

Перед проведением измерений разрешающей способности необходимо настроить коллиматор на бесконечность. Для этого поместить в тубус коллиматора револьверную головку с набором мир и включить осветитель. Перед объективом коллиматора установить настроенную на бесконечность автоколлимационную трубу и, перемещая тубус с миром относительно объектива коллиматора, добиться наиболее резкого изображения штрихов мира в автоколлимационной трубе.

Установить вместо автоколлимационной трубы перед объективом коллиматора зрительную трубу теодолита. Заменяя миры от №5 до №1, определить номер последнего разрешаемого элемента и по таблице определить видимое угловое разрешение зрительной трубы. Установить за окуляром зрительной трубы теодолита дополнительную зрительную трубу и повторить измерения разрешающей способности. Сравнить полученные результаты.

Найденные значения сравнить с теоретическим разрешаемым угловым расстоянием, определяемым по формуле

$$\psi_{\text{теор}} = 1,22 \frac{\lambda}{D}, \quad (3.11)$$

где D — диаметр входного зрачка зрительной трубы, λ — длина волны. Для $\lambda = 550$ нм известно соотношение: $\psi_{\text{теор}} = 140''/D$, где значение диаметра D выражено в миллиметрах.

Упражнение 7. Измерение глубины пространства, резко изображаемого телескопической системой. Телескопическая система, настроенная на бесконечность, резко изображает бесконечно удаленный предмет на сетчатке глаза с помощью хрусталика, находящегося в ненапряженном состоянии. При приближении предмета к телескопической системе фокусирование изображения на сетчатке осуществляется за счет изменения заднего фокусного расстояния хрусталика при аккомодации глаза.

Для измерения глубины резко изображаемого пространства оптической системой, состоящей из зрительной трубы и глаза, необходимо перемещать предмет до тех пор, пока его изображение перестанет быть резким. Тогда область пространства предметов от точки, в которой изображение стало нерезким, до бесконечности и будет глубиной резко изображаемого пространства. Поскольку в лабораторных условиях перемещать предмет на большие расстояния затруднительно, для имитации такого перемещения используются оптические системы. Наиболее простой способ заключается в перемещении наблюдаемого предмета вблизи фокальной плоскости объектива коллиматора. Критерием нерезкости служит невозможность различить элементы тест-объекта, например штриховой миры, которые были видны отдельно при размещении тест-объекта в фокальной плоскости коллиматора.

В тубус коллиматора ОСК-2 установить револьверную головку со штриховыми мирами и настроить коллиматор на бесконечность так же, как при

§3.3. Микроскопические системы

выполнении предыдущего упражнения. Установить после объектива коллиматора зрительную трубу теодолита и, наблюдая глазом в окуляр, выбрать такой из элементов мира, в котором еще наблюдаются отдельно штрихи всех четырех направлений. Определить положение тубуса по шкале на корпусе коллиматора ОСК-2. Перемещая тубус с миром по направлению к объективу коллиматора, определить положение тубуса, при котором штрихи в выбранном элементе мира перестают наблюдаться отдельно.

Смещение мира из фокальной плоскости на расстояние x_1 связано с перемещением ее изображения, создаваемым коллиматорным объективом, на расстояние L (от передней фокальной плоскости объектива) соотношением

$$L = -\frac{f'_{\text{кол}}{}^2}{x_1}, \quad (3.12)$$

где $f'_{\text{кол}}$ — фокусное расстояние объектива коллиматора. Для коллиматора ОСК-3 $f'_{\text{кол}} = 1000$ мм = 1,0 м.

Рассчитать расстояние L до ближней резко наблюдаемой точки и сравнить это значение с теоретическим, полученным из измеренного увеличения зрительной трубы и свойств «среднестатистического» глаза (глава 4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976. Гл. XII, XIV, XV.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 4. Оптика. М.: Наука, 1980. Гл. II.
3. Бегунов Б.Н. и др. Теория оптических систем. М.: Машиностроение, 1981.
4. Слюсарев Г.Г. Расчет оптических систем. М.: Машиностроение, 1975. (дополнительная).

§3.3. Микроскопические системы

Цель работы. Изучение принципов построения микроскопических систем и методов измерения их основных характеристик.

Оборудование. Микроскоп «Биолам», измерительный микроскоп МИР-2, светоделительный кубик, тест-микрометр (макет), окуляр-микрометр, матовая пластинка с миллиметровой шкалой, лупа с увеличением $\Gamma = 1,5$, динаметр Рамсдена, источник света.

Часть 1. Изучение конструкции микроскопа «Биолам»

Упражнение 1. Измерение показателя преломления с помощью микроскопа. Для изучения принципов работы с микроскопом в этом упражнении предлагается измерить показатель преломления стекла с помощью микроскопа «Биолам».

Метод измерения основан на том, что расстояние между предметом и его изображением зависит от толщины пластинки и ее показателя преломления. Из-за преломления лучей в пластинке толщиной d с показателем преломления n изображение нижней плоскости пластинки будет расположено на расстоянии d' от верхней плоскости, и для получения четкого изображения нижней плоскости необходимо опустить микроскоп на величину x , равную d' (рис. 3.5).

Если ограничиться малыми углами, то

$$\operatorname{tg} i / \operatorname{tg} i' = d/d' \approx \sin i / \sin i' = n. \quad (3.13)$$

Измерив расстояние смещения тубуса, можно определить показатель преломления n пластинки.

Измерения рекомендуется выполнить тремя способами и полученные результаты усреднить.

