

Министерство образования РФ
Восточно-Сибирский государственный технологический
университет

Методические указания к курсу по выбору
«Методы и средства оптического контроля»
для студентов специальности 190800
«Метрология и метрологическое обеспечение»
дневной и заочной форм обучения

Данное методическое указание посвящено оптическим узлам и приборам широко применяемых в настоящее время в различных областях науки и техники.

Развитие оптики и спектральных приборов, а также исследования строения вещества и определения его химического состава с помощью оптических приборов является актуальным и перспективным направлением в отечественной и зарубежной науке и технике на сегодняшний день.

Основной целью данного методического указания является дать основы физической оптики и теории оптических приборов. В нем содержатся краткие сведения по элементам, узлам и системам типовых оптических приборов, рассмотрены примеры их работы.

Разработал: Жаргалов Б.С.

Улан-Удэ 2003

1. Основные законы оптических явлений

По традиции оптику принято подразделять на геометрическую, физическую и физиологическую. Геометрическая оптика оставляет вопрос о природе света, исходит из эмпирических законов его распространения и использует представление о световых лучах, преломляющихся и отражающихся на границах сред с разными оптическими свойствами и прямолинейных в оптически однородной среде. Её задача - математически исследовать ход световых лучей в среде с известной зависимостью показателя преломления n от координат либо, напротив, найти оптические свойства и форму прозрачных и отражающих сред, при которых лучи происходят по заданному пути. Наибольшее значение геометрической оптики имеет для расчета и конструирования оптических приборов - от очковых линз до сложных объективов и огромных астрономических инструментов.

Физическая оптика рассматривает проблемы, связанные с природой света и световых явлений. Утверждение, что свет есть поперечные электромагнитные волны, основано на результатах огромного числа экспериментальных исследований дифракции света, интерференции, поляризации света и распространения в анизотропных средах.

Одна из важнейших традиционных задач оптики - получение изображений, соответствующих оригиналам как по геометрической форме, так и по распределению яркости решается главным образом геометрической оптикой с привлечением физической оптики. Геометрическая оптика дает ответ на вопрос, как следует строить оптическую систему для того, чтобы каждая точка объекта изображалась бы также в виде точки при сохранении геометрического подобия изображения объекту. Она указывает на источники искажений изображения и их уровень в реальных

оптических системах. Для построения оптических систем существенна технология изготовления оптических материалов с требуемыми свойствами, а также технологию обработки оптических элементов. Из технологических соображений чаще всего применяют линзы и зеркала со сферическими поверхностями, но для упрощения оптических систем и повышения качества изображений при высокой светосиле используют оптические элементы.

Уже в первые периоды оптических исследований были на опыте установлены следующие четыре основных закона оптических явлений:

1. Закон прямолинейного распространения света.
2. Закон независимости световых пучков.
3. Закон отражения от зеркальной поверхности.

4. Закон преломления света на границе двух прозрачных сред.

Дальнейшее изучение этих законов показало, во-первых, что они имеют гораздо более лишь приближёнными законами. Установление условий и границ применимости основных оптических законов означало важный прогресс в исследовании природы света.

Сущность этих законов сводится к следующему.

- 1.1. Закон прямолинейного распространения света.

В однородной среде свет распространяется по прямым линиям.

Закон этот встречается в сочинениях по оптике, приписываемых Евклиду и, вероятно, был известен и применялся гораздо раньше.

Опытным доказательством этого закона могут служить наблюдения над резкими тенями, даваемыми точечными источниками света, или получение изображений при помощи малых отверстий. Рис. 1 иллюстрирует получение изображения при помощи малого отверстия, причем форма

и размер изображения показывают, что проектирование происходит при помощи прямолинейных лучей.

