

КАЛМЫЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра экспериментальной и общей физики

Лабораторная работа № 14

«Точное взвешивание»

Лаборатория № 210

Лабораторная работа № 14

«Точное взвешивание»

Цель работы: научиться пользоваться измерительными приборами для определения линейных размеров предметов.

Приборы и принадлежности: цилиндрическое тело, кусок проволоки, масштабная линейка, штангенциркуль, микрометр.

Описание весов. Речь идет о точных аналитических весах, т. е. о таких, которые употребляются при химических анализах. Такие весы заключены в ящик (с подъемными стеклянными стенками для доступа большого количества света), предохраняющий их от пыли и воздушных токов (рис. 1).

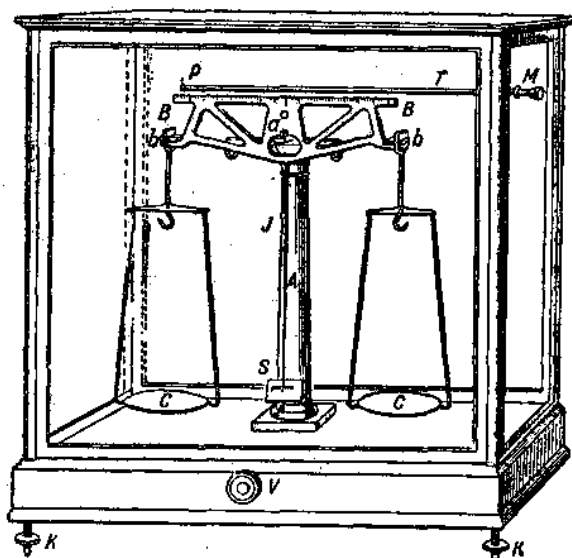


Рис. 1.

Весы состоят из равноплечего рычага BB , называемого коромыслом, опорой которого служит ребро стальной закаленной призмы a , вставленной в середину коромысла перпендикулярно к его плоскости. Ребро призмы опирается на агатовую полированную пластинку (подушку), укрепленную наверху колонки A . На концах коромысла, на равных расстояниях от средней призмы, имеются приспособления для подвешивания чашек CC , обыкновенно — призмы bb . Ребра средних и крайних призм должны быть параллельны между собой. Если на чашках нет грузов, то коромысло должно устанавливаться го-

горизонтально или почти горизонтально. Для определения положения коромысла служит длинная стрелка J , прикрепленная к его середине перпендикулярно к линии, соединяющей две крайние призмы. Конец стрелки движется перед шкалой S , находящейся у основания колонки. При горизонтальном положении коромысла стрелка должна указывать на среднее деление шкалы.

Основной величиной, характеризующей весы, является их *чувствительность*. Чувствительностью весов называется отношение *тангенса угла отклонения стрелки к весу того добавочного перегрузка p , который вызывает это отклонение*, или пропорциональное этой величине отношение числа делений, на которые перемещается стрелка по шкале S к тому же добавочному перегрузку p (обыкновенно $p = 1$ мг); выражается она формулой

$$\omega = \frac{L \cos \alpha}{(2P + p)L \sin \alpha + Kh},$$

где L — длина плеч коромысла, K — его вес, h — расстояние центра тяжести коромысла от нижнего ребра средней призмы, P — нагрузка весов, α — угол прогиба для прямолинейного рычага. Из формулы видно, что чувствительность вообще зависит от нагрузки, но если ребра всех трех призм коромысла лежат в одной плоскости и прогибом плеч можно пренебречь, то чувствительность ω будет постоянна и выразится формулой

$$\omega = \frac{L}{Kh}.$$

В готовых весах мы можем изменять только величину h , т. е. перемещать центр тяжести коромысла кверху или книзу и изменять, таким образом, чувствительность весов. Это достигается особыми приспособлениями, различными на различных весах, состоящими обычно из грузиков, перемещающихся в вертикальном направлении.