1. Поместить на столик микроскопа стеклянную пластинку толщиной d (измеренной с помощью микрометра) и, перемещая тубус, навести микроскоп сначала на верхнюю плоскость пластины (это изображение пылинок, малых царапин или каких-либо меток), а затем на изображение нижней поверхности. С помощью микрометрической подачи определить величину смещения тубуса и рассчитать значение показателя преломления пластинки.
2. Навести микроскоп на верхнюю поверхность предметного стекла (метка B на рисунке 3.5). Затем на это стекло положить плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной d и вновь навести микроскоп на изображение метки B' . Изображение B' отстоит от точки B на расстояние $d'' = d - d'$, на которое и необходимо поднять тубус микроскопа. Поскольку $d' = d/n$, то $d'' = d - d/n$. Из последнего следует

$$n = d/(d - y). \quad (3.14)$$

3. Заключительный способ определения n следует из первых двух, описанных выше. Если использовать выражения

$$d/d' = n \quad \text{и} \quad n = d/(d - y),$$

то легко получить

$$n = (1 + y/x). \quad (3.15)$$

Полученные выражения справедливы для малых углов, поэтому при измерениях не следует употреблять короткофокусных объективов с большой апертурой. В то же время для длиннофокусных объективов с малой апертурой характерна большая глубина резко изображаемого пространства. В силу указанных причин оптимальными объективами при этих измерениях будут

§3.3. Микроскопические системы

объективы с увеличением, равным $6-10\times$, и с наименьшим апертурным числом.

При проведении измерений необходимо учесть следующие рекомендации. Во-первых, необходимо добиться равномерного освещения поля зрения. Для этого используется зеркало микроскопа, находящееся под предметным столиком. На пути света необходимо поставить желтый светофильтр.

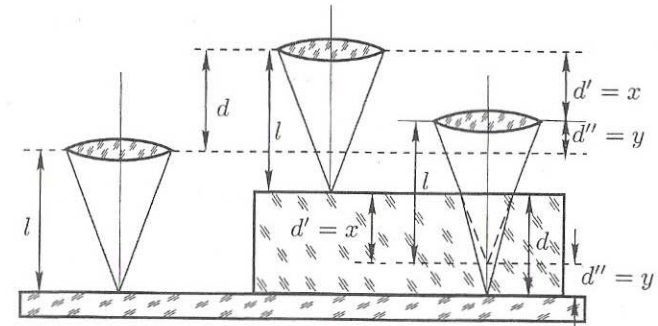


Рис. 3.5. К определению показателя преломления

Положить на предметный столик одну из стеклянных пластинок и, вращая кремальерный винт, получить достаточно резкое изображение верхней плоскости пластинки. Вращая микрометрический винт, обеспечивающий малые перемещения тубуса, получить резкое изображение этой плоскости. Деление микрометрического винта записать. Точную наводку на резкость необходимо повторить несколько раз и получить среднее значение.

Во-вторых, необходимо получить резкое изображение нижней плоскости пластинки, вращая только микрометрический винт. Определив среднее значение на микрометрическом винте, вычислить разность полученных отчетов, которая дает величину перемещения x тубуса микроскопа. С помощью микрометра измерить толщину пластинки d . Используя значения d и x , с помощью вышеприведенных формул определить показатель преломления n стекла.

Часть 2. Измерение характеристик микроскопа и его основных составляющих

Упражнение 2. Определение числовой апертуры объектива микроскопа. Для определения числовой апертуры необходимо собрать установку, схема которой показана на рисунке 3.6.

Из представленной на рисунке схемы видно, что $\operatorname{tg} u = m/2L$, откуда можно найти числовую апертуру $A \approx \sin u$.

Рекомендуется следующий порядок выполнения измерений.

Чтобы выставить все элементы схемы по оптической оси, необходимо из микроскопа МИР-2 выкрутить объектив и удалить тубус с окуляром. В направляющую втулку тубуса со стороны окуляра вставить диафрагму D_3 . Наблюдая через эту диафрагму, установить центры шкалы и диафрагмы D_2 на одной оси. Перемещая источник света, установить его таким образом, чтобы центр освещенного участка шкалы, имеющего форму круга (из-за круговой диафрагмы D_1 после источника), совпадал с центром шкалы. Закрепив установленные элементы на оптическом рельсе, вернуть испытуемый объектив в резьбовую посадку направляющей втулки и вставить тубус с окуляром.

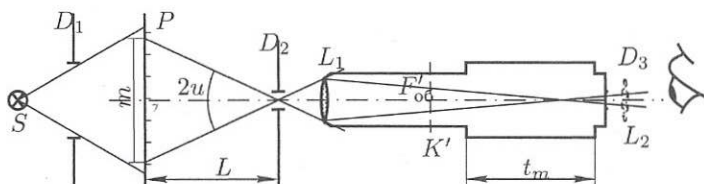


Рис. 3.6. Схема установки для определения числовой апертуры объектива микроскопа. S — источник света, P — шкала, D_1 , D_2 , D_3 — диафрагмы, L_1 — объектив микроскопа, t_m — тубус микроскопа, L_2 — линза с увеличением $\Gamma \approx 1,5$

Включить источник света, установить масштабную шкалу P на таком расстоянии, чтобы была освещена вся шкала. Установить диафрагму D_2 на расстоянии примерно 10–15 см от масштабной шкалы. Установить длину тубуса микроскопа, равной 160 мм. Перемещая МИР-2 вдоль рельса, необходимо добиться совпадения плоскости диафрагмы D_2 с предметной плоскостью микроскопа. В этом случае будет видно резкое изображение диафрагмы D_2 .

Зафиксировав положение объектива, аккуратно удалить из микроскопа тубус с окуляр-микрометром и снова вставить диафрагму D_3 . Рассматривая изображение шкалы P , определить число видимых делений m . Изображение шкалы возможно увидеть со сравнительно большого расстояния, однако выполнить точные измерения в этом случае не представляется возможным. По этой причине изображение шкалы рекомендуется рассматривать через лупу с увеличением $\Gamma \sim 1,5$.

