

Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Лабораторная работа № 12

Определение
разрешающей
способности микроскопа
и глаза

Ярославль
2013

Оглавление

1.	Вопросы для подготовки к работе	3
2.	Теоретическое введение	3
3.	Описание установки	7
4.	Порядок выполнения работы	7
	Задание 1.	7
	Задание 2.	8
5.	Контрольные вопросы	10

Составители: В.К. Мухин, старший преподаватель кафедры общей физики
Г.В. Жусь, кандидат технических наук, доцент кафедры
общей физики

Лабораторная работа № 12

Определение разрешающей способности микроскопа и глаза

Цель работы: ознакомление с методами определения разрешающей способности.

Приборы и принадлежности: микроскоп, пластинка с маленьким отверстием, шкала со скользящими указателями, таблица со штрихами (висит на стене), рулетка, штангенциркуль, зеркало.

Литература:

1. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1976.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1982. – Т.2.

1. Вопросы для подготовки к работе

1. Что такое разрешающая способность оптических приборов?
2. От чего зависит разрешающая способность микроскопа и по какой формуле она вычисляется?
3. Что такое апертурный угол и числовая апертура микроскопа?
4. Чем определяется разрешающая способность глаза?

2. Теоретическое введение

Качество микроскопа определяется не только его увеличением, но и разрешающей способностью, которая характеризуется наименьшим расстоянием между двумя точками рассматриваемого предмета, которые видны раздельно. Чем меньше это расстояние, тем больше разрешающая способность. Точки, расположенные на более близких расстояниях, микроскопом не разрешаются, то есть они видны как одна точка. Разрешающая способность микроскопа зависит от разрешающей способности объектива, ибо, если две ближайшие точки видны в объективе как одна, то и в окуляра они не разделяются.

Предел разрешающей способности оптической системы ограничивается явлением дифракции. Разрешающая способность микроскопа, как и любой другой оптической системы, подчиняется критерию

Релея, который гласит, что две точки будут видны отдельно, если главный максимум в дифракционном изображении одной из них совпадает с первым минимумом в изображении другой и наоборот (рис. 2.1).

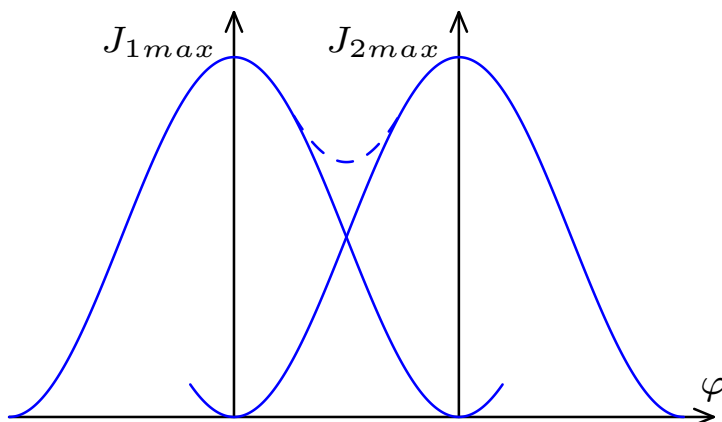


Рис. 2.1

Для вывода формулы разрешающей способности микроскопа рассмотрим две точки 1 и 2, едва различимые отдельно (рис. 2.2). Расстояние d между ними можно принять за линейную меру разрешающей способности. Пусть φ_1 — угол, под которым наблюдается первый минимум в дифракционном изображении точки 1, а D — диаметр линзы объектива OB (входной зрачок микроскопа), тогда условие первого минимума дифракции от одной щели запишется так:

$$D \sin \varphi_1 = \lambda.$$

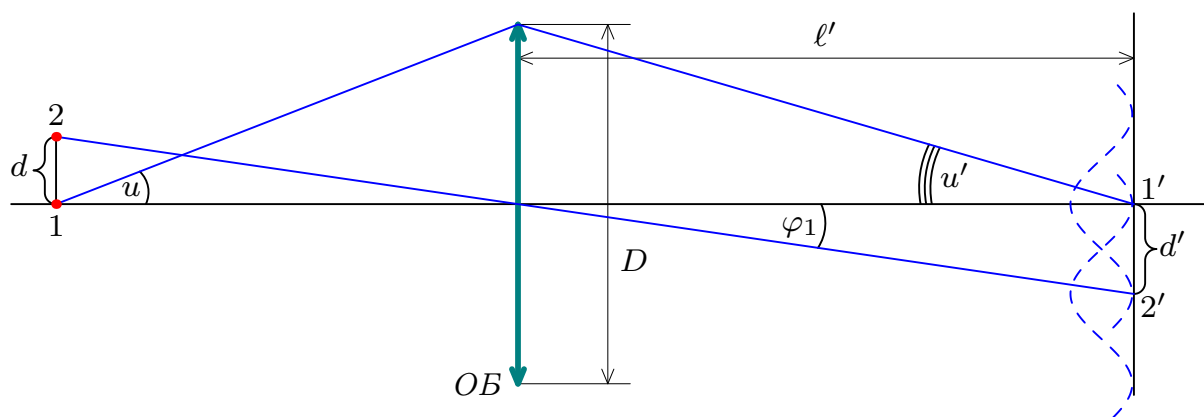


Рис. 2.2

Учитывая, что $\sin \varphi_1 \approx \varphi_1$, получим

$$\varphi_1 \approx \frac{\lambda}{D}.$$

2. Теоретическое введение

Поскольку в данном случае дифракция происходит на круглом отверстии, то условие первого минимума примет вид:

$$\varphi = 1,22 \frac{\lambda}{D}. \quad (2.1)$$

Угол φ_1 характеризует угловую меру разрешающей способности. Для микроскопа удобнее выразить разрешающую способность в линейных величинах. Воспользовавшись условием синусов

$$nd \sin u = n' d' \sin u', \quad (2.2)$$

можно получить формулу для вычисления наименьшего расстояния между двумя еще различимыми точками:

$$d = 0,61 \frac{\lambda}{n \sin u}, \quad (2.3)$$

- где u — апертурный угол (т.е. угол, под которым виден радиус входного зрачка из точки пересечения оптической оси с плоскостью предмета),
 n — показатель преломления среды, в которой находится предмет,
 λ — длина световой волны.

Апертурный угол микроскопа является характеристикой линзы объектива и определяется ее диаметром и фокусным расстоянием

$$\operatorname{tg} u = \frac{D}{2} f_{\text{об}}.$$

Величина $n \sin u = A$ называется **числовой апертурой микроскопа**. Чем она больше, тем более мелкие детали предмета можно рассмотреть под микроскопом.

Глаз человека также характеризуется разрешающей способностью. Под разрешающей способностью глаза, как оптического прибора, понимают его свойство видеть отдельно два близко расположенных объекта (например, две светящиеся линии или точки). Наименьший угол φ_{min} , под которым глаз еще видит две светящиеся точки отдельно, называется **предельным углом разрешения** или **пределом разрешения**. Средняя величина предельного угла разрешения

нормального глаза равна приблизительно одной минуте, что соответствует минимальному расстоянию между точками A и B , равному приблизительно 0,1 мм (рис. 2.3). Острота зрения численно равна величине, обратной предельному углу разрешения:

$$\chi = \frac{1}{\varphi_{min}}.$$

Для $\varphi_{min} = 1'$ острота зрения равна 1, для $\varphi_{min} = 30''$ острота зрения $\chi = 2$, при $\varphi_{min} = 2'$ — $\chi = 0,5$ и так далее.

