

**КАЛМЫЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Кафедра экспериментальной и общей физики**

## **Лабораторная работа № 2**

***«ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ВЕЛИЧИН»***

**Лаборатория № 210**

## Лабораторная работа № 2

### «ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ВЕЛИЧИН»

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

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

### ИЗУЧЕНИЕ НОНИУСОВ

**Нониус.** Нониусом называется дополнение к обычному масштабу (линейному или круговому), позволяющее повысить точность измерения с данным масштабом в 10 - 20 раз.

Техника непосредственного измерения длин и углов достигла к настоящему времени большого совершенства. Сконструирован ряд специальных приборов, так называемых компараторов, позволяющих измерять длину с точностью до 1 микрона ( $1 \text{ мк} = 10^{-4} \text{ см}$ ) Большинство из них основано на применении микроскопа и некоторых других оптических приспособлений. Но при этом почти всегда отсчетные приспособления снабжаются нониусами или микрометрами. В ряде случаев требуемая относительная точность измерения длины бывает такова, что можно удовлетвориться абсолютной точностью в сотые или даже в десятые доли миллиметра<sup>1</sup>, а для углов — минута или долями минут. В этом случае можно для измерения пользоваться обычными масштабными линейками и угломерами, снабженными нониусами. Примерами таких приборов являются штангенциркуль, буссоль, кипрегель.

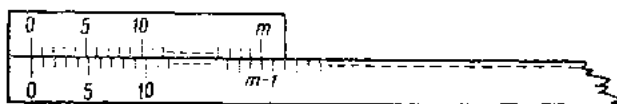


Рис. 1.

Линейным нониусом называется маленькая линейка с делениями, которая может скользить вдоль большой линейки так же с делениями, называемой масштабом (рис. 1).

Деления на нониусе наносятся обычно, так что одно деление нониуса составляет  $\frac{m-1}{m} = 1 - \frac{1}{m}$  — делений масштаба, где  $m$  — число делений нониуса. Именно это позволяет, пользуясь нониусом, производить отсчеты с точностью до  $\frac{1}{m}$  части наименьшего деления масштаба. Пусть расстояние

<sup>1</sup> Десятые доли миллиметра можно, правда, отсчитывать на глаз, но возможность безошибочной оценки этих долей достигается только в результате длительной тренировки и навыка.

между соседними штрихами масштаба  $y$ , а между соседними штрихами нониуса  $x$ .

Можно написать, что  $x = y - \frac{y}{m}$ , откуда получаем  $mx = (m-1)y$ .  
Величина

$$\Delta x = y - x = \frac{y}{m} \quad (1)$$

носит название точности нониуса, она определяет максимальную погрешность нониуса. При достаточно мелких делениях масштаба деления нониуса делают более крупными, например  $x_1 = 2y - \frac{y}{m}$ , что дает

$$mx_1 = (2m - 1)y.$$

Точностью нониуса по-прежнему является величина

$$\Delta x_1 = 2y - x_1 = \frac{y}{m}.$$

В любом положении нониуса относительно масштаба одно из делений первого совпадает с каким-либо делением второго. Отсчет по нониусу основан именно на способности глаза фиксировать это совпадение делений нониуса и масштаба.

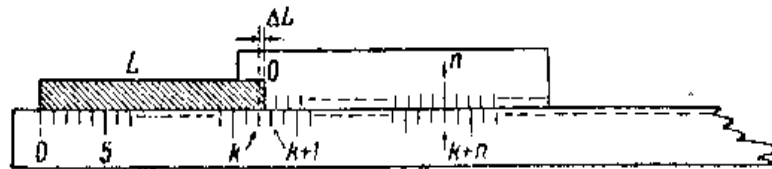


Рис. 2.

Рассмотрим теперь процесс измерения при помощи линейного нониуса. Пусть  $L$  — измеряемый отрезок (рис. 2). Совместим с его началом нулевое деление основного масштаба. Пусть при этом конец его окажется между  $k$  и  $(k+1)$ -м делением этого масштаба. Тогда можно написать

$$L = ky + \Delta L,$$

где  $\Delta L$  — неизвестная пока еще доля  $k$ -го деления масштаба.