Измерить расстояние L между шкалой P и диафрагмой D_2 , рассчитать числовую апертуру A объектива.

К отчету приложить два рисунка. На первом изобразить ход лучей от шкалы до сетчатки глаза, невооруженного лупой, а на втором — ход лучей в установке, в которой присутствует лупа. Выяснить влияние размера диафрагмы на точность измерения.

Упражнение 3. Измерение увеличения объектива микроскопа. Если рассматривать объектив микроскопа как обычную линзу то, из определения поперечного увеличения и формулы Ньютона следует выражение для поперечного увеличения

$$\beta = -f/x = -x'/f'.$$

Поперечное увеличение объектива может иметь определенное значение только при заданном значении x , а следовательно, и x' . Значение x' определяет, в свою очередь, длину оптического тубуса Δ . Обычно это значение составляет 160 мм, но в некоторых случаях, например в измерительных микроскопах, может изменяться в пределах от 130 мм до 190 мм.

Измерение увеличения в этом упражнении выполняется с использованием измерительного микроскопа МИР-2.

Рекомендуется следующая последовательность операций.

Исследуемый объектив вворачивается в посадочное отверстие тубуса, а окуляр с увеличением $\Gamma = 15\times$ вставляется в посадочное отверстие тубуса.

Перед измерением установить длину тубуса 160 мм и установить микроскоп на оптический рельс.

Перед объективом микроскопа установить тест-объект с расстоянием между центрами штрихов 0,1 мм. С помощью подачи, осуществляющей продольное перемещение микроскопа, получить резкое изображение тест-объекта.

Закрепив микроскоп и тест-объект, аккуратно вынуть окуляр и установить на его место окуляр-микрометр с $\Gamma = 15\times$. Окуляр-микрометр и его передняя фокальная плоскость из-за наличия измерительной насадки находится за плоскостью изображения, создаваемого объективом. Поэтому изображение тест-объекта увидеть нельзя, так как из окуляра выходит сходящийся пучок. Для получения изображения необходимо вдвигать подвижную часть тубуса до тех пор, пока не появится резкое изображение штрихов тест-объекта.

С помощью окуляр-микрометра измерить расстояние между изображениями штрихов тест-объекта и рассчитать увеличение объектива микроскопа.

Упражнение 4. Измерение увеличения микроскопа. В некоторых микроскопах специального назначения применяются нестандартные объективы и окуляры, а также длины тубусов. В этих случаях для измерения увеличения микроскопа используется следующая оптическая схема (рис. 3.7).

Одна шкала — тест-объект — помещается в предметную плоскость и рассматривается через микроскоп. Вто-

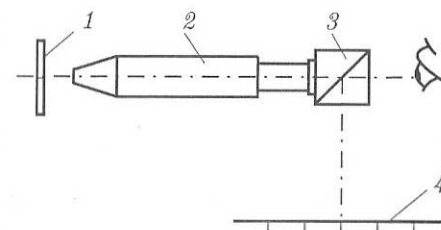


Рис. 3.7. Схема измерения увеличения микроскопа: 1 — тест-объект, 2 — микроскоп, 3 — светоделительный кубик, 4 — миллиметровая шкала

рая — шкала с миллиметровыми делениями — рассматривается непосредственно глазом с расстояния наилучшего зрения. С помощью кубика с полупрозрачным светоделительным покрытием изображения обеих шкал совмещают и определяют число делений n объект-микрометра, которое укладываются на m делениях миллиметровой шкалы.

Тогда для используемого объект-микрометра с ценой деления 0,1 мм увеличение микроскопа составит

$$Г_M = 10m/n. \quad (3.16)$$

Измерить увеличение микроскопа с тремя различными объективами и при различной длине тубуса (130 мм, 160 мм и 190 мм).

Упражнение 5. Измерения размера выходного зрачка и его удаления от окуляра микроскопа. Для измерения размера выходного зрачка и его удаления от окуляра микроскопа используется универсальный динаметр Рамсдена.

При проведении измерений необходимо осветить объектив микроскопа расходящимися лучами света. Для этого перед объективом микроскопа установить матовое стекло, освещенное источником света.

Основание направляющей втулки динаметра Рамсдена приложить к оправе окуляра микроскопа, а трубку динаметра передвинуть относительно втулки до получения резкого изображения апертурной диафрагмы, которое и является выходным зрачком.

Диаметр выходного зрачка измеряется по стеклянной шкале, а удаление зрачка отсчитывается по шкале в боковом окне тубуса динаметра.

Используя полученные результаты измерений диаметра выходного зрачка d и увеличения микроскопа, вычислить размер диаметра входного зрачка.

Упражнение 6. Измерение разрешающей способности микроскопа. Для выполнения этого упражнения установить в микроскоп объектив $3,7\times$, окуляр $15\times$ и установить длину тубуса микроскопа, равной 160 мм.

Установить перед объективом микроскопа освещенную миру (глава 2) и навести микроскоп на нее. Определить номер последнего разрешаемого элемента.

По таблице 3.3 определить значение разрешающей способности микроскопа и сравнить его со значением предельной дифракционной разрешающей способности.

Таблица 3.3

Расстояние L между центрами одноименных штрихов миры №1

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
L, 10 ⁻⁴ мм	100	95	89	84	79	74,5	70,6	67	63	59	56	53	
№ элемента	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
L, 10 ⁻⁴ мм	50	47,3	44,6	42	39,5	37	35	33	31,5	29	28	26	25

Упражнение 7. Измерение глубины резко изображаемого пространства. Для измерения глубины резко изображаемого пространства используется та же оптическая схема, что и в упражнении 5.

