

Работа 4 - 4

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСКОПА

Цель работы: Изучение устройства, хода лучей, возможностей микроскопа для практического использования, а так же экспериментальное определение увеличения прибора и показателя преломления стеклянной пластинки.

Оборудование: Микроскоп с окуляром, позволяющим видеть два изображения, стеклянная пластинка со шкалой (объектный микрометр), миллиметровая линейка, плоскопараллельная стеклянная пластинка известной толщины.

Теория

Микроскопом называется оптический прибор для получения сильно увеличенных изображений объектов или их деталей невидимых невооруженным глазом.

С помощью микроскопов обнаруживаются и изучаются бактерии, органические клетки, структуры металлов, мелкие кристаллы и др. Применение этих приборов дают возможность различать структуры объектов с расстоянием между элементами до 0,2 мкм.

В конструкцию микроскопов в качестве основных деталей входят оптические линзы. Основные определения и ход лучей в линзах описаны в теории работы 4-1. **Эту часть описания 4-1 необходимо изучить и при выполнении данной работы.**

Каждый микроскоп состоит из двух оптических систем. Первая из них, обращенная к наблюдаемому объекту, получила название *объектива*. Эта система создает первое действительное, увеличенное, обратное изображение предмета. Вторая система, обращенная к глазу наблюдателя, получила название *окуляра*. Эта система дает второе мнимое, прямое, увеличенное изображение первого изображения предмета. Объектив микроскопа рассчитывается на рассмотрение небольших близлежащих предметов. Поэтому он имеет небольшое фокусное расстояние. Предмет располагается перед объективом немного дальше его фокусного расстояния. В результате изображение предмета оказывается значи-

тельно увеличенным. Окуляр микроскопа устанавливается таким образом, что первое изображение, данное объективом, располагается между фокусом окуляра и самим окуляром. Поэтому второе изображение предмета является заметно увеличенным и мнимым.

Оптическая схема и ход лучей в микроскопе показаны на рис. 1.

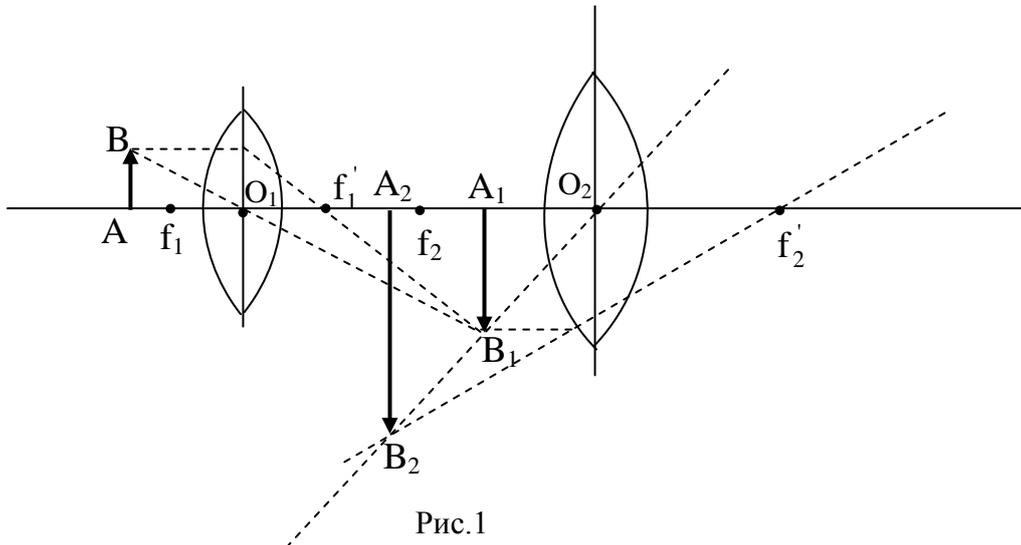


Рис.1

Важнейшей характеристикой оптических приборов является видимое увеличение, которое определяется через углы зрения.

Углом зрения называется угол, под которым виден предмет (или его изображение), расположенный перпендикулярно к оптической оси. **Видимым увеличением оптического прибора** Γ называется отношение тангенса угла зрения при наблюдении предмета через прибор α_2 к тангенсу угла зрения при наблюдении того же предмета невооруженным глазом α_1 , который в случае микроскопа должен быть расположен на **расстоянии наилучшего зрения**, составляющего для нормального глаза 25 см. Таким образом,

$$\Gamma = \frac{\operatorname{tg}\alpha_2}{\operatorname{tg}\alpha_1}. \quad (1)$$

Линейное увеличение микроскопа определяется отношением линейных размеров изображения A_2B_2 к линейным размерам предмета AB , т.е.

$$N = \frac{A_2B_2}{AB}. \quad (2)$$

Общее увеличение создается объективом и окуляром. Увеличение объектива определится величиной

$$N_1 = \frac{A_1 B_1}{AB} = \frac{A_1 O}{AO} = \frac{d}{f_1}, \quad (3)$$

где d – расстояние от изображения предмета до объектива, а величина AO , т.к. предмет располагается вблизи фокуса f_1 , может быть заменена фокусным расстоянием объектива: $AO = f_1$.

