

# Лабораторная работа № 3

## ИЗМЕРЕНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ И МИКРОСКОПА

### Цель работы

Ознакомление с некоторыми методами определения увеличения микроскопа и зрительной трубы.

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

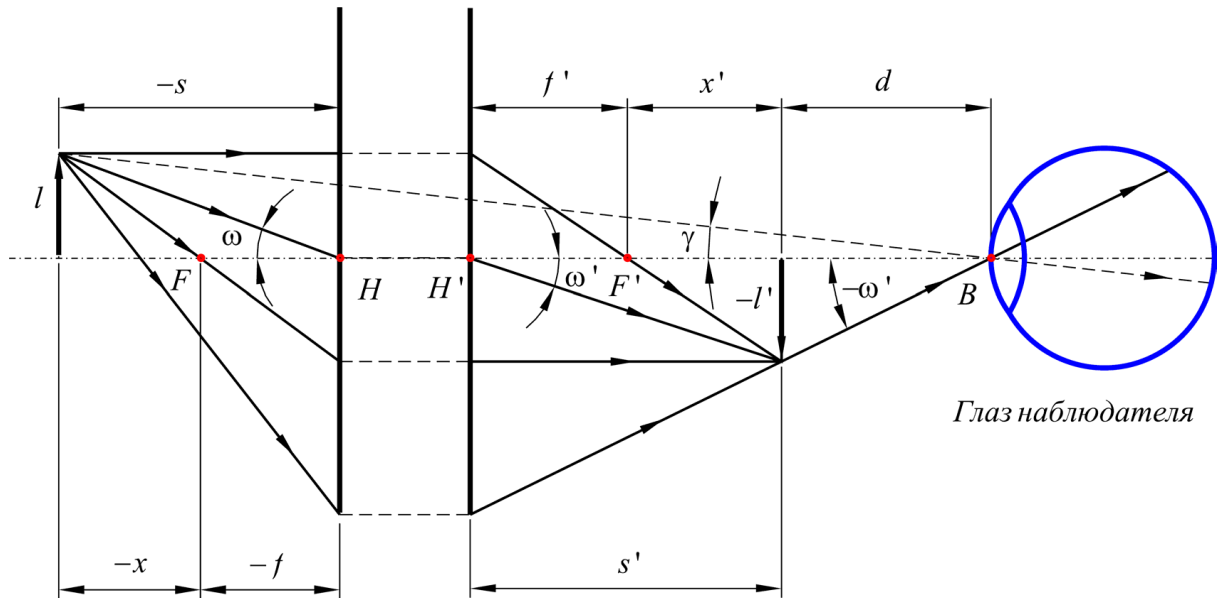
Зрительная труба и микроскоп представляют собой оптические системы, состоящие из объектива и окуляра. Зрительная труба предназначена для рассмотрения удаленных предметов. Действительное перевернутое изображение, полученное с помощью объектива зрительной трубы располагается практически в фокальной плоскости объектива. При рассмотрении с помощью микроскопа предмет располагается вблизи фокуса объектива на расстоянии, несколько большем фокусного расстояния. Поэтому объектив дает действительное увеличенное перевернутое изображение. Окуляр и в зрительной трубе, и в микроскопе дает прямое мнимое увеличенное изображение. В результате совместного действия объектива и окуляра в обоих случаях глазом наблюдается перевернутое изображение.

Видимым увеличением  $\Gamma$  называется отношение тангенса угла, под которым глаз наблюдателя видит изображение, образованное оптической системой (рис.1), к тангенсу угла, под которым предмет виден невооруженным глазом:

$$\Gamma = \frac{\operatorname{tg}\gamma'}{\operatorname{tg}\gamma}. \quad (1)$$

Тангенс угла  $\gamma$ , под которым виден предмет невооруженным глазом, определяется размерами предмета и расстоянием от предмета до глаза. Следует различать случаи наблюдения удаленных и близлежащих предметов. В первом случае расстояние от предмета до глаза гораздо больше фокусного расстояния и размеров оптической системы. Поэтому в случае рассмотрения удаленных предметов можно пользоваться приближенной формулой

$$\operatorname{tg}\gamma \approx \frac{l}{-S} = \operatorname{tg}\omega. \quad (2)$$



**Рис.1. Наблюдение предмета невооруженным глазом и с помощью оптической системы**

Во втором случае предмет можно рассматривать непосредственно глазом с расстояния наилучшего зрения  $d_0$ , которое является неодинаковым для разных глаз и в среднем считается равным 25 см. В этом случае

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{l}{d_0}. \quad (3)$$

Если оптическая система образует прямое изображение ( $\gamma$  и  $\gamma'$  одного знака), то  $\Gamma$  положительно. Обратное изображение оптической системы характеризуется различными по знаку углами  $\gamma$  и  $\gamma'$  и, следовательно, величина видимого увеличения будет отрицательной. Однако на практике пренебрегают знаком видимого увеличения, оно всегда считается положительным, а вид изображения (прямое или обратное) оговаривается особо.