Выбрать последний разрешаемый элемент миры и, перемещая миру с помощью микрометрического винта относительно объектива микроскопа, зафиксировать положения, при которых изображение штрихов этого элемента размывается. Разность отчетов по микрометру дает величину глубины резко изображаемого пространства.

Сравнить полученный результат с теоретической оценкой глубины резко изображаемого пространства микроскопа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микель К. Основы теории микроскопа. М.: ГИТТЛ, 1955 (перевод с нем. под ред. Слюсарева Г.Г.).
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 4. Оптика. М.: Наука, 1985.
3. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976.

§3.4. Измерение углов с помощью гониометра

Цель работы. Изучение методов измерения углов с помощью гониометра; измерение параметров стеклянных призм, а также показателя преломления некоторых стекол и его дисперсии.

Оборудование. Гониометр ГС-5, набор призм различного назначения.

Измерения углов широко используются в практике оптического эксперимента, астрономии и геодезии. Для измерения углов в лабораторных условиях предназначены специальные оптико-механические приборы — гониометры. В данной работе используется гониометр ГС-5, типичный представитель гониометров среднего класса точности.

Описание гониометра дано в главе 2.

Упражнение 1. Юстировка гониометра. Прежде чем приступить к проведению измерений, гониометр должен быть тщательно отъюстирован. Юстировка включает в себя следующие операции:

- проверка горизонтальности основания гониометра;
- фокусировка автоколлимационной трубы;
- юстировка перпендикулярности визирной оси автоколлимационной трубы и оси вращения алидады;
- фокусировка коллиматора;
- совмещение визирных осей коллиматора и автоколлимационной трубы.

Глава 2. Измерительные оптические приборы

В настоящем практикуме для выполнения работ используются отдельные оптические приборы из комплектов оптических скамьей — ОСК-2 и ОСК-3, микроскопы, гониометры и другие оптические приборы и инструменты.

§2.1. Оптические скамьи ОСК-2 и ОСК-3

Оптические скамьи ОСК предназначены для исследования оптических деталей и систем. В комплект оптической скамьи ОСК входят коллиматор, автоколлимационная зрительная труба, измерительный микроскоп, окуляр-микрометр, штриховые миры, столики и держатели для установки и крепления исследуемых оптических деталей. Все элементы оптической скамьи установлены на станине с направляющими, обеспечивающими точное перемещение и закрепление этих элементов.

Коллиматорной системой (коллиматором) называют оптическую систему, предназначенную для создания параллельного пучка света. Основу коллиматора составляет высококачественный объектив 7, в фокальной плоскости которого помещаются тест-объект 6, миры, или щель, освещаемые лампочкой 2 через осветительную систему 5 (рис. 2.1). Объектив коллиматора должен обеспечивать более высокое качество изображения, чем контролируемая с его помощью оптическая система. В коллиматорах ОСК используются объективы, разрешающая способность которых близка к дифракционной. По степени коррекции aberrаций он аналогичен хорошим астрономическим объективам. В качестве измерительных элементов, называемых тест-объектами, в коллиматорах применяют точечные или щелевые диафрагмы, сетки с различными шкалами и миры, которые закрепляются в выдвижном тубусе. Объектив и выдвижной тубус смонтированы на противоположных концах металлического цилиндрического корпуса. Тубус передвигается с помощью кремальерного устройства, его положение относительно трубы коллиматора отсчитывается по шкале с точностью 0,1 мм.

Объектив коллиматора оптической скамьи ОСК-2 имеет фокусное расстояние $f' = 1600$ мм, диаметр $D = 150$ мм и относительное отверстие $D/f = 1 : 10,5$; объектив коллиматора оптической скамьи ОСК-3 имеет фокусное расстояние $f = 1000$ мм, диаметр $D = 100$ мм и относительное отверстие $D/f = 1 : 10$.

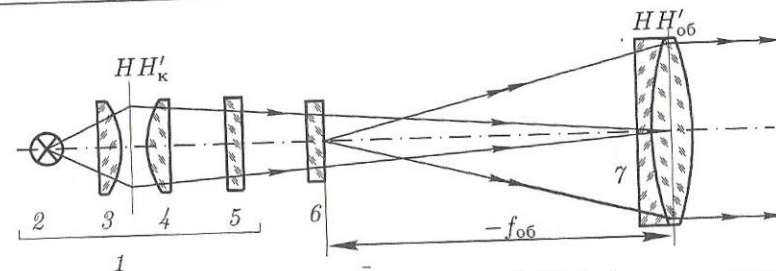


Рис. 2.1. Оптическая схема коллиматора ОСК-2. 1 — осветительная система, 3, 4 — конденсорные линзы, 5 — светофильтр, 6 — тест-объект, 7 — объектив коллиматора

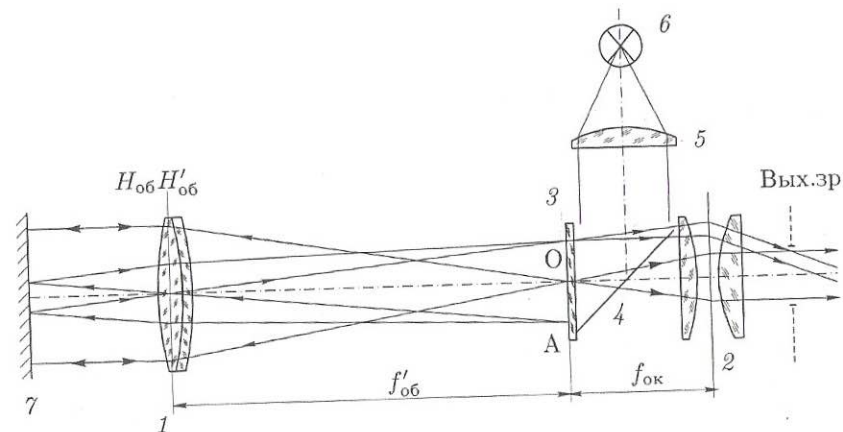


Рис. 2.2. Ход лучей в автоколлимационной трубе: 1 — объектив, 2 — окуляр, 3 — сетка, 4 — полупрозрачное зеркало, 5 — линза, 6 — лампа, 7 — зеркало