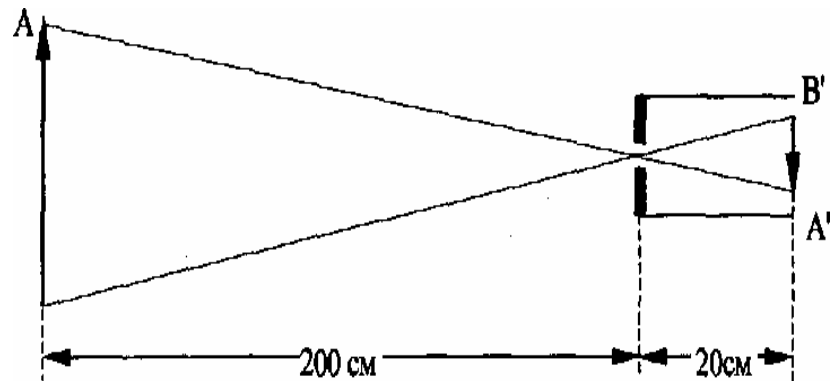


Рис. 1 Прямолинейное распространение света: получение изображения с помощью малого отверстия.

Закон прямолинейного распространения может считаться прочно установленным на опыте. Он имеет весьма глубокий смысл, ибо само понятие о прямой линии, по-видимому возникло из оптических наблюдений. Геометрическое понятие прямой как линии, представляющей кратчайшее расстояние между двумя точками, есть понятие о линии, по которой распространяется свет в однородной среде.

Более детальное исследование описываемых явлений показывает, что закон прямолинейного распространения света теряет силу, если мы переходим к очень малым отверстиям.

Так, в опыте, изображенном на рис. 1, мы получим хорошее изображение при размере отверстия около 0,5 мм. При последующем уменьшении отверстия - изображение будет несовершенным, а при отверстии около 0,5-0,1 мкм

изображение совсем не получится и экран будет освещён практически равномерно.

1.. 2 Закон независимости световых пучков

Световой поток можно разбить на отдельные световые пучки, выделяя их, например, при помощи диафрагм. Действие этих выделенных световых пучков оказывается независимым, т.е. эффект, производимый отдельным пучком, не зависит от того, действуют ли одновременно другие пучки или они устранены.

1.3. Закон отражения света.

Луч падающий, нормаль к отражающей поверхности и луч отраженный лежат в одной плоскости (рис. 2), причем углы между лучами и нормалью равны между собой: угол падения i равен углу отражения i' . Этот закон также упоминается в сочинениях Евклида. Установление его связано с употреблением полированных металлических поверхностей (зеркал), известных уже в очень отдаленную эпоху.

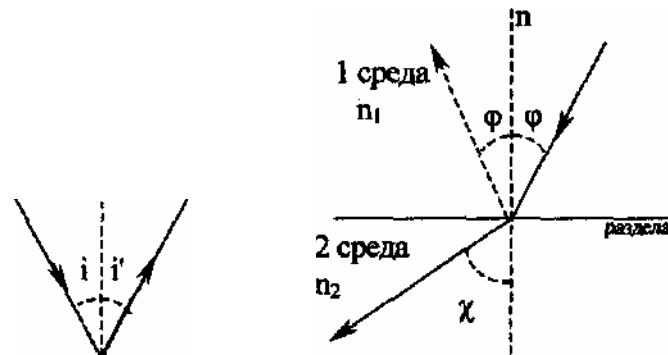


Рис. 2 Закон отражения.

Рис. 3 Закон преломления.

1.4 Закон преломления света.

Преломление света - изменение направления распространения оптического излучения (света) при его

прохождении через границу раздела однородных изотропных прозрачных (не поглощающих) сред с показателем преломления n_1 и n_2 . Преломление света определяется следующими двумя закономерностями: преломленный луч лежит в плоскости, проходящей через падающий луч и нормаль (перпендикуляр) к поверхности раздела; углы падения φ и

преломления χ (рис.3) связаны законом преломления Снелля:

$$n_1 \sin \varphi = n_2 \sin \chi \quad \text{или} \quad \frac{\sin \varphi}{\sin \chi} = n$$

где n - постоянная, не зависящая от углов φ и χ . Величина n - показатель преломления, определяется свойствами обеих сред, через границу раздела которых проходит свет, и зависит также от цвета лучей. Преломление света сопровождается также отражением света.