Чтобы не употреблять при взвешивании разновесок меньше 1 *сг*, представляющих большое неудобство по своей малости, пользуются так называемым *рейтером*, т. е. подвижным грузом, согнутым в виде крючка из тонкой проволоки, вес которого равен 1 *сг*. Рейтер сажается верхом на одно из плеч коромысла, разделенное на равные части. Обыкновенно каждое плечо коро-

мысла разделено на десять равных частей. Если рейтер помещен на первое, второе, третье и т. д. деления плеча коромысла, считая от средней призмы, то его действие равносильно действию положенного на чашку груза в 1, 2, 3 и т. д. миллиграммов. Накладывание и снятие рейтера производятся при закрытых дверцах посредством особого приспособления. Оно состоит из латунного стержня T (рис. 1), проходящего сквозь боковую стенку ящика весов и перемещающегося параллельно коромыслу. Стержень может вращаться около своей оси; на внешнем конце он снабжен головкой M , а на внутреннем — боковым рычажком P с выступающим штифтом; этот последний вводится в ушко (петлю) рейтера и подхватывает его.

Когда весы не находятся в работе, их необходимо *арретировать*; это производится действием особого приспособления внутри колонки весов, при помощи которого коромысло и чашки несколько приподнимаются кверху, вследствие чего их призмы освобождаются от давления на плоскость опоры и неизбежного при этом напрасного изнашивания. Устройство арретиров у разных весов бывает различно. Обыкновенно арретирование и освобождение коромысла производятся посредством головки V , помещающейся в нижней части весов, вращением ее в ту или иную сторону.

Каждые весы рассчитаны на определенную *предельную нагрузку*, которая обыкновенно указывается на самих весах, и переходить которую ни в каком случае не следует во избежание опасных для весов прогибов их коромысла. Соответственно этому при каждом весе прилагается деревянный футляр с полным набором необходимых разновесок до определенной величины.

Установка весов. Колонка весов должна быть установлена вертикально. Это проверяется по отвесу, помещенному позади колонки; нить отвеса должна находиться точно в центре маленького кольца, через которое она проходит. Добиваются этого соответствующим вращением установочных винтов K (рис. 1). Если колонка весов установлена вертикально, то конец стрелки J коромысла при ненагруженных и освобожденных весах должен указывать приблизительно на среднее деление шкалы S . Если это не наблю-

дается, т. е. если конец стрелки J коромысла отклоняется больше, чем на 2-3 деления от среднего, то весы можно исправить, вращая в ту или другую сторону небольшие латунные грузы на концах коромысла BB ; эта операция требует большой осторожности и навыка.

При большом числе взвешиваний сказываются недостатки обычных (описанных выше) аналитических весов, а именно длительность взвешивания и утомляемость глаз работающего.

Для уменьшения времени движения коромысла весов снабжаются успокоителем — *демпфером*. Он состоит из двух пар легких металлических стаканов, два из которых укреплены неподвижно на колонке весов, два подвешены к коромыслу.

При движении коромысла стаканы, прикрепленные к нему, движутся внутри неподвижных стаканов. Сжатие воздуха в стаканах создает дополнительное усилие, приводящее к уменьшению времени движения коромысла.

Для этой же цели и сохранения гирь от износа при взятии их пинцетом применяется специальный механизм. Он состоит из двух дисков (на общей оси), поворотом одного из них осуществляется наложение на рейку, скрепленную с коромыслом весов, и удаление с нее гирь в виде колец. Вес накладываемой (или убираемой) гирьки отсчитывается по цифрам, нанесенным на диске.

Утомляемость зрения при отсчете делений шкалы почти устраняется специальным оптическим приспособлением с ярко освещенным экраном — *вейтографом*.

Освещение производится электрической лампочкой, включение и выключение которой производится вращением ручки арретира. На рис. 2 приведено фото весов АДВ-200, снабженных демпфером, вейтографом и механизмом для наложения гирь-колец.

Правила обращения с весами. При обращении с весами необходимо соблюдать следующие правила:

1. Пока весы не арретированы, нельзя класть на чашки или снимать с них грузы (не следует даже прикасаться к чашкам), нельзя производить перестановку рейтера на коромысле весов.

2. Грузы накладывать на чашки следует так, чтобы общий центр тяжести грузов приходился по возможности по середине чашки.

3. Нельзя брать разновески руками; для этого служит пинцет; мелкие разновески плоской формы (подразделения грамма) берут пинцетом за загнутые уголки.

4. Снимая разновески с весов, следует их класть непременно в ящик, каждую на предназначенное ей место.