Приложим теперь к концу отрезка  $L$  наш нониус так, чтобы нуль нониуса совпал с концом этого отрезка. Так как деления нониуса не равны делениям масштаба, то обязательно найдется на нем такое долепив  $n$ , которое будет ближе всего подходить к соответствующему  $(k+n)$ -му делению масштаба. Как видно из рис. 2,

$$\Delta L = ny - nx = n(y - x) = n \cdot \Delta x,$$

и вся длина будет равна, следовательно,

$$L = ky + n \cdot \Delta x$$

или согласно (1)

$$L = ky + n \frac{y}{m}, \quad (2)$$

что можно сформулировать следующим образом: *длина отрезка, измеряемого при помощи нониуса, равна числу целых делений масштаба плюс точ-*

ность нониуса, умноженная на номер деления нониуса, совпадающего с некоторым делением масштаба.

Погрешность, которая может возникнуть при таком методе отсчета, будет обуславливаться неточным совпадением  $n$ -го деления нониуса с  $(k+n)$ -м делением масштаба, и величина ее не будет превышать, очевидно,  $\frac{1}{2}\Delta x$ , ибо при большем несовпадении этих делений одно из соседних делений (справа или слева) имело бы несовпадение, меньшее чем на  $\frac{1}{2}\Delta x$ , и мы произвели бы отсчет по нему. Таким образом, можно сказать, что погрешность нониуса равна половине его точности.

Длина делений масштаба и число делений нониуса, а, следовательно, и точность нониуса, бывают самые разнообразные.

### ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНКИ МИКРОМЕТРОМ

**Описание микрометра.** Микрометр (рис. 3) служит для измерений диаметра проволок, небольших толщин пластинок и т. п. Он имеет вид тисков, в которых измеряемый объект зажимается с помощью винта. Ход винта обыкновенно бывает равен 1 мм или 0,5 мм. На стержне винта  $A$  укреплен барабан  $C$  с нанесенной на нем шкалой, имеющей 50 или 25 делений. При зажатом винте нуль барабана стоит против нуля линейной шкалы  $D$ .

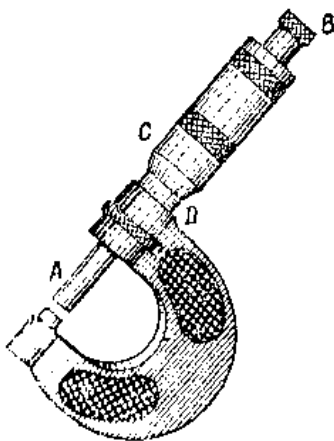


Рис. 3.

Измеряемый предмет помещают между винтом и противоположным ему упором, затем, вращая винт за головку  $B$ , доводят его до соприкосновения с исследуемым предметом. По линейной шкале отсчитываются миллиметры, а по шкале барабана — сотые доли миллиметра.

Главным источником ошибок является неравномерность нажатия винта на измеряемый предмет. Для устранения этого недостатка современные микрометры снабжаются специальным приспособлением, не допускающим слишком сильного нажатия. Действие подобных приспособлений основано на трении, возникающем между стержнем винта  $A$  и рукояткой  $B$ , поворачивающей винт.

**Измерения.** Прежде чем пользоваться микрометром, необходимо убедиться, что микрометр исправен — нули его шкал совпадают.

Пластинку помещают между винтом и противоположным упором и вращением барабана  $C$  подводят торец винта к плоскости пластинки. Окончательное нажатие винтом на пластинку следует делать только рукояткой  $B$ .

Момент нажатия фиксируется слабым треском. После этого треска дальнейшее вращение рукоятки  $B$  бесполезно, а барабана  $C$  недопустимо.

Производят отсчет по шкалам, миллиметры по линейной шкале, доли миллиметра по шкале на барабане.