Пусть предмет величиной  $l$  (рис.1) рассматривается из точки  $B$  с помощью оптической системы, характеризуемой главными точками  $H$  и  $H'$  и фокусами  $F$  и  $F'$  с координатами  $f$  и  $f'$ , соответственно. Тангенс угла  $\gamma'$ , под которым видно изображение  $l'$  (на рисунке все величины положительны), определяется размерами изображения и расстоянием  $d$  от изображения до глаза:

Из подобия треугольников, изображенных на рис.1, имеем

$$\frac{l}{-x} = \frac{-l'}{-f}; \quad \frac{l}{f'} = \frac{-l'}{x'}. \quad (5)$$

Отсюда

$$\beta \equiv \frac{l'}{l} = -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f'}, \quad (6)$$

и получаем формулу Ньютона

$$xx' = ff'. \quad (7)$$

Здесь  $\beta$  - линейное увеличение оптической системы.

Если коэффициенты преломления вещества справа и слева от оптической системы одинаковы, то, как следует из теории,  $f = -f'$ . Так как обычно наблюдение производится в воздухе, это равенство остается в силе в большинстве случаев. Нетрудно доказать, что если  $f = -f'$ , углы  $\omega$  и  $\omega'$  также равны друг другу. При этом, как видно из рис.1, имеет место следующее соотношение:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{l}{-S} = \frac{-l'}{S'} = \frac{-l'}{f' + x'}. \quad (8)$$

Рассмотрим несколько частных случаев.

1. Пусть система используется в качестве объектива зрительной трубы. В этом случае расстояние от предмета до первого фокуса  $-x \gg f'$  и обратное уменьшенное изображение располагается практически во второй или задней фокальной плоскости  $x' \approx 0$  (см. формулу (7)). В этом случае, как видно из формулы (8),

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{-l'}{f'}. \quad (9)$$

Если глаз расположить на расстоянии наилучшего зрения от изображения, то изображение будет видно под углом  $\gamma'$ , величина которого определяется формулой

$$\operatorname{tg} \gamma' = \frac{l'}{d_0}. \quad (10)$$

Отсюда видимое увеличение объектива зрительной трубы (см. также формулу (2))

$$\Gamma = -\frac{f'}{d_0}. \quad (11)$$

Как видно из этой формулы, чтобы получить увеличение больше единицы, необходимо, чтобы фокусное расстояние было больше расстояния наилучшего зрения.

2. Если оптическая система используется в качестве объектива микроскопа, то предмет располагается вблизи первого фокуса на расстоянии, несколько большем фокусного расстояния ( $-x > 0$ ) от первой главной плоскости. Чтобы рассмотреть изображение, глаз можно расположить на расстоянии  $f' + x' + d_0$  от второй главной плоскости (рис.1), причем, как следует из формулы (7),

$$x' = \frac{ff'}{x} = \frac{f'^2}{-x}. \quad (12)$$

В этом случае угол  $\gamma'$ , под которым видно изображение, определяется из формулы

$$\operatorname{tg} \gamma' = \frac{l'}{d_0}. \quad (13)$$

Видимое увеличение объектива микроскопа, как видно из формул (3) и (13), оказывается равным линейному увеличению (см. также формулу (7)):

$$\Gamma = \beta = -\frac{f'}{-x} = -\frac{x'}{f'}. \quad (14)$$

Отсюда следует, что  $|\Gamma| > 1$ , если  $-x < f'$ . При заданном фокусном расстоянии увеличение тем больше, чем меньше расстояние  $(-x)$  от предмета до первого фокуса. Вместе с тем предмет нельзя помещать слишком близко от фокуса, так как при этом расстояние до глаза  $f' + x' + d_0$ , как следует из формулы (12), будет слишком большим. Используя формулы (12) и (14), для этого расстояния получим:

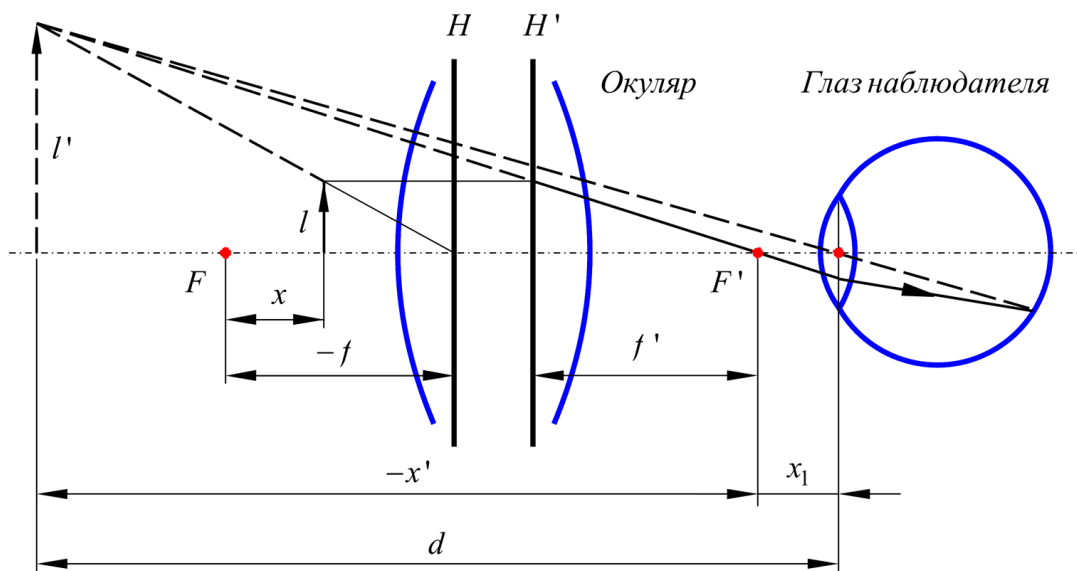
$$f' + x' + d_0 = f'(1 + |\Gamma|) + d_0. \quad (15)$$

Из этой формулы следует, что при фиксированном фокусном расстоянии объектива микроскоп с большим увеличением должен иметь большие размеры. Микроскоп небольших размеров и с большим увеличением должен иметь объектив с малым фокусным расстоянием.