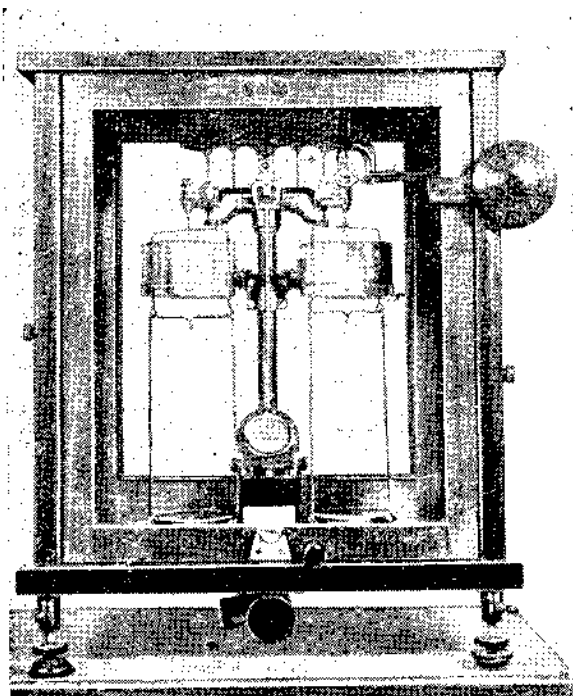


Рис. 2.

5. Не следует освобождать вполне коромысла, пока чашки еще мало уравновешены; его освобождают лишь настолько, чтобы можно было судить, которая из чашек легче, замечая, куда отклоняется стрелка; после этого тотчас арретируют коромысло и прибавляют или убавляют разновески. (При малой разнице между весами взвешиваемого тела и разновесок коромысло начинает уже маятникообразно качаться.)

6. Освобождать и арретировать коромысло следует всегда медленно и плавно; если весы качаются, то арретировать надо весьма осторожно, в то

время, когда стрелка проходит через положение равновесия; иначе коромысло получает толчки.

7. Если чашки качаются маягникообразно, то их следует прежде успокоить прикосновением листка бумаги к их краю и уже только после этого вполне освободить коромысло.

8. При наблюдении качания весов дверцы их должны быть непременно закрыты.

9. Если по освобождении коромысла окажется, что амплитуда колебания слишком мала (можно считать достаточной амплитуду в 3—4 деления в ту и другую сторону от середины шкалы), то, приотворив немного дверцу, можно слегка махнуть перед весами рукой; тогда струя воздуха обыкновенно сообщает коромыслу достаточную амплитуду.

10. Не следует оставлять надолго грузы на чашках, в особенности, когда весы не арретированы. Когда взвешивание окончено, весы надо арретировать, нагрузки снять и закрыть дверцы.

Измерения. Для того чтобы произвести точное взвешивание, необходимо: 1) определить нулевую точку весов, 2) определить их чувствительность, 3) произвести самое взвешивание и 4) ввести поправки на кажущуюся потерю веса тела в воздухе.

Определение нулевой точки весов. Перед началом каждого взвешивания необходимо определить положение равновесия ненагруженных весов, т. е. то деление e_0 шкалы, против которого остановилась бы стрелка при отсутствии трения. Это деление называют нулевой точкой или нулем весов. В целях исключения влияния трения нулевая точка определяется по методу качаний.

При качании коромысла указатель весов колеблется подобно маятнику. Положим, что при своем размахе влево конец указателя доходит до черты a_1 шкалы, считая от ее крайней левой черты, а при следующем размахе вправо он доходит до положения a_2 шкалы. Если бы указатель совершал одинаковой величины размахи в ту и в другую сторону от своего положения равновесия,

то оно определилось бы как полусумма величин a_1 и a_2 ; в действительности размахи указателя с течением времени уменьшаются: первый размах влево более следующего размаха вправо, в свою очередь этот последний более следующего размаха влево и т. д., поэтому полусумма величин a_1 и a_2 не дала бы истинного положения пуля весов.

Возьмем теперь три последовательных размаха указателя a_1 , a_2 и a_3 , из которых два, a_1 и a_2 , будут в левую сторону, а один, a_3 , — в правую. Взяв полусумму величин a_1 и a_3 , мы получим число, которое относительно a_2 будет более удовлетворять условию равенства размахов в ту и другую сторону от положения равновесия, чем одно a_1 или a_3 . Следовательно, нуль весов, вычисленный как

$$\frac{\frac{a_1 + a_3}{2} + a_2}{2},$$

будет уже ближе к действительному его положению.

