

РАБОТА № 3. ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСКОПА

Цель работы: Изучение микроскопа, приобретение начальных навыков работы с микроскопом и использования его как измерительного прибора.

Принадлежности: Микроскоп с набором объективов, осветитель (в корпусе микроскопа), объект-микрометр, стеклянная пластина с неизвестным показателем преломления, пластина с частицами.

1. КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Невооруженный глаз с остротой зрения $\varepsilon=2'$, наблюдая хорошо освещенный предмет с расстояния наилучшего видения $p=250$ мм, может различать отдельные детали размером не более $p \cdot \varepsilon=0,15$ мм. Это достаточно малая величина при сравнении ее, например, с газетным или журнальным клише, у которых растр лежит в пределах $0,2-0,4$ мм. Наблюдение более мелких деталей с большей разрешающей способностью осуществляется при помощи лупы или микроскопа, которые дают увеличенное изображение предмета.

Микроскоп состоит из трех основных частей: объектива, окуляра и осветительной системы, состоящей в простом микроскопе из плоского или сферического зеркала или белой матовой пластинки, и в сложном микроскопе – из сложного многолинзового конденсора. Объектив и окуляр крепятся к тубусу, представляющего собой трубу (рис. 1), причем согласно стандартам механическая длина тубуса (расстояние от опорной плоскости объектива до опорной плоскости окуляра) составляет 160 или 190 мм (для работы в проходящем и отраженном свете соответственно), расстояние от опорной плоскости объектива до предметной плоскости 33 мм, а расстояние от опорной плоскости окуляра до его переднего фокуса 13 мм. Благодаря этому при смене объективов или окуляров удается получать достаточно резкое изображение без дополнительной грубой фокусировки.

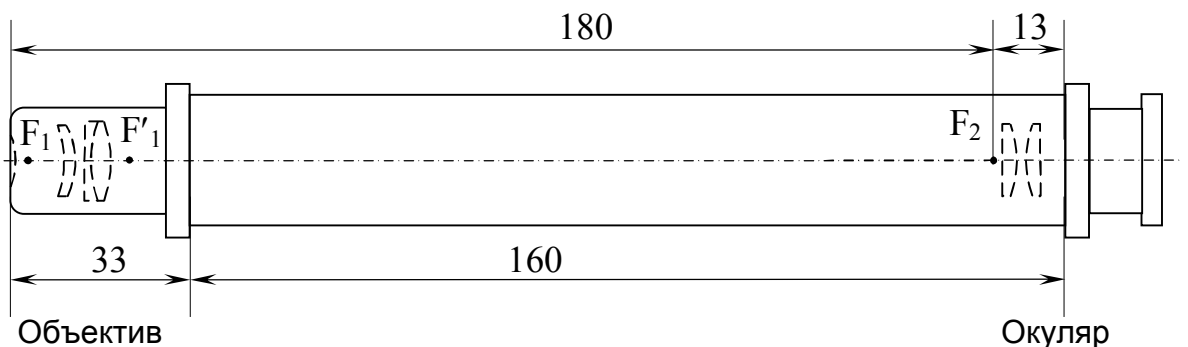


Рис. 1. Конструкция микроскопа

Передний фокус окуляра находится на расстоянии Δ от заднего фокуса объектива, называемом оптическим интервалом тубуса (см. рис. 2). Предмет устанавливают в воздухе или жидкости немного

