиметр. бумагѣ чувствительность 2,7 выразится 2,7 сант., причемъ десятыя доли будутъ выражаться миллиметрами. Тогда отчетъ будетъ и точенъ и удобенъ.

Въ данномъ случаѣ въ одномъ направленіи мы увеличили масштабъ въ десять разъ, но его можно увеличивать въ любое число разъ, напр. въ 2, 3, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ и т. д., смотря по отношеніямъ разсматриваемыхъ величинъ, лишь бы достигъ желаемого удобства. Не слѣдуетъ забывать при этомъ дѣлать соотвѣтствующія указанія на таблицѣ съ вычерченной графикой.

На нашей таблицѣ, гдѣ по вышеприведеннымъ даннымъ (см. стр. 77) нанесены три графики, выражающія ходъ измѣненія чувствительности для трехъ вѣсовъ, отрѣзки для чувствительностей взяты въ 10 разъ больше, иначе вслѣдствіе ма-

Кривыя измѣненія чувствительности съ нагрузкою.



Саамя нижняя кривая въ надлежащемъ, но неудобномъ масштабѣ.
У кривыхъ K , S и R масштабъ по верт. оси увеличенъ въ 10 разъ.
Для кривой R' масштабъ по верт. оси увеличенъ въ 100 разъ.

лости измѣненій чувствительности чертежъ вышелъ бы мало выразителенъ и точность графической интерполяціи была бы недостаточна. (см. самую нижнюю графику).

Въ тѣхъ случаяхъ, когда предпочитаютъ пользоваться не непосредственно чувствительностью E , а ея обратной величиной $\frac{1}{E} = E_{rec}$, что всегда проще и удобнѣе, очевидно, что таблицу измѣненія чувствительности съ нагрузкой слѣдуетъ перечислить на E_{rec} . Для вѣсовъ R напр. будемъ имѣть:

Нагр.	E	E_{rec}	
0	2,7	0,37	Графика для E_{rec} будетъ имѣть тотъ же видъ какъ и для E (см. графику R' для тѣхъ же вѣсовъ Ruergesch-t'a), но только въ обратномъ смыслѣ. Само собою разумѣется, что при выборѣ масштаба должны быть приняты во вниманіе интересы второй десятичной E_{rec} .
10	3,0	0,33	
20	3,2	0,31	
50	3,2	0,31	
75	2,3 инт.	0,43	
100	1,4	0,71	

Пользуясь полученной таблицей и графикой легко интерполировать, графически или обычнымъ путемъ, E_{rec} при любой нагрузкѣ.

Сравненіе чувствительностей для различныхъ вѣсовъ. Для цѣлей точнаго взвѣшиванія методомъ интерполяціи и при изслѣдованіи измѣненія чувствительности съ нагрузкой мы выражали чувствительность въ дѣленіяхъ шкалы на 1 mgr перегруза. Но если бы мы захотѣли сравнить чувствительность двухъ различныхъ вѣсовъ, чтобы судить, напр. о ихъ качествѣ, то принятое нами обозначеніе явилось бы для этой цѣли непригоднымъ, и вотъ почему.

Величина отклоненія въ дѣленіяхъ шкалы для данныхъ вѣсовъ зависитъ не только отъ L , Q , S , но разумѣется и отъ длины указателя и величины дѣленія шкалы т. е.

$$E = \frac{L}{QS} \cdot \frac{R}{\lambda}$$

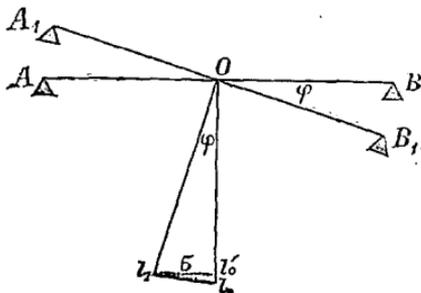
—отклоненіе выразится тѣмъ большимъ числомъ дѣленій, чѣмъ мельче эти самыя дѣленія и чѣмъ длиннѣе указатель (λ = длинѣ 1 дѣл. шкалы, выраженной въ миллиметрахъ, R =

длины указателя в мм):

Но очевидно, что у различных весов длина указателя и величина делений шкалы могут быть различны. Отсюда ясно, что чувствительности для двух различных весов, выраженные в делениях шкалы, являются *несравнимыми*.

Отсюда следует, что для получения равных чувствительностей необходимо принять в расчет длины R и λ .

Выражение чувствительности углом отклонения от единицы перегруза Φ не зависит конечно от длины указателя и величины деления шкалы. Посмотрим теперь в каком отношении находятся Φ и E . На фиг. 14 мы видим, что



Фиг. 14.

перемещение конца указателя по шкале $\vec{l}_0 l_1 = l_0 l_1 = Rtg\varphi$, а при малом угле, когда $tg\varphi = \varphi$ это перемещение равно $R\varphi$. Если это перемещение $= \sigma$ делений $(l_2 - l_1)$ причем каждое деление отвечает λ мм, то

$$\sigma\lambda = R\varphi \text{ и } \varphi = \frac{\sigma\lambda}{R}.$$

Но если отклонение φ вызвано перегрузом на одной из чашек в p мгг, то

$$\frac{\varphi}{p} = \frac{\sigma\lambda}{Rp} = \Phi.$$

Так как чувствительностью E мы называли перемещение установки при перегрузе в 1 мгг., то $\frac{l_2 - l_1}{p} = \frac{\sigma}{p} = E$.

Отсюда

$$\Phi = \frac{\lambda}{R} \cdot \frac{\sigma}{p} = \frac{\lambda}{R} E.$$

Таково отношеніе чувствительностей въ двухъ различныхъ выраженіяхъ. Такъ что, для полученія сравнимыхъ чувствительностей, необходимо найденныя нами чувствительности E (выраженныя въ дѣленіяхъ шкалы) умножить на отношеніе $\frac{\lambda}{R}$. Для этого необходимо измѣрить штангенъ—циркулемъ или (менѣе точно) просто линейкой съ дѣленіями длину указателя (R), считая отъ ребра средней призмы до острія и выразить ее въ мм.

Затѣмъ нужно найти λ т. е. сколько мм равно одно дѣленіе шкалы. Всего лучше измѣрить длину всей шкалы—20 дѣленій и полученный результатъ раздѣлить на 20.

Въ настоящее время шкала изготовляется въ большинствѣ случаевъ такъ, что каждое дѣленіе равно 1 мм, что упрощаетъ переводъ: тогда $\Phi = \frac{E}{R}$.

Но провѣрка ($\lambda=1$ мм?) во всякомъ случаѣ неизбѣжна, такъ какъ на глазомѣръ полагаться слишеюмъ рискованно.

Такимъ образомъ для сравненія чувствительности двухъ вѣсовъ находятъ отношеніе:

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{E_1 \lambda_1 R_2}{E_2 \lambda_2 R_1}.$$

Если же, что часто бываетъ на самомъ дѣлѣ, $\lambda_1 = \lambda_2$ или $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$ мм., то найденныя обычнымъ путемъ E_1 и E_2 дѣлать только на соответственныя длины указателей R_1 и R_2 и брать затѣмъ отношеніе этихъ частныхъ, т. е.

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{E_1 R_2}{R_1 E_2} = \frac{E_1 R_2}{E_2 R_1}.$$

Далѣе, очевидно, что непосредственное сравненіе E_1 и E_2 возможно только при $\lambda_1 = \lambda_2$ и $R_1 = R_2$ т. е. для двухъ экзем-

плярвъ вѣсовъ одного и того же типа. Тогда дѣйствительно:

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{E_1 \lambda_1 R_2}{E_2 \lambda_2 R_1} = \frac{E_1}{E_2}.$$

Примѣръ. Положимъ, что для двухъ различныхъ вѣсовъ найдено:

$$\begin{aligned} E_1 &= 4,2, \quad \lambda_1 = 1 \text{ мм}, \quad R_1 = 250 \text{ мм.} \\ E_2 &= 3,0, \quad \lambda_2 = 1,4 \text{ мм}, \quad R_2 = 150 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Тогда:

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{E_1 \lambda_1 R_2}{E_2 \lambda_2 R_1} = \frac{4,2}{3,0} \cdot \frac{1}{1,4} \cdot \frac{150}{250} = \frac{3}{5} = 0,6$$

дать истинное отношеніе чувствительностей, тогда какъ, взявъ непосредственно $\frac{E_1}{E_2} = \frac{4,2}{3,0} = 1,4$, мы получили бы совершенно невѣрное отношеніе.

Если для обоихъ вѣсовъ имѣются опредѣленія чувствительности при различныхъ нагрузкахъ, то для сравнительнаго опредѣленія достоинства вѣсовъ лучше всего брать отношеніе чувствительностей (Φ) при среднихъ нагрузкахъ 10—30 гр.

Отъ времени до времени слѣдуетъ повторять опредѣленіе чувствительности, такъ какъ она зависитъ и отъ степени изнашиванія вѣсовъ.

Глава VIII.

Опредѣленіе отношенія длины плечъ коромысла.

До сихъ поръ мы разсматривали вѣсы, какъ рычагъ равноплечій. Въ этомъ случаѣ при равновѣсіи ихъ имѣетъ мѣсто равенство грузовъ на обѣихъ чашкахъ.

Если же плеча коромысла не равны, то по закону рычага уравнивающіе другъ друга грузы находятся въ обратномъ отношеніи къ длинамъ плечъ:

$$\frac{P_l}{P_r} = \frac{R}{L}.$$

Такимъ образомъ взвѣшиваемое тѣло (P_l) оказывается въ столько разъ больше или меньше разновѣсокъ (P_r), во сколько разъ одно плечо меньше или больше другого, т. е.

$$P_l = P_r \cdot \frac{R}{L}.$$

Ошибка взвѣшиванія, происходящая отъ неравноплечести вѣсовъ, не имѣетъ однако особеннаго интереса по двумъ причинамъ.

Во первыхъ, она у сколько нибудь порядочныхъ вѣсовъ очень невелика, такъ какъ рѣдко достигаетъ 1:10000 (не отвзывается и на сотыхъ ‰).

Во вторыхъ, эта ошибка, какъ бы она не была велика, совершенно отпадаетъ въ тѣхъ случаяхъ, когда дѣло идетъ объ *относительныхъ* вѣсахъ, что и имѣетъ мѣсто при всѣхъ вѣсовыхъ анализахъ, опредѣленіяхъ плотностей и т. п., такъ какъ при всѣхъ работахъ этого рода взвѣшиваніе всегда ведется на одномъ и томъ же плечѣ, именно взвѣшиваемое тѣло кладется всегда на лѣвую чашку.