На практике действительное перевернутое изображение, полученное с помощью объектива, в зрительной трубе и в микроскопе рассматривается с помощью собирающей системы, используемой в качестве окуляра.

3. Для того чтобы собирающая система выполняла функции окуляра, предмет располагается между ее передним фокусом и первой главной плоскостью ( $x > 0$ ). С изменением расстояния  $x$  от переднего фокуса окуляра до предмета будет изменяться координата изображения  $x'$  относительно второго фокуса окуляра и, следовательно, расстояние от глаза до изображения. Если  $x = 0$ , то мнимое прямое увеличенное изображение располагается на бесконечно большом удалении и глаз необходимо аккомодировать на бесконечность. Чтобы определить расстояние  $x$ , при котором мнимое изображение находится на произвольном расстоянии  $d$  от глаза, введем координату глаза  $x_1$  относительно заднего фокуса окуляра и воспользуемся формулой (7). Полагая в этой формуле  $(-x' + x_1) = d$ , найдем (рис.2)

$$x = \frac{f'^2}{d - x_1}. \quad (16)$$



**Рис.2. Наблюдение мнимого изображения предмета в системе окуляр-глаз**

В этом случае линейное увеличение  $\beta$  окуляра, как следует из формулы (7), будет равно

$$\beta = \frac{d - x_1}{f'}, \quad (17)$$

а линейный размер мнимого изображения  $l' = \beta l$ . Угол  $\gamma'$ , под которым видно изображение, определяется из формулы

$$\operatorname{tg} \gamma' = \frac{l(d + x_1)}{f'd}. \quad (18)$$

Следовательно, видимое увеличение окуляра в общем случае оказывается равным (см. также формулу (3)):

$$\Gamma = \frac{d_0}{f'} \left( 1 - \frac{x_1}{d} \right). \quad (19)$$

Из формулы (19) следует, что видимое увеличение окуляра зависит от фокусного расстояния, положения глаза и от расстояния до мнимого изображения, на которое аккомодируется глаз.

Увеличение окуляра обратно пропорционально фокусному расстоянию, поэтому для окуляра с большим увеличением фокусное расстояние выбирается намного меньше расстояния наилучшего зрения,  $f' \ll d_0$ .

Расстояние  $d$ , на которое аккомодируется глаз при рассмотрении предметов с помощью окуляра или лупы, специфично для каждого глаза и может быть измерено экспериментально. Для дальновидного глаза это расстояние может быть бесконечно большим. Для близорукого глаза  $d < d_0$ , т.е. меньше расстояния наилучшего зрения для среднего глаза. В связи с этим окуляры выполнены таким образом, чтобы можно было плавно изменять их положение относительно действительного изображения, даваемого объективом. Тем самым осуществляется изменение расстояния от глаза до мнимого изображения и, следовательно, настройка на четкое изображение для данного глаза.

В результате совместного действия объектива и окуляра видимое увеличение зрительной трубы и микроскопа оказывается равным произведению увеличения объектива (см. формулы (11) и (14), соответственно) на увеличение окуляра (см. формулу (19)). Отсюда для видимого увеличения зрительной трубы имеем

$$\Gamma = -\frac{f_{об}}{f_{ок}} \left( 1 - \frac{x_1}{d} \right), \quad (20)$$

а для микроскопа, соответственно, получим

$$\Gamma = -\frac{\delta d_0}{f_{об} f_{ок}} \left( 1 - \frac{x_1}{d} \right). \quad (21)$$

Здесь  $\delta$  - расстояние от второго фокуса объектива в микроскопе до действительного изображения, даваемого объективом. Практически это расстояние совпадает с расстоянием между задним фокусом объектива и передним фокусом окуляра. Расстояние  $\delta$  называют длиной тубуса микроскопа.

Общим сечением для всех пучков лучей, приходящих под разными углами в зрительную трубу или микроскоп, является сечение объектива. Это сечение является зрачком входа. В каждую точку зрачка входа приходит сходящийся пучок лучей из разных точек рассматриваемого объекта. Каждый такой пучок преобразуется окуляром в сходящийся пучок лучей в плоскости, положение которой определяется расстоянием от объектива до окуляра и фокусным расстоянием окуляра. Входной зрачок отображается в этой плоскости в виде круглого светлого пятна, являющегося общим

сечением для всех выходящих пучков лучей. Это сечение называется выходным зрачком.