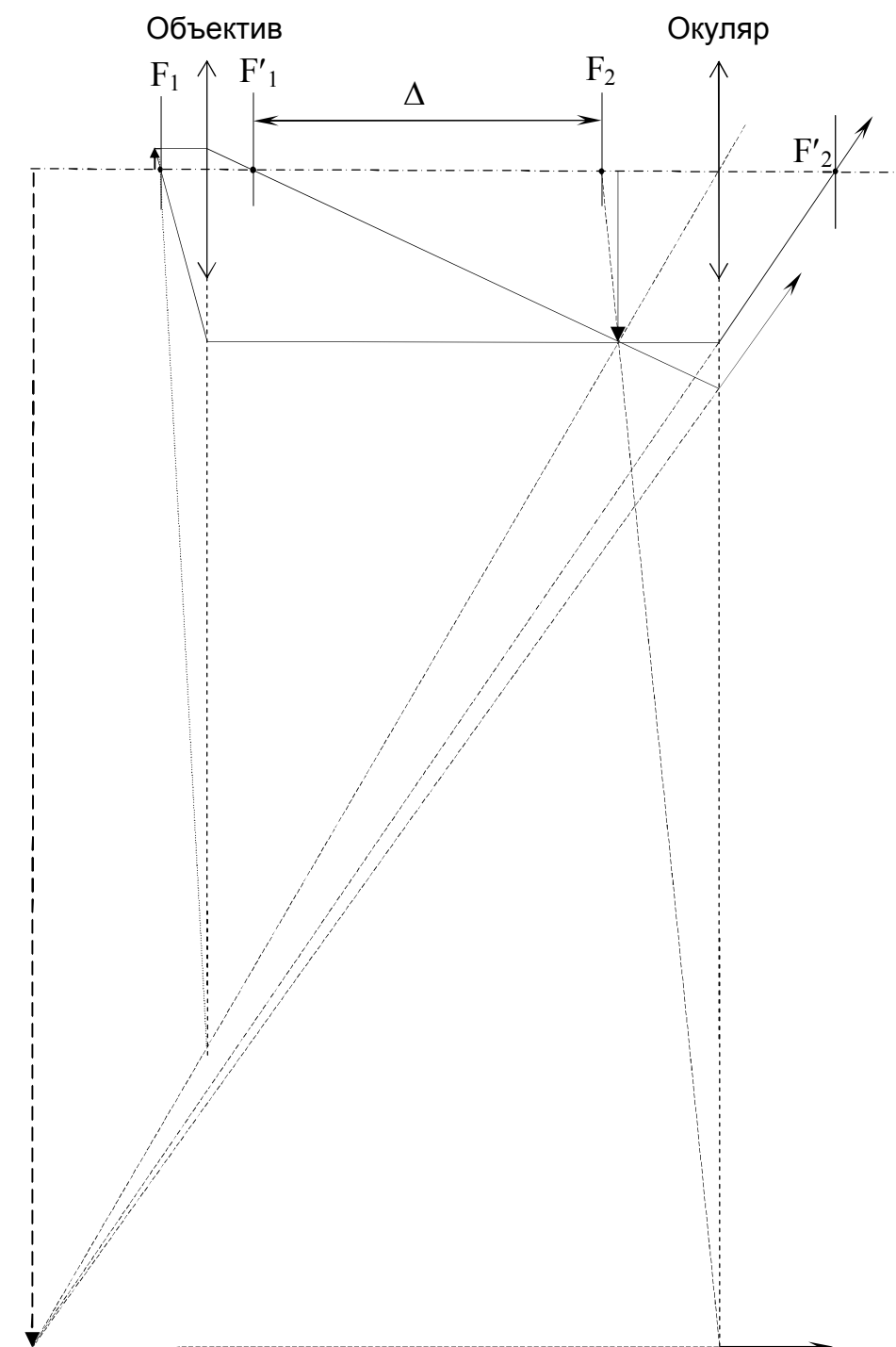


Рис. 2. Оптическая схема микроскопа

Передний фокус окуляра находится на расстоянии Δ от заднего фокуса объектива, называемом оптическим интервалом, стандартная величина которого равна 160 или 190 мм (см. рис. 1). Предмет устанавливают в воздухе или жидкости немного дальше первого фокуса, при

этом расстояние x от первого (переднего) фокуса до предмета определяется по формуле Ньютона

$$x = \frac{f_{\text{об}}^2}{\Delta}. \quad (1)$$

где $f'_{\text{об}}$ —фокусное расстояние объектива. После объектива получается увеличенное, обратное и действительное изображение, которое располагается в переднем фокусе окуляра или около него и рассматривается через окуляр, как через лупу.

Окуляр дополнительно увеличивает изображение и в зависимости от положения относительно переднего фокуса строит его в бесконечности или на расстоянии наилучшего видения, обеспечивая необходимые условия наблюдения. По своему действию микроскоп может быть приравнен к действию лупы.

Рассмотрим действие лупы. Чтобы различать более мелкие детали предмета, нужно увеличить угловое расстояние между деталями объекта. Угловое расстояние можно было бы увеличить и наблюдать детали отдельно, если бы удалось сильно приблизить предмет к глазу, однако при таком приближении сначала возрастает напряжение глаза, затем он оказывается неспособным давать четкую картину. Расстояние до предметов, наблюдаемых при хорошем освещении, привычное для глаза называется расстоянием наилучшего видения, оно условно принимается равным 250 мм для нормального глаза. Лупа позволяет приблизить предмет и увеличить его угловые размеры, если поместить его вблизи переднего фокуса, а изображение предмета, даваемое лупой, можно получить и рассматривать на расстоянии наилучшего видения или в бесконечности, т. е. на таком расстоянии, которое более удобно для наблюдателя.

Для нормального глаза предмет помещают в фокусе или, чаще, между фокусом и лупой вблизи переднего фокуса лупы, когда изображение будет перед глазом на расстоянии наилучшего видения 250 мм. Для дальноруккого глаза предмет располагают немного дальше от лупы, для близоруккого ближе немного к лупе. Во всех случаях изображение получается прямое, мнимое и увеличенное.