Въ тѣхъ же случаяхъ, когда дѣло идетъ объ *абсолютныхъ взвѣшиваніяхъ* (см. гл. IX), напр. при опредѣленіи силы тока по количеству металлическаго серебра, выдѣленнаго имъ въ серебряномъ вольтметрѣ, при калибровкѣ сосудовъ, при-

готовленія титрованпыхъ растворовъ п. т. п. предпочитаютъ при болѣе тонкихъ опредѣленіяхъ не полагаться на извѣстное уже отношеніе плечъ ¹⁾. такъ какъ его нельзя принять неизмѣннымъ, а элиминируютъ вліяніе неравноплечести, употребляя особые приемы взвѣшиванія (см. гл. IX о методахъ абсолютнаго взвѣшиванія).

Тѣмъ не менѣе помимо теоретическаго интереса изслѣдованія неравноплечести знаніе отношенія плечъ въ иныхъ случаяхъ является и не бесполезнымъ, напр. при вывѣркѣ разновѣса (см. гл. X), позволяя, гдѣ это допустимо, избѣгать кропотливыхъ приемовъ абсолютнаго взвѣшиванія.

(Въ главѣ V вкратцѣ было указано приблизительное испытаніе вѣсовъ на неравноплечестъ, стр. 49).

Если наборъ разновѣсокъ вполне вѣренъ, опредѣленіе неравноплечести вѣсовъ представило бы крайне простую операцію. Обозначимъ длину лѣваго плеча L , праваго R . Если мы наложимъ на чашки вѣсовъ гири изъ разновѣса (напр. по 50 gr) и уравновѣсимъ ихъ, то при равновѣсіи будетъ имѣть мѣсто слѣдующее отношеніе:

$$\frac{R}{L} = \frac{P_r}{P_l},$$

такъ какъ длины плечъ обратно пропорціональны уравновѣшивающимъ ихъ грузамъ.

Примѣръ. Пусть установка пустыхъ вѣсовъ 10,4, чувствительность ихъ $E=2,3$. Положимъ на лѣвую чашку 50 gr, а на правую 20 + 10 + 10 + 5 + 2 + 1 + 1 + 1. При неравенствѣ плечъ установка будетъ уже иная. Опредѣлимъ ее; пусть она будетъ напр. 10,9. Тогда разности установокъ 10,9—10,4=0,5 отвѣчаетъ перегрузъ на правой чашкѣ $\frac{0,5}{2,3}=0,22$ mgr, такъ что 50 gr на лѣвой чашкѣ уравновѣшивается 50 gr.—0,22 mgr. на правой. Иначе, 50 gr.+0,22 mgr. на лѣвой уравновѣшиваются 50-ью gr. на правой. Тогда

$$L(50,00022) = R \cdot 50, \text{ откуда } \frac{R}{L} = \frac{50,00022}{50} = 1,0000044.$$

Но наборъ разновѣсокъ никогда не бываетъ достаточн о

¹⁾ См. ниже объ измѣненіи отношенія плечъ съ нагрузкой.

вѣренъ для этой цѣли. Поэтому пользуются всегда болѣе сложнымъ *приемомъ двойного взвѣшиванія*.

Сначала опредѣляютъ установку пустыхъ вѣсовъ. Затѣмъ на лѣвую чашку вѣсовъ накладываютъ какую нибудь гирьку, а на правую соотвѣтственное число разновѣсокъ изъ набора (гирьку берутъ примѣрно въ $\frac{1}{2}$ максимальной нагрузки) и опредѣляютъ сколько нужно положить направо, чтобы получить прежнюю установку. Обыкновенно этотъ добавочный грузъ—доли m гр. и обозначается g . Если фактически приходится положить рейтеромъ налѣво, то считаютъ всетаки направо, перемѣнивъ знакъ на—. Взвѣшиваніе производится точно методомъ колебаній.

Затѣмъ грузы мѣняютъ мѣстами, причемъ вновь находятъ ту прибавку вѣса, которую нужно положить на лѣвую чашку, чтобы получить прежнюю установку. И опять, если пришлось бы положить рейтеромъ направо, то все таки считаютъ, что оно положено налѣво, но со знакомъ—. Добавочный грузъ на лѣво обозначается l .

Этимъ операція закончена. Она сводится къ тому, что одинъ и тотъ же грузъ P (напр. гирька въ 50 гр.) взвѣшивается одинъ разъ на одномъ плечѣ, а другой разъ на другомъ; такъ какъ плечи различны, то очевидно, что каждый разъ онъ уравнивается различнымъ числомъ разновѣсокъ. Если мы взвѣшиваемъ, напр. гирьку въ 50 гр., то въ обоихъ случаяхъ придется наложить $(20 + 10 + 10 + 5 + 2 + 1 + 1 + 1) +$ нѣкоторый небольшой вѣсъ въ обоихъ случаяхъ различный: l , когда *взвѣшиваемое тѣло* лежитъ на правой чашкѣ и r , когда оно взвѣшивается на лѣвой, причемъ l и r могутъ быть и + и—.

Тогда по закону рычага при равновѣсіи въ обоихъ случаяхъ будемъ имѣть:

$$lL = (p + r)R \quad \text{и} \quad L(p + l) = PR.$$

Откуда, перемножая оба уравненія—

$$L^2 \cdot P(p + l) = R^2 P(p + r) \quad \text{и}$$

$$\frac{R^2}{L^2} = \frac{p + l}{p + r}; \quad \frac{R}{L} = \sqrt{\frac{p + l}{p + r}} = \frac{\sqrt{1 + \frac{l}{p}}}{\sqrt{1 + \frac{r}{p}}} = \left(\frac{1 + \frac{l}{p}}{1 + \frac{r}{p}} \right)^{1/2}$$

Вычисляя приближенно, получаемъ съ достаточною точностью

$$\frac{R}{L} = \frac{1 + \frac{l}{2p}}{1 + \frac{r}{2p}} = 1 + \frac{l-r}{2p} \quad \text{и} \quad \frac{L}{R} = 1 - \frac{l-r}{2p}$$

Такъ какъ p весьма мало отличается отъ P , то мы можемъ написать

$$\frac{R}{L} = 1 + \frac{l-r}{2P} \quad \text{и} \quad \frac{L}{R} = 1 - \frac{l-r}{2P}.$$

Теперь понятно, почему при опредѣленіи неравноплечестн для взвѣшиванія всего удобнѣе взять гирьку въ 50 гр., тогда $2P=100 \text{ gr.} = 100000 \text{ mgr.}$ Выражая $2P$, l и r въ mgr. будемъ имѣть тогда

$$\frac{R}{L} = 1 + \frac{l-r}{100000} \quad \text{и} \quad \frac{L}{R} = 1 - \frac{l-r}{100000},$$

что упрощаетъ вычисленія.

Пр и м ѣ р ѣ I.

$$P=50 \text{ gr.}; \quad 2P=100000 \text{ mgr.}$$

Лѣвая чашка, L .

1 взв.

50

2 взв. $(20 + 10 + 10 + 5 + 2 + 1 + 1 + 1) \text{ gr.} + 0,05 \text{ mgr.}$

Правая чашка, R .

1 взв. $(20 + 10 + 10 + 5 + 2 + 1 + 1 + 1) \text{ gr.} - 0,45 \text{ mgr.}$

2 взв.

50

Тогда $r = -0,45$, а $l = +0,05$ $l-r = 0,05 - (-0,45) = 0,50$.

$$\frac{R}{L} = 1 + \frac{l-r}{2P} = 1 + \frac{0,5}{100000} = 1,000005.$$

Правое плечо разсматриваемыхъ вѣсовъ Ruerrecht'a (новѣйшей конструкціи) оказывается длиннѣе лѣваго въ найденномъ отношеніи.

одиночное абсолютное взвѣшивание 100 гр на такихъ вѣсахъ при наилучшихъ условіяхъ могло бы дать погрѣшность въ (100. 1,000002)—100=0,0002 гр=0,2 mgr. или килограмма

съ погрѣшностью въ 2 mgr (стало бытъ $\frac{2}{1000000}$), между

тѣмъ какъ въ настоящее время, благодаря совершенству техники изготовленія вѣсовъ, мы имѣемъ возможность взвѣшивать массы въ 80 kgr. съ точностью до 1 mgr. т. е. съ точ-

ностью $\frac{1}{80000000}$, когда погрѣшность стало бытъ въ 160 разъ менѣе.

Такая огромная точность взвѣшиванія помимо другихъ условій объясняется между прочимъ и тѣмъ, что при точныхъ абсолютныхъ взвѣшиваніяхъ исключается погрѣшность отъ неравноплечести.

Примѣръ III.

Въ качествѣ третьяго примѣра возьмемъ вмѣсто новѣйшихъ вѣсовъ Ruergrecht'a старые вѣсы первой класной фирмы Сарторіуса, имѣющіе за собою уже лѣтъ 30 службы.

$$P=50 \text{ gr.}; 2P=100000 \text{ mgr.}$$

$$l=+3,2 \text{ mgr} ; r=-1,0 ; l-r=+4,2.$$

l—г положительно, слѣдовательно $R > L$

$$\frac{R}{L}=1+0,000042=1,000042.$$

Другое опредѣленіе другого лица даетъ 1,000039, въ среднемъ 1,000040. При той же длинѣ коромысла $2L=14$ ст., плеча этихъ вѣсовъ будутъ отличаться на 2,8 μ , не достигая однако $\frac{1}{10000}$ всей длины плеча.

Изъ этихъ данныхъ можно сдѣлать извѣстное заключеніе касательно успѣховъ практической механики за послѣднюю $\frac{1}{4}$ вѣка.

Измѣненіе отношенія длины плечъ съ нагрузкой.

Выше уже указывалось, что отношеніе длины плечъ не можетъ считаться постояннымъ, оно мѣняется. Здѣсь мы прибавимъ—мѣняется съ измѣненіемъ нагрузки. Для примѣра произведемъ рядъ опредѣленій для однихъ и тѣхъ же вѣсовъ, мѣняя послѣдовательно нагрузку.

Вторые вѣсы Sartorius'a.

лѣв.

прав.

50 gr. (20 + 10 + 10 + 5 + 2 + 1 + 1 + 1) gr + 2,45 mgr.

(20 + 10 + 10 + 5 + 2 + 1 + 1 + 1) gr — 2,15 mgr 50 gr.

Отсюда $2P = 100000 \text{ mgr}$; $r = 2,45$; $l = -2,15$; $l - r = -4,6 \text{ mgr}$

$$\frac{R}{L} = 1 + \frac{l-r}{2P} = 1 - 0,000046 = 0,999954$$

При нагрузкѣ 20 gr. получаютъ точно также:

$2P = 40000$; $l = -0,9$; $r = +1,05$; $l - r = -1,95$

$$\frac{R}{L} = 1 + \frac{-1,95}{40000} = 0,999951$$

При нагрузкѣ 10 gr:

$2P = 20000$; $l = -0,5$; $r = +0,55$; $l - r = -1,05$

$$\frac{R}{L} = 1 + \frac{-1,05}{20000} = 0,999948$$

Такимъ образомъ при нагр. $P = 50 \text{ gr}$ — $\frac{R}{L} = 0,999954$

$$P = 20 \text{ gr} — \frac{R}{L} = 0,999951$$

$$P = 10 \text{ gr} — \frac{R}{L} = 0,999948$$

Изъ этихъ данныхъ мы видимъ, что для данныхъ вѣсовъ съ увеличеніемъ нагрузки отношеніе $\frac{R}{L}$ возрастаетъ:

правое плечо дѣлается все больше и больше. Это можетъ значить.