Автоколлимационная труба, или автоколлиматор, представляет собой телескопическую зрительную трубу системы Кеплера, у которой в фокальной плоскости объектива установлен источник света (обычно в виде светящегося креста). Оптическая схема автоколлимационной трубы показана на рисунке 2.2. В задней фокальной плоскости объектива 1 и совпадающей с ней передней фокальной плоскости окуляра 2 установлена окулярная сетка 3. В эту же плоскость оптической системы, состоящей из источника света 6, линзы 5 и полупрозрачного зеркала 4, проектируется изображение источника — светящегося креста. Из объектива автоколлимационной трубы выходят пучки света, сформированные от каждой точки светящегося креста (например, точки О и А). Если на пути этих пучков установить плоское зеркало 7, то, отразившись

от него, пучки возвратятся обратно в автоколлимационную трубу, и объектив сформирует из них изображение источника (точки O' и A' соответственно) в плоскости сетки 3. Это изображение можно увидеть глазом с помощью окуляра 2.

Для настройки автоколлимационной трубы на бесконечность достаточно получить резкое изображение светящегося креста в плоскости окулярной сетки 3 путем перемещения объектива 1.

§2.2. Штриховые миры для определения разрешения оптических систем

Все штриховые миры (рис. 2.3) состоят из 25 элементов, каждый из которых содержит 4 квадрата. Штрихи в квадратах расположены в горизонтальном и вертикальном направлениях, а также с наклоном вправо и влево под углом 45° . Расстояние между штрихами в каждом квадрате равно ширине штриха. Ширина полос каждой миры убывает от элемента №1 к элементу №25 по закону геометрической прогрессии со знаменателем $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,94$.

Таблица 2.1

Число полос на 1 мм элемента миры

Мира №	1	2	3	4	5	6
Наибольшее число полос на мм №25	200	100	50	25	12,5	6,3
Наименьшее число полос на мм №1	50	25	12,5	6,5	3,1	1,56
База В, мм	1,2	2,4	4,8	9,6	19,2	38,4

Углы $\psi_{ш}$ между серединами соседних светлых или темных штрихов в каждом элементе, выраженные в секундах, определяются по формуле

$$\psi_{ш} = 206265 \cdot \frac{2a}{f_{кол}},$$

где a — ширина штриха, мм; $f_{кол}$ — фокусное расстояние объектива коллиматора в миллиметрах; 206265 — число секунд в радиане.

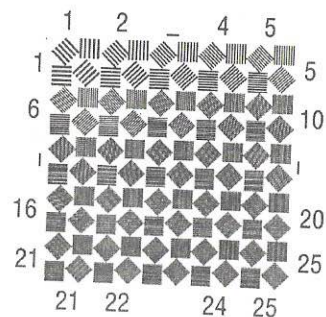


Рис. 2.3. Штриховая мира

§2.3. Измерительный микроскоп МИР-2

Отсчетный микроскоп МИР-2 — упрощенная модель измерительного микроскопа — предназначается для измерения мелких предметов и расстояний между штрихами или точками. Микроскоп (рис. 2.4) имеет отсчетную окулярную шкалу.

§2.3. Измерительный микроскоп МИР-2

Таблица 2.2

Основные параметры микроскопа

Увеличение	19–33 \times
Пределы измерения	0,015–6 мм
Окуляр Гюйгенса:	
увеличение	7 \times
цена деления шкалы	0,1 мм
Ахроматический объектив:	
увеличение	3,7 \times
апертура	0,11
Пределы шкалы выдвижного тубуса	130–190 мм
Габаритные размеры	134 × 67 × 34 мм
Вес	0,29 кг

Микроскоп состоит из выдвижного тубуса 1, вставленного в корпус 2. На тубусе нанесены деления от 130 до 190 мм. В насадку тубуса вставлен окуляр 3 с отсчетной шкалой. В противоположный конец корпуса 2 ввинчивается ахроматический объектив 4. Выдвижной тубус позволяет изменять расстояние между объективом и окуляром и тем самым изменять увеличение микроскопа. Увеличение при длине тубуса 130 мм — 19 \times , при длине 160 мм — 25,9 \times , а при длине тубуса 190 мм — 33 \times .

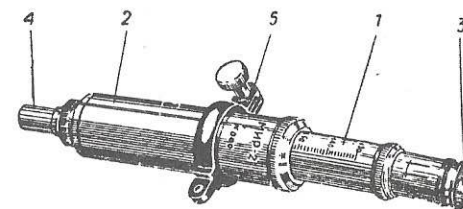


Рис. 2.4. Отсчетный микроскоп: 1 — выдвижной тубус, 2 — корпус, 3 — окуляр Гюйгенса с отсчетной шкалой, 4 — объектив, 5 — крепежный хомут

При изменении увеличения микроскопа соответственно будет изменяться и цена деления шкалы окуляра. Зависимость цены деления окулярной шкалы от расстояния между объективом и окуляром определяется с помощью объект-микрометра.