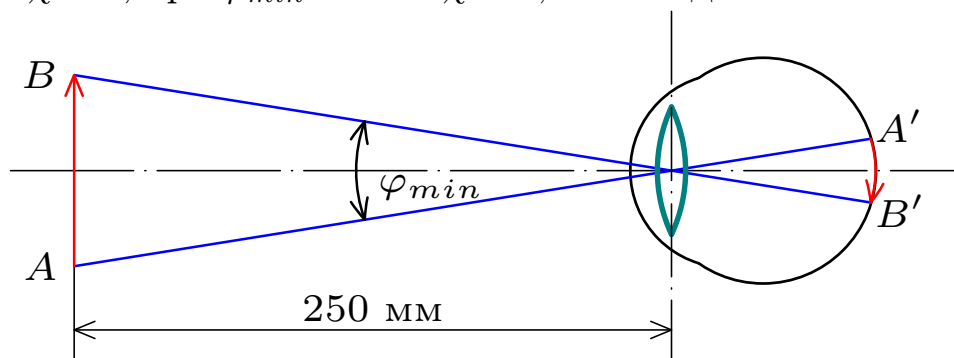


Рис. 2.3

Разрешающая способность глаза связана со строением его сетчатки, имеющей ячеистую структуру (рис. 2.4). Установлено, что две точки видны раздельно только в том случае, когда их изображения попадают (засвечивают) на два элемента сетчатки, разделенные одним незасвеченным элементом. Расстояние между изображениями точек на сетчатке равно приблизительно диаметру ячейки и составляет 0,005 мм.

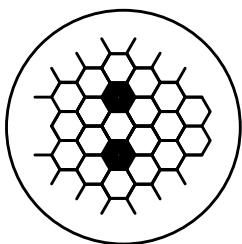


Рис. 2.4

Если рассматривать глаз как идеальную оптическую систему, то его разрешающая способность по формуле (2.1) при $D = 2$ мм будет равна одной минуте ($\lambda = 550$ нм). С увеличением диаметра зрачка разрешающей способности не происходит из-за дискретного строения сетчатки. Максимальную остроту зрения глаз имеет при

$D = 3 - 4$ мм, освещенности 50 лк и длине волны 550 нм.

Острота зрения зависит и от индивидуальных особенностей строения глаза. Есть люди, обладающие очень высокой остротой зрения ($\chi = 3$).

3. Описание установки

Для определения разрешающей способности используется микроскоп с прямым вертикальным тубусом. На столик микроскопа помещается металлическая пластинка с небольшим отверстием (рис. 3.1). На станину микроскопа вместо вынутого осветительного зеркала устанавливается линейка со скользящими указателями.

Для определения разрешающей способности глаза используется тестовая таблица, висящая на стене лаборатории. На таблице нанесены вертикальные линии, расстояние между которыми известно. Расстояние от рабочего места до таблицы измеряется рулеткой. Диаметр зрачка измеряется штангенциркулем с использованием зеркала.

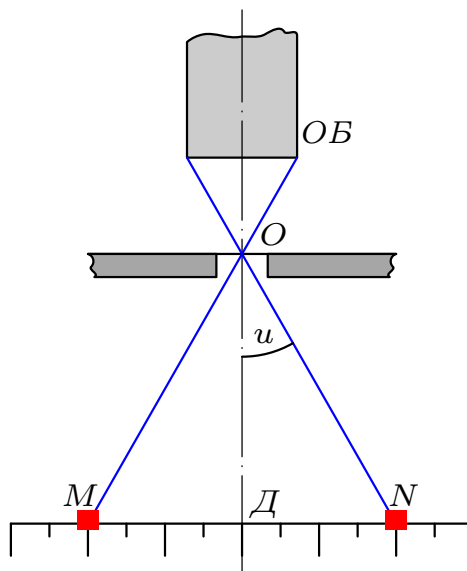


Рис. 3.1

4. Порядок выполнения работы

Задание 1. Определение разрешающей способности микроскопа.