На рис. 3 ход лучей света при преломлении на плоской поверхности, разделяющей две прозрачные среды. Пунктиром обозначен отраженный луч. Угол преломления χ больше угла падения φ ; это указывает, что в данном случае происходит преломление из оптически более плотной первой среды в оптически менее плотную вторую ($n_1 > n_2$), n - нормаль к поверхности раздела.

Явление преломления света было известно уже Аристотелю. Попытка установить количественный закон принадлежит знаменитому астроному Птолемею (120 г. н.э.), который предпринял измерение углов падения и преломления.

Закон отражения и закон преломления также справедливы лишь при соблюдении известных условий. В том случае, когда размер отражающего зеркала или

поверхности, разделяющей две среды, мал, мы наблюдаем заметные отступления от указанных выше законов. Однако для обширной области явлений, наблюдаемые в обычных оптических приборах, все перечисленные законы соблюдаются достаточно строго. [3]

Идеальные оптические системы.

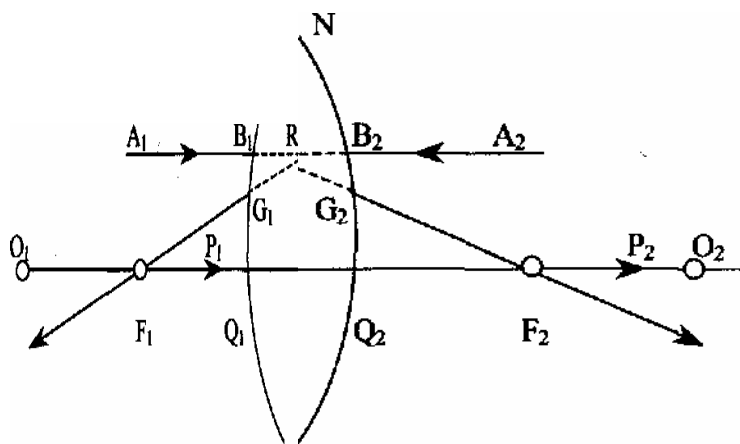
Гаусс (1841 г.) дал общую теорию оптических систем, получившую дальнейшее развитие в трудах многих математиков и физиков.

Теория Гаусса есть теория идеальной оптической системы, т.е. системы, в которой сохраняется гомоцентричность пучков и изображение геометрически подобно предмету. Согласно этому определению всякой точке пространства объектов соответствует в идеальной системе точка пространства изображений; эти точки носят название сопряженных. Точно так же каждой прямой или плоскости пространства объектов должна соответствовать сопряженная прямая или плоскость пространства изображений. Таким образом, теория идеальной оптической системы есть чисто геометрическая теория, устанавливающая соотношение между точками, линиями, плоскостями.

Идеальная оптическая система может быть осуществлена с достаточным приближением в виде централизованной оптической системы, если ограничиться областью вблизи оси симметрии, т.е. параксиальными пучками. В теории Гаусса требование «тонкости» системы отпадает, но лучи по-прежнему предполагаются параксиальными. Разыскание оптической системы, которая приближалась бы к идеальной даже при пучках значительного раскрытия, есть такая задача прикладной геометрической оптики.

Линия, соединяющая центры сферических поверхностей, представляет собой ось симметрии

центрированной системы и называется главной оптической осью системы. Теория Гаусса устанавливает ряд так называемых точек и плоскостей, задание которых полностью описывает все свойства оптической системы и позволяет пользоваться ею, не рассматривая реального хода лучей в системе.