Таблица 2.3

Примерные значения цены деления шкалы окуляра в плоскости объекта

Длина тубуса, мм	130	140	150	160	170	180	190
Цена деления, мм	0,058	0,053	0,049	0,045	0,041	0,038	0,036

Для определения истинного расстояния L между двумя штрихами необходимо отсчитать число делений N шкалы окуляра, укладывающихся в этом

расстоянии, затем умножить цену деления шкалы, соответствующей данной длине тубуса, на число делений окуляра. Цену деления шкалы окуляра можно определить точно с помощью объект-микрометра или какой-либо другой точной шкалы.

Окуляр-микрометр. Окуляр-микрометр (рис. 2.5) предназначен для измерения величины изображения в микроскопе или зрительной трубе. Он состоит из окуляра 3 (в нашем случае с увеличением $15\times$), в фокальной плоскости которого расположена неподвижная стеклянная пластинка 4 со шкалой. Вдоль шкалы перемещается вторая подвижная стеклянная пластинка 6 с перекрестием и индексом в виде двух рисок, связанная с микрометрическим винтом 5 и отсчетным барабаном 7 (цена деления барабана 0,01 мм.). Шкала на неподвижной пластине разделена на 8 равных отрезков, по 1 мм (рис. 2.6). Перекрестие служит для наводки на объект, а риски — для отсчета целых миллиметров. Доли миллиметра отсчитываются по барабанчику 8. При повороте барабана на один оборот риски и перекрестие перемещаются на одно деление шкалы. Поворот барабана на одно деление определяет перемещение перекрестия на 0,01 мм. При измерении индекс подводится к краям изображения предмета и берется разность отсчетов.

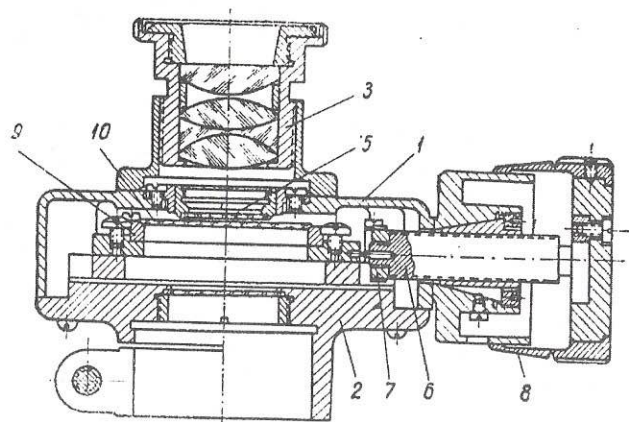


Рис. 2.5. Окуляр-микрометр



Рис. 2.6. Поле зрения окулярного микрометра

Измерение увеличения объектива микроскопа. Для измерения линейного увеличения объектива микроскопа обычно используют объект-микрометр (см. ниже), который устанавливается в предметной плоскости микроскопа и освещается искусственным или естественным светом. Окулярный микрометр надевается на окулярную трубку тубуса до упора и закрепляется крепежным винтом. Если тубус выдвижной, то необходимо установить выдвинутую длину тубуса. Вращая окуляр, добиться резкого изображения пере-

§2.4. Динаметры Рамсдена

крестия. Перемещая микроскоп, получить резкое изображение шкалы объект-микрометра.

На шкале объект-микрометра отметить некоторое число делений, которые укладываются примерно в $2/3$ поля зрения окуляра. Не рекомендуется при измерении использовать все поле зрения, так как на краях поля зрения качество изображения хуже, чем в центре. Для удобства наблюдения объект-микрометр установить так, чтобы нулевой штрих его шкалы был расположен на расстоянии примерно $1/3$ радиуса поля зрения от края. После этого, наблюдая в окуляр, вращением барабана по часовой стрелке подвести центр перекрестия до совпадения с изображением нулевого штриха шкалы объект микрометра и сделать отсчет. Повторяя процедуру, подвести центр перекрестия до совпадения с изображением другого штриха, который находится на расстоянии $1/3$ радиуса поля зрения от края, но с другой стороны от центра, и сделать второй отсчет. Подсчитать число делений объект-микрометра, используемых при измерении, вычислить разность отсчетов по шкалам окулярного микрометра и данные подставить в простую формулу, определяющую увеличение объектива:

$$\beta = \frac{N_1 - N_2}{zd},$$

где $N_1 - N_2$ — разность двух отсчетов по шкалам окулярного микрометра, z — число делений, а d — цена деления объект-микрометра.

§2.4. Динаметры Рамсдена

Для измерения величины выходного зрачка телескопических и микроскопических систем используются динаметры Рамсдена. Простейшая конструкция динаметра показана на рисунке 2.7, более универсальная — на рисунке 2.8.

На корпусе тубуса прорезано продольное отверстие, под которым на подвижном тубусе нанесена шкала с ценой деления 1 мм. Окуляр имеет диоптрийную установку по глазу. При измерении диаметра выходного зрачка лупу со шкалой перемещают вдоль тубуса до совмещения плоскости сетки 5 с плоскостью выходного зрачка испытуемой системы. По сетке, находящейся в фокальной плоскости окуляра, измеряют величину выходного зрачка, а по второй шкале на корпусе тубуса — положение этого зрачка.