чить только то, что при нагрузкѣ вѣсовъ изгибаніе лѣваго и праваго плеча не одинаково и въ данномъ случаѣ съ увеличеніемъ нагрузки лѣвое плечо прогибается сильнѣе. Для другого примѣра возьмемъ другіе вѣсы Sartorius'a сходнаго типа здѣсь наблюдаются, напр. такіа отношенія:

$$P=50 \text{ gr}; 2P=100000; l=+3,2; r=-0,9; l-r=4,1$$

$$\frac{R}{L} = 1 + \frac{4,1}{100000} = \underline{1,000041.}$$

$$P=20 \text{ gr}; 2P=40000; l=0,95; r=-0,3; l-r=1,25$$

$$\frac{R}{L} = 1 + \frac{1,25}{40000} = \underline{1,000031.}$$

$$P=10 \text{ gr}; 2P=20000; l=-0,09; r=0,55; l-r=-0,64$$

$$\frac{R}{L} = 1 + \frac{-0,64}{20000} = \underline{0,999968}$$

$$\frac{L}{R} = 1,000032$$

Въ данномъ случаѣ, какъ и въ предыдущемъ примѣрѣ,

$\frac{R}{L}$ съ нагрузкой растетъ: правое плечо сначала короче лѣваго

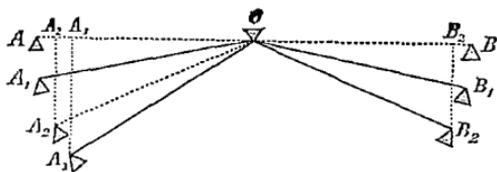
а затѣмъ, напротивъ, становится длиннѣе, такъ что получается извращеніе отношенія. Очевидно, что и въ этомъ случаѣ лѣвое плечо съ нагрузкой изгибается больше.

Вышеприведенныя данныя говорятъ, что при переходѣ отъ 20 гр. къ 50 гр. нагрузки $\frac{R}{L}$ мѣняется отъ 1,000031 до 1,000041.

Принявъ что $2L=20$ ст. находимъ, что увеличеніе нагрузки на 30 гр. отвѣчаетъ *кажущееся укороченіе лѣваго плеча отъ большаго сравнительно съ правымъ прогиба*, равное приблизительно $10,00041 - 10,00031 = 0,0001$ ст., такъ что если длина лѣваго плеча была (при нагр. въ 20 гр 10,0000, то при повышеніи нагрузки еще на 30 гр она стала 9,9999. Отсюда уголъ прогиба, вызвавшій это кажущееся укороченіе плеча (назовемъ его

α) таковъ, что $\cos \alpha = \frac{9,9999}{10,0000} = 0,99999$, такъ что $\alpha = 15'$.

Сказанное поясняется рис. 15. Здѣсь положенію A_1OB_1 отвѣчаетъ отношеніе плечъ 1,000031 при 20 гр. При нагрузкѣ



Фиг. 15.

50 гр т. е. увеличенію ея на 30 гр. отвѣчаетъ возрастаніе отно-

шенія $\frac{R}{E}$, что отвѣчаетъ кажущемуся укороченію лѣваго

плеча на 0,00001 ст. ($=A_2A_3$) коромысло принимаетъ положеніе не A_2OB_2 , но A_3OB_2 , т. е. прогибъ лѣваго плеча больше. Уголъ этого лишняго прогиба A_2OA_3 и равенъ $15'$ т. е. $\frac{1}{4}$ градуса.

Таковъ физическій смыслъ измѣненія отношенія плечъ съ нагрузкой.

Глава IX.

Абсолютное взвѣшиваніе. Исключеніе неравноплечести вѣсовъ. Приведеніе вѣса къ пустотѣ.

Абсолютнымъ взвѣшиваніемъ мы называемъ такое взвѣшиваніе, когда приняты въ расчетъ основные источники погрѣшности:—

1. Неравноплечестъ вѣсовъ.
2. Различіе въ плотности взвѣшиваемаго тѣла и матеріала разновѣсокъ (приведеніе вѣса съ пустотѣ).
3. Погрѣшность самого набора разновѣсокъ.

Въ этой главѣ мы займемся только разсмотрѣніемъ первыхъ двухъ пунктовъ, 3-ій же отнесенъ нами къ X-ой главѣ.

I. Исключеніе вліянія неравноплечести.

Какъ уже было упомянуто, въ очень многихъ случаяхъ, въ особенности у химиковъ, дѣло идетъ лишь о сравненіи массъ, напр. при вѣсовомъ анализѣ п т. п. Разъ это такъ, неравенство плечъ не играетъ никакой роли, ибо взвѣшиваемое тѣло всегда дѣйствуетъ на одно и то же плечо (лѣвая чашка).

Но въ нѣкоторыхъ случаяхъ важно прежде всего знать абсолютный вѣсъ, напр. при калибровкѣ сосудовъ, при точномъ приготовленіи растворовъ съ опредѣленнымъ содержаніемъ вещества въ данномъ объемѣ, при электрохимическомъ опредѣленіи силы тока въ серебряномъ или мѣдномъ вольтаметрахъ, при вывѣркѣ разновѣсовъ и т. п.

Чтобы найти истинный вѣсъ тѣла всего проще было бы умножить кажущійся вѣсъ на отношеніе плечъ, взявъ числителемъ то плечо, на которое накладываютъ разновѣски т. е. всегда на отношеніе— $R : L$.

$$LP_l = RP_r; \quad P_l = P_r \cdot \frac{R}{L}$$

Но мы имѣли уже случай (гл. VIII, стр. 93) указать, что это отношеніе нельзя считать неизмѣннымъ во времени, кромѣ того оно и непостоянно, завися отъ нагрузки. Поэтому указанный пріемъ примѣняется очень рѣдко и приложимъ только тогда, когда не требуется особой точности, въ противномъ же случаѣ прибѣгаютъ къ особымъ пріемамъ, болѣе кропотливымъ, но и болѣе точнымъ. Къ описанію этихъ пріемовъ мы и переходимъ.

I. Двойное взвѣшивание. Способъ Гаусса.

Съ сущностью этого пріема мы познакомились уже въ предыдущей главѣ. Данное тѣло взвѣшивается сначала обычно на лѣвой чашкѣ. Затѣмъ перекладывается на правую чашку и вновь взвѣшивается.

Оперируютъ по методу колебаній, причемъ ограничиваются тѣмъ, что въ обоихъ случаяхъ, передвигая рейтеръ, до-

водить установку до одного и того же положенія, напр. на среднюю черту шкалы, независимо отъ того, какова установка пустыхъ вѣсовъ.

Назовемъ искомый абсолютный вѣсъ тѣла P и пусть оказалось, что въ первый разъ (на L) оно вѣситъ p_1 , а на другой чашеѣ (R)— p_2 . Тогда

$$PL = Rp_1$$

$$PR = Lp_2$$

Перемноживъ оба эти уравненія, получаемъ:—

$$P^2LR = LR(p_1 + p_2) \text{ или}$$

$$P = \sqrt{p_1 + p_2},$$

Такъ какъ p_1 и p_2 весьма близки, то при приближенномъ вычисленіи мы имѣемъ право принять:—

$$P = \sqrt{p_1 + p_2} = (p_1 + p_2)^{1/2} = \frac{p_1 + p_2}{2}$$

т. е. абсолютный вѣсъ равенъ полусуммѣ вѣсовъ, найденныхъ при двойномъ взвѣшиваніи.

Для скорости мы при взвѣшиваніи оба раза приводили къ средней чертѣ шкалы. Если бы мы, производя двойное взвѣшиваніе, находили p_1 и p_2 по настоящей установкѣ для пустыхъ вѣсовъ, то мы могли бы при этомъ вывести и отношеніе плечъ, перемножая тѣ же уравненія, но иначе, тогда получимъ—

$$L^2 P p_2 + R^2 P p_1; \frac{R}{L} = \sqrt{\frac{p_2}{p_1}}$$

Зная изъ предыдущаго (стр. 9), что $l = p_2 - P$ и $r = p_1 - P$, можно написать $p_2 = P + l$ и $p_1 = P + r$, откуда

$$\frac{R}{L} = \sqrt{\frac{P+l}{P+r}} = \frac{\sqrt{1+\frac{l}{P}}}{\sqrt{1+\frac{r}{P}}} = 1 + \frac{l-r}{2P}$$

Примѣръ: Взвѣшиваемое тѣло P . Найдено, что на лѣвой чашеѣ оно вѣситъ 50,00215 ($=p_2$) на правой—49,99660 ($=p_1$), откуда

$$P = \frac{50,00215 + 49,99660}{2} = 50 - 0,000125 = 49,99875.$$

Отсюда же можно по предыдущему вывести и отношение плечъ. Тогда $p_2 - P = 50,00215 - 49,99875 = 0,0034 = 3,4 \text{ mgr} = l$, а $p_1 - P = 49,99660 - 49,99875 = -0,00215 = r = -2,15 \text{ mgr}$.

Отсюда $l - r = 3,4 - (-2,15) = 5,55$, такъ что, принявъ $2P = 100 \text{ gr}$, что достаточно точно, получаемъ

$$\frac{R}{L} = 1 + \frac{l - r}{2P} = 1,0000555$$

II. Способъ тарирования, данный Борда.

Сущность этого способа состоитъ въ томъ, что данное тѣло, лежащее на одной изъ чашекъ, сначала уравниваютъ какой нибудь тарою; всего проще примѣнить для этого другой наборъ разновѣсокъ любого достоинства; можно пользоваться также за недостаткомъ запасного набора обрѣзками фольги. Затѣмъ взвѣшиваемое тѣло снимается и на ту же чашку накладываются разновѣски до тѣхъ поръ, пока не получится прежняя установка. Сумма этихъ наложенныхъ разновѣсокъ и даетъ абсолютный вѣсъ.

Это ясно само собою. Неравноплечность элиминируется здѣсь вслѣдствіе того, что и взвѣшиваемое тѣло и разновѣски (при посредствѣ третьяго груза-тары) уравниваются на одномъ и томъ же плечѣ.

III. Тарированіе при постоянной тарѣ. Способъ Менделѣва.

При весьма точныхъ взвѣшиваніяхъ бывають такіе случаи, когда желательно, чтобы цѣлый рядъ взвѣшиваній произведенъ былъ по возможности съ одинаковой степенью точности. Намъ извѣстно, однако, что чувствительность съ нагрузкой мѣняется, и общій ходъ ея таковъ, что она падаетъ съ возрастаніемъ нагрузки.