Толщину пластинки необходимо измерить вблизи каждого из ее четырех углов не менее трех раз. За истинное значение принимают среднее арифметическое.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ТРУБКИ И ПЛОТНОСТИ ЕЕ МАТЕРИАЛА ПРИ ПОМОЩИ ШТАНГЕНЦИРКУЛЯ

**Описание прибора.** Штангенциркуль (рис. 3) состоит из разделенного на миллиметры масштаба  $LM$ , вдоль которого может перемещаться перпендикулярная к его длине ножка  $CB$  с зажимным винтом  $C$ , служащим для ее закрепления; в ее обойме против делений масштаба сделан вырез, на скошенном краю которого, прилегающем к масштабу, нанесен нониус, когда ножки сдвинуты вплотную, то нуль нониуса совпадает с нулем масштаба. Неподвижная ножка  $LA$ , укрепленная в начале масштаба также перпендикулярно к его длине, служит упором для измеряемого тела. Части  $FF$  обеих ножек служат для измерения внутренних размеров тел.

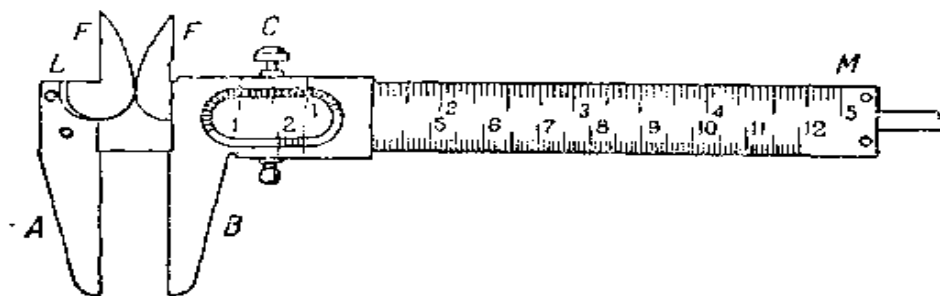


Рис. 3.

**Измерения.** Для определения объема трубки необходимо определить ее геометрические размеры — ее длину и внутренний и внешний диаметры. Для определения плотности трубки необходимо, кроме объема трубки, определить ее массу.

*Определение объема.* Измерение длины производят следующим образом. Раздвинув достаточно ножки штангенциркуля, помещают между ними продольно трубку вблизи шкалы, ножку  $B$  подводят так, чтобы трубка была слегка зажата, и производят отсчет. Так как ножка  $B$ , а следовательно, и нуль нониуса переместились на длину трубки, то отсчитывают по масштабу целое число миллиметров до нуля нониуса и смотрят, какое деление нониуса совпадает с некоторым делением масштаба. Измерение повторяют несколько раз, повернув перед каждым из них трубку около ее оси на некоторый угол (около  $45^\circ$ ). Из всех полученных результатов берут среднее арифметическое.

Далее производят измерение внешнего диаметра трубки. Измеряют одинаковое число раз на том и другом конце трубки два взаимно-перпендикулярных диаметра, слегка зажимая трубку между ножками штан-

генциркуля и держа ее при этом перпендикулярно к длине масштаба. Из всех результатов берут среднее.

При измерении внутреннего диаметра трубки вводят части  $FF$  ножек штангенциркуля в трубку и разводят их настолько, чтобы обе они прилегали к внутренним стенкам трубки; производят отсчет; потом измеряют другой, перпендикулярный к первому, внутренний диаметр трубки. Такие же два измерения производят на другом конце. Берут из всех измерений среднее.

Если штангенциркуль не приспособлен специально для измерения внутреннего диаметра трубок, то необходимо принять во внимание толщину обеих его ножек; эта толщина обычно указывается на самом штангенциркуле.

Из результатов измерений по элементарным геометрическим формулам вычисляют объем трубки.