Увеличением лупы называется отношение тангенса угла ω' , под которым видно изображение l' через лупу, к тангенсу угла ω , под которым виден предмет l без лупы, расположенный на расстоянии наилучшего видения $p=250$ мм (см. рис. 3). Здесь H и H' —передняя и задняя главные плоскости, от которых отсчитываются соответственно переднее и заднее фокусные расстояния лупы f и f' ; l и l' —размеры предмета и его изображения.

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{l}{p}; \quad \operatorname{tg} \omega' = \frac{l'}{b-a'}; \quad \Gamma_{\text{л}} = \frac{\operatorname{tg} \omega'}{\operatorname{tg} \omega} = \frac{l'}{b-a'} \cdot \frac{p}{l} = \beta \frac{p}{b-a'}. \quad (2)$$

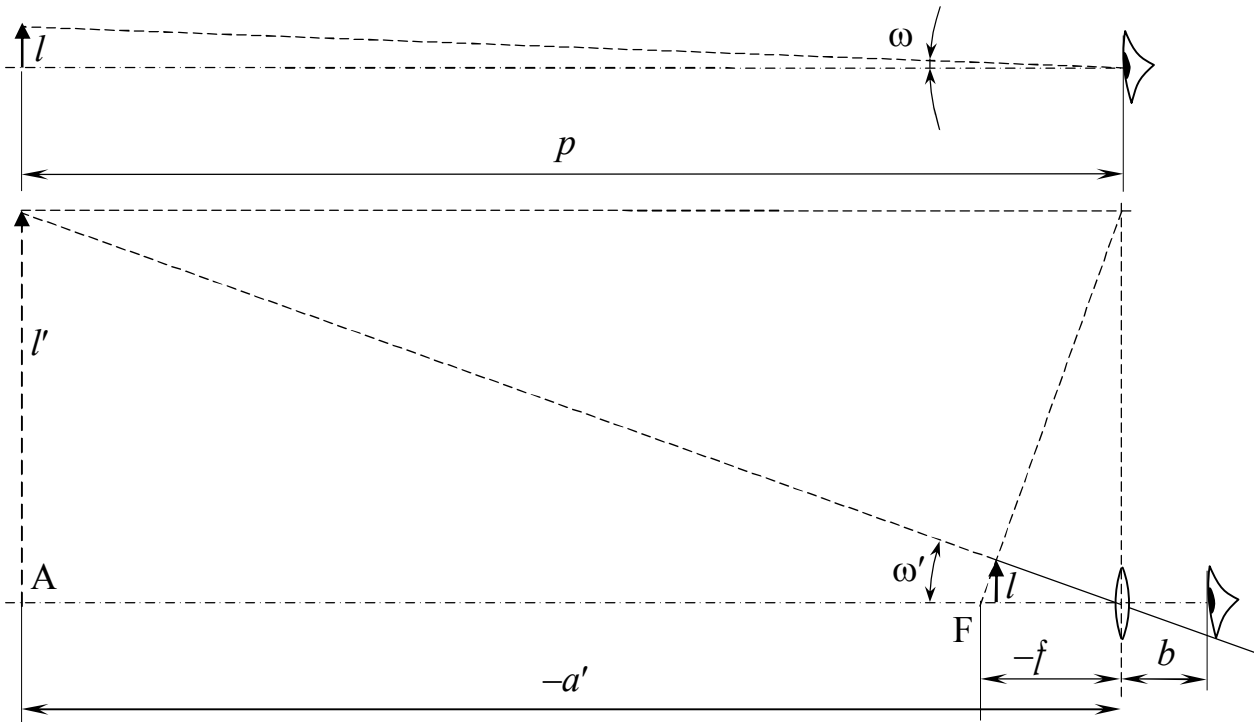


Рис. 3. К увеличению лупы

где $\Gamma_{\text{л}}$ и есть видимое увеличение лупы. Но линейное увеличение $\beta = l'/l$ выражается через фокусное расстояние f' лупы и расстояние a' от лупы до созданного ею мнимого изображения формулой

$$\beta = \frac{l'}{l} = -\frac{x'}{f'} = -\frac{a' - f'}{f'}, \quad (3)$$

тогда

$$\Gamma_{\text{л}} = -\frac{p}{f'} \cdot \frac{a' - f'}{b - a'}.$$

Если принять $a' \rightarrow -\infty$, т.е. поместить предмет в первом фокусе, то увеличение лупы

$$\Gamma_{\text{л}} = \frac{p}{f'} = \frac{250 \text{ мм}}{f'}. \quad (4)$$

Этой формулой и пользуются для определения увеличения лупы. Однако, если расстояние от глаза наблюдателя равно расстоянию наилучшего видения, т. е. $b - a' = p$, то увеличение лупы

$$\Gamma_{\text{л}} = -\frac{p}{f'} \cdot \frac{a' - f'}{p} = \frac{f' - a'}{f'} = 1 - \frac{b - p}{f'} = 1 - \frac{b}{f'} + \frac{p}{f'}. \quad (5)$$