При этихъ условіяхъ, если взвѣшиваемыя массы различны, различна и чувствительность, а стало быть и точность взвѣшиванія.

Способъ Менделѣева это—способъ абсолютнаго взвѣшиванія при постоянной нагрузкѣ, а стало быть при постоянной чувствительности, благодаря чему при различныхъ массахъ получается одна и та же стѣпень точности. Это достигается примѣненіемъ постоянной тары.

Взвѣшиваніе ведется такимъ образомъ. На одну изъ чашекъ вѣсовъ накладываютъ тару, близкую къ максимальной нагрузкѣ вѣсовъ, и уравниваютъ ее на другой чашкѣ соотвѣствующимъ числомъ разновѣсовъ. Взвѣшиваемое тѣло кладутъ на эту послѣднюю чашку и снимаютъ съ нея столько гирекъ, чтобы равновѣсіе возстановилось. Сумма снятыхъ гирекъ и дастъ вѣсъ тѣла.

Какъ легко видѣть, способъ Менделѣева представляетъ лишь видоизмѣненіе способа Борда. При указанномъ преимуществѣ, недостатокъ его заключается въ томъ, что взвѣшиваніе производится при наименьшей чувствительности, такъ какъ постоянной тарой по необходимости берется наибольшая нагрузка.

Примѣненіе этого способа цѣнно и умѣстно при равнаго рода метрическихъ работахъ, какія у насъ производятся въ Главной палатѣ мѣръ и вѣсовъ въ Петербургѣ, находящейся подъ управленіемъ проф. Д. И. Менделѣева.

II. Приведеніе вѣса къ пустотѣ; поправка на взвѣшиваніе въ воздухѣ.

Исключивъ вліяніе неравноплечести вѣсовъ, мы не получаемъ еще абсолютнаго вѣса. Дѣло въ томъ что нами не принято еще въ расчетъ, что взвѣшиваніе производится въ воздухѣ, а не въ пустотѣ. При взвѣшиваніи же въ воздухѣ и взвѣшиваемое тѣло и разновѣски по закону Архимеда, какъ обычно выражаются „теряютъ въ своемъ вѣсѣ“ столько, сколько вѣситъ вытѣсненный ими воздухъ. Такимъ образомъ при видимомъ равновѣсіи взвѣшиваемыя массы оказываются не равными, такъ какъ объемы тѣла и разновѣсовъ обыкновенно не равны, такъ что потеря вѣса не одинакова.

Чтобы устранить это искаженіе результатовъ взвѣшиванія, необходимо умѣть вычислить поправку на взвѣшиваніе въ воздухѣ или, какъ говорятъ, привести вѣсъ къ пустотѣ.

Чтобы вычислить эту поправку, необходимо прежде всего знать вѣсь единицы объема воздуха въ моментъ взвѣшиванія. Суммируя данныя различныхъ авторовъ, Д. И. Менделѣевъ пришелъ къ заключенію, что 1 к. с. чистаго (сухого) воздуха при нормальныхъ условіяхъ (760 мм. давленія и 0° температуры) и подъ 45° сѣверной широты вѣситъ:

$$D_0 = 0,001318444g \text{ граммовъ,}$$

гдѣ g —ускореніе силы тяжести для широты $\varphi = 45^\circ$ и $h = 0$ — 980,61 ст. (Формулу для любыхъ φ и h см. стр. 4). Зная это, нетрудно уже найти вѣсь 1 к. е. воздуха при любой высотѣ барометра, температурѣ t и упругости водяныхъ паровъ, содержащихся въ воздухѣ, h . Назовемъ α —коэффициентъ расширенія газовъ ($= 0,00367$), δ плотность паровъ воды по отношенію къ воздуху, принятому за 1 (приблиз. $= \frac{5}{8}$); тогда находимъ, что 1 к. с. воздуха при указанныхъ условіяхъ вѣситъ

$$\begin{aligned} D &= D_0 \frac{H-h}{760(1+\alpha t)} + D_0 \delta \frac{h}{760(1+\alpha t)} = \\ &= D_0 \frac{H-h+\delta h}{760(1+\alpha t)} = D_0 \frac{H-\frac{3}{8}h}{760(1+\alpha t)}. \end{aligned}$$

Принимая, что обыкновенно воздухъ наполовину насыщенъ водяными парами, можно для комнатной температуры пользоваться съ достаточнымъ приближеніемъ такимъ выраженіемъ:

$$D = D_0 \frac{H}{760} \cdot \frac{1}{1+0,004t},$$

не вводя уже въ него давленіе водяного пара. Наибольшее относительное отклоненіе отъ значенія, вычисленнаго по первой формулѣ, не превышаетъ $\pm \frac{1}{3000}$.

При очень точныхъ опредѣленіяхъ необходимо имѣть также въ виду отклоненія при различномъ содержаніи CO_2 въ комнатномъ воздухѣ, которыя могутъ составить $\frac{1}{1000}$

Точное знаніе вѣса 1 к. с. комнатнаго воздуха требуется однако въ крайне рѣдкихъ случаяхъ. Въ огромномъ же большинствѣ случаевъ для приведенія вѣса къ пустотѣ достаточно.

принять, что 1 в. с. воздуха вѣситъ при обыкновенной температурѣ 0,0012 gr; назовемъ эту величину d .

Тогда поправка вычисляется такъ. Пусть взвѣшиваемое тѣло, абсолютный вѣсъ котораго равенъ P , уравнивается въ воздухѣ грузомъ p (вѣсъ, показываемый разновѣсками на вѣсахъ. Какъ) уже указано, P и p не равны, ибо взвѣшиваемое тѣло и разновѣски, имѣя различный объемъ, вытѣсняють различные объемы воздуха.

Если вѣсъ 1 в. с. воздуха $0,0012 = d$, а объемъ тѣла и разновѣсокъ V и v , то вѣсъ воздуха, вытѣсненнаго тѣломъ, равенъ Vd , а разновѣсками — vd . Таковы будутъ и потери вѣса въ воздухѣ. Вычтя эти потери, получимъ равенство:

$$P - Vd = p - vd;$$

но $V = \frac{P}{s}$, $v = \frac{p}{\sigma}$, гдѣ s удѣльный вѣсъ взвѣшиваемаго тѣла, а σ — уд. в. матеріала разновѣсокъ. Тогда имѣемъ:

$$P - \frac{P}{s} d = p - \frac{p}{\sigma} d.$$

$$P = p + \frac{P}{s} d - \frac{p}{\sigma} d = p + P \frac{d}{s} - p \frac{d}{\sigma}.$$

Но такъ какъ P и p весьма близки, то можно написать:

$$P = p + p \frac{d}{s} - p \frac{d}{\sigma} = p \left(1 + \frac{d}{s} - \frac{d}{\sigma} \right) =$$

$$= p + p \left(\frac{d}{s} - \frac{d}{\sigma} \right)$$

σ — уд. в. матеріала разновѣсокъ; для латуни $\sigma = 8,4$
 для платины $\sigma = 21,4$
 для алюминія $\sigma = 2,7$
 для никкеля $\sigma = 8,8$
 для горн. хруст. $\sigma = 2,65^1$).

При вычисленіи поправки считаютъ обыкновенно, что всѣ разновѣски состоятъ изъ одного и того же матеріала, именно

¹⁾ Удѣльные вѣса взяты изъ F. Kohlrausch. Lehrbuch d. prakt. Physik 9-te Aufl. 1901, S. 571. Tab. 2.

матеріала крупныхъ гирекъ. При этомъ для плотности s достаточно брать только одинъ десятичный знакъ.

Исслѣдуемъ теперь выведенную нами формулу приведенія вѣса къ пустотѣ. Положимъ имѣемъ разновѣсъ, граммовыя гирьки котораго изъ латуни (обыкновенный случай), и отвѣшивается латунь же. Тогда $s = \sigma$ ($= 8,4$) и

$$P = p \left(1 + \frac{0,0012}{8,4} - \frac{0,0012}{8,4} \right) = p$$

Итакъ, поправка отпадаетъ, когда удѣльный вѣсъ взвѣшиваемаго тѣла и матеріала разновѣсокъ одинаковы.

Очевидно также, что поправка $+p \left(\frac{d}{s} - \frac{d}{\sigma} \right)$ тѣмъ больше, чѣмъ значительнѣе разница въ удѣльныхъ вѣсахъ s и σ . При $s = 1$, имѣемъ случай взвѣшивания воды; пусть $\sigma = 8,4$ (обыкновенный случай). Тогда поправка (+) къ кажущемуся вѣсу равна:

$$+p \left(\frac{0,0012}{1} - \frac{0,0012}{8,4} \right) =$$

$$= p \cdot 0,0012 \left(1 - \frac{1}{8,4} \right) = p \cdot 0,00106,$$

иначе 1,06 мгг на каждый граммъ воды. Такимъ образомъ, для килограмма воды ($1000 \text{ gr} = 1000 \text{ в. с.} = 1$ литръ) поправка равна 1000. $0,00106 = 1,06 \text{ gr}$ т. е. отвѣшивая въ воздухѣ 1 kgr. воды, мы на самомъ дѣлѣ получаемъ 1001,06 gr. Поэтому, чтобы отвѣсить правильно, мы должны взять не килограммовую гирю, но $1000,00 - 1,06 = 998,94 \text{ gr}$; иначе (что конечно гораздо проще и удобнѣе), тарировавъ сосудъ, назначенный для воды, мы на правую чашку съ тарой положимъ попрежнему 1 kgr., на чашку же съ сосудомъ должны положить 1,06 gr. Тогда, приливаютъ въ сосудъ воду до равновѣсія, которое наступитъ тогда, когда воды дѣйствительно будетъ одинъ килограммъ.

Такова формула приведенія вѣса къ пустотѣ. Но эта формула строго необходима лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда дѣло идетъ объ абсолютныхъ взвѣшиваніяхъ. Но въ огромномъ большинствѣ случаевъ (напр. при химическомъ анализѣ), когда

дѣло касается лишь относительныхъ вѣсовъ, принимать во вниманіе потерю въ вѣсѣ разновѣсокъ не имѣетъ никакого смысла, лишь напрасно усложняя вычисленіе. Этой потерей слѣдуетъ пренебречь. Это выразится лишь въ томъ, что при работѣ мы будемъ измѣнять всѣ вѣса на нѣкоторую величину, пропорціональную суммамъ употребленныхъ разновѣсокъ, что сводится къ тому, что мы какъ будто будемъ употреблять наборъ разновѣсокъ, отнесенныхъ не къ грамму, а къ нѣсколько отличной отъ него величинѣ. Но разъ это относится ко *всѣмъ* взвѣшиваніямъ, это намъ безразлично. Величина, которой мы совершенно законно пренебрегаемъ при относительныхъ взвѣшиваніяхъ, равна 0,00014 всего вѣса (для латунныхъ разновѣсокъ, когда $\sigma=8,5$) т. е. 0,14 mgr. на каждый граммъ.

