Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Практическое пособие

для студентов физических специальностей университета

Составители:

Т. П. ЖЕЛОНКИНА, С. А. ЛУКАШЕВИЧ

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2016

УДК 53.082(076)
ББК 30.10я73
М545

Рецензенты:

кандидат физико-математических наук В. Е. Гайшун,
кандидат технических наук Н. А. Ахраменко

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Методы измерений : практическое пособие / сост.:
М545 Т. П. Желонкина, С. А. Лукашевич ; М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2016. – 38 с.
ISBN 978-985-577-198-3

Целью практического пособия является ознакомление студентов с правилами пользования различных приборов при измерении физических величин, а также приобретение элементарных навыков экспериментирования. Оно включает также примеры решения задач по курсу.

Практическое пособие адресовано студентам физических специальностей университета.

УДК 53.082(076)
ББК 30.10я73

ISBN 978-985-577-198-3

Оглавление

Введение

Нет ни одной области практической деятельности человека, где можно было бы обойтись без количественных оценок, получаемых в результате.

Человек появляется на свет, еще не имеет имени, но уже в первые минуты ему приходится сталкиваться с линейкой, весами, термометром. Каждый день нам приходится что-либо измерять. Например, стоя перед лужей и решая – прыгнуть через нее или обойти, мы соизмеряем длину лужи и свои возможности. Это и есть измерение – нахождение соотношения между измеряемой величиной (длиной лужи) и «единицей» этой величины (возможной длиной прыжка).

На важность измерений указывали многие ученые древности. Среди них особо хотелось бы выделить Д. И. Менделеева, который внес огромный вклад не только в химию, воздухоплавание, метеорологию, но и метрологию – науку об измерениях, которой он посвятил многие годы своей жизни, став основателем как теоретической, так и прикладной метрологии. Вспомним некоторые его изречения об измерениях: «…опытное исследование и измерение одни способны наводить мысль на правильные пути и приводить к следствиям, подлежащим опытной измерительной проверке…», «…наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немыслима без меры…».

Таким образом, свойства, присущие объектам материального мира, могут быть охарактеризованы физическими величинами. Физическая величина – это свойство, присущее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта, то есть, чтобы определить физическую величину, ее надо измерить. Например, работа характеризует свойство материальных тел при их взаимодействии передавать друг другу некоторое количество энергии; показатель преломления характеризует свойство света изменять скорость распространения при переходе из одной среды в другую и так далее.

С количественной стороны одинаковые свойства различных материальных объектов характеризуются численными значениями физических величин.

Сравнить между собой можно только численные значения одной и той же физической величины. Таким образом, качественно одна и та же физическая величина может иметь различные количественные выражения. Например, скорость света в вакууме приблизительно равна 300 000 000 м/с, скорость звука в воздухе 340 м/с.

Среди оценок физических величин, проводимых опытным путем, особое место занимают измерения.

Измерением называется нахождение физической величины опытным путём, как правило, с помощью специальных технических средств. Являясь одним из способов познания природы, измерения содействуют научным открытиям и их внедрению в практику. Изучение явлений природы, отыскание законов, которым эти явления подчинены, связаны с измерениями и сводятся в конечном итоге к определению количественных соотношений, через которые вскрываются и качественные стороны изучаемых предметов и явлений.

Если A – измеряемая величина, B – единица измерения и n – численное значение измеряемой величины, то на основании определения имеем

$$A = nB.$$

Это соотношение является основным уравнением измерений. Правая его часть называется результатом измерения. Единица измерения есть число именованное, следовательно, и результат измерения есть также всегда число именованное. Принято различать два основных вида измерений. *Прямые измерения*, при которых результат получается из опытных данных нескольких измерений одной и той же величины. При помощи прямых измерений не всегда можно измерить физическую величину. *Косвенные измерения* – измерения, при которых результат получается на основании опытных данных прямых измерений нескольких различных величин, связанных с измеряемой физической величиной определенной функциональной зависимостью.

1 Простейшие измерения

В жизни нам приходится производить самые разнообразные измерения. Что бы мы ни изготовляли: коробочку, полочку для книг, модель какой-нибудь машины и так далее, мы обязательно производим измерения. А если поторопимся, плохо рассчитаем, недостаточно точно измерим, то и вещь не получится, погибнет материал и зря пропадет труд. А ведь такие случаи бывают!

Старая русская пословица говорит: «Семь раз отмерь, а один раз отрежь». Эта пословица существует с незапамятных времен, значит, уже давно люди понимали необходимость точных измерений. Мы живем в век высокоразвитой техники, в век сложнейших машин, при изготовлении которых приходится производить многие весьма точные измерения. Научиться производить точные измерения совершенно необходимо.

Наблюдая явления и ставя опыты, ученые одновременно производят и самые разнообразные измерения. Эти измерения нужно уметь производить правильно.

1.1 Сведения из истории мер

Первое, что научился измерять человек, – это протяженность, длину. Вначале людей удовлетворяли субъективные меры длины, которые устанавливал правитель данной страны (это, в частности, отразилось в названии линейки, которая по-английски именуется «рулер», что означает «правитель»; отсюда же и рулетка). Так, например, английский ярд был определен как расстояние от конца носа короля до большого пальца его правой вытянутой руки. Позднее изготовили пруток из бронзы, равный этой величине, он служил эталоном ярда.

В средние века в Европе за единицу измерения длины была принята мера, которая определялась следующим образом. Шестнадцать человек становились в затылок друг другу так, что пятка предыдущего касалась концов пальцев ноги стоящего за ним. Одна шестнадцатая длины такой «цепочки» составляла «фут», что по-английски означает «нога», «ступня». При определении, чему равен фут, меньшая длина ступни одного человека компенсировалась большей длиной ступни другого, поэтому средние значения фута мало отличались друг от друга.

Существовали курьезные меры длины. Так, при покупке земли индейцы в качестве единицы измерения принимали территорию, которую человек мог обойти или обежать за один день. Поэтому покупатели обычно нанимали для этой цели самого быстрого бегуна. (Вспомните аналогичную историю, описанную Л. Н. Толстым в рассказе «Много ли человеку земли нужно»).

В России субъективными мерами длины были пядь, шаг, локоть. Большие расстояния измерялись полётом стрелы. С развитием торговли и ремесел появились объективные узаконенные меры длины. В России такой мерой стал аршин. Три аршина составляли сажень, 500 саженей – версту (1,0668 км).

В конце восемнадцатого века группа французских ученых предложила метрическую систему мер «на все времена и для всех народов». Она строилась на двух основных единицах: метре и килограмме с производными и десятичными подразделениями. Благодаря простоте и удобству применения метрическая система мер была принята многими странами, в том числе и Россией.

В качестве единицы длины – метра – была принята одна сорокамиллионная часть земного меридиана, проходящего через Париж. В конце XVIII века специальная экспедиция по поручению Французской академии наук произвела измерение длины отрезка земного меридиана и установила, чему равен метр. На основе полученных данных в 1799 году был изготовлен первый эталон (образец) метра, так называемый «архивный метр», а по нему позднее был изготовлен ряд новых эталонов метра. Один из этих эталонов в виде платиноиридиевого стержня (рисунок 1) был принят за международный прототип метра, на котором длина в 1 м была ограничена двумя тонкими чертами.

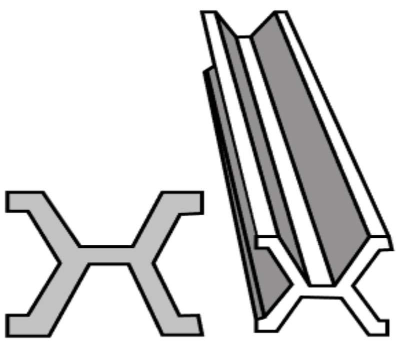


Рисунок 1 – Эталон метра

В 1872 году Международная метрическая комиссия решила принять имеющийся эталон метра в качестве исходной меры длины. Была изготовлена из сплава платины и иридия 31 копия метра. Копия № 6 была объявлена международным прототипом метра. Он и две его контрольные копии хранятся в международном бюро мер и весов в Севре (пригород Парижа). Другие копии были розданы странам – участницам Генеральной конференции по мерам и весам. России достались копии № 11 и № 28. Они хранятся во Всесоюзном научно-исследовательском институте имени Д. И. Менделеева в Санкт-Петербурге.

В 1960 году XI Генеральная конференция по мерам и весам решила вернуться к естественной воспроизводимой единице длины и дала новое определение метра. Ее резолюция гласит: «…конференция, принимая во внимание, что международный прототип не определяет метр с точностью, достаточной для современных потребностей, и что, с другой стороны, желательно принять естественный и неразрушимый эталон, решает: метр – длина, равная 1 650 763,73 длины волн в вакууме излучения... атома криптона-86». Введение нового эталона длины повысило точность измерения в сто раз. На основании правил, приложенных к определению метра, в любой стране можно воспроизвести современный эталон длины. Для этой цели служит специальный прибор – компаратор. С его помощью можно изготовить образцовые меры метра из какого-либо стойкого сплава. После того как единица измерения выбрана, измерить длину нетрудно. Надо просто посмотреть, сколько раз метр (или какая-либо его часть) укладывается на измеряемой величине.

В настоящее время метр определяют как расстояние между двумя отметками на международном эталоне, который хранится в Севре, близ Парижа.

Длины имеющихся в России копий с этого эталона, измеренные с точностью до 0,001 мм при 0°, оказались равными: эталон № 11 равен 999,995 мм, эталон № 28 равен 1000,005 мм.