Если $b = 0$ - лупа приставлена к глазу, то

$$\Gamma_{\text{л}} = \frac{p}{f'} + 1 = \frac{250 \text{ мм}}{f'} + 1.$$

В этом случае увеличение лупы больше примерно на единицу, чем увеличение, определяемое по формуле (4). Однако для больших увеличений (семикратное и более) эта разница не существенна.

Поскольку в окуляр рассматривается увеличенное в $\beta_{\text{об}}$ раз объективом промежуточное изображение, увеличение микроскопа равно произведению линейного увеличения объектива $\beta_{\text{об}}$ на видимое увеличение окуляра $\Gamma_{\text{ок}}$

$$\Gamma_{\text{м}} = \beta_{\text{об}} \cdot \Gamma_{\text{ок}},$$

но линейное увеличение объектива определяется по формуле, аналогичной (3), где в качестве расстояния $a' - f'$ берется оптический интервал Δ :

$$\beta = -\frac{\Delta}{f'_{\text{об}}}.$$

Тогда увеличение микроскопа

$$\Gamma_{\text{м}} = -\frac{\Delta}{f'_{\text{об}}} \cdot \frac{p}{f'_{\text{ок}}} = \frac{p}{f'_{\text{м}}} = \frac{250 \text{ мм}}{f'_{\text{м}}}, \quad (6)$$

откуда фокусное расстояние микроскопа как оптической системы равно

$$f'_{\text{м}} = -\frac{f'_{\text{об}} f'_{\text{ок}}}{\Delta}. \quad (7)$$

$f'_{\text{ок}}$ – фокусное расстояние окуляра. Согласно выражению (6), микроскоп можно рассматривать как короткофокусную лупу большого увеличения.

Благодаря сравнительно большой оптической длине тубуса расстояние от заднего фокуса микроскопа до предметной плоскости настолько велико, что обеспечивается удобство работы. С другой стороны, рабочее расстояние (от первой поверхности объектива до предмета) даже у объективов с наименьшим фокусом достаточно для помещения покровного стекла, закрывающего препарат (толщина покровного стекла 0.17 мм). Оставшийся при этом промежуток между объективом и покровным стеклом называют свободным расстоянием.

В ряде случаев в плоскости промежуточного изображения на расстоянии от заднего фокуса объектива помещается плоскопараллельная стеклянная пластинка с выгравированной на ней шкалой, называемой окулярным микрометром, или визирным перекрестием. Шкала служит для измерения помещающегося в поле зрения изображения объекта, перекрестие – для центрирования или других целей. Для того чтобы изображение шкалы или перекрестия мог наблюдать глаз, аккомодационная способность которого отличается от нормальной (близорукость или

дальнозоркость), окуляр должен иметь возможность перемещаться вдоль оптической оси. Перемещение окуляра на одну диоптрию равно

$$x = \frac{f'_{\text{ок}}{}^2}{1000},$$

где $f'_{\text{ок}}$ – фокусное расстояние окуляра в миллиметрах. Обычно окуляры такого типа могут перемещаться на ± 5 диоптрий.

Увеличение микроскопа – не единственная его главная характеристика. Она зависит только от взаимного расположения предмета, объектива, окуляра и величин фокусных расстояний, но не связана с диаметрами диафрагм и оправ линзовых систем. Диаметры оправ и диафрагм определяют другие основные характеристики микроскопа: светосилу прибора, его разрешающую способность и поле зрения. Вследствие ограниченных размеров оптических элементов в образовании изображения, например, точки на оптической оси, участвует не вся сферическая волна, а только некоторая ее часть, размер которой определяется наименьшей оправой системы или наименьшей диафрагмой, называемой действующей или апертурной. Она может находиться перед системой, внутри или позади системы.

Ее изображение в пространстве предметов называется входным зрачком, а в пространстве изображений – выходным. Из лучей, испускаемых точкой A , в систему попадут только те, которые находятся внутри конуса, опирающегося на входной зрачок. Половина угла при вершине этого конуса называется апертурным углом u_m .