7 Пусть MM и NN - крайние сферические поверхности, ограничивающие систему, и OO_1 - ее главная ось (рис. 4). Проведем луч A_1B_1 , параллельный O_1O_2 ; точка B_1 есть место входа этого луча в систему. Согласно свойству идеальной системы лучу A_1B_1 соответствует в пространстве изображений сопряженный луч G_2F_2 , выходящий из системы в точке G_2 . Как идет луч внутри системы нас не интересует. Второй луч P_1Q_1 выберем вдоль главной оси. Сопряженный ему луч Q_2P_2 будет также идти вдоль главной оси. Точка F_2 как пересечение двух лучей G_2F_2 и Q_2P_2 есть изображение точки, в которой пересекаются лучи A_1B_1 и P_1Q_1 , сопряженные с G_2F_2 и Q_2P_2 . Но так

как $A_1B_1 \parallel P_1Q_1$, то точка, сопряженная с F_2 , лежит в бесконечности. Таким образом, F_2 есть фокус (второй, или задний) системы. Плоскость, проходящая через фокус перпендикулярно к оси, носит название фокальной.

Любая точка линии H_1R_1 сопряжена с точкой линии H_2R_2 , лежащей на такой же высоте от O_1O_2 , как и выбранная. То же относится и к плоскостям, проведенным через H_1R_1 и H_2R_2 перпендикулярно к главной оси, т.к. вся система симметрична относительно оси. Плоскость H_1R_1 , изображается на H_2R_2 прямо и в натуральную величину. Такие плоскости называются главными плоскостями.

Таким образом, идеальная оптическая система обладает главными плоскостями. Точки H_1 и H_2 пересечения главных плоскостей с осью носят название главных точек системы. Расстояния от главных точек до фокусов называются фокусным расстоянием системы $f_1 = H_1R_1$ и $f_2 = H_2R_2$ [3]

2. Основные свойства света

Рассматривая двойственную природу света, следует понимать, что эта двойственность означает одновременное наличие у света молекулярных и волновых свойств. Так какие же свойства присущи свету и как их отличать друг от друга? Предлагается следующая таблица:

Свойства света	
Волновые	Квантовые
-отражение	-фотоэффект
-преломление	-давление света
-интерференция	-эффект Комптона
-поляризация	-отражение
-дисперсия	
-давление света	

Сначала напомним ключевые понятия.

Интерференция – физическое явление перераспределения волновой энергии в пространстве при наложении монохроматических (одинаковой частоты колебаний) волн.

Поляризация – физический процесс создания определенного направления колебаний вектора напряженности в электромагнитной волне.

Дисперсия – зависимость показателя преломления вещества от длины волны падающего излучения.

Дифракция (результат интерференции) – физическое явление нарушения прямолинейного распространения волн в неоднородных средах.

Фотоэффект- явление вырывания электронов с поверхности тел под действием света.

Эффект Комптона- явление изменения длины волны излучения при его рассеивании.

Легко заметить, что некоторые явления включены в обе колонки. Это означает, что их природу можно объяснить как с квантовых, так и с волновых позиций. Однако существуют как чисто волновые свойства света (поляризация, дисперсия, дифракция), так и квантовые (фотоэффект и эффект Комптона). Рассмотрим их чуть подробнее.

2.1. Дифракция

Простейший случай нарушения законов геометрической оптики наблюдается в случае прохождения света через очень малое отверстие, при этом наблюдается несоблюдение правил прямолинейного распространения: свет на краях отверстия заметно отклоняется в стороны, огибая края.

Так, свет, идущий от небольшого яркого источника через круглое отверстие, должен по законам геометрической оптики дать на экране резко ограниченный светлый кружок на темном фоне. Такая картина и наблюдается при обычных условиях опыта. Но если расстояние от отверстия до экрана в несколько тысяч раз превосходит размеры отверстия, то удастся наблюдать важные детали явления: образуется более сложная картина, которая состоит из совокупности светлых и темных концентрических колец, постепенно переходящих друг в друга. При другом соотношении между диаметром отверстия и расстоянием до экрана в центре картины может быть темное пятно. Этот случай совершенно необъясним с позиции геометрической оптики, однако он получает простое объяснение с точки зрения волновой теории и является естественным следствием этой теории.