Увеличение, даваемое окуляром, который может рассматриваться как лупа равняется:

$$N_2 = \frac{A_2 B_2}{A_1 B_1} = \frac{A_2 O_2}{A_1 O_2} = \frac{D}{f_2}, \quad (4)$$

где D - расстояние наилучшего зрения, а значение $A_1 O_2$ очень близко к f_2 .

Подставляя в формулу (2) значение $A_2 B_2$ из ф. (4), а затем значение $A_1 B_1$ из ф. (3) находим:

$$N = \frac{A_2 B_2}{AB} = N_2 \frac{A_1 B_1}{AB} = N_2 \frac{N_1 AB}{AB} = N_1 N_2, \quad (5)$$

т.е. общее увеличение микроскопа равно произведению увеличений объектива и окуляра.

Если теперь в ф. (5) подставить конечные значения ф.(3) и ф.(4), то получим:

$$N = \frac{Dd}{f_1 f_2}. \quad (6)$$

И, наконец, т.к. изображение, даваемое объективом, получается вблизи фокуса окуляра, а фокусное расстояние окуляра мало, то расстояние d можно приближенно принять равным оптической длине тубуса микроскопа δ , т.е. расстоянию между объективом и окуляром и тогда

$$N = \frac{\delta D}{f_1 f_2}. \quad (7)$$

Эта формула позволяет оценивать увеличение оптического микроскопа. Оптическая длина тубуса δ составляет 15-16 см, расстояние наилучшего зрения $D = 25$ см. Фокусное расстояние объектива по порядку величины равно $f_1 \approx 1,5$ мм, а окуляра $f_2 \approx 8,5 \div 10$ мм.

Используя эти данные, получаем $N \approx 2500$.

Упражнение 1

Определение увеличения микроскопа

Для определения увеличения микроскопа N достаточно оценить величину изображения с каким-либо другим предметом, отношение величины которого к величине объекта точно известно. Измерения проводятся следующим образом.

На столик микроскопа кладут объектный микрометр - стеклянную пластинку с нанесенной на ней шкалой с делениями через 0,1 мм и фокусируют микроскоп на резкое изображение этой шкалы. Сбоку от микроскопа на расстоянии наилучшего зрения (25 см) от его оси ставят линейку с делениями в 1 мм. С помощью поворотной призмы, установленной возле глазной линзы окуляра добиваются в поле зрения совмещения изображения шкалы объектного микрометра и миллиметровой линейки. Затем отсчитывают количество целых делений линейки m_1 , совпадающих с целым числом делений изображения микрометра m_2 . Так как отношение длины делений линейки и микрометра равно 10, то увеличение определится формулой:

$$N = \frac{m_1}{m_2} \cdot 10. \quad (8)$$

Нарушая и снова устанавливая фокусировку микроскопа, производят 10 замеров. Результаты измерений заносят в таблицу 1.

Таблица 1.

№	m_1	m_2	N_i	$N_{\text{ср.}}$	$\frac{N_{\text{ср.}} - N_i}{N_i}$	$(N_{\text{ср.}} - N_i)^2$	ΔN	ε
1								
2								
3								
.								
.								
.								
10								

Ошибка измерения определяется из формулы:

$$\Delta'N = \sqrt{\frac{\sum (N_{\text{ср.}} - N_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (9)$$

Полученное значение $\Delta'N$ для доверительной вероятности 0,95 и 10 измерениям должно быть умножено на коэффициент Стьюдента 2,23. В результате истинная ошибка будет равна

$$\Delta N = 2,23 \cdot \Delta'N. \quad (10)$$

Это значение и вносится в таблицу 1.

Относительная ошибка определяется из формулы:

$$\varepsilon = \frac{\Delta N}{N_{\text{ср.}}} \cdot 100\%. \quad (11)$$

Окончательный результат составляет

$$N = N_{\text{ср.}} \pm \Delta N.$$

Упражнение 2

Определение показателя преломления стеклянной пластинки

Теория

Метод измерения показателя преломления стекла основан на том факте, что если смотреть на предмет через слой прозрачного вещества с показателем преломления большим показателя преломления воздуха, то этот предмет кажется нам расположенным ближе, чем это есть на самом деле.

Докажем это утверждение. Пусть через плоскопараллельную пластинку рассматривается некоторая точка O , как показано на рис. 2.