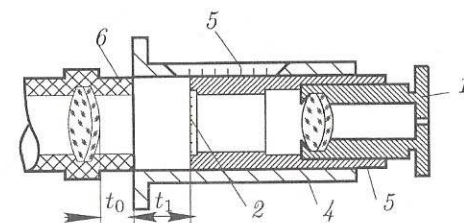


Рис. 2.7. Простейший динаметр Рамсдена: 1 — окуляр, 2 — стеклянная шкала, 3 — подвижная трубка, 4 — втулка, 5 — шкала перемещения трубки (3), 6 — оправка окуляра испытуемой системы

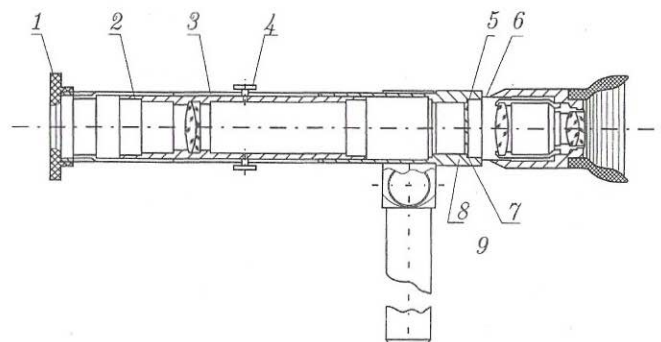


Рис. 2.8. Диаметр Рамсдена: 1 — наконечник, 2 — подвижный тубус объектива со шкалой, 3 — основной тубус, 4 — винты для продольного перемещения объектива, 5 — сетка в оправе, 6 — втулка для крепления сетки, 7 — кольцо для крепления сетки, 8 — резьба на тубусе для крепления окуляра, 9 — окуляр

§2.5. Устройство микроскопа «Биолам Р-12»

Микроскопы серии «Биолам» предназначены для исследования прозрачных препаратов в проходящем свете в светлом поле в биологии, зоологии, и т. д. В нашей работе используется микроскоп «Биолам Р-12», комплектующийся объективами $8 \times 0,20$, $20 \times 0,40$, $40 \times 0,75$ (водная иммерсия) и $90 \times 1,25$ (масляная иммерсия) и компенсационными окулярами К 7 \times , К 15 \times .

Микроскоп состоит из двух подсистем: осветительной и наблюдательной, оптические схемы которых показаны на рисунке 2.9.

Осветительная система выполнена в двух вариантах. В упрощенной системе используется поворотное зеркало 1 и любой источник света или упрощенный осветитель 2. Пучок лучей от источника света 10 проходит через линзы 11 и после отражения от зеркала 1 проходит через апертурную диафрагму 5, конденсор 4, исследуемый объект и попадает в объектив 7.

Во втором варианте используется осветитель 3, обеспечивающий принцип нормального освещения, конденсор 4 с апертурной ирисовой диафрагмой 5, откидной линзой 6 и съемным светофильтром (или конденсор прямого и наклонного освещения ОИ-14).

Наблюдательная система включает в одном из вариантов объектив 7, призму 8, окуляр 9 монокулярной насадки. При работе с осветителем 3 лучи от источника света 12 проецируются в плоскость апертурной ирисовой диафрагмы 5, установленной перед конденсором 4. Полевая диафрагма 14 тем же конденсором 4 (при выведенной из пучка линзе 6) проецируется в плоскость препарата. Объектив дает изображение препарата в плоскости полевой диафрагмы

§2.5. Устройство микроскопа «Биолам Р-12»

окуляра 9 (монокулярная насадка), через который наблюдается увеличенное изображение объекта. Призма 8 отклоняет пучок лучей от вертикали на 45° , что удобно при работе с микроскопом. Внешний вид микроскопа показан на рисунке 2.10.

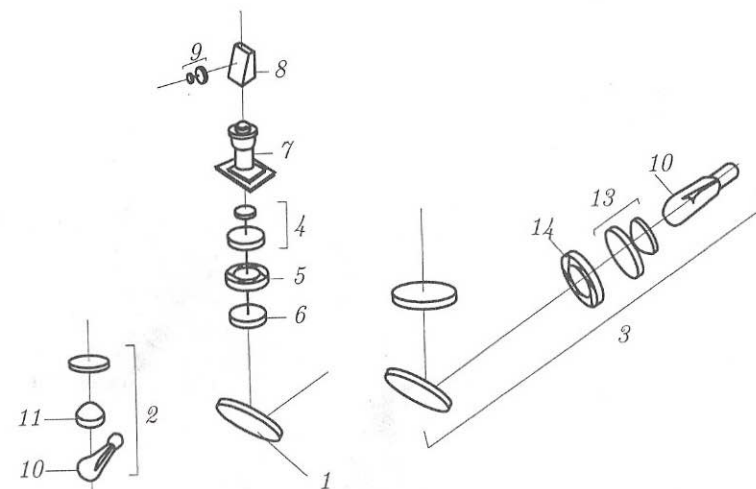


Рис. 2.9. Оптическая схема микроскопа «Биолам» Р-12. 1 — поворотное зеркало микроскопа, 2 (10, 11) — упрощенный осветитель (источник света, линза), 3 (12, 13, 14) — осветитель (источник света, коллектив, диафрагма поля зрения), 4 — конденсор, 5 — апертурная ирисовая диафрагма, 6 — откидная линза, 7 — объектив, 8 — призма, 9 — окуляр (при использовании монокулярной насадки)

Основание 1 микроскопа прямоугольной формы имеет четыре опорные площадки. Корпус 2 с механизмом микрометрической фокусировки крепится к основанию. С одной стороны коробки укреплена направляющая, по которой перемещается кронштейн конденсора, а с другой — имеется паз с держателем для тубуса. Механизм микрометрической фокусировки состоит из микрометрического винта, резьбовой втулки, в которой перемещается микрометрический винт, рукоятки микрометрической фокусировки, выполненный в виде диска 3 с двойной накаткой, и толкателя. При вращении этого диска, жестко связанного с микрометрическим винтом, происходит перемещение толкателя, который в свою очередь перемещает направляющую с держателем тубуса 5. Для обеспечения контакта толкателя с направляющей и микрометрическим винтом служит спиральная пружина. Один оборот диска 3 соответствует перемещению тубуса на 0,5 мм. Общая величина перемещения тубуса от упора до упора — не менее 2 мм.