Появление чередующихся колец или полос в области геометрической тени французский физик Френель объяснил тем, что световые волны, приходящие из разных точек отверстия в одну точку на экране, интерферируют между собой.

Метод зон Френеля для объяснения дифракции на отверстии.

Разобьем волновой фронт, находящийся в пределах отверстия, из точки наблюдения на отдельные участки (зоны).

Если из данной точки отверстие разбивается на четное число зон, то в этой точке наблюдается дифракционный минимум, а если в отверстие укладывается нечетное число зон, то максимум.

В нашей жизни мы не встречаем дифракции на отверстии и это не удивительно, т. к. для этого необходимо чтобы размер отверстия был соизмерим с длиной волны.

2.2. Дифракционная решетка

Дифракция света используется в спектральных приборах. Одним из основных элементов во многих спектральных приборах является дифракционная решетка. Обычно применяются отражательные решетки, но я рассмотрю принцип действия решетки, представляющей собой непрозрачную пластину с нанесенной на неё системой параллельных непрозрачных полос, расположенных на одинаковом расстоянии d друг от друга.

Пусть на решетку падает монохроматическая волна с плоским волновым фронтом (Поверхность, на которой все точки колеблются в одинаковой фазе, называется волновой поверхностью или волновым фронтом.). В результате дифракции из каждой щели свет распространяется не только в первоначальном направлении, но и по всем другим направлениям.

Если за решеткой поставить собирающую линзу, то на экране в фокальной плоскости параллельные лучи от всех щелей соберутся в одну полоску. Параллельные лучи, идущие от краев соседних щелей, имеют разность хода: $\Delta l = d \cdot \sin \phi$, где d – расстояние между соответствующими краями соседних щелей, называемое периодом решетки; ϕ – угол отклонения световых лучей от перпендикуляра к плоскости решетки. При равенстве разности хода Δl целому числу длин волн $d \cdot \sin \phi = k \cdot \lambda$ (λ – длина волны падающего света) наблюдается интерференционный максимум света. Линза не вносит разности хода. Как следует из последнего уравнения, условие интерференционного максимума для каждой световой волны выполняется при своем значении угла дифракции ϕ . В результате при прохождении через дифракционную решетку пучок белого света разлагается в спектр.

Угол дифракции имеет наибольшее значение для красного света, так как длина волны красного света больше

всех остальных в области видимого света. Наименьшее значение угол дифракции ϕ имеет для фиолетового света.

2.3. Дисперсия

Вопрос о причине различной окраски тел естественно занимал ум человека уже давно. Очень большое количество наблюдений, и чисто житейских, и научных, было в распоряжении исследователей, но вплоть до работ Ньютона (начавшихся около 1666 г.) в этом вопросе царил полная неопределенность.

Ньютон поставил целый ряд опытов, показывающих, что для узкого цветного пучка, выделенного из спектра, показатель преломления имеет вполне определенное значение, тогда как преломление белого света можно только приблизительно охарактеризовать одним каким-то значением этого показателя. Сопоставляя подобные наблюдения, Ньютон сделал вывод, что существуют простые цвета, не разлагающиеся при прохождении через призму, и сложные, представляющие совокупность простых, имеющих разные показатели преломления. В частности, солнечный свет есть такая совокупность цветов, которая при помощи призмы разлагается, давая спектральное изображение щели.

Таким образом, в основных опытах Ньютона заключались два важных открытия:

Свет различного цвета характеризуется разными показателями преломления в данном веществе (дисперсия {Дисперсия – лат. dispersus – рассеянный, разбросанный. Наблюдавшееся Ньютоном явление следует точнее называть дисперсией показателя преломления, ибо и другие оптические величины обнаруживают зависимость от длины волны (дисперсию)}).