## ОПТИМЕТР ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ИКВ

**Назначение.** Вертикальный оптиметр ИКВ предназначается для контактных измерений наружных линейных размеров методом сравнения измеряемого изделия с концевыми мерами 4 и 5 разрядов (1-2 классов), калибрами или деталями-образцами. В частности, на приборе можно производить измерения концевых плоско-параллельных мер длины (измерительных плиток), калибров, диаметров шариков, толщины листов, диаметров проволок и т.д.

**Принцип действия и оптическая схема прибора.** В основу оптической схемы прибора положен принцип телескопической и автоколлимационной трубки.

Зеркало, которое служит для получения автоколлимационного изображения, связано с измерительным стержнем и при перемещении стержня отклоняется на соответствующий угол.

Наблюдаемое в поле зрения автоколлимационное изображение шкалы, расположенное в фокальной плоскости объектива, перемещается относительно неподвижного индекса пропорционально перемещению измерительного стержня.

В вертикальном оптиметре линия измерения расположена вертикально. Контактной измерительной поверхностью служат поверхности наконечников, надеваемых на измерительный штифт трубки оптиметра. Измеряемое изделие крепится на предметном столике.

Отсчеты при измерениях производятся в процессе наблюдения в окуляры трубки оптиметра. При установке проекционной насадки шкала проектируется на экран (матовое, зеленое). Отсчеты по шкале и индексу, видимым на экране, могут производиться с расстояния нормального зрения (примерно 230 мм). Это облегчает работу и позволяет вести наблюдение одновременно нескольким наблюдателям. В состав оптической схемы оптиметра входят: зеркало, объективы, призма полного изображения, сетка и окуляр.

Так как в обоих случаях речь идет о малых углах, то значения  $tg\varphi$  и

$tg2\varphi$  можно заменить величинами  $\varphi$  и  $2\varphi$ . Шкала, видимая в поле зрения трубки оптиметра имеет 200 делений, расположенных симметрично по обе стороны от нуля (по 100 делений с каждой стороны).

Механические и оптические соотношения всей системы оптиметра подобраны таким образом, что видимое в окуляр смещение на одно деление соответствует осевому перемещению измерительного штифта на 0,001 мм.

**Методика работы на ИКВ.** Регулировка столика. Во всех случаях измерений на измерительный штифт надевают наконечник. Применяются наконечники с шаровой поверхностью (сферические) и плоские. Плоские наконечники разделяются на круглые и ножевидные.

Контакт между измеряемым изделием и наконечником: должен быть по наименьшей поверхности, поэтому при измерении изделий с плоскими поверхностями следует пользоваться сферическими наконечниками, а при измерении цилиндров – плоскими или ножевидными.

Поверхность предметного столика, должна быть перпендикулярна линии измерения. Для регулировки столика на измерительном штифте оптиметра закрепляют плоский наконечник. Поверхность столика тщательно промывают авиационным бензином и кладут на нее плоскопараллельную плитку размером 5-7 мм, также тщательно промытую. Наконечник приводят в контакт с плитой, а столик при помощи микрометрического приспособления поднимают до тех пор, пока деление "0" шкалы не совместится с индексом.

Если столик имеет большой наклон по отношению к наконечнику, что можно обнаружить с помощью лупы, то винтами следует установить его приблизительно параллельно поверхности наконечника. После этого плитку последовательно устанавливают относительно наконечника в положении 1, 2, 3 и 4. Наблюдая в окуляр, замечают наибольшее и наименьшее показания по шкале и определяют направление поворота винтов, с помощью которых производится выравнивание столика.

После первого выравнивания шкалу снова устанавливают на деление "0" и действия с плиткой и установочными винтами повторяют до тех пор, пока при различных положениях плитки разность показаний по шкале будет не более 0,5 мк. На этом установку столика можно считать законченной. При работе со сферическим наконечником новая регулировка столика не требуется.

**Измерение диаметров шариков.** При измерении диаметров шариков применяется плоский наконечник круглой формы. Нулевой отсчет по шкале оптиметра устанавливают по концевой мере, а еще лучше - по образцовому шарик. Шарик вводят на линию измерения с наконечниками из мягкого материала или мягкого металла, чтобы не повредить его поверхности и замечают по шкале наибольший отсчет. В случае массового контроля применяются специальные приспособления.