1.2 Соотношения между единицами

Измерение длин. Измеряя, например, расстояние между домом и школой шагами, мы сравниваем это расстояние с длиной нашего шага. В этом случае шаг является для нас единицей длины. Но такая единица длины обладает серьезным недостатком. Недостаток ее – в непостоянстве длины шага. Длина шага у разных людей может быть неодинакова. Поэтому одна и та же длина, измеренная шагами разных людей, будет выражена разными числами.

Этого недостатка можно избежать, если условиться за единицу длины принимать расстояние между двумя черточками, нанесенными на линейке. Так была установлена единица длины – метр.

Предположим, что при измерении длины комнаты метр уложился четыре раза. Полученный результат измерения следует записать так: длина комнаты 4 м. При записи результатов измерения необходимо вслед за числом писать единицу меры. Если бы мы отбросили название единицы меры и записали просто: длина комнаты 4, то это было бы совсем непонятно, что нужно понимать под этой записью. Ведь та же самая длина, измеренная в других единицах, выразилась бы и другим числом: в сантиметрах – числом 400, в дециметрах – числом 40 и так далее.

Результат измерения выражают в разных единицах, в зависимости от размера измеряемой величины и от целей измерения. Так, например, расстояние от Москвы до Санкт-Петербурга удобнее выражать в километрах, а толщину листа жести в миллиметрах или долях миллиметра.

Наиболее употребительные единицы длины в метрической системе мер измерения:

1 километр (сокращенно *км*) = 1000 метрам (*м*); приставка кило (греческое слово) – тысяча,

1 *м* = 10 дециметрам (*дм*),

1 *дм* = 10 сантиметрам (*см*),

1 *см* = 10 миллиметрам (*мм*),

1 *мм* = 1 000 микронам (μ), μ – греческая буква «ми».

Приставки: деци, санти, милли – происходят от латинских слов: decem – десять, centrum – сто, mille – тысяча. Слово «микрон» происходит от греческого слова «микрос» – малый.

1 μ = 1 000 миллимикронам (*м*μ).

Масштабная линейка. Для измерения небольших длин применяются измерительные линейки, или, как часто их называют, масштабные линейки.

При измерении длины масштабная линейка прикладывается к измеряемому предмету (рисунок 2) так, чтобы нулевая отметка линейки совпадала с точкой, от которой начинается измерение. Отметка, совпадающая с другой точкой или концом предмета, покажет величину измеряемой длины. В масштабных линейках наименьшее деление шкалы (расстояние между двумя соседними отметками) чаще всего равно 1 *мм.*

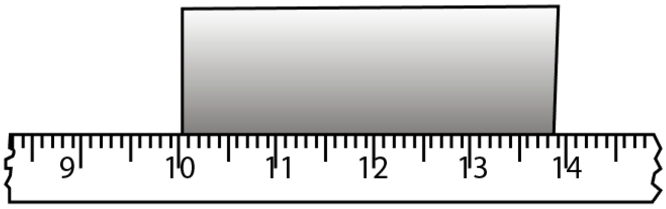


Рисунок 2 – Измерение длины масштабной линейкой

Результаты измерений записывают, пользуясь исключительно десятичными дробями. Например, длина предмета, изображенного на рисунке 2, равна 3,9 *см.*

Рулетка. При обмере комнаты, небольших участков земли и для многих других измерений в практике часто применяют измерительные ленты – рулетки. Рулетка представляет собой прочную матерчатую или стальную ленту с делениями на метры, сантиметры, иногда на миллиметры (рисунок 3).

Рисунок 3 – Рулетка

2 Измерение длин, площадей, объемов и углов

2.1 Нониусы

Нониусом (линейным или круговым) называется специальная шкала (рисунок 4), дополняющая обычный масштаб и позволяющая повысить точность измерений в 10–20 раз.

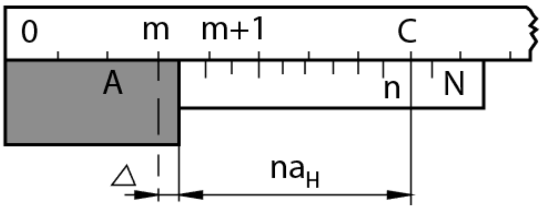


Рисунок 4 – Линейный нониус

Линейный нониус представляет собой небольшую линейку, скользящую вдоль основной шкалы. Пусть число делений шкалы нониусной линейки равно N, длина одного деления нониуса равна $a_н$, а длина одного деления основной шкалы равна $a_ш$. Нониусы изготавливаются таким образом, чтобы длина N делений нониуса была равна длине $kN - 1$ делений шкалы, где k – целое число, то есть

$$Na_ш = (kN - 1)\,a_ш. \tag{2.1}$$

Измерим длину какого-либо предмета с помощью масштабной линейки с нониусом. Пусть начало его совпадает с нулем основной шкалы, а конец находится между m и $m + 1$ делениями ее, причем n–е деление нониуса совпадает с каким-то делением шкалы. Длина предмета

$$l = ma_ш + \Delta,$$

где $\Delta = AB$ величина, которую необходимо определить.

Из рисунка 4 следует, что отрезок AC, содержащий целое число делений шкалы, равен

$$AC = na_ш + \Delta.$$

Подставим в это выражение значение $a_ш$ из уравнения (2.1), тогда

$$AC = nka_ш + \left(\Delta - \frac{n}{N}a_ш\right). \tag{2.2}$$

В этом выражении величины n и k – целые числа, значит и величина $nka_ш$ содержит целое число делений шкалы. Так как $n < N$, то и $\frac{n}{N}a_ш < a_ш$.

Величина Δ также меньше одного деления, то есть $\Delta < a_ш$. Следовательно, и разность $\left(\Delta - \frac{n}{N}a_ш\right) < a_ш$ будет меньше одного деления шкалы.

Но поскольку величина AC, как следует из рисунка 4, содержит целое число делений $a_ш$, то разность $\left(\Delta - \frac{n}{N}a_ш\right)$ в уравнении (2.2) должна быть равна 0, то есть

$$\left(\Delta - \frac{n}{N}a_ш\right) = 0.$$

Отсюда можно найти величину Δ:

$$\Delta = \frac{n}{N}a_ш.$$

Таким образом, длина предмета

$$l = ma_ш + \frac{n}{N}a_ш. \qquad (2.3)$$

Положим $m = 0$ и $n = 1$, тогда

$$l_0 = \frac{a_ш}{N}, \qquad (2.4)$$

где l_0 – представляет собой наименьшую величину, которую можно измерить с помощью масштаба с нониусом, и называется величиной отсчета по нониусу. Из уравнения (2.3) следует правило пользования линейкой с нониусом.

Измеряемый предмет помещается между нулевыми делениями шкалы и нониуса. Длина предмета равна числу целых делений шкалы, расположенных слева от нулевого деления нониуса, плюс величина отсчета по нониусу, умноженная на номер деления нониуса, совпадающего с некоторым делением шкалы. Погрешность нониуса равна l_0.

Круговой нониус представляет собой дуговую линейку (рисунок 5), скользящую вдоль кругового масштаба (лимба), предназначенного для измерения углов. Так как длина дуги S окружности радиуса R и центральный угол φ связаны соотношением

$$\varphi = \frac{S \cdot 180^\circ}{R\pi},$$

то измерение углов можно заменить измерением дуг.

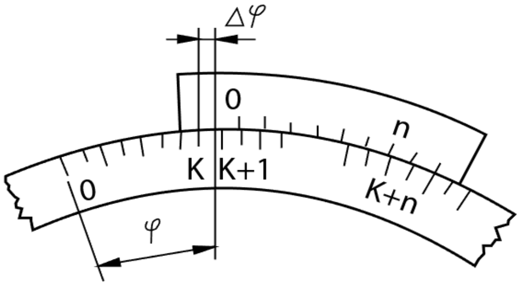


Рисунок 5 – Круговой нониус

В принципе круговой нониус ничем не отличается от линейного и для него справедливы те же формулы. Поэтому формулу (2.3) для случая кругового нониуса можно переписать в таком виде:

$$\varphi = m\nu + n\frac{\nu}{N},$$

где ν – цена деления лимба.

2.2 Измерение линейных размеров

Штангенциркуль. Штангенциркуль (рисунок 6) служит для линейных измерений, не требующих высокой точности. Отсчетным приспособлением у всех конструкций штанген-инструментов служат шкала штанги и линейный нониус. Цена деления основной шкалы штанги равна обычно 1 *мм*. Нониусы штангенциркулей изготавливаются таким образом, что k = 1, 2, 5 (см. формулу 2.1). Погрешность нониусов обычно равна 0,1; 0,05 или 0,2 *мм*.

Нониус укреплен в подвижной рамке, скользящей вдоль основной шкалы штанги. При нулевом показании инструмента нуль нониуса совпадает с нулевым штрихом основной шкалы. При измерении детали подвижная рамка *1* с нониусом смещается и деталь зажимается губками *2* штангенциркуля. Существует несколько видов штангенциркулей. Они отличаются типом и количеством измерительных губок, длиной штанги, типом нониусов или наличием некоторых вспомогательных деталей. При наличии у штангенциркулей верхних *3* и нижних *2* измерительных губок, его можно применить как для внутренних измерений, так и для внешних. Часто штангенциркуль снабжается линейкой *4* служащей для измерения глубин.