При абсолютномъ взвѣшиваніи требуется конечно непременно вводить полную поправку (см. стр. 101), поэтому здѣсь умѣстно привести таблицу, которая даетъ поправку въ mgr. на каждый граммъ для любой плотности s отъ 0,7 до 21,0 и при латунныхъ разновѣскахъ, когда $\sigma=8,4$.

Такъ какъ обыкновенно имѣютъ дѣло съ латуннымъ разновѣсомъ, то нашу формулу можно представить такъ:

$$P = p \left(1 + \frac{0,0012}{s} - 0,00014 \right) = p(1 + k) = p + pk,$$

гдѣ $k = \frac{0,0012}{s} - 0,00014$. Очевидно, что величина k т. е. поправки для каждого грамма зависитъ отъ s т. е. удѣльнаго вѣса взвѣшиваемаго вещества. Таблица, вычисленная Ф. Kohlransch'емъ ¹⁾, и даетъ это k для любого s (въ предѣлахъ отъ 0,7 до 21,2), выраженное въ миллиграммахъ на каждый граммъ.

¹⁾ Ф. Kohlransch. Lehrbuch d. pract. Physik. 9-te Aufl. 1901. S. 571, Tab. I.

$$k=1,2 \left(\frac{1}{s} - \frac{1}{8,4} \right)$$

s	k	s	k	s	k
0,7	+1,57	2,0	+0,457	8	+0,007
0,8	1,36	2,5	0,337	8,4	0
0,9	1,19	3,0	0,257	9	-0,010
1,0	1,06	3,5	0,200	10	-0,013
1,1	0,95	4,0	0,157	11	-0,014
1,2	0,86	4,5	0,124	12	-0,043
1,3	0,78	5,0	0,097	13	-0,051
1,4	0,71	5,5	0,075	13,6	-0,0546
1,5	0,66	6,0	0,057	14	-0,057
1,6	0,61	6,5	0,042	15	-0,063
1,7	0,56	7,0	0,029	16	-0,068
1,8	0,52	7,5	0,017	17	-0,072
1,9	0,49	8,0	+0,007	18	-0,076
2,0	+0,46			19	-0,080
				20	-0,083
				21,2	-0,086

Поправка k дана въ миллиграммахъ на каждый граммъ. Если тѣло съ плотностью s вѣсить въ воздухѣ m gr., то, чтобы привести этотъ вѣсъ къ пустотѣ, нужно прибавить mk миллиграммовъ ¹⁾.

Изъ формулы:

$$P=p+p \left(\frac{0,0012}{s} - \frac{0,0012}{8,4} \right)$$

видно, что пока удѣльный вѣсъ $S < 8,4$ выраженіе въ скобкахъ, т. е. k , положительно, такъ какъ тогда

$$\frac{0,0012}{s} > \frac{0,0012}{8,4}.$$

¹⁾ Для платиновыхъ, кварцовыхъ и алюминиевыхъ разновѣсокъ также можно найти въ Landolt u Bernstein. Physik.—Chem. Tabellen, Tab. 3. S. 10. таблицы, дающія поправку $d \left(\frac{1}{s} - \frac{1}{\sigma} \right)$ для различныхъ значеній s т. е. плотности взвѣшиваемого тѣла.

При $s=8,4$ поправка $k=0$, что отвѣчаетъ случаю отвѣшиванія латуни. При $s>8,4$ знакъ k мѣняется и поправка уже вычитается.

Подобно тому какъ мы выражали при помощи графическаго представленія ходъ измѣненія чувствительности съ нагрузкой, такъ точно мы можемъ построить графику и для поправки k . Таблица Кольрауша даетъ намъ достаточно точекъ для построенія; въ результатѣ, соединяя эти точки при помощи гибкой линейки, получаютъ кривую. Эта кривая дастъ намъ возможность быстро и точно интерполировать поправку k для любого s .

Такъ какъ удѣльный вѣсъ и удѣльный объемъ величины обратныя ($\frac{1}{s}=\varphi$), то формулу приведенія вѣса къ пустотѣ можно написать еще такъ:

$$P=p(1+d\varphi-d\varphi_1),$$

гдѣ φ —удѣльный объемъ вещества, а φ_1 —уд. объемъ матеріала разновѣсокъ.

Эта замѣна предложена W. Ostwald'омъ¹⁾. Единственнымъ преимуществомъ ея является большая простота графическаго представленія, такъ какъ въ данномъ случаѣ мы получимъ на сѣткѣ прямую линію, тогда какъ зависимость между поправкою k и удѣльнымъ вѣсомъ представляетъ функцію второй степени и выразится сильно изогнутой кривой.

Но это преимущество въ удобствѣ интерполяціи отчасти ступшевывается тѣмъ, что пользованіе удѣльными объемами вводитъ въ сущности лишнюю вычислительную манипуляцію, такъ какъ обыкновенно въ силу прочно установившейся привычки (отъ которой можетъ быть пора и отучаться) въ справочныхъ книгахъ помѣщаются лишь данныя относительно удѣльныхъ вѣсовъ, но не удѣльныхъ объемовъ, которыя и приходится сначала вычислять, пользуясь соотношеніемъ $\varphi=\frac{1}{s}$. (Для латуни $\varphi=\frac{1}{8,4}=0,12$).

¹⁾ Ostwald-Luther. Physiko-chemische Messungen. 2-te Aufl. S. 54.

Приводимъ однако таблицу Оствальда, $\sigma=8,5$.

φ	k	φ	k	φ	k
1,5	+1,66	0,9	+0,94	0,2	+0,10
1,4	1,54	0,8	0,82	0,12	0
1,3	1,42	0,7	0,70	0,1	—0,020
1,2	1,30	0,6	0,58	0,09	—0,032
1,1	1,18	0,5	0,46	0,08	—0,044
1,0	1,06	0,4	0,34	0,07	—0,056
		0,3	0,22	0,06	—0,068
				0,05	—0,080

Указанная поправка ($d=0,0012$)

$$P=p\left(1 + \frac{d}{s} - \frac{d}{\sigma}\right) = p + pd\left(\frac{1}{s} - \frac{1}{\sigma}\right)$$

употребляется почти исключительно. Лишь въ крайне рѣдкихъ случаяхъ можетъ потребоваться большая точность (вѣсъ 1 к. с. воздуха вычисляется тогда по вышеприведенной, стр. 100, формулѣ); для большей убѣдительности стоитъ указать, что даже I. B. Stas при своихъ классическихъ опредѣленіяхъ атомныхъ вѣсовъ довольствовался приведеннымъ нами значеніемъ d .

Поправка на взвѣшиваніе въ воздухѣ, какъ мы видѣли, очень проста и при помощи данныхъ нами таблицъ вычисляется весьма быстро, поэтому нельзя не согласиться съ F. Kohlrausch'емъ, что обыкновенно совершенно напрасно пренебрегаютъ этой поправкой (напр. при химическихъ анализахъ), которая подчасъ можетъ быть довольно значительной и достигать болѣе чѣмъ $\frac{1}{1000}$ т. е. 0,1%. Такое пренебреженіе совершенно не рационально въ виду тѣхъ требованій точности, которыя привыкли предъявлять къ вѣсамъ, въ виду кропотливости взвѣшиваній, а также въ виду того, что въ цѣломъ рядѣ случаевъ погрѣшность анализа даже ниже погрѣшности, происходящей отъ не приведенія вѣса къ пустотѣ.

Для иллюстраціи этихъ соображеній приведемъ примѣръ, данный Ф. Кольраушемъ. Допустимъ, что требуется опредѣлить содержаніе серебра въ разведенномъ растворѣ какой нибудь его соли. Тогда берется павѣска раствора P (уд. вѣсъ разведеннаго раствора можно принять равнымъ 1) и опредѣляется количество p хлористаго серебра, какое осаждается изъ него соотвѣтствующимъ реагентомъ (уд. вѣсъ $AgCl=5,5$).

Тогда $\frac{p}{P}$ будетъ непоправленное отношеніе вѣсовъ; приведемъ же P и p къ пустотѣ получаютъ (поправка для разновѣсокъ конечно, опускается):

$$\frac{p(1 + 0,0012/\frac{1}{5,5})}{P(1 + 0,0012)} = \frac{p}{P} \left[1 - 0,0012 \left(1 - \frac{1}{5,5} \right) \right] = \frac{p}{P} \cdot 0,9990.$$

Отсюда непоправленное отношеніе больше на $1/1000$, что вноситъ совершенно излишнюю погрѣшность въ $0,1\%$; при точности опредѣленія серебра въ видѣ $AgCl$ это совершенно не рационально и ничѣмъ не оправдывается.

Глава X.

Вывѣрка набора разновѣсокъ. Приготовленіе разновѣсокъ изъ проволоки и жести.

Третьимъ источникомъ погрѣшности, которая дѣлаетъ взвѣшиваніе не абсолютнымъ является неточность самихъ разновѣсокъ. Такимъ образомъ необходимо умѣть элиминировать и эту ошибку.

Въ главѣ IV мы указывали уже, что цѣнность наборовъ разновѣсокъ опредѣляется степенью точности ихъ.

Въ настоящее время хорошіе аналитическіе наборы готовятся механиками очень тщательно, но во всякомъ случаѣ *лишь съ известной степенью приближенія*. Поэтому, какъ бы она ни была велика, ее необходимо *знать*, чтобы при точныхъ работахъ имѣть возможность опредѣлить и исключить погрѣшность, проистекающую отъ неточности разновѣсокъ.

Кромѣ того, при употребленіи разновѣски несомнѣнно мѣняются свой вѣсъ, обыкновенно снашиваются, иногда же прибываютъ въ вѣсѣ вслѣдствіе прилипанія постороннихъ частицъ. Поэтому для каждаго разновѣса необходимо знать его поправки; приступая же къ работамъ съ незнакомымъ наборомъ, необходимо предварительно произвести вывѣрку его. Последнюю необходимо время отъ времени повторять, потому что разновѣски при употребленіи мѣняютъ свой вѣсъ и при томъ не равномерно.

При вывѣркѣ набора разновѣсокъ можетъ быть поставлена задача двоякаго рода:

1) Можетъ понадобиться вывѣрить наборъ, опредѣливъ отношеніе каждой разновѣски къ истинному грамму, какъ это требуется для абсолютныхъ взвѣшиваній.

2) Или, въ тѣхъ случаяхъ, когда рѣчь идетъ лишь объ относительныхъ взвѣшиваніяхъ (напр. при химическомъ анализѣ), удовлетворяются тѣмъ, что вывѣряютъ, насколько наши разновѣски правильны по отношенію другъ къ другу, принимая, что сумма ихъ правильна.