Сменные предметные столики 4 крепятся на кронштейне, который закреплен на корпусе механизма микрометрической фокусировки. На поверхности столиков предусмотрены различные приспособления для крепления различных препаратов. С помощью двух рукояток 6 держатель тубуса 5 можно перемещать по направляющей для грубой наводки на резкость. Поворотом рукояток навстречу друг другу можно регулировать ход механизма перемещения тубуса от легкого до тугого.

В верхней части держателя тубуса укреплен на головке 7 с направляющей типа «ласточкин хвост» для установки револьверного поворотного устройства и гнездом в верхней части для крепления в нем монокулярной (или бинокулярной) насадки 8. Насадка фиксируется в гнезде винтом 9. На револьверном устройстве 10 имеется четыре гнезда с резьбой для установки объективов. Центрированное положение объективов обеспечивается фиксатором, установленным внутри револьверного устройства. Отверстия для объективов на револьверной головке отцентрированы относительно оси тубуса с такой точностью, что смещение точки рассматриваемого объекта, выставленной пред-

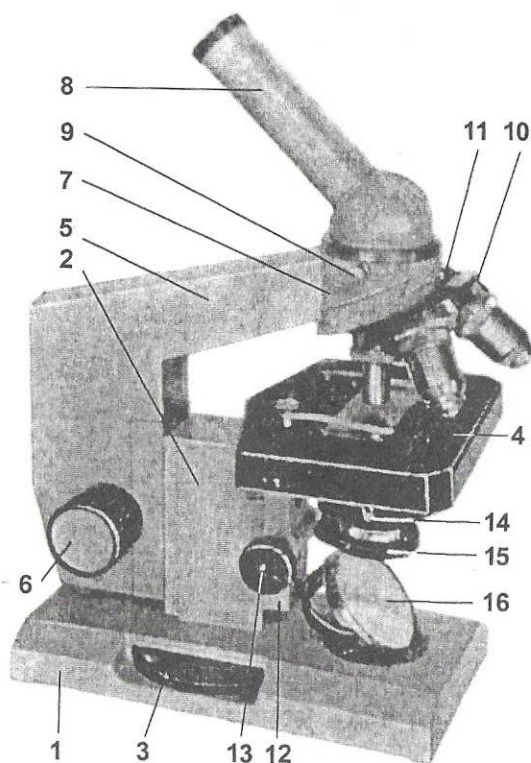


Рис. 2.10. 1 — основание, 2 — коробка с механизмом микрометрической фокусировки, 3 — диск микрометрической фокусировки, 4 — один из сменных столиков, 5 — держатель тубуса, 6 — рукоятки регулировки положения держателя тубуса, 7 — головка с направляющей, 8 — монокулярная насадка, 9 — винт для фиксации насадки, 10 — револьверное устройство, 11 — винт фиксатора держателя тубуса, 12 — кронштейн конденсора, 13 — рукоятка перемещения кронштейна, 14 — винт крепления конденсора, 15 — дополнительная линза в откидной оправе, 16 — зеркало

§2.6. Гониометры

варительно в центр поля зрения окуляра с увеличением $7\times$, не превышает двух третей радиуса поля зрения окуляра при переходе от одного объектива к другому, входящему в комплект данного микроскопа.

В верхней части револьверного держателя объективов имеется направляющая типа «ласточкин хвост» для установки его на ответную направляющую головки держателя тубуса. Правильное положение держателя относительно оси тубуса фиксируется винтом 11, закрепленного контргайкой. Гайку и винт отвинчивать не рекомендуется, так как при этом нарушается центрировка револьверного держателя. Кронштейн конденсора 12 укреплен на направляющей корпуса коробки 2; перемещение этого кронштейна производится рукояткой 13. На кронштейне имеется цилиндрическая гильза для установки конденсора в системе освещения исследуемого объекта. Этот конденсор крепится в гильзе винтом 14, расположенным сбоку под предметным столиком. На оси трубки кронштейна с левой стороны посажена гайка со шлицем, поворотом которой (с помощью ключа) обеспечивается невозможность самопроизвольного опускания кронштейна, с одной стороны, и обеспечивается возможность плавного его перемещения, с другой.

Двухлинзовый конденсор микроскопа снабжен ирисовой диафрагмой, которая открывается и закрывается с помощью рукоятки, и дополнительной линзой в откидной оправе 15, которая вставляется в оптический тракт при работе с объективами малого увеличения — ($3,5\times$, $8\times$, $9\times$). Под конденсором устанавливается зеркало в оправе 16, которое имеет две отражающие поверхности: плоскую и вогнутую. Вогнутое зеркало используется при работе без конденсора с объективами малых увеличений.

Объект-микрометр. В качестве масштаба в измерениях характеристик микроскопа применяется объект-микрометр (макет) с ценой деления 0,1 мм. Стандартный объект-микрометр (рис. 2.11) представляет собой металлическую или стеклянную пластинку, на которой нанесены деления шкалы с интервалом в 0,01 мм на длине от 1 до 2 мм. Объект-микрометр применяется для определения увеличения микроскопа с помощью окулярного микрометра. В настоящей работе вместо стандартного объект-микрометра используется шкала с ценой деления 0,1 мм.

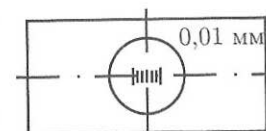


Рис. 2.11. Объект-микрометр

§2.6. Гониометры

Для измерения углов в лабораторных условиях предназначены специальные оптико-механические приборы — гониометры. В практикуме используются два типа гониометров — ГС-5, типичный представитель гониометров среднего класса точности, и высокоточный гониометр ГС-2.