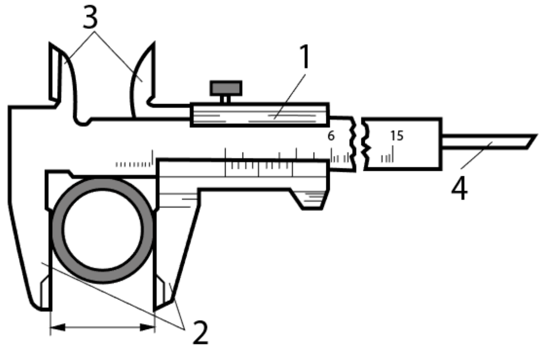


Рисунок 6 – Штангенциркуль

Микрометр. Для более точных измерений применяют микрометрические инструменты. Они бывают нескольких типов: микрометр для наружных измерений, микрометрический глубиномер и микрометрический нутромер.

Микрометр для наружных измерений (рисунок 7) состоит из полого стержня, жестко соединенного скобой.

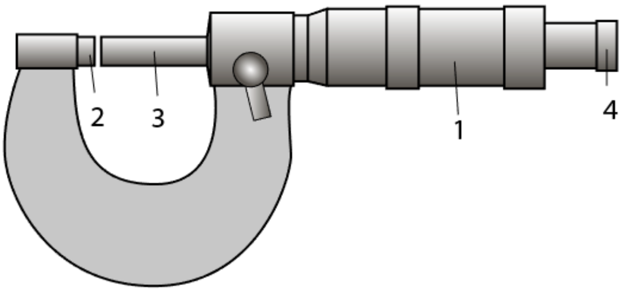


Рисунок 7 – Микрометр

В полость стержня ввинчен микрометрический винт. При измерении предмет зажимается между неподвижным стержнем *2* и подвижным торцом микрометрического винта *3*. Микровинт вращают, держась за трещотку *4*, вместе с микровинтом вращается корпус барабана *1*, перемещаясь при этом поступательно относительно стержня. Отсчет ведется по горизонтальной шкале, нанесенной на полый стержень, и по шкале барабана. Отсчетное устройство микрометра состоит из двух шкал. Горизонтальная шкала стержня представляет собой двойную шкалу с ценой деления 0,5 *мм*, нанесенную по обе стороны продольной черты таким образом, что верхняя сдвинута относительно нижней наполовину деления. Цена деления шкалы барабана может быть установлена следующим образом: пусть число делений круговой шкалы барабана n = 50. Шаг микровинта h = 0,5 *мм*, то есть одному полному обороту микровинта (и барабана) соответствует линейное перемещение края барабана на 0,5 *мм*. Цена деления круговой шкалы

$$a = \frac{h}{n} = \frac{0,5}{50} = 0,01\ мм.$$

Отсчет производится следующим образом: по горизонтальной шкале стержня отсчитывается размер измеряемого предмета с точностью до 0,5 *мм*. Сотые доли миллиметра отсчитываются по круговой шкале барабана. Полученные результаты складываются. Число сотых долей соответствует делению шкалы, расположенному против продольной черты на стержне. Порядок отсчета одинаков для всех типов микрометрических инструментов. Микрометры изготовляются с пределами измерений 0–25, 50, 75 мм и так далее до 1600 *мм*. Увеличение пределов измерений достигается увеличением размера скобы.

Катетометр. Катетометр (рисунок 8) представляет собой укрепленную на треножнике *1* вертикальную линейку *2* с делениями, специально приспособленную для измерения разности уровней двух точек, находящихся на одной или на разных вертикалях.

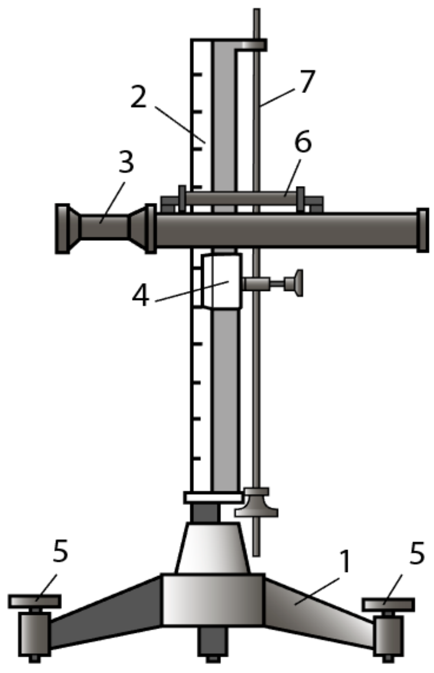


Рисунок 8 – Катетометр

Вдоль вертикального стержня *7* передвигается муфта с укрепленной на ней зрительной трубой *3*, установленной перпендикулярно к стержню. В окуляре трубы находится визирная нить или крест нитей. Нониусная шкала *4* помещается обычно на муфте. Положение той или иной искомой точки определяется по формуле (2.3). Перед измерениями необходимо произвести строго вертикальную установку линейки (и горизонтальную – трубы), что достигается при помощи установочных винтов *5*. Правильная установка прибора проверяется по уровню *6*. После установки зрительную трубу наводят на одну из точек, для чего перемещают муфту с трубой вдоль стержня; затем таким же образом – на другую точку и вычисляют искомую высоту, равную разности отсчетов.

3 Измерение толщины и радиусов кривизны поверхности

3.1 Сферометр

Сферометр предназначен для измерения радиусов сферических поверхностей и толщин пластинок. Он состоит из треножника T с вертикальной линейкой L и полого микрометрического винта M с лимбом K (рисунок 9).

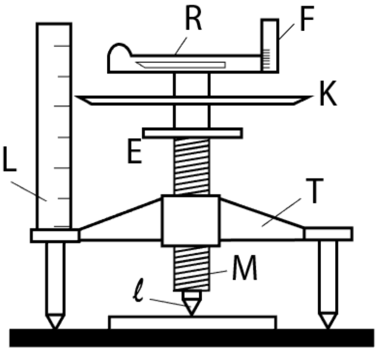


Рисунок 9 – Сферометр

Основания ножек сферометра находятся в вершинах равностороннего треугольника. На линейке наносятся деления обычно через каждые 0,5 *мм*; один оборот микрометрического винта соответствует его вертикальному перемещению также на 0,5 *мм*. Лимб разделен на 500 частей. Таким образом, поворот лимба на одно деление соответствует вертикальному перемещению винта на $\frac{0,5}{500} = 0,001\,мм$. Это означает, что цена деления лимба равна 0,001 *мм*.

Момент соприкосновения острия l микрометрического винта M с твердой поверхностью фиксируется по поднятию рычажка R. Угол отклонения рычажка отмечается по шкале F. Винт вращают за головку E.

1 *Измерение толщины пластинки*. Перед измерением проверяют исправность сферометра. Для этого поворачивают лимб до совпадениях его нулевого деления с ребром линейки. Тогда верхняя (отсчетная) плоскость лимба, по которой всегда ведется отсчет, должна совпадать с одним из делений линейки.

Затем устанавливают сферометр в нулевое положение. Для этого ставят его на отполированную контрольную плоскость так, чтобы на ней находились все три ножки сферометра, и вращают винт M до соприкосновения его нижнего конца с контрольной плоскостью. Определяют положение лимба N_0 (в *мм*) по вертикальной линейке (с точностью до 0,5 *мм*). Следует учитывать лишь те деления, которые находятся ниже отсчетной плоскости лимба. Далее определяют то деление n_0 лимба, которое совпадает с ребром линейки L. Измерения повторяют 5 раз, перемещая сферометр по контрольной плоскости. При всех измерениях положение рычажка R должно оставаться одинаковым. Для того, чтобы учесть мертвый ход винта, следует устанавливать каждый раз рычажок в выбранное положение вращением лимба лишь в одном направлении, например, в направлении часовой стрелки. Вычисляют среднее значение n_0 (в *мм*). Примерная запись:

$$N_0 = 26{,}5\ мм\ ; \quad n_0 = 0{,}387\ мм\ .$$

Измерения толщины производят так. Кладут измеряемую пластинку на контрольную плоскость (рисунок 9) и отвертывают винт M до тех пор, пока под его конец можно будет подложить пластинку, и определяют положения лимба N и n, соответствующие соприкосновению острия винта с пластинкой. Измерения проделывают 5–6 раз, следя за тем, чтобы положение рычажка R оставалось прежним. Вычисляют среднее значение n. Толщину пластинки определяют по формуле:

$$d = \left[\left(N + n\right) - \left(N_0 + n_0\right)\right] мм. \qquad (3.1)$$

Находят погрешности измерений по формуле

$$\Delta d = (\Delta n + \Delta n_0)\ мм, \qquad (3.2)$$

так как в большинстве случаев N и N_0 остаются постоянными. Если же N и N_0 изменяются в процессе однотипных измерений, то следует находить средние значения чисел $(N_0 + n_0)$ и $(N + n)$.

2 *Определение радиуса кривизны сферической поверхности*. Определяют нулевую установку сферометра. После этого необходимо отвернуть винт M с таким расчетом, чтобы сферометр можно было установить всеми ножками на исследуемую сферическую поверхность (рисунок 10), и довести (закручивая винт M) до соприкосновения его конца с этой поверхностью. Отсчитывают соответствующие деления N_1 на линейке и n_1 на лимбе. Высоту сферического сегмента h, отсеченного плоскостью, проходящей через концы ножек B_1, B_2, B_3 (рисунок 11), вычисляют по формуле (3.1).