Так как изменение амплитуды происходит не пропорционально времени, а по экспоненциальному закону, то, взяв, например, пять последовательных размахов — a_1 , a_2 , a_3 , a_4 и a_5 , три, a_1 , a_3 , a_5 , в одну сторону и два, a_2 и a_4 , в другую, и выведя среднее из размахов в каждую сторону, мы, очевидно, найдем числа, еще более удовлетворяющие условию равенства размахов от положения равновесия в ту и другую сторону; нуль e_0 весов, вычисленный как

$$e_0 = \frac{\frac{a_1 + a_3 + a_5}{3} + \frac{a_2 + a_4}{2}}{2},$$

будет еще ближе к положению истинного равновесия.

В случае, если размахи a будут отсчитаны не от крайнего левого, а от среднего деления шкалы, то, само собой разумеется, что отсчетам, произведенным в разные стороны, следует приписывать разные знаки; обычно отрицательными считают отсчеты, произведенные в левую сторону.

Обыкновенно при определениях нуля весов ограничиваются наблюдением пяти последовательных качаний. При записывании наблюдаемых раз-

махов левые размахи пишут в левом столбце, правые — в правом. Всегда берется одним качанием более в ту сторону, с которой начали наблюдения первого качания. Если по освобождении арретира размахи колебаний весов очень малы, то их увеличивают, производя над одной из чашек весов слабые взмахи листом бумаги, после чего пропускают несколько колебаний весов без наблюдения и затем уже начинают наблюдать. Части делений шкалы при колебании указателя оцениваются на глаз до десятых долей деления.

Одним определением нуля весов нельзя удовлетвориться, а надо сделать еще, по крайней мере, два и взять за нуль весов среднее арифметическое из всех определений. Зная точку нуля весов, можно приступить к определению их чувствительности.

При пользовании демпферными весами нулевая точка определяется по шкале после их полной остановки. Следует проделать три отсчета и взять из них среднее арифметическое. Каждый раз весы арретируют, а затем медленно освобождают.

Определение чувствительности весов. Если на одну чашку (правую) ненагруженных весов мы положим 1 мг, что достигается навешиванием рейтера на первое деление коромысла (при арретированных весах), и определим теперь из качаний положение равновесия, или установку, весов так, как мы только что определяли нуль весов, то получим уже не прежнее число, а несколько иное, например e , которое укажет нам на перемещение положения равновесия весов на $(e - e_0)$ делений шкалы. Абсолютная величина этого перемещения и будет выражать чувствительность ненагруженных весов при перегрузке в 1 мг. Определив точку нуля весов и их чувствительность, приступают к взвешиванию.

Взвешивание. Всегда можно путем последовательного накладывания разновесок найти два числа, a и $(a + 1)$ граммов, между которыми будет заключаться вес взвешиваемого тела, если он целым числом граммов выражен быть не может; после граммов кладут дециграммы, потом сантиграммы. Если вес тела целым числом сантиграммов выражен быть не может, то переходят к

нагрузке весов миллиграммами, пользуясь рейтером. Передвигая его по коромыслу весов и ставя на деления, отмеченные цифрами, мы можем найти такие два последовательных деления, что помещение рейтера на одном будут давать общую нагрузку, все еще меньшую веса тела, а помещение на другом — большую.

Необходимо заметить, что при большой разнице в весе тела и положенных разновесок перевес одной из чашек наблюдается легко: коромысло весов при освобождении арретира тотчас наклоняется в какую-нибудь сторону и не колеблется. При малой разнице в весе коромысло продолжает колебаться, и если нельзя во время качания заметить ясно, что размах указателя в одну сторону от найденной нулевой точки весов больше, чем в другую, то необходимо определить в таком случае из качаний точку равновесия весов, т. е. то деление шкалы, на которое указывала бы при отсутствии трения стрелка, когда прекратились бы колебания коромысла. Определение точки равновесия ведется точно так же, как определение нуля весов. Прибегать к определению точки равновесия непременно приходится при употреблении рейтера. Смотря по тому, будет ли найденная точка равновесия весов лежать вправо или влево от точки нуля весов, мы можем указать, какая чашка весов перевешивает.

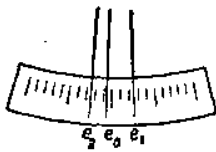


Рис. 3.