Как видно из формул (20) к (21), увеличение зрительной трубы и микроскопа тем больше, чем больше расстояние от объектива до окуляра в сравнении с фокусным расстоянием окуляра. Поэтому в системах с большим увеличением выходной зрачок находится практически в задней фокальной плоскости окуляра. Если помещать глаз в сечении выходного зрачка, что удобно с точки зрения выигрыша в светосиле, то формулы для увеличения зрительной трубы и микроскопа упростятся, так как  $x_1 \cong 0$ . В этом случае для видимого увеличения зрительной трубы получим известную формулу

$$\Gamma = -\frac{f_{об}}{f_{ок}}, \quad (22)$$

а видимое увеличение микроскопа запишется в виде

$$\Gamma = -\frac{\delta d_0}{f_{об}f_{ок}}. \quad (23)$$

Заметим, что эти же результаты получаются из более общих формул (20) и (21), соответственно, в предположения  $d = \infty$ . Поэтому при расчете увеличения зрительной трубы и микроскопа можно полагать, что действительное изображение, полученное с помощью объектива в этих системах, совмещено с передней фокальной плоскостью окуляра.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### Измерение расстояния наилучшего зрения

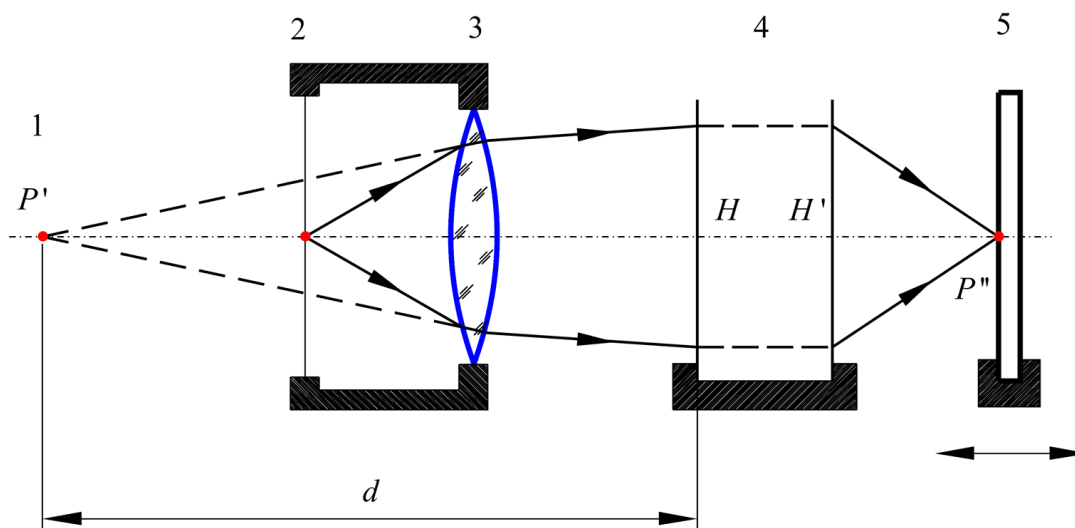
**Принадлежности:** окуляр (лупа) с объектом для настройки по глазу; фотообъектив с перемещающимся относительно него экраном; источник света; оптическая скамья, рулетка.

При рассмотрении предметов с помощью окуляра или лупы важное значение имеют оптические свойства самого глаза, так как видимая картина является результатом совместного действия окуляра (лупы) и оптической системой глаза, с учетом субъективных зрительных навыков и патологии глаза наблюдателя. Одним из свойств глаза, который является очень сложным и совершенным оптическим инструментом, является аккомодация. Аккомодацией называется способность глаза приспособляться к четкому наблюдению разноудаленных предметов. Это достигается изменением формы хрусталика.

Различают ближнюю и дальнюю точки ясного зрения. Расстояние между этими точками в метрах определяет область или длину аккомодации, а выраженное в диоптриях - силу аккомодации.

Расстояние, на котором глаз отчетливо различает наибольшее число деталей предмета, называется расстоянием наилучшего зрения. Это расстояние является специфичным для каждого глаза, причем в общем случае расстояние  $d_0$  наилучшего зрения при непосредственном наблюдении предметов может отличаться от расстояния  $d$ , на которое аккомодируется глаз при рассмотрении с помощью окуляра или лупы. В частности, для дальновзоркого глаза расстояние  $d_0$  может оказаться порядка 30÷40 см, а расстояние  $d$ , на которое аккомодируется глаз при наблюдении с помощью окуляра, может быть бесконечно большим.

В рамках настоящего упражнения предлагается измерить расстояние  $d$  наилучшего зрения при рассмотрении предмета с помощью окуляра. Схема оптической системы для выполнения упражнения приведена на рис.3. Перестраиваемый окуляр (лупа) настраивается таким образом, чтобы наблюдаемое через него изображение объекта было видно наиболее отчетливо. Далее окуляр 3 вместе с объектом 2 устанавливается на оптическую скамью вблизи источника света 1, с одной стороны, и фотообъектива 4 - с другой. Перемещая экран 5, необходимо добиться чёткого изображения объекта 2 на экране.



**Рис.3. Схема оптической системы для определения расстояния наилучшего зрения**

Затем окуляр вместе с объектом снимается и, не меняя относительного расположения объектива и экрана, относительным перемещением источника и фотообъектива находится расстояние  $d$ , при котором на экране получается четкое изображение источника.