Белый цвет есть совокупность простых цветов.

Открытие явления разложения белого света на цвета при преломлении позволило объяснить образование радуги и других подобных метеорологических явлений. Преломление света в водяных капельках или ледяных кристалликах, плавающих в атмосфере, сопровождается благодаря дисперсии в воде или льде разложением солнечного света. Рассчитывая направление преломления лучей в случае сферических водяных капель, мы получаем картину распределения цветных дуг, точно соответствующую наблюдаемым а радуге. Аналогично, рассмотрение преломления света в кристалликах льда позволяет объяснить явления кругов вокруг Солнца и Луны в морозное время года, образование так называемых ложных солнц, столбов и т. д.

2.4. Поляризация

Явления интерференции и дифракции, послужившие для обоснования волновой природы света, не дают еще полного представления о характере световых волн. Новые черты открываются через кристаллы, в частности через турмалин. Возьмем две одинаковые пластинки турмалина, вырезанные так, что одна из сторон прямоугольника совпадает с определенным направлением внутри кристалла, носящим название оптической оси. Серия опытов показывает, что интенсивность светового пучка, проходящего через пластинки турмалина, зависит от взаимной ориентации двух кристаллов. При одинаковой ориентации кристаллов свет проходит через второй кристалл без ослабления. Если же второй кристалл повернут на 90° от первоначального положения, то свет через него не проходит. Итак, свет, прошедший сквозь турмалин, приобретает особые свойства. Свойства световых волн в плоскости, перпендикулярной направлению распространения света, становится анизотропным, т. е. неодинаковыми относительно плоскости, проходящей через

луч и ось турмалина. Поэтому способность такого света проходить через вторую пластинку турмалина зависит от ориентации оптической оси этой пластинки относительно оптической оси первой пластинки. Такой анизотропии не было в пучке, идущем непосредственно от фонаря (или солнца), ибо по отношению к этому пучку ориентация турмалина была безразлична.

Можно объяснить все наблюдавшиеся явления, если сделать следующие выводы.

1) Световые колебания в пучке направлены перпендикулярно к линии распространения света (световые волны поперечны).

2) Турмалин способен пропускать световые колебания только в том случае, когда они направлены определенным образом относительно оси (например, параллельно оси).

3) В свете фонаря (солнца) представлены поперечные колебания любого направления и притом в одинаковой доле, так что одно направление не является преимущественным.

Я буду в дальнейшем называть свет, в котором в одинаковой доле представлены все направления поперечных колебаний, естественным светом.

Вывод 3 объясняет, почему естественный свет в одинаковой степени проходит через турмалин при любой его ориентации, хотя турмалин, согласно выводу 2, способен пропускать световые колебания только определенного направления. Действительно, как бы ни был ориентирован турмалин, в естественном свете всегда кажется одна и та же доля колебаний, направление которых совпадает с направлением, пропускаемых турмалином. Прохождение естественного света через турмалин приводит к тому, что из поперечных колебаний отбираются только те, которые могут пропускаться турмалином. Поэтому свет, прошедший через турмалин, будет представлять собой

совокупность поперечных колебаний одного направления, определяемого ориентацией оси турмалина. Такой свет называется линейно поляризованным, а плоскость, содержащую направление колебаний и ось светового пучка, - плоскость поляризации.

Теперь становится понятным опыт с прохождением света через две последовательно поставленные пластинки турмалина. Первая пластинка поляризует проходящий через нее пучок света, оставляя в нем колебания только одного направления. Эти колебания могут пройти через второй турмалин полностью только в том случае, когда направление их совпадает с направлением колебаний, пропускаемых вторым турмалином, т. е. когда его ось параллельна оси первого. Если же направление колебаний в поляризованном свете перпендикулярно к направлению колебаний, пропускаемых вторым турмалином, то свет будет полностью задержан. Это имеет место, когда пластинки турмалина, как говорят, скрещены, т. е. их оси составляют угол 90° . Наконец, если направление колебаний в поляризованном свете составляет острый угол с направлением, пропускаемым турмалином, то колебания будут пропущены лишь частично.