Определение разрешающей способности микроскопа сводится к определению его числовой апертуры. Для определения апертурного угла u , а следовательно, и числовой апертуры A , положите на столик микроскопа металлическую пластинку с маленьким отверстием и сфокусируйте микроскоп на край отверстия (рис. 3.1). Затем удалите осветительное зеркало и установите под столиком на станину микроскопа шкалу со скользящими указателями. Уберите окуляр и рассмотрите в микроскоп действительное обратное и уменьшенное изображение шкалы. Сместив глаз влево, передвиньте правый указатель на границу поля зрения микроскопа в точку M ; затем смотрите вправо и передвигайте левый указатель на границу поля зрения в точку N . Из рисунка видно, что крайние лучи, входящие в объектив, определены точками M и N . Отсчитайте расстояние MN между ука-

зателями и найдите

$$\operatorname{tg} u = \frac{MN}{2DO}.$$

Расстояние $DO = 10,5$ см (проверьте это собственными измерениями). Затем определите $\sin u$ и вычислите апертуру A . Разрешающую способность рассчитайте по формуле (2.3) для $\lambda = 550$ нм.

Измерения проведите не менее пяти раз. Данные измерений и вычислений занесите в таблицу 1.

Таблица 1

n	$ MN _i$	$ DO _i$	$\operatorname{tg} u_i$	$\sin u_i$	A_i	d_i	Δd_i	$(\Delta d_i)^2$
1								
2								
и т.д.								
X	X	X	X	X	X	$d_{\text{ср.}}$	X	Σ

Ошибку измерений оцените по формуле

$$\Delta d = t_{\alpha n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta d_i)^2}{n(n-1)}}.$$

Окончательный результат запишите в виде

$$d = (d_{\text{ср}} \pm \Delta d) \text{ мм}, \quad \alpha = \dots$$

Найдите разрешающую способность объектива с другим увеличением. Результаты занесите в таблицу 2, аналогичную таблице 1, и обработайте аналогично.

Задание 2. Определение разрешающей способности глаза.

Экспериментальное определение разрешающей способности глаза не требует специального оборудования кроме таблицы со штрихами, расстояние между которыми известно.

4. Порядок выполнения работы

Рассмотрите одним глазом таблицу, которая висит на стене. Таблицу рассматривайте приблизительно с расстояния 4-5 метров и найдите на ней такое место с изображением штрихов, где их еще можно различать раздельно. Зная расстояние между штрихами d_{min} и измерив расстояние L от глаза до таблицы, найдите предельный угол φ_{min} разрешения глаза, а также разрешающую способность глаза по формулам

$$\operatorname{tg} \varphi_{min} = \frac{d_{min}}{2L}; \quad R_z = \frac{1}{\varphi_{min}}. \quad (4.4)$$

Полученные результаты сравните с результатами расчета по теоретической формуле

$$R_z = \frac{D}{1,22\lambda}, \quad (4.5)$$

где D — диаметр входного зрачка, причем $D = 2D_3$ (в зеркале);
 λ — длина волны.

Диаметр зрачка определите следующим образом: смотрите в плоское зеркало и с помощью штангенциркуля измерьте изображение D_3 зрачка глаза в зеркале. Затем по формуле (4.5) вычислите разрешающую способность R_z . Длину волны принять равной $\lambda = 550 \text{ нм}$.

Измерения проведите не менее пяти раз. Данные измерений и вычислений занесите в таблицу 3.

Таблица 3

n	D_i	R_{zTi}	ΔR_{zTi}	$(\Delta R_{zTi})^2$	d_{min}	L_i	R_{zi}	ΔR_{zi}	$(\Delta R_{zi})^2$
1									
2									
и т.д.									
 	 	$R_{zT\text{ ср.}}$	 	Σ	 	 	$R_{z\text{ ср.}}$	 	Σ

Ошибку оцените по формуле

$$\Delta R_z = t_{\alpha n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta R_{zi})^2}{n(n-1)}}; \quad \Delta R_{z\text{ теор.}} = t_{\alpha n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta R_{z\text{ теор. } i})^2}{n(n-1)}}.$$