Действующей апертурной диафрагмой в микроскопе служит оправа одной из линз объектива. Ограничение волнового фронта диафрагмой ведет к падению разрешающей способности микроскопа вследствие дифракции света на диафрагме. Минимальное разрешаемое микроскопом линейное расстояние между двумя светящимися точками l_{\min} зависит от апертурного угла:

$$l_{\min} = \frac{0.61\lambda}{n \sin u_m} = \frac{0.61\lambda}{A}.$$

Разрешающая способность микроскопа тем больше, чем меньше l_{\min} , т. е. чем больше значение $A = n \sin u_m$. Величина A называется числовой апертурой объектива. Среда, помещаемая между предметом и объективом, имеющая показатель преломления n , называется иммерсионной жидкостью, а используемый с иммерсионной жидкостью объектив – иммерсионным. Благодаря иммерсии можно увеличить числовую апертуру и, соответственно, повысить разрешающую способность. Разрешающая сила микроскопа зависит также от длины волны λ используе-

мого света. Чем короче длина волны, тем меньшие детали позволяет наблюдать микроскоп.

Апертурная диафрагма, пропуская через объектив только часть волнового фронта, исходящего из светящейся точки, ограничивает также освещенность изображения, которая пропорциональна $\tau VA^2/\Gamma_m^2$, где τ – коэффициент пропускания объектива, который зависит от поглощения и светорассеяния в линзах микроскопа, V – яркость предмета, Γ_m – увеличение микроскопа, A – числовая апертура. Чем больше апертура, тем больше освещенность изображения. Освещенность изображения убывает с ростом увеличения.

При рассматривании предмета в микроскоп резко видны не только те детали, которые находятся в плоскости, сопряженной с плоскостью сетчатки глаза. Резкими видны также детали, удаленные на некоторое расстояние от плоскости фокусировки. Это расстояние называется глубиной резкого изображения. Это явление связано с тем, что глаз имеет ограниченную остроту зрения и не способен различить незначительную расфокусировку изображения. Для данного смещения рассматриваемой детали от плоскости фокусировки нерезкость изображения будет тем больше, чем больше апертура. Глубина резкого изображения в этом случае обратно пропорциональна числовой апертуре объектива. Она весьма мала при больших увеличениях, даваемых микроскопом.

Ввиду важности числовой апертуры как характеристики объектива численное значение ее всегда гравировается на оправках объективов и указывается в справочниках.

Кроме апертурной диафрагмы, в микроскопе имеется полевая диафрагма. Изображение, образованное микроскопом, как и у лупы, мнимое. При наблюдении этого изображения глазом окончательное изображение на сетчатке – действительное. Сетчатка глаза имеет ограниченные размеры. Поэтому сопряженная с ней плоскость в пространстве предметов тоже имеет ограниченные размеры. Кроме того, и возможности оптической системы имеют предел. По этим причинам в плоскости промежуточного изображения устанавливается диафрагма, ограничивающая поле зрения предмета. Эта диафрагма называется полевой диафрагмой.

Изображение полевой диафрагмы в пространстве предметов лежит в плоскости фокусировки микроскопа и называется входным люком микроскопа, а в пространстве изображений – выходным люком. Благодаря наличию полевой диафрагмы края изображения в микроскопе резко очерчены, а плоскость изображения можно сделать равномерно освещенной.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Оптическая система микроскопа состоит в целом из осветительного аппарата (состоящего, в свою очередь, из зеркала и конденсора), сменных объективов и окуляров. Зеркало служит для направления лучей от осветителя вдоль микроскопа. Конденсор состоит обычно из двух или трех линз и служит для концентрации света и для более интенсивного освещения предмета.

Фокусировка микроскопа или установка его на отчетливость изображения производится перемещением тубуса микроскопа относительно рассматриваемого предмета (в некоторых конструкциях микроскопов относительно неподвижного тубуса перемещается предметный столик). В микроскопах используются окуляры системы Гюйгенса.

Очень часто микроскоп применяется в качестве измерительного прибора для измерения небольших расстояний. В этом случае он снабжается отсчетным крестом нитей и окулярным микрометром. Отсчетный крест винтового окулярного микрометра МОВ-1-15^x представляет собой две взаимно перпендикулярные линии, выгравированные на стеклянной пластинке, помещенной вблизи фокальной плоскости глазной линзы окуляра. Вращением винта окулярного микрометра перекрестие можно совместить с нужной точкой изображения объекта. Вверху поля зрения напротив перекрестия имеется двойной штрих, перемещающийся вместе с перекрестием. Там же видна неподвижная шкала, одно деление которой соответствует полному обороту винта микрометра. На винте микрометра нанесена шкала, разбитая на 100 равных делений. Очевидно, что одно малое деление винта окулярного микрометра будет соответствовать различным отрезкам рассматриваемого предмета при различных объективах.