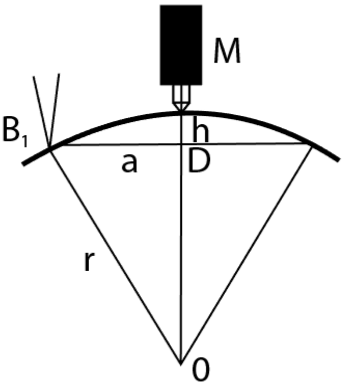


Рисунок 10 – Исследуемая
сферическая высоты поверхности

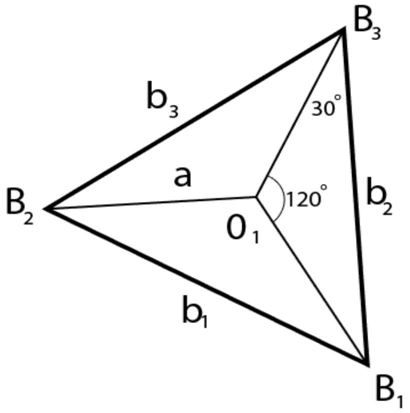


Рисунок 11 – Определение
сегмента

Радиус r кривизны исследуемой поверхности может быть определен, если известны высота сегмента h и среднее расстояние между ножками сферометра b. Действительно

$$r^2 = OD^2 + a^2 = \left(r-h\right)^2 + a^2 ,$$

а так как $a = \dfrac{b}{\sqrt{3}}$ (рисунок 11), то

$$r = \frac{b^2+3h^2}{6h}. \qquad (3.3)$$

Для определения величины b сферометр прижимают к листу чистой бумаги и штангенциркулем (с точностью до 0,1 *мм*) определяют расстояния b_1, b_2, b_3 между отпечатками его ножек; затем вычисляют среднее значение $\bar{b}$.

Погрешность вычисляют по формуле:

$$\frac{\Delta r}{\bar{r}} = \frac{\dfrac{1}{\overline{\left(b^2+3h^3\right)\left(2b\cdot\Delta b+3h^2-b^2\right)\Delta h}}}{h}. \qquad (3.4)$$

3.2 Вертикальный оптиметр

Оптиметр служит для измерения контактным методом наружных линейных размеров путем сравнения с калибрами или деталями-образцами.

Основанием вертикального оптиметра ИКВ (рисунок 12) служит массивный штатив *1*, на котором укреплен предметный столик *2* для установки измеряемых образцов; по стальной колонке штатива перемещается труба *3* оптиметра с оптическим отсчетным устройством. Ось трубы расположена вертикально. В нижней части трубы укрепляется штифт *4*, соприкасающийся с поверхностью измеряемого образца. Отсчеты при измерении производятся путем наблюдений в окуляр трубы *5*.

Оптическая схема трубы оптиметра изображена на рисунке 13. В нее входят: зеркало объектив *Об*, призма $П_2$ полного отражения, шкала *Ш* с указателем и окуляр *Ок*. Деления шкалы нанесены на одну половину плоскопараллельной пластинки, а указатель – на другую [1, 4].

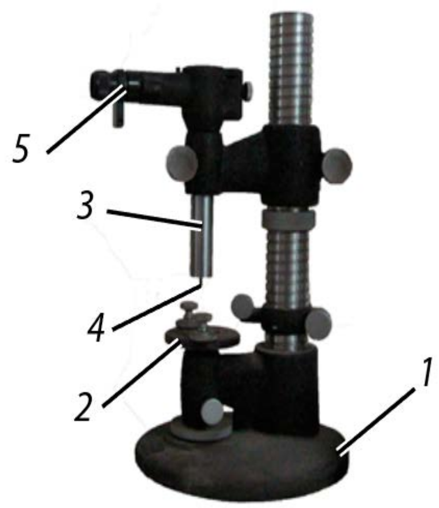


Рисунок 12 – Вертикальный оптиметр

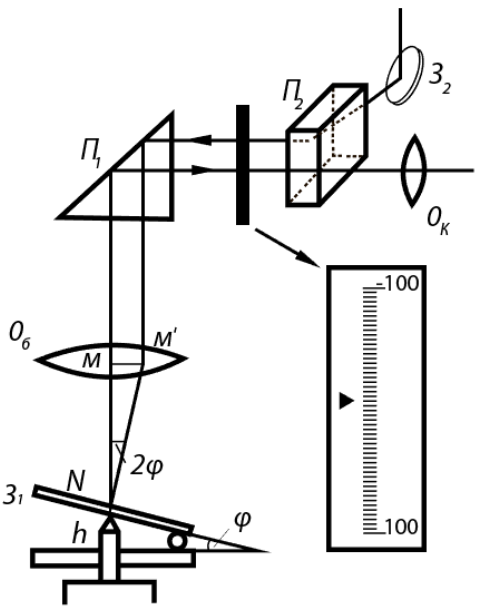


Рисунок 13 – Оптическая схема трубы оптиметра

Шкала со стороны окуляра закрыта призмой так, что через него можно видеть только указатель и изображение шкалы, отраженное от зеркала $З_1$. Лучи света, отражаясь от зеркала $З_2$ через призму $П_2$, освещают шкалу. Пройдя через призму $П_1$ и объектив *Об*, они параллельным пучком падают на зеркало $З_1$, отражаясь от которого, снова попадают в объектив, проходят призму $П_1$, шкалу, окуляр и попадают в глаз наблюдателя. При перемещении измерительного штифта вдоль вертикальной оси зеркало $З_1$ будет отклоняться на некоторый угол φ, вследствие чего изображение шкалы в поле зрения окуляра тоже будет перемещаться относительно неподвижного указателя. Перемещение штифта на величину *h* (рисунок 13) вызывает наклон зеркала на угол φ, который определяется соотношением

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{h}{b},$$

где b – расстояние от оси вращения зеркала до точки касания штифта.

Луч при отражении от зеркала отклонится на угол 2φ, и точка M переместится в точку M', то есть на расстояние H. Из $\Delta MNM'$ имеем:

$$\operatorname{tg}2\varphi = \frac{H}{MN},$$

где MN – фокусное расстояние объектива.

Заменяя $\operatorname{tg}\varphi$ и $\operatorname{tg}2\varphi$ углами φ (вследствие их малости), из двух равенств получим соотношение между перемещением штифта h и смещением шкалы H:

$$\frac{H}{h} = \frac{2MN}{b}.$$

Шкала имеет 200 делений, расположенных симметрично по обе стороны от нуля. Механические и оптические соотношения системы оптиметра подобраны так, что видимое в окуляр смещение шкалы на одно деление соответствует осевому перемещению штифта на 0,001 *мм*.

Целью работы является снятие профилограммы тонкой проволочки, определение ее среднего диаметра и максимальной относительной ошибки [8].

Проволоку укладывают в канавку предметного столика *2*, штифт *4* приводят в соприкосновение с ней. Проволоку протягивают параллельно к масштабной линейке. Через каждые 5 *мм* снимают показания и строят график $D = f(x)$, откладывая по оси ординат абсолютное значение диаметра:

$$D = n_1 - n_0,$$

где n_0 – показание прибора при соприкосновении штифта *4* с дном канавки;

n_1 – с поверхностью проволоки.

Средний диаметр вычисляют по формуле

$$\overline{D} = \frac{\int_0^{-1} D \cdot dx}{l},$$

где l – общая длина проволоки.

Значение интеграла определяют как площадь под кривой $D = f(x)$. Проводят прямую, параллельную оси x на расстоянии D от начала координат. Находят ΔD_{MAX} как максимальное отклонение кривой от этой прямой. Вычисляют

$$\varepsilon_{MAX} = \frac{\Delta D_{MAX}}{\overline{D}}.$$

3.3 Планиметр

Планиметр – прибор, предназначенный для определения площади (рисунок 14). Он состоит из двух линеек R и L, связанных между собой осью вращения. На конце линейки R имеется острие O, которое неподвижно укрепляется на чертеже (полюс). Линейка L заканчивается острием B, которым обводят контур измеряемой площади.

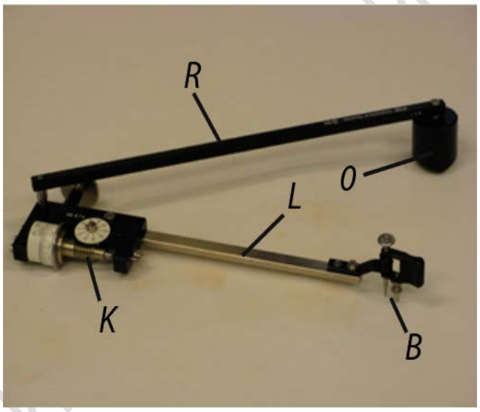


Рисунок 14 – Планиметр

На оси, параллельной линейке R, насажено вращающееся колесико K. Число его полных оборотов отмечается на плоском циферблате, а неполная часть дуги отсчитывается на барабане, разделенном на 100 частей. Барабан снабжен нониусом, позволяющим вести отсчеты с точностью до 0,001 *мм*. Обычно планиметр устанавливают так, чтобы полюс O находился вне измеряемой площади [1, 8]. Ведущее острие B ставят на любую точку контура, делают отсчет n_0 по циферблату, барабану и нониусу, тщательно обводят острием B весь контур и делают новый отсчет n. Измеряемая площадь S определяется по формуле

$$S = C(n - n_0),$$

где C – постоянная планиметра, определяемая размерами его частей.

Постоянная C определяется опытным путем. Измеряют площадь S_0 круга или квадрата и, вычислив ее по формуле, находят

$$C = \frac{S_0}{n - n_0},$$

где n и n_0 – отсчеты до и после обвода контура. Если размеры фигуры не позволяют сделать измерение при наружном положении полюса, ее разбивают на несколько частей и определяют площадь каждой из них.

3.4 Теодолит

Углы обычно измеряют в градусной мере (градусы, минуты, секунды), реже – в радианной. За рубежом широко применяется градовая мера измерения углов.