Пусть мы нашли два таких положения рейтера, отличающихся одно от другого на одно целое деление коромысла, т. е. 1 мг нагрузки, для которых соответствующие точки равновесия будут e_1 и e_2 , причем точка e_1 лежит правее найденного нуля весов, точка e_2 — левее (рис. 3).

Если взвешиваемое тело лежит на левой чашке весов, то очевидно, что нагрузка, соответствующая положению указателя весов e_1 меньше, чем вес тела, а нагрузка, вызывающая отклонение e_2 , — больше. Если количество разновесок при положении равновесия e_1 будет $P\text{ мг}$, то, очевидно, для приве-

дения весов в нулевую точку e_0 надо на правую чашку весов добавить еще какое-то количество разновеса, какие-то доли p мг.

Предполагаем, что при малых углах отклонение указателя от нулевой точки пропорционально нагрузке, вызывающей отклонение. Это предположение позволит вычислить величину p . Положение e_1 отвечает разновесу P мг, положение e_2 — разновесу $P + I$ мг; следовательно, отклонение $e_1 - e_2$ отвечает разновесу в I мг. Величина $e_1 - e_2$, очевидно, будет чувствительностью нагруженных весов. Нам необходимо вычислить ту добавочную нагрузку p , которая наклонила бы коромысло весов и связанный с ним указатель от положения e_1 в положение e_0 , т. е. на $e_1 - e_0$ делений. Если I мг вызывает отклонение на $e_1 - e_2$ делений, то p мг вызовут отклонение на $e_1 - e_0$ делений, откуда

$$\frac{1}{p} = \frac{e_1 - e_2}{e_1 - e_0}, \quad p = \frac{e_1 - e_0}{e_1 - e_2} \text{ мг}$$

и видимый вес тела

$$Q = P + p.$$

Таким образом, производится на точных весах взвешивание до десятых долей миллиграммов.

Если бы чувствительность весов была постоянна при всякой нагрузке, то при нахождении миллиграммов и их десятых долей нам не нужно было бы добиваться, как мы это только что делали, определения двух положений равновесия по обе стороны нуля весов. Достаточно было бы определить какое-нибудь одно положение равновесия и вычислить нужное для равновесия число миллиграммов. Но так как чувствительность с нагрузкой меняется, то определенная перед началом взвешивания чувствительность ненагруженных весов будет нам только помогать, скорее, определить, сколько приблизительно надо прибавить миллиграммов к уже положенным, чтобы скорее найти оба положения равновесия.

Если весы не имеют рейтера, то взвешивание с точностью до долей миллиграммов можно произвести следующим образом. Пусть на правую

чашку наложено столько разновеса, что весы находятся почти в равновесии, так что при освобождении коромысла стрелка не слишком удаляется от среднего деления шкалы. Допустим, что правая чашка еще немного легче левой. Определяем положение равновесия совершенно так же, как определяли нулевую точку. Обозначим найденное таким образом положение равновесия по-прежнему через e_1 , а положение нулевой точки — через e_0 . Теперь прибавляем на правую чашку 1 *сг* и снова определяем положение равновесия, которое обозначим через e_2 . Следует делать так, чтобы e_1 и e_2 лежали по разные стороны e_0 , т. е. чтобы было: $e_1 > e_0 > e_2$. Очевидно, что $(e_1 - e_2)$ есть чувствительность весов на 1 *сг* добавочной нагрузки. Вновь предполагая, что перемещение стрелки пропорционально добавочному грузу, вычисляем совершенно так же, как и в предыдущем случае, величину той нагрузки в миллиграммах, которая привела бы весы из положения e_1 к их нулевой точке e_0 , пользуясь той же формулой; следует только помнить, что величина $(e_1 - e_2)$ в данном случае обозначает чувствительность 1 *сг*, поэтому, переходя к миллиграммам, необходимо ввести множитель 10.

После окончания взвешивания необходимо вновь определить нулевую точку весов и при вычислении p пользоваться ее средним арифметическим.

Взвешивание необходимо произвести на правой и левой чашках весов (см. ниже: метод двойного взвешивания).

Поправки на кажущуюся потерю веса тела в воздухе. При взвешивании в воздухе тело как бы теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненный им воздух. Чтобы получить истинный вес тела, поступают следующим образом.