Следует иметь в виду, что расстояние  $d$  измеряется от источника света до первой главной плоскости объектива, положение которой отмечено на креплении объектива. Поэтому переднюю главную плоскость объектива при настройке с окуляром (лупой) следует располагать в непосредственной близости от лупы. При этом несоответствие в расположении глаза и передней главной плоскости  $H$  (рис.3) относительно окуляра (лупы) повлечет за собой ошибку в измерении расстояния  $d$ . Измерения необходимо повторить 4-5 раз, найти среднее значение и определить среднеквадратическую ошибку измерений.

## Определение увеличения зрительной трубы

Принадлежности: зрительная труба, стенной масштаб, рулетка.

Оптические системы, предназначенные для наблюдения удаленных предметов, называются телескопическими. Вследствие достаточной удаленности предметов лучи из каждой точки предмета поступают в телескоп или зрительную трубу в виде почти параллельного пучка. Поэтому можно считать, что изображение предметов получается в задней фокальной плоскости объектива. В первом приближении также можно считать, что это действительное обратное изображение располагается в передней фокальной плоскости окуляра, поэтому выходящие из телескопической системы пучки

лучей можно в первом приближении считать параллельными. Ход лучей в телескопической системе показан на рис.4.

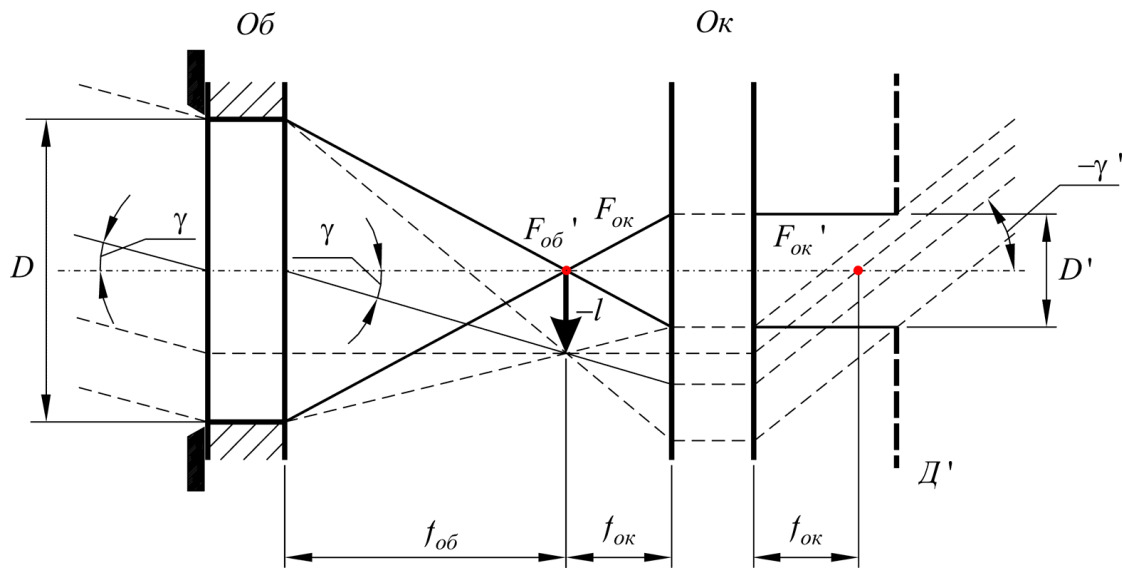


Рис.4. Ход лучей света в телескопической системе

Как видно из рис.4, отношение диаметров зрачка входа  $D$  и зрачка выхода  $D'$  равно отношению фокусных расстояний объектива и окуляра. С другой стороны, как следует из формулы (22), это отношение определяет видимое увеличение зрительной трубы. Таким образом, видимое увеличение зрительной трубы может быть определено с помощью формулы

$$\Gamma = \frac{D}{D'}. \quad (24)$$

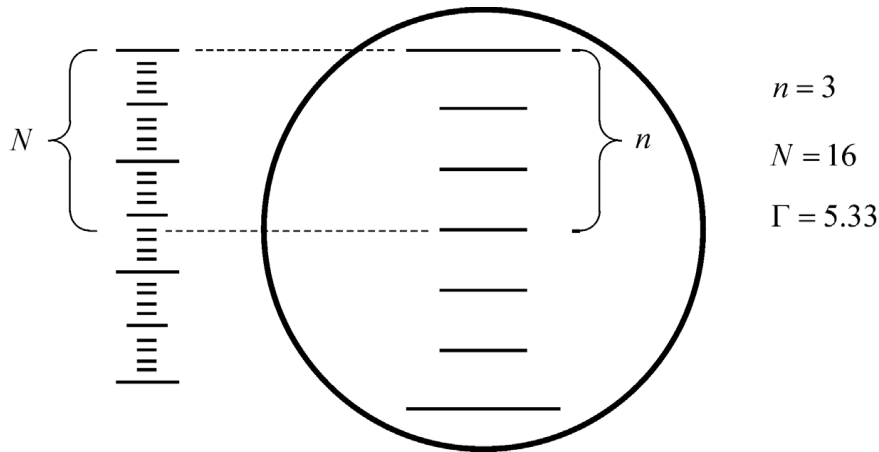
Формула (24) положена в основу первого метода измерения видимого увеличения зрительной трубы.