При геодезических работах измеряют не углы между сторонами на местности, а их ортогональные (горизонтальные) проекции, называемые горизонтальными углами. Так, для измерения угла *ABC*, стороны которого не лежат в одной плоскости, нужно предварительно спроектировать на горизонтальную плоскость точки *A*, *B*, и *C* (рисунок 15) и измерить горизонтальный угол $abc = \beta$.

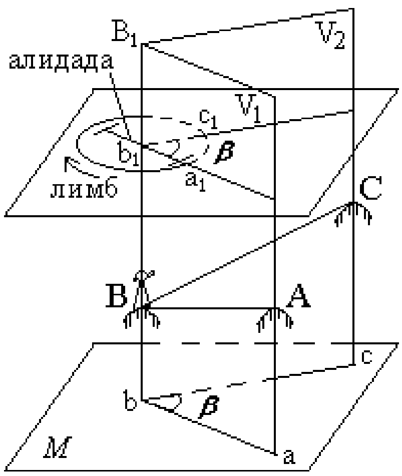


Рисунок 15 – Принцип измерения горизонтального угла

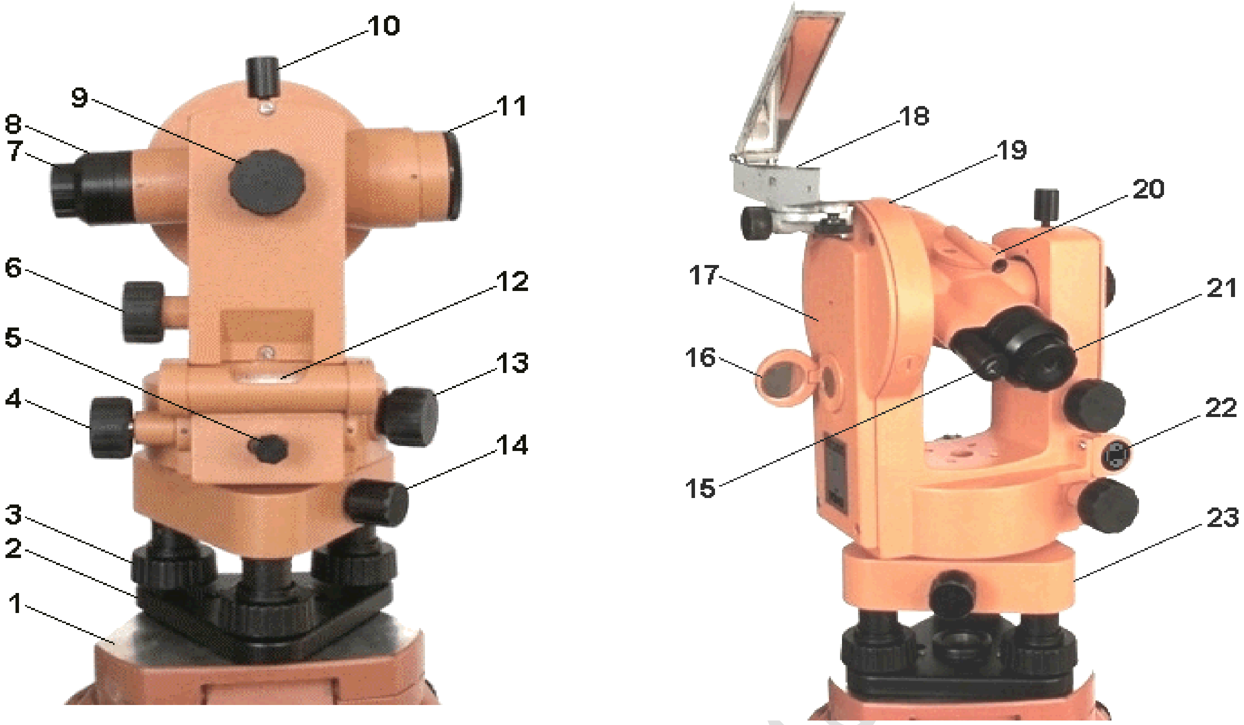
Рассмотрим двугранный угол между вертикальными плоскостями V_1 и V_2 , проходящими через стороны угла *ABC*. Угол β для данного двугранного угла является линейным. Следовательно, углу β равен всякий другой линейный угол, вершина которого находится в любой точке на отвесном ребре BB_1 двугранного угла, а стороны его лежат в плоскости, параллельной плоскости M. Итак, для измерения величины угла $abc = \beta$ можно в любой точке, лежащей на ребре BB_1 двугранного угла, допустим в точке b_1, установить горизонтальный круг с градусными делениями и измерить на нем дугу a_1c_1, заключенную между сторонами двугранного угла, которая и будет градусной мерой угла $a_1b_1c_1$, равной β, то есть угол $abc = \beta$. Измерения горизонтальных проекций углов между линиями местности производят геодезическим угломерным прибором теодолитом. Для этого теодолит имеет горизонтальный угломерный круг с градусными делениями, называемый лимбом. Стороны угла проектируют на лимб с использованием подвижной визирной плоскости зрительной трубы. Она образуется визирной осью трубы при её вращении вокруг горизонтальной оси. Данную плоскость поочередно совмещают со сторонами угла BA и BC, последовательно направляя визирную ось зрительной трубы на точки A и C. При помощи специального отсчетного приспособления алидады, которая находится над лимбом соосно с ним и перемещается вместе с визирной плоскостью, на лимбе фиксируют начало и конец дуги a_1c_1, беря отсчеты по градусным делениям. Разность взятых отсчетов является значением измеряемого угла β.

Лимб и алидада, используемые для измерения горизонтальных углов, составляют в теодолите горизонтальный круг. Ось вращения алидады горизонтального круга называют основной осью теодолита.

В теодолите также имеется вертикальный круг с лимбом и алидадой, служащий для измерения вертикальных проекций углов – углов наклона. Принято считать углы наклона выше горизонта положительными, а ниже горизонта – отрицательными. Лимб вертикального круга обычно наглухо скреплён со зрительной трубой и вращается вместе с ней вокруг горизонтальной оси теодолита.

Перед измерением углов центр лимба с помощью отвеса или оптического центрира устанавливают на отвесной линии, проходящей через вершину измеряемого угла, а плоскость лимба приводят в горизонтальное положение, используя с этой целью три подъемных винта *3* и цилиндрический уровень *12* (рисунок 16). В результате данных действий основная ось теодолита должна совпасть с отвесной линией, проходящей через вершину измеряемого угла.

Для установки, настройки и наведения теодолита на цели в нем имеется система винтов: становой и подъемные винты, закрепительные (зажимные) и наводящие (микрометренные) винты, исправительные (юстировочные) винты.



1 – головка штатива; 2 – основание; 3 – подъемный винт; 4 – наводящий винт алидады; 5 – закрепительный винт алидады; 6 – наводящий винт зрительной трубы; 7 – окуляр зрительной трубы; 8 – предохранительный колпачок сетки нитей зрительной трубы; 9 – кремальера; 10 – закрепительный винт зрительной трубы; 11 – объектив зрительной трубы; 12 – цилиндрический уровень; 13 – кнопочный винт для поворота лимба; 14 – закрепительный винт; 15 – окуляр отсчетного микроскопа с диоптрийным кольцом; 16 – зеркальце для подсветки штрихов отсчетного микроскопа; 17– колонка; 18 – ориентир-буссоль; 19 – вертикальный круг; 20 – визир; 21 – диоптрийное кольцо окуляра зрительной трубы; 22 – исправительные винты цилиндрического уровня; 23 – подставка

Рисунок 16 – Теодолит 4Т30П

Становым винтом теодолит крепят к головке штатива, подъемными винтами – горизонтируют.

Закрепительными винтами скрепляют подвижные части теодолита (лимб, алидаду, зрительную трубу) с неподвижными. Наводящими винтами сообщают малое и плавное вращение закрепленным частям.

Чтобы теодолит обеспечивал получение неискаженных результатов измерений, он должен удовлетворять соответствующим геометрическим и оптико-механическим условиям. Действия, связанные с проверкой этих условий, называют поверками. Если какое-либо условие не соблюдается, с помощью исправительных винтов производят юстировку прибора.

3.5 Компаратор

Компаратор предназначен для проведения линейных измерений с точностью 10–0,1 *мк*. На рисунке 17 изображен компаратор типа МИР-12. Исследуемый предмет помещается на столик *1*, который может передвигаться в горизонтальной плоскости. Для освещения прозрачных предметов служит зеркальце *2*. Компаратор состоит из шкалы *5* и объектива *4*, микроскопа *3*, который может перемещаться в горизонтальном направлении с помощью микрометрического винта *6*.

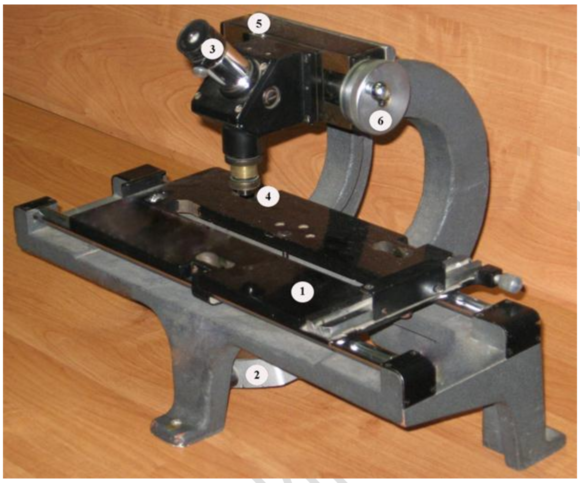


Рисунок 17 – Компаратор

3.6 Гониометр

Гониометр (рисунок 18) служит для точных измерений углов. Основными частями его являются коллиматорная труба *A*, зрительная труба *E*, лимб *B* с делениями и предметный столик *C*, который по освобождении винта *D* может поворачиваться и подниматься.