Пусть V будет объем взвешиваемого тела в кубических сантиметрах, v — объем разновесок, λ — вес 1 *см*³ воздуха в граммах (при температуре и давлении атмосферы, существующих во время взвешивания). При взвешивании в воздухе тело как бы теряет $V\lambda$ граммов, а разновески — $v\lambda$ граммов. Пусть P — истинный вес тела, а p — истинный вес разновесок, отмеченный на них цифрами. Тогда при равновесии в воздухе

$$P - V\lambda = p - v\lambda$$

или

$$P = p + (V-v)\lambda.$$

Пусть D есть истинный вес 1 см^3 взвешиваемого тела (численно равный плотности), а d — такая же величина для разновесок; тогда имеем

$$VD = P \quad \text{и} \quad vd = p.$$

Подставляя эти значения V и v в предыдущее уравнение, получаем

$$P = p + \left(\frac{P}{D} - \frac{p}{d}\right)\lambda,$$

откуда, решая относительно P ,

$$P = p \frac{1 - \frac{\lambda}{d}}{1 - \frac{\lambda}{D}}.$$

Производя деление числителя на знаменатель по правилам деления многочленов, получим

$$\frac{1 - \frac{\lambda}{d}}{1 - \frac{\lambda}{D}} = 1 - \frac{\lambda}{d} + \frac{\lambda}{D} - \frac{\lambda^2}{dD} + \frac{\lambda^2}{D^2} - \dots$$

Так как величины $\frac{\lambda}{d}$ и $\frac{\lambda}{D}$ всегда весьма малы, то можно отбросить все члены, начиная с $\frac{\lambda^2}{dD}$ и дальше, и тогда последнее уравнение примет вид

$$P = p\left(1 - \frac{\lambda}{d} + \frac{\lambda}{D}\right). \quad (1)$$

Величина λ зависит от давления, температуры и влажности воздуха, но обыкновенно ее считают постоянной и равной $0,0012 \text{ г/см}^3$, такая точность в большинстве случаев бывает достаточна. Разновески приготавливаются обыкновенно из латуни, для которой

$$d = 8,4 \text{ г/см}^3.$$

Подставляя для d и λ их величины в уравнение (1), получаем

$$P = p + p \cdot 0,0012\left(\frac{1}{D} - 0,12\right),$$

где p обозначает неисправленный вес тела, т. е. полученный непосредственно из взвешивания, и P — его истинный вес, т. е. вес, приведенный к пустоте.

Особые методы взвешивания. Все сказанное выше относится к простому взвешиванию, т. е. такому, которое дает число, точное в пределах чувствительности и постоянства весов, когда длины обоих плеч коромысла одинаковы. Если длины плеч различны, то вес разновесок, помещенных на одной чашке весов, не будет выражать собою веса взвешиваемого тела, помещенного на другой чашке. В последнем случае употребляются другие методы взвешивания, в частных подробностях вполне схожие с простым взвешиванием; таких методов известно три: 1) метод двойного взвешивания, 2) метод тарирования и 3) метод постоянной нагрузки.

I. *Метод двойного взвешивания* (Гаусса). При этом методе неравенство плеч коромысла несколько не влияет на полученный результат взвешивания.

Обозначим длины правого и левого плеч коромысла соответственно через l_1 и l_2 . Кладем взвешиваемое тело на левую чашку и уравновешиваем его на правой чашке со всей возможной точностью весом разновесок p_1 , производя взвешивание по всем правилам, сообщенным выше. Вследствие неравенства плеч вес тела P не будет равен p_1 . Прилагая теорему моментов сил, приложенных к точкам подвеса чашек, имеем

$$P l_2 = p_1 l_1.$$

Производим новое взвешивание, причем кладем тело P на правую чашку, а разновески — на левую. Вес последних, необходимый для уравновешивания тела P , пусть будет p_2 . По теореме моментов сил имеем в этом случае

$$P l_1 = p_2 l_2.$$

Из последних уравнений находим

$$P = \sqrt{p_1 p_2};$$

вес тела равен корню квадратному из произведения обоих весов разновесок.