I. Сначала покажемъ, какъ нужно поступать при двойныхъ взвѣшиваніяхъ (способъ Гаусса, стр. 96).

При обычномъ расположеніи разновѣсокъ крупныя гирьки идутъ въ такомъ порядкѣ (см. стр. 32, гл. IV).

$$50' 20' 10' 10'' 5' 2' 1' 1'' 1''''.$$

Гирьки одного наименованія различаются либо по какимъ нибудь случайнымъ признакамъ, либо на нихъ наносятся иглой соотвѣтственные значки.

Прежде всего взвѣшиваютъ двойнымъ взвѣшиваніемъ крупнѣйшую гирьку 50' при помощи остальныхъ, причемъ въ обоихъ случаяхъ приводятъ вѣсъ къ установкѣ пустыхъ вѣсовъ (методъ колебаній, см. стр. 57).

	налѣво	направо ¹⁾	
50'		$= (50) + 2,45 \text{ mgr.}$	$- 2,15 = l$
$(50) - 2,15 \text{ mgr.}$		$= 50'$	$2,45 = r$
			$0,30 = l + r$
			$0,15 = \frac{l+r}{2} = A$

¹⁾ Цифра со значкомъ обозначаетъ отдѣльную гирьку во столько то граммовъ, цифра въ скобкахъ—сумму нѣсколькихъ гирекъ: напр.

$(50) = 20' + 10' + 10'' + 5' + 2' + 1' + 1'' + 1''''.$

Тогда

$$50' = \frac{2(50) + 2,45 - 2,15}{2} = (50) + \frac{2,45 - 2,15}{2} =$$

$$(50) + \frac{l+r}{2} = (50) + 0,15 \text{ mgr.}$$

Назовемъ $\frac{l+r}{2} = 0,15 \dots A$, тогда получимъ:

$$50' = 20' + 10' + 10'' + 5' + 2' + 1' + 1'' + 1''' + A$$

Повторяемъ ту же операцію съ гирькою 20'.

налѣво направо

$$20' = (20) + 1,05 \text{ mgr.} \quad \begin{array}{l} 1,05 = r \\ -0,90 = l \\ \hline 0,15 = l+r \end{array}$$

$$(20) - 0,9 \text{ mgr.} = 20'$$

$$20' = 10' + 10'' + 0,075 = 10' + 10'' + B \quad \begin{array}{l} 0,075 = \frac{l+r}{2} = B \end{array}$$

Далѣе взвѣшиваемъ 10' при помощи 10''

налѣво направо

$$10' = 10'' + 0,55 \text{ mgr.} \quad \begin{array}{l} 0,55 = r \\ -0,50 = l \\ \hline 0,05 = l+r \end{array}$$

$$10'' - 0,50 \text{ mgr.} = 10'$$

$$10' = 10'' + 0,025 = 10'' + C \quad \begin{array}{l} 0,025 = \frac{l+r}{2} = C \end{array}$$

Далѣе взвѣшиваютъ гирьки $5' + 2' + 1' + 1'' + 1''' = (10)$ всѣ вмѣстѣ при помощи 10''.

налѣво направо

$$(10) = 10'' + 0,7 \text{ mgr.} \quad \begin{array}{l} 0,7 = r \\ -0,4 = l \\ \hline 0,3 = r+l \end{array}$$

$$10'' - 0,4 \text{ mgr.} = (10)$$

$$5' + 2' + 1' + 1'' + 1''' = 10'' + 0,15 \text{ mgr.} = 10'' + D \quad \begin{array}{l} 0,15 = \frac{r+l}{2} = D \end{array}$$

Теперь мы можем написать такой рядъ, выразивъ всѣ гири черезъ $10''$, причемъ очевидно, что вообще говоря A , B , C и D могутъ быть положительными и отрицательными.

$$\begin{aligned} 5' + 2' + 1' + 1'' + 1''' &= 10'' + 0,15 \\ 10'' &= 10'' \\ 10' &= 10'' + 0,025 \\ 20' &= 10' + 10'' + 0,075 = 10' + 0,025 + 10'' + \\ &\quad + 0,075 = 2 \cdot 10'' + 0,025 + 0,075 \\ 50' &= 20' + 10' + 10'' + 5' + 2' + 1' + 1'' + 1''' + \\ &\quad + 0,15 = 2 \cdot 10'' + 0,025 + 0,075 + 10'' + 0,025 + \\ &\quad + 10'' + 10'' + 0,15 + 0,15 \end{aligned}$$

Откуда:

$$\begin{array}{l|l} 50' = 5 \cdot 10'' + 0,15 + 0,075 + 2 \cdot 0,025 + 0,15 & = 5 \cdot 10'' + 0,425 \text{ mgr.} \\ 20' = 2 \cdot 10'' + 0,075 + 0,025 & = 2 \cdot 10'' + 0,100 \text{ "} \\ 10' = 10'' + 0,025 & = 10'' + 0,025 \text{ "} \\ 10'' = 10'' & = 10'' \text{ "} \\ 5' + 2' + 1' + 1'' + 1''' = 10'' + 0,15 & = 10'' + 0,150 \text{ "} \\ \hline (100) = 10 \cdot 10'' + A + 2B + 4C + 2D & = 10 \cdot 10'' + 0,700 \text{ mgr.} \end{array}$$

Въ правомъ столбцѣ за вертикальной чертой мы видимъ, что гири $50'$, $10'$, $10'$, $10''$, $(5' + 2' + 1' + 1'' + 1''')$ выражены черезъ одну только разновѣску $10''$. Если мы теперь сравним послѣднюю съ нормальными 10 gr., то получимъ возможность выразить всѣ наши гири въ истинныхъ граммахъ.

Положимъ по сравненіи оказалось, что наша гиря

$$10'' = 10 + a \quad (a \text{ въ mgr. и можетъ быть } + \text{ и } -)$$

Тогда:

$$\begin{aligned} 50' &= 50 + 5a + 0,425 \\ 20' &= 20 + 2a + 0,1 \\ 10' &= 10 + a + 0,025 \\ 10'' &= 10 + a \\ 5' + 2' + 1' + 1'' + 1''' &= 10 + a + 0,15 \end{aligned}$$

Но если у насъ нѣтъ нормальныхъ гирей или насъ интересуетъ лишь относительная правильность нашего набора разновѣсокъ, то тогда рациональнѣе выбрать гирю для сравненія такъ, чтобы поправки для каждой отдѣльной гири

были наименьшія. Это будетъ имѣть мѣсто тогда, когда мы примемъ, что наши гирьки въ суммѣ вѣрны т. е. (см. выше лѣвый столбецъ)—

$$50' + 20' + 10' + 10'' + 5' + 2' + 1' + 1'' + 1''' = (100).$$

Тогда:

$$(100) = 10.10'' + A + 2B + 4C + 2D = 10.10'' + 0,7 \text{ mgr.}$$

Отсюда, обозначивъ $\frac{(100)}{10} = 10$ ср., имѣемъ:

$$10'' = 10 \text{ ср.} - \frac{A + 2B + 4C + 2D}{10} = 10 \text{ ср.} - \Sigma,$$

если мы для краткости примемъ $\frac{1}{10} (A + 2B + 4C + 2D) = \Sigma$. Такъ какъ $A + 2B + 4C + 2D = 0,7$, то $\Sigma = 0,07 \text{ mgr.}$, откуда

$$10'' = 10 \text{ ср.} - \Sigma = 10 \text{ ср.} - 0,07 \text{ mgr.}$$

Зная теперь, чему равна наша основная гирька $10''$, выраженная въ *средней десяткѣ*, мы можемъ въ той же десяткѣ выразить и остальные гирьки. Тогда будемъ имѣть:

$$(10) = 10'' + 0,15 = 10 \text{ ср.} - 0,07 + 0,15 = 10 \text{ ср.} + 0,080 \text{ mgr.}$$

$$10'' = 10 \text{ ср.} - 0,07 = 10 \text{ ср.} - 0,070 \text{ "}$$

$$10' = 10'' + 0,025 = 10 \text{ ср.} - 0,07 + 0,025 = 10 \text{ ср.} - 0,045 \text{ "}$$

$$20' = 20 \text{ ср.} - 2.0,07 + 0,075 + 0,025 = 20 \text{ ср.} - 0,040 \text{ "}$$

$$50' = 50 \text{ ср.} - 5.0,07 + 2.0,025 + 0,075 + 0,15 + 0,15 =$$

$$= 50 \text{ ср.} - 0,075 \text{ "}$$

$$(100) = 100$$

Иначе:

$$5' + 2' + 1' + 1'' + 1''' = 10,000 \ 0 \ 8 \ 0 \ \text{gr.}$$

$$10'' = 9,999 \ 9 \ 3 \ 0 \ \text{"}$$

$$10' = 9,999 \ 9 \ 5 \ 5 \ \text{"}$$

$$20' = 19,999 \ 9 \ 6 \ 0 \ \text{"}$$

$$50' = 50,000 \ 0 \ 7 \ 5 \ \text{"}$$

$$(100) = 100,000 \ 0 \ 0 \ 0$$

Эта табличка также понятие о степени погрѣшности разновѣсовъ. Въ дальнѣйшемъ въ ней нѣтъ никакой надобности.

Очевидно, что, если при калибровкѣ набора не было допущено ошибокъ, *сумма всѣхъ поправокъ* должна быть *равна нулю*, такъ какъ мы *приняли* сумму всѣхъ гирекъ правильной т. е. = 100 гр.

Сложенеіе всѣхъ уравненій и служить поэтому способомъ повѣрки нашихъ операцій и вычисленій при калибровкѣ разновѣсокъ. И выше мы видимъ, что дѣйствительно сумма поправокъ = 0 и сумма всѣхъ гирекъ (100) = 100, какъ мы и условились принимать.