А. Определение цены деления винта окулярного микрометра

Установить объектив с наименьшим увеличением. Объект-микрометр представляет собой пластину с нанесенной на ней шкалой с ценой деления 0.01 мм. В работе вместо объект-микрометра может использоваться окулярный микрометр с ценой деления шкалы 0.1 мм.

На столик микроскопа положить объект-микрометр шкалой вверх. Навести микроскоп на резкое изображение объект-микрометра. При этом необходимо соблюдать осторожность, чтобы не надавить объективом микроскопа на объект-микрометр. При наводке на резкость обращать внимание на качество освещения и, при необходимости, подрегулировать ориентацию зеркала и положение конденсора по высоте. Наводку на резкость сначала осуществлять ручками грубой наводки (вра-

щать очень медленно), затем ручкой тонкой наводки (при небольшом увеличении эти ручки можно вращать быстро). Найти резкое изображение верхней поверхности объект-микрометра может помочь его край. Осторожно передвигая объект-микрометр по столику и наблюдая в микроскоп, вывести край пластинки в поле зрения. Первоначально изображение этого края будет сильно размытым. Однако найти теперь плоскость резкого изображения не составит труда: подфокусировать микроскоп так, чтобы были резко видны мелкие неоднородности и пыль на стекле.

После этого перемещением объект-микрометра ввести в поле зрения изображение шкалы, контролируя при этом резкость изображения. Найти шкалу поможет кольцо малого диаметра, окружающее шкалу. Перемещать объект-микрометр в поле зрения можно с помощью юстировочных винтов, расположенных сбоку предметного столика.

Установить шкалу объект-микрометра параллельно шкале окулярного микрометра (это можно сделать поворотом окулярного микрометра; у МОВ-1-15^х следует предварительно ослабить зажимной винт).

При использовании винтового окулярного микрометра МОВ-1-15^х вывести перекрестие окулярного микрометра в левую часть поля зрения так, чтобы двойной штрих оказался вблизи цифры 0 (но не слева от нее). Перекрестие установить на одну из линий шкалы объект-микрометра. Снять отсчет (первая цифра читается в поле зрения слева от штриха, в данном случае это будет 0, вторая и третья цифра снимаются со шкалы винта). Вращением винта микрометра перемещать перекрестие вправо, считая деления объект-микрометра. Для большей точности следует пройти возможно больше делений (например, до положения перекрестия между цифрами 7 и 8). Снять показания окулярного микрометра. По разнице показаний винтового окулярного микрометра определить число n делений окулярного микрометра, которые соответствуют m делениям объект-микрометра.

При этом длина измеренного участка объект-микрометра равна $m\lambda$, где a —цена деления объект-микрометра, указана на рабочем месте, $ma = n\lambda$, λ —цена деления винтового окулярного микрометра в пространстве предметов. Отсюда $\lambda = \frac{m}{n} a$.

Определить цену деления окулярного микрометра в пространстве предметов для всех объективов: сначала для объектива с наименьшим увеличением, затем для промежуточного и для объектива с наибольшим увеличением. После смены объектива требуется обычно небольшая подфокусировка микроскопа, которая, как правило, осуществляется

только рукояткой точной наводки. В процессе наводки следить, *чтобы объектив микроскопа не коснулся объект-микрометра*. Добившись резкого изображения шкалы, вывести его в середину поля зрения и произвести измерения.

Если изображение шкалы не удастся найти, следует опять поставить объектив с наименьшим увеличением и, найдя изображение и выведя его в центр поля зрения, поставить объектив с большим увеличением. Следует помнить, что чем больше увеличение микроскопа, тем меньше поле зрения и глубина резкости и тем труднее найти нужный участок изображения.

Б. Определение размеров монодисперсных частиц

Вместо объект-микрометра положить на предметный столик микроскопа стеклянную пластинку с нанесенными на нее монодисперсными (т.е. мало отличающимися по размеру) частицами (например, спорами ликоподия). Установить объектив с наименьшим увеличением, получить резкое изображение верхней поверхности пластинки и ввести в поле зрения группу частиц (они по виду явно отличаются от пыли на стекле приблизительно круглой формой, с одинаковым более крупным размером). Рассмотреть изображение последовательно со всеми имеющимися микрообъективами. Очевидно, наиболее удобен для измерений в этом случае $20\times$.