В рамках этого метода зрительная труба настраивается на четкое изображение достаточно удаленных предметов. Производятся измерения входного зрачка (внутреннего диаметра оправы объектива) и выходного зрачка. Для этого за окуляром зрительной трубы устанавливается экран с делениями таким образом, чтобы на экране отчетливо наблюдалось световое пятно, образованное выходящими из зрительной трубы пучками света. Видимое увеличение подсчитывается по формуле (24).

Видимое увеличение зрительной трубы может быть измерено вторым методом. В рамках этого метода угловые размеры изображения целого числа делений стенного масштаба, видимых одним глазом в зрительной трубе, измеряются целым числом  $N$  делений, видимых вторым (невооруженным) глазом. Для этого необходимо, одновременно наблюдая двумя глазами, один из которых вооружен зрительной трубой, увидеть линейку (стенной масштаб). При этом в поле зрения зрительной трубы видно какое-то число увеличенных делений. Необходимо выбрать такое целое число  $n$  этих делений, которое видно под тем же углом, под которым невооруженным глазом видно другое целое число  $N$  делений (рис.5). В результате деления  $N$  на  $n$  получим число делений, видимых невооруженным глазом под тем углом, под которым видно изображение одного деления в зрительной трубе, т.е. видимое увеличение:

$$|\Gamma| = \frac{N}{n}. \quad (25)$$





**Рис.5. Изображения линейки, одновременно наблюдаемые невооруженным глазом и вооруженным зрительной трубой**

### Измерение поля зрения зрительной трубы

Поле зрения называется та часть пространства, которая видна или изображается с помощью данной оптической системы. Очевидно, поле зрения ограничено вследствие конечных размеров линз. Для систем, предназначенных для рассмотрения значительно удаленных предметов (например, для зрительной трубы) поле зрения принято характеризовать в угловой мере. Для систем, предназначенных для рассмотрения близлежащих предметов, например для микроскопа, поле зрения определяется в линейной мере.

Для измерения поля зрения зрительной трубы необходимо настроить ее на стенную линейку и определить длину  $l$ -той части линейки, которая видна в поле зрения зрительной трубы. Затем с помощью рулетки необходимо измерить расстояние  $L$  от линейки до объектива зрительной трубы. Поле зрения определится по формуле

$$\theta \approx \frac{l}{L},$$

а в градусной мере

$$\theta \approx \frac{180^\circ}{\pi} \frac{l}{L} \cong 57,3^\circ \frac{l}{L}. \tag{26}$$

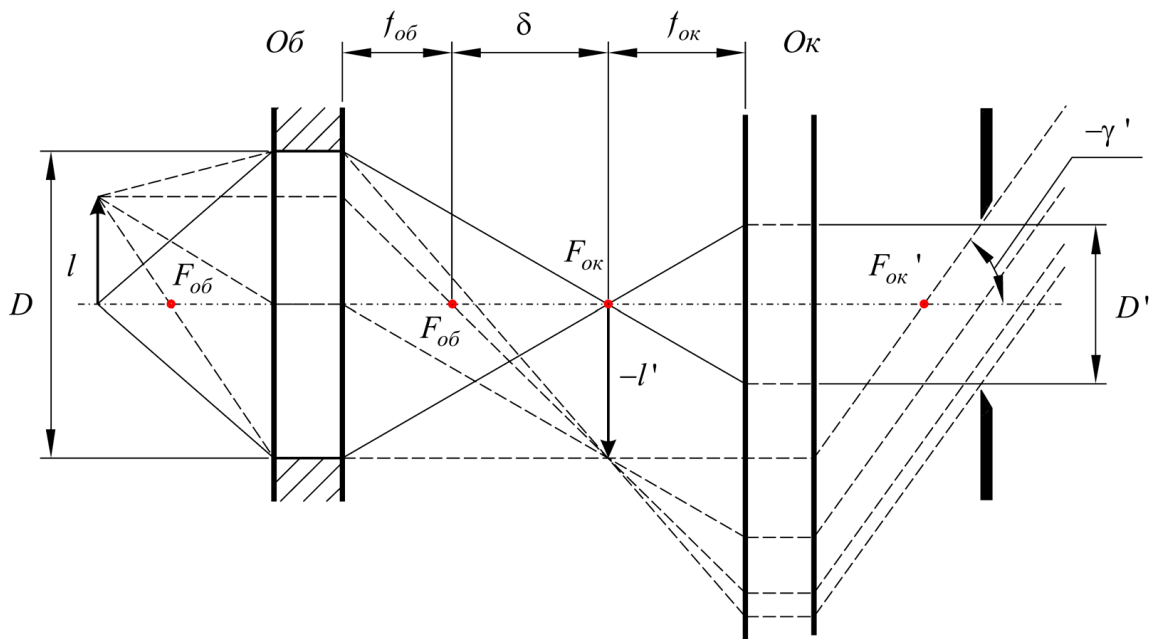
### Измерение увеличения микроскопа и скорости роста кристаллов

Принадлежности: микроскоп с двумя объективами и двумя окулярами, объектный микрометр, наклонное зеркальце на цилиндрической подставке, шкала с миллиметровыми делениями на вертикальном штативе, винтовой окулярный микрометр, пробирки с водными растворами медного купороса, гипосульфита и хромпика, секундомер.