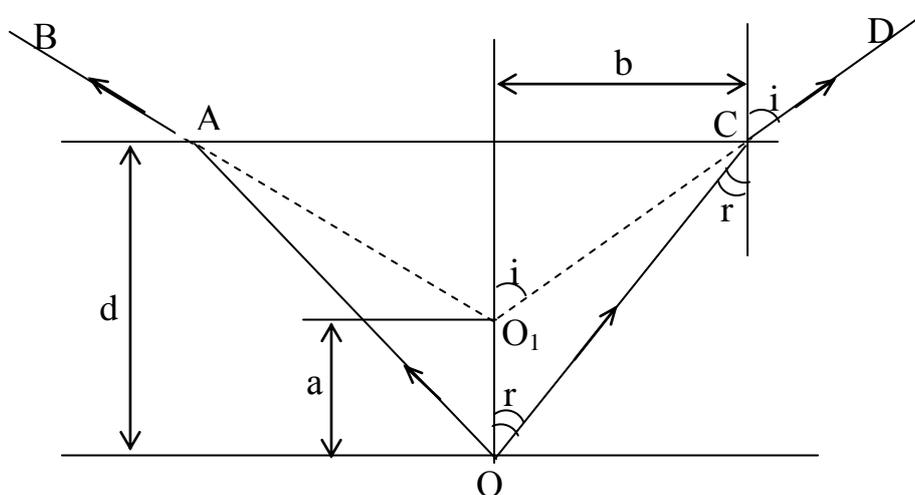


Рис. 2

Проведем из точки O два симметричных луча OA и OC . После преломления на верхней плоскости пластины эти лучи пойдут по направлениям AB и CD . Если теперь производить наблюдения сверху по направлению этих лучей, то точка O будет наблюдаться в некоторой точке O_1 на пересечении продолжения этих лучей. В результате, точка O покажется нам расположенной ближе на величину $OO_1 = a$. Величина этого кажущегося смещения будет зависеть как от толщины пластинки, так и от показателя преломления материала пластинки. Из рисунка 2 следует, что:

$$\frac{d}{b} = \text{ctgr} \quad \text{и} \quad \frac{b}{d-a} = \text{tgi}.$$

Перемножим почленно эти выражения. Тогда получим:

$$\frac{d}{d-a} = \text{ctgr} \cdot \text{tgi} = \frac{\cos r}{\sin r} \cdot \frac{\sin i}{\cos i}.$$

Но $\sin i / \sin r = n$, т.е. равно показателю преломления изучаемой среды. Поэтому

$$\frac{d}{d-a} = n \frac{\cos r}{\cos i}. \quad (12)$$

Преобразуем это выражение с учетом того, что $\cos r = \sqrt{1 - \sin^2 r}$ и $\sin^2 r = \frac{\sin^2 i}{n^2}$. В этом случае получаем

$$\frac{d}{d-a} = \sqrt{\frac{n^2 - \sin^2 i}{1 - \sin^2 i}}. \quad (13)$$

При наблюдении вертикально сверху $i \rightarrow 0$ и тогда

$$\frac{d}{d-a} = n. \quad (14)$$

Измерения

1. С помощью осветительного зеркала добиться яркого освещения видимого поля микроскопа.

2. Получить стеклянную плоскопараллельную пластинку. Толщина d каждой из пластинок выгравирована на самой пластинке.

3. Установить шкалу микрометрического винта (белые ручки) на нулевое деление.

4. С помощью перемещения тубуса (черные ручки) установить четкое изображение пылинок на верхней или нижней поверхности пластинки.

5. Не изменяя положение тубуса, с помощью перемещения предметного столика (белые ручки) добиться четкого изображения противоположной поверхности пластинки. При этом нужно посчитать число полных оборотов K_1 белого винта, помножить их на число делений в полном обороте и на цену одного деления и прибавить к ним число оставшихся делений K_2 , помноженных на цену одного деления, которые имеются на лимбе белого винта. Цена одного деления 0,002, на один оборот приходится 50 делений. Полученное значение и будет представлять искомую величину $d - a$. Измерение этой величины проводится 10 раз и результаты заносятся в таблицу 2. Пользуясь формулой (14), вычисляют значение показателя преломления, определяют среднее значение n_{cp} и вычисляют ошибку измерений.

Результаты измерений заносят в таблицу 2.

Таблица 2

NN n/n	d	d - a	n_i	n_{cp}	$n_{cp} - n_i$	$(n_{cp} - n_i)^2$
1						
2						
...						
...						
...						
...						
10						

Определение ошибки измерений по ф. (15):

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum(n_{cp} - n_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (15)$$

[Не путать! В числителе значения показателя преломления, а в знаменателе число измерений]. Т.к. число измерений невелико (10), то значение ΔS из ф. (15) есть ошибка, определенная на основании выборочной, а не генеральной совокупности величин. Поэтому для достоверной вероятности 0,95 и десятикратных измерений необходимо полученное значение ΔS помножить на коэффициент Стьюдента 2,23. То-

гда,

$$\Delta n = 2,23 \cdot \Delta S \quad (16)$$

и полученное из измерений значение коэффициента преломления будет равно:

$$n = n_{\text{ср.}} \pm \Delta n. \quad (17)$$

Результаты этих вычислений заносятся в таблицу 3.

Таблица 3.

S	Δn	n	ε

Относительная ошибка находится из выражения:

$$\varepsilon = \frac{\Delta n}{n} \cdot 100\% . \quad (18)$$

Литература:

1. Ландсберг Г.С. Оптика.– М.: Наука, 1976.
2. Физический практикум /Под ред. В.И. Ивероновой.– М.: Наука, 1968.
3. Уродов В.И., Стрижнев В.С. Практикум по физике.– Минск, изд. Высэйшая школа, 1973.