Перед щелью *T* коллиматорной трубы устанавливается источник света. Зрительная труба установлена на бесконечность и может перемещаться вокруг вертикальной оси, проходящей через центр предметного столика. Угол поворота трубы фиксируется на лимбе с помощью кругового нониуса N_1N_2.

Гониометры находят широкое применение в оптических исследованиях (изучение дисперсии призм, определение постоянных дифракционных решеток и так далее).

Задача заключается в определении одного из углов призмы. Устанавливаем призму на столик *C* и посылаем на вершину пучок параллельных лучей (рисунок 19). Поворачиваем зрительную трубу до тех пор, пока в нее не попадет отраженный луч. Снова поворачиваем трубу до попадания луча, отраженного от другой грани [9]. Измеряем угол φ между двумя положениями зрительной трубы. Из рисунка 19 следует, что искомый угол призмы равен

$$\alpha = 180 - \frac{\varphi}{2},$$

так как стороны углов $\frac{\varphi}{2}$ и α взаимно перпендикулярны.

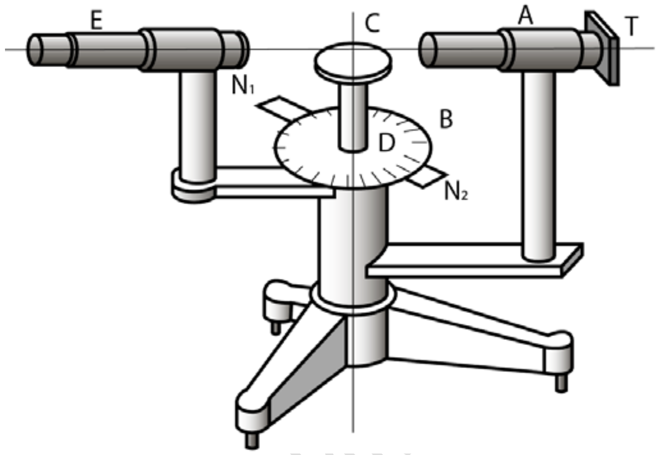


Рисунок 18 – Гониометр

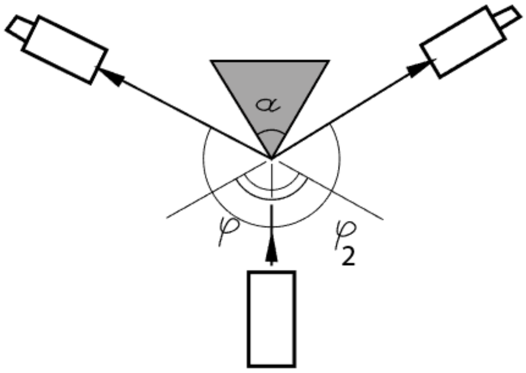


Рисунок 19 – Схема определения угла призмы

3.7 Сектант и катафот

Два плоских зеркала образуют двугранный угол. На одно из зеркал падает луч, лежащий в плоскости, перпендикулярной ребру угла. Определить угол отклонения луча от первоначального направления после отражения от обоих зеркал. Ход лучей показан на рисунке 20. Пусть угол падения луча на первое зеркало равен β, а на второе δ. Очевидно, что угол, как внешний угол треугольника, образованного лучами, равен $2 \cdot (y + \delta)$.

С другой стороны, $y + \delta = \alpha$, потому что как угол α, так и углы $y + \delta$ дополняют угол ω до π. Поэтому $\beta = 2\alpha$. Самое интересное, что величина этого угла не зависит от угла падения луча на зеркало! Именно это свойство и позволило использовать такую систему зеркал в навигационном приборе, называемом сектантом. Сектантом измеряют высоту светила над горизонтом, то есть угол между направлениями на горизонт и на звезду (рисунок 21). Делается это в неблагоприятных условиях, например, на качающейся палубе корабля.

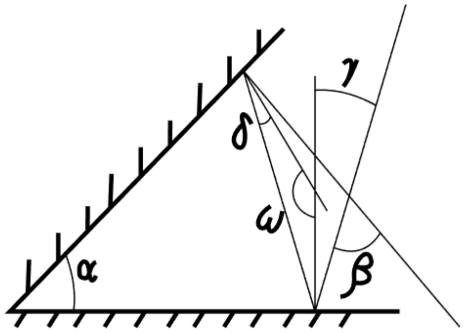


Рисунок 20 – Падающий луч, испытав отражение от двух зеркал, изменяет направление на угол β

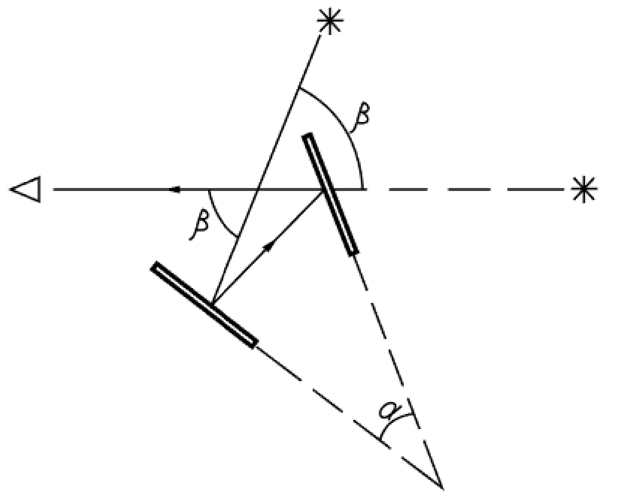


Рисунок 21 – Принципиальная схема сектанта

Прибор можно держать трясущимися руками, при этом важно только точно зафиксировать угол α. Одно из зеркал полупрозрачное. Наблюдая сквозь него, линию горизонта, изменением угла α совмещают с ней видимое в этом зеркале изображение светила рисунок 21. Затем величина угла α считывается со шкалы прибора.

Обратим внимание на частный случай, когда зеркала образуют между собой прямой угол. Тогда $\beta = \pi$ и падающий луч в результате двух отражений поворачивает в обратном направлении (рисунок 22). Напомним, что это справедливо только в том случае, когда падающий луч лежит в плоскости, перпендикулярной ребру двугранного угла между зеркалами.

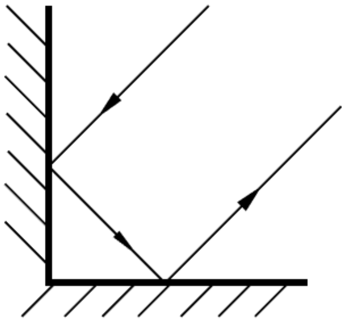


Рисунок 22 – Луч, лежащий в плоскости чертежа отражается назад, если зеркала образуют прямой угол

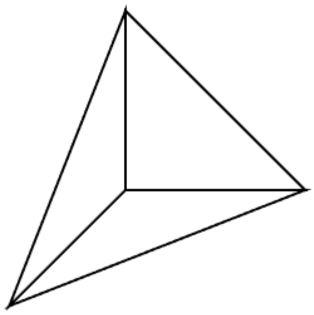


Рисунок 23 – Вогнутая ячейка из трёх плоских взаимно перпендикулярных зеркал образует уголковый отражатель

А можно ли сделать устройство, в котором падающий луч при любых условиях отражался бы назад? Оказывается, что для этого достаточно добавить к двум зеркалам третье, расположив его таким образом, чтобы плоскости всех трех зеркал были взаимно перпендикулярны, подобно координатным плоскостям декартовой системы (рисунке 23). При произвольной ориентации падающего луча он, испытав отражение от каждого из зеркал, будет распространяться точно в обратном направлении. Убедиться в этом совсем несложно. На рисунке 24а штриховкой показаны плоскость зеркала и плоскость падения луча. Видно, что проекции падающего и отраженного лучей на плоскость зеркала направлены вдоль одной и той же прямой MN (рисунок 24б). Проекции этих лучей на любую плоскость, перпендикулярную зеркалу, образуют равные углы с перпендикуляром к зеркалу (рисунок 24в). Отсюда следует, что при отражении лучей от трёх взаимно перпендикулярных зеркал проекция лучей на плоскость любого из трёх зеркал выглядит так, как показано на рисунке 25. Но раз проекция луча на любую из координатных плоскостей меняет направление на противоположное, то и сам луч в результате трех отражений поворачивает точно назад.

Такое устройство называется уголковым отражателем, или катафотом, и широко применяется на практике. Уголковые отражатели часто выполняют в виде срезанного угла стеклянного кубика, то есть равносторонней трехгранной пирамиды. Боковые грани такого кубика делают зеркальными. Уголковые отражатели используются вместо зеркал в лазерных резонаторах и в дальномерах. Их преимущество в том, что они не требуют юстировки. Специальные уголковые отражатели были доставлены на Луну и использованы для точного измерения расстояния до неё с помощью лазерного луча. Погрешность измерения составила всего лишь 0,1 *м*.