Далѣе, для сравненія гирекъ 5', 2', 1', 1'', 1''' находягь напр. подобнымъ же образомъ:

$$\begin{array}{rcl} 5' = 2' + 1' + 1'' + 1''' + A' & & A' = +0,48 \\ 2' = 1' + 1'' & + B' & B' = -0,03 \\ 1'' = 1' & + C' & C' = -0,07 \\ 1''' = 1' & + D' & D' = +0,10 \end{array}$$

$$5 + 2 + 1 + 1 + 1 = 10 \cdot 1' + A' + 2B' + 4C' + 2D'$$

Но (см. выше стр. 111) мы знаемъ уже, что

$$5' + 2' + 1' + 1'' + 1''' = 10 \text{ гр.} - \Sigma + D = 10 \text{ ср.} - 0,07 + 0,15,$$

такъ что

$$5' + 2' + 1' + 1'' + 1''' = 10 \cdot 1' + A' + 2B' + 4C' + 2D' = 10 \text{ ср.} - \Sigma + D',$$

откуда $10 \cdot 1' = 10 \text{ ср.} - \Sigma + D - A' - 2B' - 4C' - 2D'.$

Такимъ образомъ

$$\begin{aligned} 1' &= 1 - \frac{1}{10}(\Sigma - D + A' + 2B' + 4C' + 2D') = \\ &= 1 - \frac{1}{10}(+0,07 - 0,15 + 0,48 - 0,06 - 0,28 + 0,2) = \\ &= 1 - 0,026. \end{aligned}$$

Тогда:

$$1''' = 1' + D' = 1 - 0,026 + 0,100 = 1 + 0,074$$

$$1'' = 1' + C' = 1 - 0,026 - 0,070 = 1 - 0,096$$

$$1' = = 1 - 0,026 = 1 - 0,026$$

$$2' = 2 - 2 \cdot 0,026 - 0,03 - 0,07 = 2 - 0,152$$

$$5' = 5 - 5 \cdot 0,026 + 0,48 - 0,03 - 2 \cdot 0,07 + 0,1 = 5 + 0,280$$

$$5' + 2' + 1' + 1'' + 1''' = 10 + 0,08$$

Изъ предыдущаго намъ уже извѣстно, что сумма всѣхъ гирекъ $5' + 2' + 1' + 1'' + 1'''$ равна $10 + 0,08$ mgr., поэтому, если при калибровкѣ этихъ гирекъ по отдѣльности не было допущено ошибокъ, то сумма всѣхъ поправокъ должна быть равна $0,08$ mgr., что и видимъ на самомъ дѣлѣ.

Также поступаютъ съ десятыми и сотыми долями.

Если при взвѣшиваніяхъ каждый разъ придерживатся одного и того же порядка, то вѣса

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 п т. д. гр.

всегда будутъ образовываться одинаково, а именно:

	погр.	округл. поправка.
1 гр. составляется изъ	$1' = 1 - 0,026$ mgr.	$-0,03$ mgr. для 1 гр.
2 " " "	$2' = 2 - 0,152$ "	$-0,15$ " " 2 "
3 " " "	$2' + 1' = 3 - 0,178$ "	$-0,18$ " " 3 "
4 " " "	$2' + 1' + 1'' = 4 - 0,274$ "	$-0,27$ " " 4 "
5 " " "	$5' = 5 + 0,280$ "	$+0,28$ " " 5 "
6 " " "	$5' + 1' = 6 + 0,254$ "	$+0,25$ " " 6 "
7 " " "	$5' + 2' = 7 + 0,128$ "	$+0,13$ " " 7 "
8 " " "	$5' + 2' + 1' = 8 + 0,102$ "	$+0,10$ " " 8 "
9 " " "	$5' + 2' + 1' + 1'' = 9 + 0,006$ "	$+0,01$ " " 9 "
10 " " "	$10' = 10 - 0,045$ "	$-0,04$ " " 10 "
20 " " "	$20' = 20 - 0,040$ "	$-0,04$ " " 20 "
30 " " "	$20' + 10' = 30 - 0,085$ "	$-0,08$ " " 30 "
40 " " "	$20' + 10' + 10'' = 40 - 0,155$ "	$-0,15$ " " 40 "
50 " " "	$50' = 50 + 0,075$ "	$+0,07$ " " 50 "
60 " " "	$50' + 10' = 60 + 0,030$ "	$+0,03$ " " 60 "
70 " " "	$50' + 20' = 70 + 0,035$ "	$+0,03$ " " 70 "
80 " " "	$50' + 20' + 10' = 80 - 0,010$ "	$-0,01$ " " 80 "
90 " " "	$50' + 20' + 10' + 10'' = 90 - 0,080$ "	$-0,08$ " " 90 "
100 изъ $50' + 20' + 10' + 10'' + 5' + 2' + 1' + 1'' + 1''' = 100$	0	" " 100 "

Правую колонну удобнѣе для пользованія развернуть въ горизонтальную таблицу—болѣе компактную:

Поправки даны въ сотыхъ mgr.

граммовъ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
десятки	— .04	— .04	— .08	— .15	+ .07	+ .03	+ .03	— .01	— .08
единицы	— .03	— .15	— .18	— .27	+ .28	+ .25	+ .13	+ .10	+ .01
десятыя доли									
сотыя доли									

Эта таблица даетъ возможность легко и быстро вычислять поправку для каждаго числа цѣлыхъ граммовъ. Для этого стоитъ только взять сумму поправокъ для десятковъ и единицъ gr.

Такъ, напр. для 55 gr. она равна $0,28 + 0,07 = + 0,35$ mgr. (max. +), для 44 gr. $- 0,27 + (-0,15) = - 0,42$ mgr. (max. —), для 89 gr. она равна 0, для 48 gr. $- 0,05$ mgr. и т. д.

Если бы у насъ имѣлись на лицо данныя касательно десятыхъ и сотыхъ долей gr., то легко было бы дополнить нашу таблицу соответствующими цифрами такъ, чтобы она захватывала и дробные части gr.

Въ большинствѣ случаевъ однако ограничиваются вывѣркой разновѣсокъ до дробей грамма, такъ какъ для послѣднихъ поправки слишкомъ незначительны. Для большей точности вывѣряютъ и десятыя доли. Слѣдуетъ обратить вниманіе на то, чтобы вывѣрку дробей грамма предпринимать на возможно болѣе чувствительныхъ вѣсахъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ этого очень просто достигнуть, повышая чувствительность тѣхъ же вѣсовъ подвинчиваніемъ соответствующаго грузика (см. стр. 20 гл. III) для уменьшенія разстоянія *S*. Напр. упомянутые выше вѣсы Кегп'а этимъ приѣмомъ позволяютъ безопасно увеличить чувствительность вдвое. Взвѣшиванія должны производиться возможно точнѣе, непремѣнно методомъ колебаній, и установка пустыхъ вѣсовъ должна контролироваться при каждомъ взвѣшиваніи.

Приведенныя результаты провѣрки крупныхъ разновѣсокъ относятся къ совершенно новому набору работы Kuerrecht'a (Wien). Изъ нихъ мы видимъ, что относительныя поправки

отдѣльныхъ гирекъ по сравненію со средней десяткой

$$\frac{50' + 20' + 10' + 10'' + (5' + 2' + 1' + 1'' + 1''')}{10}$$

незначительны и колеблются въ сотыхъ доляхъ мгг. Изъ поправочной же таблицы для цѣлыхъ граммовъ (стр. 113) можно видѣть, что максимальныя отклоненія, наблюдаемые при оди-ночномъ взвѣшиваніи (не изъ разности) даютъ погрѣшность обыкновенно менѣе 0,001%, лишь рѣдко достигая почти 0,01% (шах. при 5 gr., когда погрѣшность + 0,26 мгг. т. е. 0,006%).

При аккуратной работѣ одного лица разновѣски, если исключить конечно случайности, сохраняются годами, даже десятками лѣтъ, не подвергаясь значительному изнашиванію. Особенно слѣдуетъ охранять ихъ отъ брызгъ ртути.

Слѣдующія данныя даютъ понятіе о степени снашиванія разновѣсокъ послѣ годовой ежедневной работы студентовъ (но не новичковъ):

Разновѣсъ Вьергеcht'a новый, Тотъ же разновѣсъ черезъ годъ,
1903 г. Сентябрь. 1904 г. Сентябрь.

50' = 50 + 0,075 мгг.	—	= 50	убыль 0,075 мгг.
20' = 20 — 0,040 "	—	= 20 — 0,04	неизмѣн.
10' = 10 — 0,045 "	—	= 10 — 0,12	убыль 0,075
10'' = 10 — 0,070 "	—	= 10 — 0,12	убыль 0,05
(10) = 10 + 0,080 "	—	= 10 + 0,28	общ. приб. 0,20
<u>(100) = 100</u>		<u>= 100</u>	

II. Второй способъ вывѣрки набора разновѣсокъ, разрабо-танный Richards'омъ, проще и нагляднѣе и по выполненію и по вычисленію.

Взвѣшиваніе производится по способу замѣщенія (сп. Борда), а не двойнымъ взвѣшиваніемъ, какъ въ предыдущемъ случаѣ. Основной гирькой, черезъ которую выражаютъ всѣ остальные, берется одна изъ сантиграммовыхъ (0,01). Такъ какъ полное сравненіе требуетъ *трехъ* разновѣсокъ по 0,01, то третья берется изъ другого набора или изготовляется изъ платиновой или алюминіевой жести, или наконецъ просто

беруть для этого одинъ изъ рейтеровъ. Сравнѣаемыя разновѣски послѣдовательно помѣщаютъ на лѣвую чашку вѣсовъ, уравнивая ихъ на правой подходящей тарюю. Тогда разность въ установкѣ рейтера дастъ непосредственно разность въ вѣсѣ двухъ сравниваемыхъ разновѣсокъ.

Наиболѣе удобною тарюю является второй наборъ разновѣсокъ. Во избѣжаніе смѣшенія и для удобства манипуляціи каждый ящичекъ ставятъ съ соотвѣтствующей стороны вѣсовъ. Далѣе, такъ какъ при сравненіи гирекъ одинаковаго вѣса разность ихъ можетъ быть какъ въ ту, такъ и въ другую сторону, то для удобства манипуляціи необходимо, чтобы рейтеръ могъ свободно перемѣщаться и вправо и влѣво и всѣ разности въ вѣсѣ выравниваться соотвѣтствующимъ передвиженіемъ его, не трогая тары на правой чашкѣ. Чтобы достигъ этого, на лѣвую чашку кромѣ сравниваемыхъ разновѣсокъ набора накладываютъ еще гирьку въ 5 mgr., что при уравниваніи заставитъ съ самаго начала передвинуть рейтеръ на средину праваго плеча къ цифрѣ пять (приблизительно). Если вѣтъ разновѣски въ 5 mgr. то ее легко замѣнить соотвѣтственно обрѣзкомъ станиоля *приблизительно* того же вѣса.

Въ остальномъ манипуляція представляется крайне простой. Вѣсы предварительно устанавливаютъ такъ, чтобы при равновѣсіи стрѣлка указывала (мет. колеб.) приблизительно среднюю черту. Затѣмъ на лѣвую чашку накладываютъ изъ калибруемаго набора $0,01' + 5 \text{ mgr.}$ (или соотв. обрѣзокъ станиоля), а на правую $0,01$ изъ другого, запаснаго набора. Тогда по предыдущему при равновѣсіи рейтеръ окажется приблизительно по срединѣ праваго плеча. Пусть, напр., по достиженіи равновѣсія (когда колебанія стрѣлки по обѣ стороны отъ средней черты приблизительно одинаковы), рейтеръ занимаетъ положеніе $4,75 \text{ mgr.}$ Тогда снимаютъ $0,01'$ съ лѣвой чашки, замѣщаютъ ее $0,01''$ и вновь передвиженіемъ рейтера устанавливаютъ равновѣсіе. Пусть оно достигнуто при положеніи рейтера $4,67 \text{ mgr.}$ Это показываетъ, что $0,01''$ легче $0,01'$ на $4,75 - 4,67 = 0,08 \text{ mgr.}$ т. е. $0,01'' = 0,01' - 0,08 \text{ mgr.}$

Чтобы быть увѣреннымъ, что во время взвѣшиванія вѣсы не потерпѣли какого нибудь разстройства, производятъ обратную замѣну на лѣвой чашкѣ и находятъ опять прежнюю установку ($4,75$).