Как следует из формулы (21), видимое увеличение микроскопа зависит от фокусных расстояний объектива и окуляра, положения предмета относительно объектива и, следовательно, от положения окуляра относительно объектива, а также от

расположения глаза и способа его аккомодации. Однако в первом приближении можно считать, что действительное изображение, полученное с помощью объектива, находится в передней фокальной плоскости окуляра (рис.6). Выходной зрачок, как видно из рисунка, расположен за вторым фокусом окуляра, причем, так как на практике фокусное расстояние окуляра намного меньше расстояния от объектива до окуляра, в первом приближении можно считать, что выходной зрачок совмещен со второй фокальной плоскостью окуляра.

Если глаз наблюдателя совмещен с выходным зрачком (см. теоретическую часть), видимое увеличение в этом случае может подсчитываться по формуле (23).



**Рис.6. Ход лучей света в микроскопе**

Чтобы получить качественное изображение, объектив и окуляр (рис.7 и рис.8) выполняются из нескольких линз с тем, чтобы изображение не искажалось вследствие сферической и хроматической aberrаций. Объектив (рис.7) - важнейшая часть микроскопа представляет собой систему линз, собранную в единой оправе. Передняя, так называемая фронтальная линза - единственная, производящая увеличение, остальные же служат для исправления искажений фронтальной линзы и поэтому называются корректирующими. Объективы нумеруются в порядке возрастания даваемого ими увеличения.

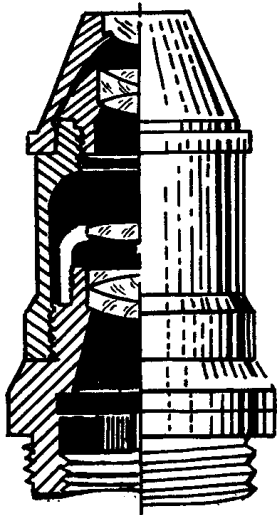


Рис.7. Объектив микроскопа

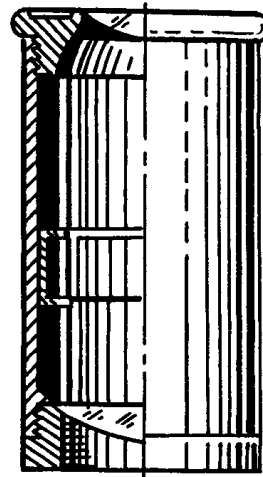


Рис.8. Окуляр

Окуляр (рис.8) представляет собой сложную лупу, состоящую обычно из двух линз: верхней глазной и нижней собирающей, отстоящих друг от друга на расстоянии, равном половине суммы их фокусных расстояний. Окуляры также нумеруются в порядке возрастания увеличения.

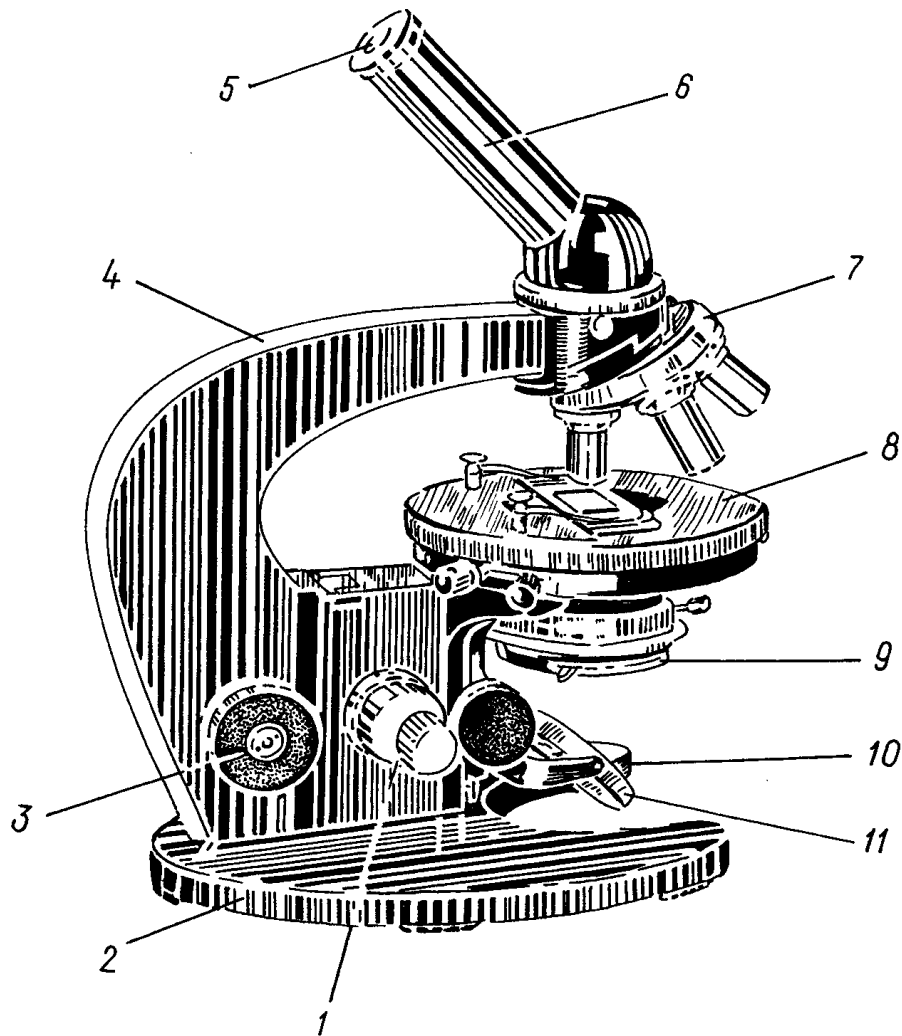
Микроскоп (рис.9) состоит из штатива, в который входят основание 2, тубусодержатель 4 и предметный столик 8, тубуса 6 и приспособления 10 для крепления зеркала 11, необходимого для освещения прозрачного объекта. Штатив микроскопа имеет массивное основание, придающее ему необходимую устойчивость.