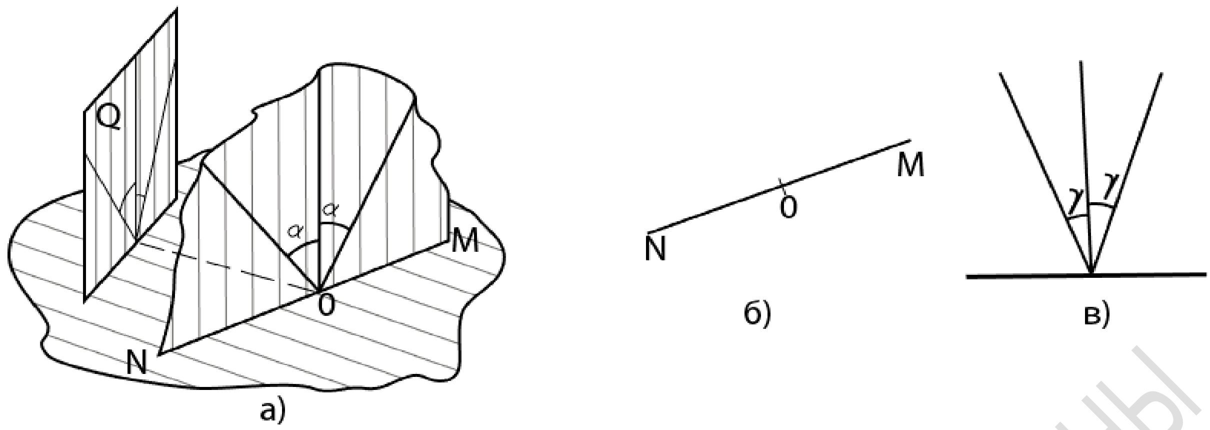


Рисунок 24 – Проекция падающего и отражённого лучей на плоскость зеркала выглядит так, как показано на рисунке *б*, а проекция на плоскость *Q* – как на рисунке *в*

Наиболее распространённое применение катафотов – это красные отражатели света, устанавливаемые на автомобилях, велосипедах и дорожных знаках. Такой катафот представляет собой мозаику из зеркальных углов.

Интересно отметить, что таким же свойством отражать падающий под любым углом свет точно в обратном направлении обладает оптический элемент, изображённый на рисунке 26. Он представляет собой шарик из прозрачного материала с показателем преломления $n = 2$ и с посеребренной задней поверхностью. Нетрудно показать, что любой луч, проходящий внутри шарика не слишком далеко от центра, после отражения на задней поверхности выйдет из шарика в обратном направлении. Это свойство используют при изготовлении светоотражающей краски для дорожных знаков: в её состав вводят мелкие стеклянные шарики.

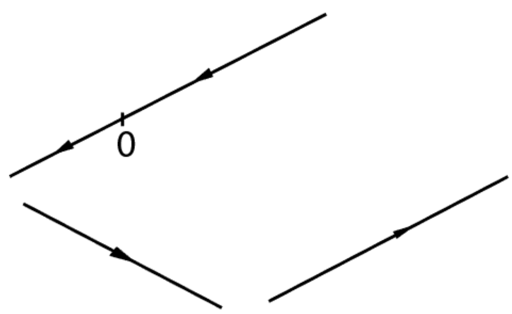


Рисунок 25 – В точке *O* отражается от третьего зеркала, лежащего в плоскости чертежа

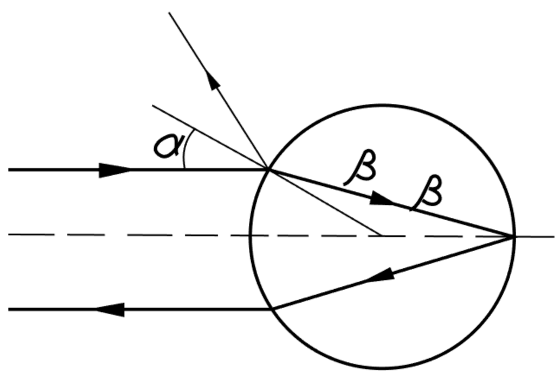


Рисунок 26 – Падающий на прозрачный шарик с n =2 луч после отражения направлен точно назад

4 Примеры решения задач

Задача 1. Из крана без напора вытекает вода. Каким образом с помощью одной линейки определить скорость истечения воды, а также количество ее, вытекающее за единицу времени?

Решение: Движение воды происходит с ускорением свободного падения g, между скоростью ϑ_1 истечения воды из крана и той скоростью ϑ_2, которой она обладает на расстоянии h от крана, существует связь:

$$\vartheta_2^2 - \vartheta_1^2 = 2gh.$$

Через сечение крана и сечение, проведенное поперек струи на расстоянии h от крана, за единицу времени протекают равные объемы воды:

$$Q = \frac{\pi d_1^2}{4}\vartheta_1 = \frac{\pi d_2^2}{4}\vartheta_2,$$

где d_1 и d_2 –диаметры струи у крана и на расстоянии h от него соответственно.

Находя из последнего равенства ϑ_2 и подставляя его в предыдущее, получим:

$$\vartheta_1^2 = \left(\frac{d_1^4}{d_2^4} - 1\right) = 2gh.$$

Откуда

$$\vartheta_1 = \sqrt{\frac{2gh}{d_1^4 - d_2^4}},$$

$$Q = \frac{\pi d_1^2}{4}\vartheta_1.$$

Таким образом, задача сводится к измерениям одной только линейкой.

Задача 2. В каком соотношении должны были бы находиться миллиграмм и микрокилограмм, если бы приставки давались килограмму?

Решение: 1 : 1.

Задача 3. Обязателен ли был выбор основной единицы длины – метра? На чем отразится в первую очередь выбор другой единицы в качестве основной, например, аршина, дюйма, мили и так далее?

Решение: Выбор основных единиц произволен, он устанавливается соглашением из соображений рациональности с обеспечением минимального числа основных единиц, которое позволило бы образовать максимальное число производных единиц. От выбора основной единицы в первую очередь зависят размеры производных единиц. Так, в нашем случае производная единица – единица площади, определяемая как площадь квадрата, длина каждой стороны которого равна выбранной основной единице длины, стала бы квадратным аршином, квадратным дюймом, квадратной милей.

Задача 4. Представьте себе, что у вас есть линейка без делений. Длина ее 13 *см*. Сколько промежуточных делений нужно нанести на линейку, чтобы ею можно было измерять любые расстояния (в целых числах) от 1 до 13 *см*. Речь идёт о минимальном числе делений.

Решение: Достаточно нанести всего четыре промежуточных деления: (0), 1, 2, 6, 10, (13).

Задача 5. Нужно наполнить бензином бак емкостью 40 *л* с помощью гибкого шланга, снабженного цилиндрической насадкой.

Можно ли заранее рассчитать время наполнения бака, располагая линейкой?

Решение: Направив шланг вертикально вверх, определим с помощью линейки высоту h, на которую поднимается фонтан бензина. Тогда скорость истечения v можно найти по формуле

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Умножив найденную скорость на площадь сечения насадки (ее диаметр d измеряют линейкой), находим расход Q, то есть количество бензина, вытекающего за единицу времени:

$$Q = SV = \frac{\pi d^2}{4}\sqrt{2gh},$$

а зная емкость бака (V) и расход, можем определить время наполнения бака

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{4V}{\pi d^{2\sqrt{2gh}}} \approx \frac{0,9V}{d^2\sqrt{gh}}.$$

Задача 6. Как определить диаметр круглого тела, например, футбольного мяча, с помощью жесткой, несгибаемой линейки?

Решение: Можно прокатить мяч по ровной поверхности и заметить длину его окружности. Измерив эту длину l, имеем $d = \frac{l}{\pi}$.

Задача 7. Известно, что в определении направления на Север по Полярной звезде турист делает ошибку в среднем 2°. При движении в густом лесу, по болоту приходится отклоняться от выбранного азимута (напомним, что азимут – это угол между направлением на север и направлением движения), например, еще на 3°. Определите, на сколько вы отклонитесь от выбранного направления с ошибкой в определении азимута в 5°, пройдя расстояние 500 *м*, *1 км*, 5 *км*, 20 *км*.

Решение: Турист сделает ошибку: 45 *м* – пройдя расстояние 500 *м*; 90 *м* – пройдя 1 *км*; 450 *м* – пройдя 5 *км*; 900 *м* – пройдя 20 *км*. Такие расстояния уже следует учитывать при выборе контрольных ориентиров.

Задача 8. Вы, конечно, очень хорошо знаете, что такое миллион, и столь же хорошо представляете себе длину своего шага. Следовательно, вам нетрудно ответить на вопрос: как далеко вы бы отошли, сделав один миллион шагов? Больше чем на 100 *км*, или меньше?

Решение: Если длина шага 0,75 *м*, то 1 000 000 шагов = 750 *км*.

Задача 9. На каком расстоянии от собирающей линзы с фокусным расстоянием 20 *см* нужно расположить предмет, чтобы получить изображение, увеличенное в 4 раза?

Решение: Увеличение $\beta = \frac{d'}{d} = 4$, отсюда $d' = 4d$. Подставляем это соотношение в формулу тонкой линзы:

$$d = \frac{5f}{4} = \frac{5 \cdot 0,2\ м}{4} = 0,25\ м = 25\ см.$$

4.1 Задачи для самостоятельного решения

1 Влияет ли на скорость движущегося танка выстрел, произведенный из башенного орудия в направлении движения машины? Почему?

2 Скорость искусственного спутника Земли 8 *км/с*, а пули винтовки 800 *м/с*. Какое из этих тел движется быстрее и во сколько раз?

3 Какую линию представляет собой траектория какой-либо точки колеса автомобиля относительно его корпуса во время движения? Какова траектория колеса относительно земли?

4 Первый участок пути поезд прошел за 2 *ч* со скоростью 50 *км/ч*, а остаток пути длиной 240 *км* – за 3 *ч*. Какую среднюю скорость развил поезд на всем пути следования?

5 Скатившись с сортировочной горки, вагон проходит горизонтальный участок пути в 100 *м* за 25 *с*. Можно ли по этим данным определить, какова была скорость вагона в момент скатывания с горки? Если можно, то как? Чему она равна?