Существуют кристаллы, еще сильнее задерживающие один из поляризованных лучей, чем это происходит в турмалине (например, кристалл йодистого хинина), так что кристаллическая пленка толщиной в десятую долю миллиметра и даже тоньше практически полностью отделяет один из поляризованных лучей.

2.5. Фотоэффект

Световая волна, падающая на тело, частично отражается от него, частично проходит насквозь, частично поглощается. В большинстве случаев энергия поглощенной световой волны целиком переходит во внутреннюю

энергию вещества, что приводит к нагреванию тела. Нередко, однако, известная часть этой энергии поглощенной энергии вызывает и другие явления. Очень важными действиями света, получившими больше практические применения, являются фотоэлектрический эффект, фотолюминесценция и фотохимические превращения.

Фотоэффект – явление вырывание электронов с поверхности тел под действием света. Первоначально явление фотоэффекта пытались объяснить с волновых представлений о природе света:

Электромагнитная волна попадает на металл.

Электромагнитное поле “раскачивает” электрон.

Когда скорость электрона становится большой, электрон вылетает.

Кинетическая энергия электрона прямо пропорциональна интенсивности светового потока.

При подобном объяснении явления сразу обнаружилось некоторые противоречия, полученные в результате экспериментов:

Максимальная скорость вылетевшего электрона определяется частотой падающего света и не зависит от его интенсивности.

Величина тока насыщения (число электронов вылетевших за единицу времени) определяется интенсивности света.

Существует минимальная частота падающего света при которой еще наблюдается фотоэффект (так называемая “красная граница фотоэффекта”).

Величина тока зависит от типа материала. Фотоэффект без инерционен.

Объяснить подобные явления учёные смогли лишь после предположения Планка, которое заключалось в том,

что свет не только излучается порциями, но и распространяется порциями.

Он же выявил зависимость между энергией одной излученной порции и частотой излучения: $E = \nu * h$ (где ν - частота излучения, h – постоянная Планка).

В дальнейшем при изучении однофотонного поглощения (физическая модель в которой все кванты света поглощаются материалом) был опытным путем получен закон фотоэффекта:

$$\nu * h = (mv^2)/2 + A_{\text{выхода}}$$

Авыхода – минимальная энергия, которую необходимо сообщить электрону, для вырывания его с поверхности металла без сообщения кинетической энергии.

Данная формула смогла объяснить прошлые противоречия объяснения явления фотоэффекта:

Так как Авыхода – величина постоянная для данного металла, то максимальная скорость электрона зависит от частоты излучения.

Если частота излучения меньше частоты излучения красной границы ($\nu * h$ красной границы = Авыхода), то явления фотоэффекта не наблюдается.

При увеличении интенсивности света возрастает число фотонов и возрастает количество вылетевших электронов, что ведет к увеличению силы тока.

Закон фотоэффекта вносит совершенно новые черты в представлении о свете. Он означает, что свет частоты ν сообщает электрону энергию, равную $\nu * h$, какова бы ни была интенсивность света. При сильном свете большее количество электронов получает указанные порции энергии, при слабом – меньшее, но сами порции остаются неизменно равными $\nu * h$.

Таким образом, световой энергии приписывается атомистический характер; энергия света данной частоты ν не может делиться на произвольные части, а проявляет себя

в виде совершенно определенных равных порций – “атомов световой энергии”. Для этих порций энергии установлено специальное название; они именуются световыми квантами или фотонами. Представление о световых квантах было введено Эйнштейном в 1905 г.