Измерение частиц производить следующим образом. С помощью винтов перемещения предметного столика вывести изображение одной частицы в центр поля зрения. При использовании винтового окулярного микрометра МОВ-1- $15\times$ вращением винта совместить перекрестие с левым краем частицы. Снять отсчет. Вращением винта окулярного микрометра совместить перекрестие с правым краем частицы, измерив, таким образом, ее диаметр. По разности показаний окулярного микрометра определить число n делений винта, соответствующих диаметру частицы, и по формуле

$$d = \lambda n$$

определить диаметр частицы. Измерения провести не менее чем для 50-ти частиц. Найти средний арифметический диаметр

$$\bar{d} = \frac{\sum d_i}{N} = \lambda \frac{\sum n_i}{N} = \lambda \bar{n}.$$

Рассчитать стандартное отклонение размеров частиц от среднего

$$\sigma_d = \lambda \sum \sqrt{\frac{(n_i - \bar{n})^2}{N - 1}}.$$

В. Определение показателя преломления прозрачного вещества

При переходе света через границу раздела двух сред с различными плотностями световые лучи изменяют направление, т.е. происходит преломление световых лучей, подчиняющееся следующим двум законам:

- а) луч, падающий на поверхность раздела, нормаль к поверхности в точке падения и луч преломления лежат в одной плоскости,
- б) отношение синуса угла падения к синусу угла преломления (углы отсчитываются от нормали к поверхности раздела) есть величина постоянная для данных двух сред и называется относительным показателем преломления второй среды по отношению к первой.

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Относительный показатель преломления равен отношению скоростей распространения света в первой и второй средах: $n_{21} = n_2/n_1$. Показатель преломления вещества по отношению к вакууму называется абсолютным или просто показателем преломления данного вещества, он равен $c/v = n$, где c —скорость света в вакууме, v —скорость света в среде. Тогда закон преломления можно записать в симметричном виде

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2. \quad (8)$$

Показатель преломления зависит от природы вещества и длины световой волны. В вопросах практической оптики определение показателя преломления имеет большое значение, поэтому было разработано много методов определения показателя преломления различных твердых, жидких и газообразных веществ: твердых и жидких—с помощью микроскопа, спектрометра–гониометра (исследуемому веществу придается форма трехгранной призмы), рефрактометра (метод основан на явлении полного внутреннего отражения); наиболее точный метод измерения показателя—интерференционный—применяется для определения показателя преломления всех прозрачных веществ—твердых, жидких, газообразных.

В данной работе используется первый из перечисленных методов, наиболее простой, но не отличающийся высокой точностью.

Если рассматривать предмет через прозрачную пластинку или через плоскопараллельный слой прозрачной жидкости, имеющей большую по сравнению с воздухом оптическую плотность (т. е. больший показатель преломления), то вследствие преломления лучей на поверхностях слоя рассматриваемый предмет будет казаться нам приподнятым, т. е. расположенным ближе, чем в действительности, и тем ближе, чем

больше показатель преломления. Это явление и положено в основу данного метода.

Рассмотрим ход лучей через плоскопараллельный слой вещества. Если мы рассматриваем точку А сверху на нижней поверхности этого слоя, то вследствие преломления луч АВ будет казаться исходящим из точки С (рис. 4). Фокусируя микроскоп сначала на точку А (которая будет казаться расположенной в точке С), а затем на точку D (на верхней поверхности слоя), мы по величине перемещения тубуса сможем определить кажущуюся толщину слоя $d_1=CD$. Зная из независимых измерений истинную толщину слоя $d=AD$ (например, измерив пластинку с помощью микрометра), мы сможем вычислить показатель преломления вещества слоя. Действительно,

$$\frac{BD}{CD} = \operatorname{tg} r; \quad \frac{BD}{AD} = \operatorname{tg} i; \quad BD = d_1 \operatorname{tg} r = d \operatorname{tg} i,$$

$$d_1 \frac{\sin r}{\cos r} = d \frac{\sin i}{\cos i}, \quad \frac{d_1}{n_0} \cdot \frac{n_0 \sin r}{\cos r} = \frac{d n \sin i}{n \cos i}, \quad n_0 \sin r = n \sin i,$$

$$d_1 = d \frac{n_0}{n} \cdot \frac{\cos r}{\cos i}. \quad (9)$$

Отметим, что так как выражение (9) изменяется с изменением угла i , то преломленные лучи не образуют гомоцентрического пучка, т. е. не представляются исходящими из одной точки С. Это приводит к ухудшению качества изображения, тем большому, чем шире используемый пучок лучей, чем больше максимальный угол r_{\max} , т. к. вместо точки мы будем видеть маленькое расплывчатое пятнышко. Такое ухудшение качества изображения называется аберрацией оптической системы (в данном случае плоскопараллельной пластинки).