Точно такимъ же образомъ сравниваютъ съ $0.01'$ третью разновѣску $0.01'''$ и находятъ напр. $0.01''' = 0.01' - 0.05 \text{ mgr.}$

Затѣмъ мѣняя соотвѣтственно тару сравниваютъ $0.02'$ съ $0.01' + 0.01''$ и находятъ напр. что $0.02' = 0.01' + 0.01'' + 0.12 \text{ mgr.} = 0.01' + 0.01' - 0.08 + 0.12 = 2.0.01' + 0.04.$

Далѣе, сравнивая $0.05'$ съ $0.02' + 0.01' + 0.01'' + 0.01'''$ находятъ напр. что $0.05' = 0.02' + 0.01' + 0.01'' + 0.01''' + 0.12 = 5.0.01' + 0.04 - 0.08 - 0.05 + 0.12 = 5.0.01' + 0.03.$

Теперь переходятъ къ десятымъ грамма. Сравненіе начинаютъ съ $0.1'$, который уравниваютъ соотвѣтствующими кратными сантиграмма. Пусть напр. $0.1'$ равна суммѣ $(0.1) + 0.08 \text{ mgr.}$ Тогда: $0.1' = 10.0.01' + 0.03 + 0.04 - 0.05 - 0.08 + 0.08 = 10.0.01' + 0.02 \text{ mgr.}$ Далѣе, съ $0.1'$ сравниваютъ $0.1''$ и также выражаютъ ее въ $0.01'$ и т. д. и т. д.

Дойдя до $0.5'$, находятъ такимъ приемомъ, напримѣръ, слѣдующую таблицу:

$0.01'$	$=$	$0.01'$		
$0.01''$	$=$	$0.01' - 0.08$	$0.1'$	$= 10.0.01' + 0.02$
$0.01'''$	$=$	$0.01' - 0.05$	$0.1''$	$= 10.0.01' - 0.06$
$0.02'$	$=$	$2.0.01' + 0.04$	$0.2'$	$= 20.0.01' + 0.08$
$0.05'$	$=$	$5.0.01' + 0.03$	$0.5'$	$= 50.0.01' + 0.04$

Переходя къ граммамъ, сравниваютъ $1'$ съ суммой разновѣсокъ

$$0.01' + 0.01'' + 0.01''' + 0.02' + 0.05' + 0.1' + 0.1'' + 0.2' + 0.5',$$

которую обозначимъ [1], и получаютъ:

$$1' = [1] - 0.06$$

или, подставляя данныя изъ таблицы:

$$1' = 100.0.01' - 0.19 + 0.21 - 0.06 = 100.0.01' - 0.04$$

Выразивъ $1'$ въ $0.01'$, сравниваютъ съ $1'$ другую гирьку $1''$ и такимъ приемомъ вывѣряютъ весь наборъ, мѣняя каждый разъ соотвѣтственно тару.

Въ результатѣ получаютъ всѣ разновѣски выраженными въ 0,01'. Для абсолютныхъ взвѣшиваній необходимо еще привести ихъ въ соотношеніе съ истиннымъ граммомъ. Это соотношеніе находятъ точно двойнымъ взвѣшиваніемъ по способу Гаусса (см. гл. IX, стр. 96). Положимъ при этомъ найдено напр. что (I—ист. граммъ).

$$I = 1' - 0,04 = 100.0,01' - 0,04 - 0,04 = 100.0,01' - 0,08.$$

Отсюда

$$\frac{I}{100} = 0,01' - 0,0008 \text{ или } 0,01' = 0,01 + 0,0008 \text{ mgr.}$$

Зная это, легко отнести всѣ разновѣски къ истинному грамму.

Если же мы интересуемся лишь относительными взвѣшиваніями, то намъ важно лишь, чтобы разновѣски были правильны по отношенію другъ къ другу. Чтобы сдѣлать ожидаемая поправки возможно меньшими, принимаютъ сумму гирекъ правильной т. е. напр.

$$[100] = 100$$

Положимъ, что при калибровкѣ мы нашли напр.

$$[100] = 10000.0,01' + 0,7.$$

Найдемъ теперь, какъ выразится наша основная гирька 0,01' въ средней 0,01

$$10000.0,01' + 0,7 = 100$$

$$0,01' + \frac{0,7}{10000} = \frac{100}{10000} = 0,01$$

$$0,01' = 0,01 - 0,00007 \text{ mgr.}$$

Зная это, легко выразить каждую гирьку въ этой средней соткѣ. Пусть, напр. мы знаемъ, что

$$50' = 5000.0,01' + 0,22 \text{ mgr.}$$

Тогда

$$50' = 5000.0,01 - 5000.0,00007 + 0,22 =$$

$$50 - 0,35 + 0,22 = 50 - 0,13 \text{ mgr.}$$

Найдя такимъ образомъ всѣ относительныя поправки и составляя вѣса каждый разъ одинаково (придерживаясь всегда одного и того же порядка гирекъ), мы, составивъ себѣ таблицу (аналогичную на стр. 114), будемъ легко находить окончательную поправку для любого вѣса.

Изъ описанія явствуетъ дѣйствительно, что способъ Ричардсъ-Борда и по выполнению и по вычислительнымъ операциямъ проще метода Кольраушъ-Гаусса.

Въ заключеніе остается указать, что и въ данномъ случаѣ, зная чувствительность вѣсовъ и ходъ ея измѣненія съ нагрузкой, можно увеличить точность опредѣленій, взвѣшивая точно методомъ колебаній, а не ограничиваясь приведеніемъ равновѣсія къ средней чертѣ, какъ выше. Впрочемъ въ большинствѣ случаевъ такая точность излишня.

Приготовленію подраздѣленій грамма.

При неосторожномъ обращеніи съ разновѣсками всего чаще страдаютъ конечно не цѣлыя граммы, а подраздѣленія. Само собою разумѣется, что для малыхъ разновѣсокъ вѣроятнѣе и возможность утери. Кромѣ того, въ тѣхъ или иныхъ случаяхъ можетъ понадобится приготовить то или иное подраздѣленіе сверхъ комплекта, какъ напр. третью сотку при только что приведенномъ методѣ калибровки. Поэтому необходимо умѣть самому готовить подраздѣленія, такъ какъ легко себѣ представить, въ какое затрудненіе можетъ ввести аналитика, затертаго въ какомъ нибудь медвѣжьемъ уголку нашего обширнаго отечества, поломка рейтера или потеря той или иной разновѣски. Тогда приходится или покупать новый наборъ и разрознивать его (и благо тому, кто найдетъ его по счастливой случайности въ какомъ нибудь „оптическомъ“ магазинѣ), либо выписать чуть не изъ заграницы и ждать недѣлями. Такой казусъ весьма вѣроятенъ при нашей обычной безопасности и непредусмотрительности.

Приемъ крайне простъ. Берутъ тонкую алюминіевую (соотв. платиновую) проволоку, протираютъ ее чистой тряпкой, смоченной спиртомъ или бензиномъ, для удаленія жира и грязи, и оставляютъ обсохнуть. Затѣмъ отвѣшиваютъ приблизительно 1 gr. этой проволоки и притомъ нѣсколько больше напр. 1,05 gr. и при помощи штангенъ-циркуля (также дѣлительной машины; въ крайнемъ случаѣ можно обойтись линейкой съ дѣленіями) взвѣряютъ длину этого отрѣзка. Полученную длину дѣлятъ сначала пополамъ, разрѣвая острымъ ножомъ,—тогда одинъ изъ отрѣзковъ представить въ сыромъ видѣ 0,5 gr. (нѣск. >); вторую половину дѣлятъ на 5 частей: три отрѣзка по $\frac{1}{5}$ дадутъ въ сыромъ видѣ по 0,1 gr., остатокъ представить 0,2. Такъ какъ въ началѣ мы взяли нѣсколько больше 1 gr. (напр. 1,05 gr.), то естественно, что каждый изъ полученныхъ отрѣзковъ вѣситъ нѣсколько больше, чѣмъ ему надлежитъ. Тогда на достаточно чувствительныхъ вѣсахъ (если потребуется, то соотвѣтственнымъ подвинчиваніемъ подвижнаго грузика можно повысить чувствительность), сравниваютъ полученные отрѣзки съ соотвѣтствующими разновѣсками, при чемъ для уравненія вѣса первыя приходится стачивать о тонкій подпилочекъ, а подъ копецъ крайне осторожно поширивать объ тонкую наждачную бумагу. Передъ сравненіемъ стрѣлку пустыхъ вѣсовъ устанавливаютъ приблизительно на среднюю линію; сравненіе заканчивается, когда колебанія въ ту и другую сторону отъ нея одинаковы. Такимъ образомъ при нѣкоторомъ терпѣніи можно получить вполне точныя десятыя грамма.

Точно такимъ же образомъ поступаютъ и при изготовленіи сотыхъ долей. При этомъ начальный вѣсъ проволоки долженъ быть нѣсколько болѣе одной десятой (0,1) и для удобства оперирования слѣдуетъ брать болѣе тонкую проволоку.

Сотыя доли удобнѣе всего приготовляются изъ алюминіевой проволоки. Десятыя же доли пожалуй практичнѣе изготовлять изъ тонкой алюминіевой или никкелевой жести, изъ которой вырѣзаютъ узкую (шириною не болѣе 1 ст.) прямоугольную полосу, отрѣзаютъ отъ нея аккуратно нѣсколько больше 1 gr., въ остальномъ же поступаютъ по предыдущему.

Полученныя отрѣзки проволоки или жести осторожно свертываютъ такъ или иначе, чтобы придать приготовленнымъ

разновѣскамъ болѣе компактный видъ. Различаются они достаточно хорошо просто по величинѣ.

Для изготовленія запасного или взамѣнъ утеряннаго или сломаннаго рейтера отвѣшиваютъ нѣсколько болѣе 0,01 подходящей алюминіевой или соотв. платиновой проволоки и осторожнымъ подпиливаніемъ доводятъ его вѣсъ до надлежащей величины. Затѣмъ скручиваніемъ придаютъ проволоку видъ рейтера.

Приготовленіе подраздѣленій грамма представляетъ по моему мнѣнію очень подходящее въ педагогическомъ отношеніи упражненіе для начинающихъ аналитиковъ. Мнѣ представляется весьма раціональнымъ знакомить новичковъ съ точными вѣсами именно этимъ путемъ, заставляя ихъ терпѣніемъ и настойчивостью достичь уже съ самаго начала извѣстнаго практическаго результата, цѣнность котораго легко поддается контролю.