Предметный столик служит для крепления объекта наблюдения. Непосредственно под столиком или на конденсоре 9 укреплена переменная диафрагма, служащая для регулировки освещенности рассматриваемого объекта.

Тубус микроскопа связан с колонкой и может передвигаться при вращении кремальберных винтов 1, 3. Нижнее отверстие тубуса имеет нарезку для привертывания объектива или держателя 7, несущего на себе несколько объективов и позволяющего быстро менять их путем поворота вокруг оси. В верхней части тубуса устанавливаются съемные окуляры 5.

Для измерений видимого увеличения микроскопа на предметный столик кладется объектный микрометр - стеклянная пластинка с нанесенной на ней шкалой с делениями через 0,1 мм. С помощью кремальберных винтов 1, 3 и окуляра 5 производится настройка микроскопа на четкое изображение.

Сбоку на расстоянии наилучшего зрения устанавливается вертикальная шкала с миллиметровыми делениями. На окуляр микроскопа устанавливается наклонное зеркальце (полупрозрачное или имеющее продольный вырез) таким образом, чтобы можно было одновременно видеть отчетливое изображение объектного микрометра в микроскопе и вертикальную шкалу. При этом для выравнивания освещенности рекомендуется пользоваться диафрагмой конденсора или изменением наклона зеркала.



**Рис.9. Внешний вид микроскопа и его составные части**

Подсчитывается число делений шкалы  $N$ , видимых под тем же самым углом, под которым видно  $n$  делений изображения микрометра. Так как линейные размеры делений вертикальной шкалы в 10 раз больше соответствующих делений микрометра, видимое увеличение подсчитывается по формуле

$$|\Gamma| = 10 \frac{N}{n}. \quad (27)$$

Измерения повторяются для второго окуляра, а затем для второго объектива.

Для измерений скорости роста кристаллов необходимо в верхнее отверстие тубуса, установить винтовой окулярный микрометр и определить линейный размер  $\Delta$  предмета, видимого под углом, соответствующим одному делению окулярного микрометра. Если смещению на  $m$  делений окулярного микрометра соответствует  $n$  делений объектного микрометра, то, очевидно, одному делению окулярного микрометра соответствует линейное смещение в плоскости объекта, равное

$$\Delta = \frac{n}{m} \cdot 0,1 \text{ мм}. \quad (28)$$

Заметим, что величина  $\Delta$  будет разной для различных объективов.

После того, как величина  $\Delta$  измерена, необходимо снять объектный микрометр, установить на предметный столик стеклянную пластинку, на которой предварительно необходимо размазать каплю водного раствора  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  или другой соли. При испарении воды из раствора выпадают кристаллы. Настройку на четкое изображение необходимо осуществлять с помощью кремальерного винта.

Установив перекрестие окулярного микрометра на одну из граней кристалла, необходимо включить секундомер и одновременно снять показания барабана микрометра. Через некоторое время перемещается перекрестие микрометра вслед за растущей гранью кристалла и останавливается секундомер. Определив линейное перемещение грани кристалла и время, вычисляется скорость роста кристаллов. Измерения в процессе роста кристалла необходимо повторить три-пять раз, найти среднее значение скорости и определить среднеквадратическую ошибку.

### Контрольные вопросы и задания

1. С помощью каких формул можно вычислить увеличение объективов зрительной трубы и микроскопа, а также увеличение окуляра?
2. Где располагается выходной зрачок в зрительной трубе и в микроскопе?
3. От каких параметров зависит увеличение зрительной трубы и микроскопа?
4. Как может быть измерено расстояние наилучшего зрения?
5. Какими методами измеряется увеличение зрительной трубы и микроскопа?
6. Как измеряется поле зрения зрительной трубы?
7. Постройте ход лучей в зрительной трубе и микроскопе?

### Литература

1. Ландсберг Г.С. Оптика.- М.: Наука, 1976.
2. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. Т.3.- М.: Физматгиз, 1962.
3. Бегунов Б.Н. Геометрическая оптика.- М.: Изд-во МГУ, 1961.
4. Федин Л.А. Микроскопы, принадлежности к ним и лупы.- М.: Оборонгиз, 1961.
5. Шишловский А.А. Прикладная физическая оптика.- М.: Физматгиз, 1961.
6. Физический практикум. Электричество и оптика / Под ред. В.И.Ивероной.- М.: Физматгиз, 1968.