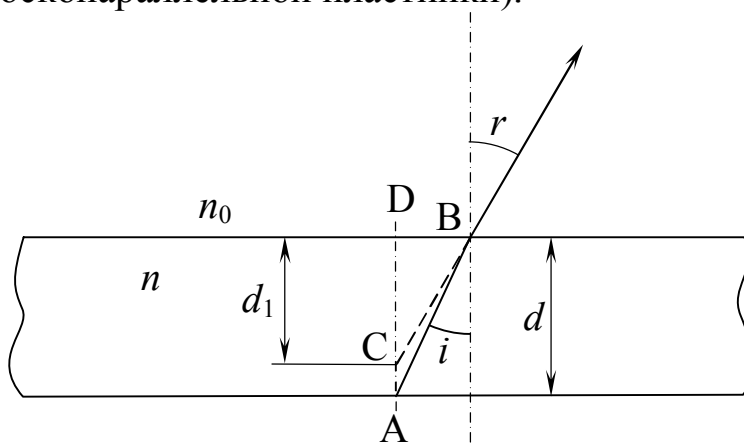


Рис. 4. Истинная и кажущаяся толщина слоя

Однако, если используемые углы i малы, $\cos r \approx \cos i \approx 1$; тогда выражение (9) приводится к формуле .

$$n = n_0 \frac{d}{d_1} \approx \frac{d}{d_1}, \quad (10)$$

так как показатель преломления воздуха ($n_0=1,00029$) с достаточной для метода точностью можно считать равным единице.

В данной работе измеряется показатель преломления стеклянной пластинки. Для наводки микроскопа на резкое изображение прозрачной поверхности пластинки на обеих ее поверхностях сделаны метки-штрихи (царапины). Для фокусировки микроскопа на нижнюю поверхность пластинки требуется опустить тубус микроскопа, однако этому препятствует специально отрегулированный упор (его назначение – предохранять объект-микрометр, который может быть сломан объективами микроскопа, если тубус опустить слишком низко. Поэтому на столик следует положить матовое стекло (матированной поверхностью вниз), установить объектив с наименьшим увеличением, положить на матовое стекло исследуемую пластинку и производить измерения.

При грубом перемещении тубуса получают резкое изображение верхней поверхности пластинки, вводят в поле зрения метки-штрихи и вращением микрометрического винта точной наводки получают более точную фокусировку (предварительно винт точной наводки следует вывернуть до отказа в направлении, соответствующем возрастанию цифр на винте). Сняв отсчет по шкале барабана точной наводки, повернуть винт в ту или иную сторону, затем вновь добиться резкой фокусировки и снять отсчет по барабану. Эту операцию повторяют десять–пятнадцать раз и вычисляют среднее значение для установки микрометрического винта.

После этого вращением только микрометрического винта точной наводки получают наиболее резкое изображение метки-штриха нижней поверхности, считая при этом число оборотов микрометрического винта. Аналогично предыдущему находится средний отсчет микрометрического винта для нижней метки. Число оборотов микрометрического винта и разность отсчетов определяют кажущуюся толщину пластинки d_1 : один оборот микрометрического винта опускает тубус микроскопа на 0,1 мм или 0.2 мм в зависимости от конструкции микроскопа; отсюда определяется a_0 —цена деления микрометрического винта ($a_0=0,001$ мм или $a_0=0,002$ мм для разных типов микроскопов, возможны иные варианты).

Нужно иметь в виду, что фокусировка делается на мелкие детали края царапины–штриха на стекле. Если же фокусировать на середину, то ошибка в определении кажущейся толщины может достигь десятков микрометров.

Для определения n нужно также измерить толщину d исследуемой пластинки при помощи микрометра (или толщиномера) с возможно большей точностью. При этом измерения повторяют в десяти различных местах, расположенных равномерно и вместе с тем в той части пластинки, где нанесены метки-штрихи. За толщину пластинки принять среднее арифметическое значение.

Определить показатель преломления и ошибки измерений.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему в формулу (1) и в формулу для увеличения объектива микроскопа входит оптический интервал Δ ?

2. Почему в формулу для увеличения окуляра входит расстояние наилучшего видения? Точное ли выражение для увеличения окуляра

$$\Gamma_{\text{ок}} = \frac{250 \text{ мм}}{f'_{\text{ок}}}$$

3. Какие ограничения может накладывать на исследуемый объект маленькое рабочее расстояние?

4. Чем определяется увеличение микроскопа?

5. Чем определяется разрешающая способность микроскопа?

6. От чего зависит глубина резко изображаемого пространства?

7. Чем определяется освещенность изображения?

8. Можно ли неограниченно увеличивать точность измерения показателя преломления с помощью микроскопа, уменьшая максимальный используемый угол преломления?

9. Используя кардинальные элементы объектива и окуляра (фокальные и главные плоскости, узловые точки), изобразить ход лучей при построении изображения объективом, окуляром, микроскопом в целом.

Библиографический список

Ландсберг Г.С. Оптика.-М.: Наука, 1976. - 926 с. •

Сивухин Д.В. Оптика.- М.: Наука, 1980.- 751 с.