6 Под действием чего происходит уменьшение скорости и остановка транспорта, когда водитель включает тормозную систему?

7 При строительстве ирригационных сооружений укатывают грунт. Какова объемная плотность грунта после уплотнения, если он оседает на 10 *см*, а первоначальная плотность составляла 1400 *кг/м*?

8 Вес тела на Марсе в 2,7 раза меньше, чем на Земле. Какими весами космонавт может обнаружить уменьшение веса тела на Марсе? Почему?

9 Измерьте с помощью катетометра зависимость высоты жидкости, вытекающей из стеклянного сосуда, от времени. Постройте график зависимости объема жидкости и скорости истечения от времени.

10 Выберите измерительный инструмент и определите линейные размеры, поверхности и объемы различных тел с заданной точностью. Результаты измерений обработайте в соответствии с правилами приближенных вычислений и теорией погрешности.

11 Единицей объема и вместимости является кубический метр, равный объёму куба с ребрами, длины которых равны 1 *м*. Напишите размерность этой единицы.

12 На примере существующих единиц времени, кратных основной единице – секунде, покажите сохраняемость размерности – качественной характеристики и изменяемость размера – количественной характеристики.

13 Какое утверждение более правильное: килограмм – масса одного кубического дециметра чистой воды при температуре 4 ºС или килограмм – масса международного прототипа килограмма – эталона, хранящегося в Бретейльском павильоне парка Сен-Клу в окрестностях Парижа.

14 Какими приборами для измерения давления надо располагать, чтобы определить абсолютное давление?

15 Характерной неисправностью образцовых деформационных (пружинных) манометров является уход с нуля стрелки прибора после транспортировки. Опыты показали, что эта неисправность появляется реже, если перевозить манометры штуцером вниз. Еще больший эффект дает предварительный наддув манометров с использованием запорных вентилей. Дайте объяснение причине этого эффекта и роли профилактических мер.

16 Почему температура выхлопных газов автомобиля на выходе из глушителя низкая, несмотря на то, что она в цилиндре двигателя достигает 1800 ºС.

17 Масса плавающего танка-амфибии 14 000 *кг*. Определите объем части танка, погруженной в воду?

18 Как нужно изменить длину маятника, чтобы частота его колебаний увеличилась в два раза?

4.2 Вопросы для закрепления

1 Рассмотрим понятия: вкус, длина, масса, запах, эстетичность, скорость, давление. Какие из этих понятий должны быть отнесены к свойствам веществ, а какие к физическим величинам, характеризующим свойства?

Ответ. К физическим величинам следует отнести свойства, которые мы научились оценивать количественно, то есть измерять – длину, массу, скорость, давление.

2 Сформулируйте различие между рядами величин: 1; 3; 0,5 и 10 и 1 *кг*; 3 *мин*; 0,5 *л*; 10 *см*.

Ответ. Первый ряд – это просто числа, характеризующие количество (число) чего-либо, так называемые «числовые значения»; второй ряд – это те же числа, но в сочетании с наименованиями, так называемые «значения физических величин». Второй ряд более информативен – это результаты измерений, отвечающие на два вопроса: 1) сколько? 2) чего?

3 С какими единицами физических величин осуществлялось сравнение объектов, если в результате измерений были получены следующие значения: 1 г; 10 Н; 3Тл; 20 кг; 5 А; 0,1 В?

Ответ. 1 грамм; 1 Ньютон; 1 Тесла; 1 килограмм; 1 Ампер; 1 Вольт.

4 Примените другие единицы для выражения результатов измерений, приведённых в предыдущей задаче.

Ответ. Например: 0,001 *кг*; 0,01 *кН*; 0,02 *т*; 5000 *мА*; 100 *мВ*; 3000 *мТл*. Физический размер величин остается неизменным, а числовое значение меняется.

5 Рациональный способ изображения больших и малых числовых значений предполагает в качестве кратных единиц применение единиц от 10^2 (гекто-) до 10^{18} (экса-), а дольных от 10^{-1} (деци-) до 10^{-18} (атто-). На какую единицу физической величины это правило не распространяется?

Ответ. На единицу времени – секунду. В качестве единиц, кратных секунде, применяют исторически сложившиеся единицы: 1 *мин* = 60 *с*; 1 *ч* = 60 *мин* = 3600 *с*; 1 *сут* = 24 *ч* = 86 400 *с*; 1 неделя = 7 *сут* = 604 800 *с*.

6 Что больше микрофарад или аттофарад?

Ответ. Микрофарад больше аттофарада: $10^{-6} > 10^{-18}$.

7 Какие единицы массы временно допускаются к применению и в каких областях человеческой деятельности?

Ответ. Центнер (100 *кг*) – в сельском хозяйстве; карат (0,2 *г*) – при определении массы драгоценных камней и жемчуга.

Литература

1. Арцыбышев, С. А. Курс физики : в 2 ч. Ч. 2 / С. А. Арцыбышев. – М. : Учпедгиз, 1956. – 270 с.

2. Лишевский, В. В. В мире линейных размеров / В. В. Лишевский. – Наука и жизнь, 1988, № 6. – С. 34.

3. Шабалин, С. А., Прикладная метрология в вопросах и ответах / С. А. Шабалин. – М. : Издательство стандартов, 1986. – 167 с.

4. Перышкин, А. В. Физика / А. В. Перышкин, Г. И. Фалеев, В. В. Крауклис. – М. : «Государственное учебно-педагогическое издательство министерства просвещения РСФСР», 1956. – С. 49–55.

5. Кортнев, А. В. Практикум по физике / А. В. Кортнев, Ю. В. Рублев, А. Н. Куценко. – М. : «Высшая школа», 1963. – 560 с.

6. Физический практикум под ред. проф. В. И. Иверoновой. – М. : ГИТТЛ, 1955. – 463 с.

7. Богданова, Т. Н. Руководство к практическим занятиям по физике / Т. Н. Богданова, Е. П. Субботина. – М. : «Советская наука», 1950. – 524 с.

8. Фриш, С. Э. Курс общей физики : в 3 т. Т. 1 / С. Э. Фриш, А. В. Тиморева. – М. : ГИТТЛ, 1958. – 384 с.

9. Сена, Л. А. Единицы измерения физических величин / Л. А. Сена. – М. : ГИТТЛ, 1951. – 238 с.

10. Бутиков, Е. И. Физика в примерах и задачах / Е. И. Бутиков, А. А. Быков. – М. : Наука, 1983. – 464 с.

11. Глебов, Г. Д. Единицы физических величин в электронике / Г. Д. Глебов. – М. : Высшая школа, 1983. – 88 с.

Приложение А

(справочное)

Основные единицы измерения в системе СИ

Таблица 1 – Соотношения между единицами длины

Единицы длины	*м*	*км*	*см*	*мм*	*мкм*
1 *м*	1	10^{-2}	100	10^{2}	10^{6}
1 *км*	10^{2}	1	10^{5}	10^{6}	10^{9}
1 *см*	0,01	10^{-5}	1	10	10^{4}
1 *мм*	10^{-2}	10^{-6}	0,1	1	10^{3}
1 *мкм*	10^{-6}	10^{-9}	1	10^{-2}	1

Таблица 2 – Соотношения между единицами массы

Единицы массы	*кг*	*т*	*ц*	*г*	*мг*
1 *кг*	1	10^{-2}	0,01	10^{2}	10^{6}
1 *т*	10^{2}	1	10	10^{6}	10^{9}
1 *ц*	100	0,1	1	10^{5}	10^{8}
1 *г*	10^{-2}	10^{-6}	10^{-5}	1	10^{3}
1 *мг*	10^{-6}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-2}	1

Таблица 3 – Соотношения между единицами времени

Единицы времени	*с*	*сут*	*ч*	*мин*	*мкс*
1 *с*	1	$11{,}6\cdot10^{-6}$	$278\cdot10^{-6}$	$16{,}7\cdot10^{-3}$	10^{6}
1 *сут*	86 400	1	24	1440	$86{,}4\cdot10^{9}$
1 *ч*	3600	0,04167	1	60	$3{,}6\cdot10^{9}$
1 *мин*	60	$694{,}45\cdot10^{-6}$	$16{,}7\cdot10^{-2}$	1	$60\cdot10^{6}$
1 *мкс*	10^{-6}	$11{,}6\cdot10^{-12}$	$278\cdot10^{-12}$	$16{,}7\cdot10^{-9}$	1

1 *год* = 365,242 198 78 *сут* = 31 556 925,974 7 *с* $\approx 3{,}16\cdot10^{7}$ *с*.

Таблица 4 – Соотношения между единицами скорости

Единицы скорости	*м/с*	*км/с*	*см/с*	*м/мин*	*км/ч*
1 *м/с*	1	10^{-2}	100	60	3,6
1 *км/с*	10^{2}	1	10^{-5}	$60\cdot10^{-3}$	3600
1 *см/с*	0,01	10^{5}	1	0,6	0,036
1 *м/мин*	$16{,}7\cdot10^{-2}$	$16{,}7\cdot10^{-6}$	1,67	1	0,06
1 *км/ч*	0,278	$278\cdot10^{-6}$	27,8	16,7	1

Производственно-практическое издание

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Практическое пособие

Составители:

Желонкина Тамара Петровна**,**
Лукашевич Светлана Анатольевна

Редактор *В. И. Шкредова*
Корректор *В. В. Калугина*

Подписано в печать 18.09.2016. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 2,3.
Уч.-изд. л. 2,5. Тираж 25 экз. Заказ 535.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013.
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.
Ул. Советская, 104, 246019, Гомель

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Гомель
2016