Из тех же уравнений можно найти уравнение длин плеч коромысла

$$\frac{l_1}{l_2} = \sqrt{\frac{p_2}{p_1}}.$$

Но так как величины p_1 и p_2 очень мало отличаются друг от друга, то, пользуясь формулой бинома Ньютона, можно положить

$$P = \frac{p_1 + p_2}{2}, \quad (2)$$

$$\frac{l_1}{l_2} = 1 + \frac{p_2 - p_1}{2 p_1}. \quad (3)$$

Этот метод взвешивания необходимо применять при проверке разновесок. В таблице приведены допустимые погрешности при изготовлении гирь для весов разного разряда.

II. *Метод тарирования* (Борда). На правую чашку весов помещают взвешиваемое тело, а на левую кладут тару (тарой называется предмет, имеющий одинаковый вес со взвешиваемым телом; в качестве тары часто пользуются мелкой дробью) и прибавляют к этой таре для окончательного уравнивания кусочки листового олова до тех пор, пока положение равновесия, найденное из качаний коромысла, не будет одинаково с определенным перед началом взвешивания нулем весов. После этого снимают тело и на его место кладут такое количество гирь, какое необходимо для уравнивания тары, что снова определяется из качаний весов. Вес гирь будет равен в таком случае весу тела. При этом методе взвешивания влияние неравенства плеч коромысла на результат взвешивания будет устранено, а точность взвешивания будет лежать в пределах чувствительности весов.

III. *Метод постоянной нагрузки* (Менделеева). При этом методе на левую чашку весов кладется гиря предельного веса, указанного для взвешивания на данных весах, а на правую чашку — тара, точно уравнивающая эту гирю. Равновесия стараются достигнуть с возможной тщательностью.

Когда приходится взвешивать, то взвешиваемое тело помещают на левую чашку и на эту чашку кладут разновески до тех пор, пока не уравниваются тары, лежащей на правой чашке. Вес тела и разновесок, положенных для равновесия на левую чашку, будет равен весу той гири, которая первоначально лежала на ней; следовательно, вес тела равен весу гири без веса тех разновесок, которые были положены для уравнивания. Кроме постоянства чувствительности (нагрузка весов остается все время постоянной, а следовательно, постоянной остается и чувствительность весов) этот способ име-

ет еще следующие выгоды: он требует каждый раз только одного взвешивания, следовательно, сокращает время и уменьшает погрешность, могущую происходить от многократного взвешивания.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Принцип точного взвешивания.
2. Почему при разных нагрузках может изменяться чувствительность весов?
3. Как определить нулевую точку весов?
4. Что такое чувствительность весов?
5. Как определить цену деления шкалы весов?

Л и т е р а т у р а

1. Н. М. Рудо, Весы, теория, устройство, регулировка и проверка, Машгиз, 1957.
2. Н. М. Рудо, Точное взвешивание, Машгиз, 1945.
3. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности. М.: Высшая школа, 1986, с. 108, 159, 216-217.
4. Иверонова В.И. Физический практикум. М.-Л.: ГИТТЛ, 1951, с. 51-61.

Допустимые погрешности для гирь в мг

Масса гирь	Образцовые гири первого разряда		Аналитические гири		Технические гири первого класса
	Допустимая погрешность	Погрешность определения	Допустимая погрешность	Погрешность определения	
<i>г</i>	<i>в мг</i>				
500	+5	1,0	-	-	+10
200	+2	0,2	-	-	+4
100	+1	0,2	+1	0,3	+3
50	+1	0,2	+1	0,2	+3
20	+1	0,1	+1	0,2	+2
10	+0,5	0,1	+0,6	0,2	+2
5	+0,5	0,1	+0,6	0,1	+2
2	+0,5	0,05	+0,6	0,1	+1
1	+0,5	0,05	+0,6	0,1	+1
<i>мг</i>					
500	±0,4	0,02	±0,3	0,05	±0,5
200	±0,4	0,02	±0,3	0,05	±0,5
100	±0,4	0,02	±0,3	0,05	±0,5
50	±0,4	0,02	±0,3	0,05	±0,5
20	±0,2	0,02	±0,2	0,03	±0,5
10	±0,2	0,01	±0,2	0,03	±0,5
5	±0,1	0,01	±0,1	0,02	±0,5
2	±0,1	0,01	±0,1	0,02	±0,2
1	±0,1	0,01	±0,1	0,02	±0,1

П р и м е ч а н и е. Погрешности рейтеров не должны превышать допустимых погрешностей для гирь той же номинальной массы. Разность в массе одноименных рейтеров из одного набора не должна превышать 0,1 мг