**Измерение толщины проволоки.** Приспособление для измерения толщины проволоки устанавливают на столик оптиметра таким образом, чтобы риска на диске совпадала с риской на нижней части столика. На штифт-

те трубки закрепляют ножевидный наконечник диаметром 8 мм так, чтобы нож был направлен вдоль образующей валика. Действуя регулировочными винтами диска, устанавливают валик таким образом, чтобы нож наконечника касался его образующей по диаметру, и по шкале наблюдался наибольший отсчет.

Ось валика должна быть выверена параллельно плоскости наконечника. Для этого между наконечником и валиком прокладывают тонкую проволоку, например, одну из проволок для измерений резьбы и производят отсчеты в двух ее положениях - у одного и другого края ножа. Если отсчеты в этих положениях не равны, то, вращая винты, меняют соответственно положение столика оптиметра и повторяют регулировку до тех пор, пока при различных положениях проволоки разность показаний по шкале не будет не более 0,5 мк. Затем столик закрепляют зажимными винтами.

Для установки оптиметра на нулевой отсчет между валиком и наконечником помещают блок плиток, равный по толщине минимальному диаметру измеряемой проволоки, после этого плитки снимают, а на валики и направляющие помещают измеряемую проволоку под прямым углом к оси валика. Отклонение от минимального диаметра отсчитывают по шкале оптиметра.

Для измерения проволоки диаметром до 0,1 мм оптиметр устанавливают предварительно на нулевой отсчет по валику, диаметр проволоки отсчитывают непосредственно по шкале. Для измерения проволоки диаметром от 0,1 до 0,2 мм оптиметр устанавливают также по валику на штрих шкалы "-100". Диаметр проволоки в этой случае будет равен отсчету по шкале 0,1 мм.

**Уход за прибором.** Следует помнить, что неосторожное обращение, толчки и удары могут вывести прибор из строя. Нужно следить, чтобы все части оптиметра содержались в чистоте, не подвергались коррозии. По окончании работы следует очищать окрашенные металлические части чистой салфеткой, слегка смоченной в авиационном бензине, и смазывать антикоррозийной смазкой.

Оптические детали (линзу окуляра, осветительную призму, зеркало) следует очищать от пыли беличьей кисточкой, если это окажется недостаточным, то их нужно протереть салфеткой. Оптические детали трогать руками нельзя. В случае длительного перерыва в работе следует накрыть оптиметр чехлом, периодически осматривать, очищать от пыли, промывать и смазывать.

**Порядок выполнения работы.** 1. Установить столик в горизонтальной плоскости. 2. При помощи регулировочных винтов ввести столик в соприкосновение с измерительным наконечником таким образом, чтобы в поле зрения появилась шкала и установить шкалу против риски на нулевое деление. 3. Вложить между поверхностью столика и измерительным наконечником лист бумаги и по шкале определить толщину (среднюю). 4. Измерить толщину листа в нескольких точках и определить среднюю толщину. 5. Определить границы изменения толщины листа бумаги по данным измерений.



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определить цену деления нониуса?
2. Чему равна погрешность нониуса?
3. В каких случаях следует пользоваться штангенциркулем, в каких - микрометром, в каких оптиметром?
4. Какие выводы можно сделать, сравнивая результаты?
5. Как вычислялись ошибки измерений?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иверонова В.И. Физический практикум. – М.: ТЛЛ. 1962. с.35-40.
2. Кортнев А.В., Рублев Ю.В., Куненко А.Н. Практикум по физике. - М.: Высшая школа. 1965. с.45-46.
3. Майсова Н.Н. Практикум по курсу общей физики. - М.: Высшая школа. 1965. с.23-27.
4. Годин Л.Л. Руководство к лабораторным работам по физике. - М.: Высшая школа. 1965. с.37-40.