То обстоятельство, что в большинстве оптических опытов не обнаруживается квантового характера световой энергии, не удивительно. Действительно, h – очень малая величина, равная $6,6 * 10^{-34}$ Дж * с. Вычислим энергию кванта зеленого цвета для

$$\lambda = 500 \text{ нм. Соответствующее } \nu = c / \lambda = 3 * 10^8 / 5 * 10^{-7} =$$

$$= 6 * 10^{14} \text{ Гц и следовательно, } \nu * h = 4 * 10^{-19} \text{ Дж; это –}$$

очень маленькая величина. Энергия, с которой мы имеем дело в большинстве опытов, состоит из очень большого числа квантов; естественно, что при этом остается незамеченным, что энергия эта всегда равна целому числу квантов. Аналогично, большинство опытов с обычными порциями вещества всегда охватывает очень большое количество атомов вещества; поэтому мы не можем заметить в этих опытах, что данное вещество состоит из целого числа минимальных порций – атомов. Требуются специальные опыты, в которых атомистическое строение вещества выступает вполне отчетливо. Совершенно так же в большинстве обычных оптических опытов от нашего внимания ускользает то обстоятельство, что световая энергия состоит из отдельных световых квантов. В специальных же опытах, к которым и относятся вышеперечисленные опыты по фотоэффекту, с полной ясностью выступает квантовая природа световой энергии.

Представление о световых квантах позволяет легко понять смысл первого основного закона фотоэффекта – пропорциональность между световым потоком и фототоком; световой поток, т. е. энергия, приносимая светом за единицу времени, определяется числом световых

квантов, поступающих за единицу времени. Ясно, что чем больше это число, тем больше электронов приобретает дополнительную энергию, приносимую квантами, и тем больше электронов вылетит из освещенного металла за единицу времени, т. е. тем сильнее будет фототок. Конечно, это не означает, что число вылетевших электронов должно быть равно числу квантов, попавших за то же время в металл. Не всякий квант сообщает свою энергию отдельному электрону. Значительная часть энергии будет распределена между атомами металла и поведет к нагреванию его. Действительно, опыт показывает, что лишь малая часть (меньше 1%) световой энергии обычно переходит в энергию вылетевших электронов. Остальная часть поглощенных световых квантов ведет к нагреванию металлов.

3. Составляющие оптических систем.

Реальные оптические системы дают удовлетворительное изображение только при известном ограничении ширины действующих пучков лучей. Но даже и для идеальных систем, которые могли бы давать правильные изображения плоского предмета при любом угле раскрытия пучков, их ограничение имеет существенное значение.

3.1 Диафрагмы и их роль в оптических системах.

Диафрагма - непрозрачная преграда, ограничивающая поперечное сечение световых пучков в оптических системах (в телескопах, дальномерах, микроскопах, кино- и фотоаппаратах и т.д.). роль диафрагм часто играют оправы линз, призм, зеркал, и других оптических деталей, зрачок глаза, границы освещенного предмета, в спектроскопах - щели.

Любая оптическая система - глаз вооруженный и невооруженный, фотографический аппарат, проекционный аппарат - в конечном счете рисует изображение на

плоскости (экран, фотопластинка, сетчатка глаза); объекты же в большинстве случаев трёхмерны. Однако даже идеальная оптическая система, не будучи ограниченной, не давала бы изображений трехмерного объекта на плоскости. Действительно, отдельные точки трехмерного объекта находятся на различных расстояниях от оптической системы, и им соответствуют различные сопряженные плоскости.

Светящаяся точка O (рис. 5) дает резкое изображение O' в плоскости MM' сопряженной с EE . Но точки A и B дают резкие изображения в A' и B' а в плоскости MM' проектируются светлыми кружками, размер которых зависит от ограничения ширины пучков. Если бы система не была ничем не ограничена, то пучки от A и B освещали бы плоскость MM' равномерно, от чего не получилось бы никакого изображения предмета, а лишь изображение отдельных точек его, лежащих в плоскости EE .

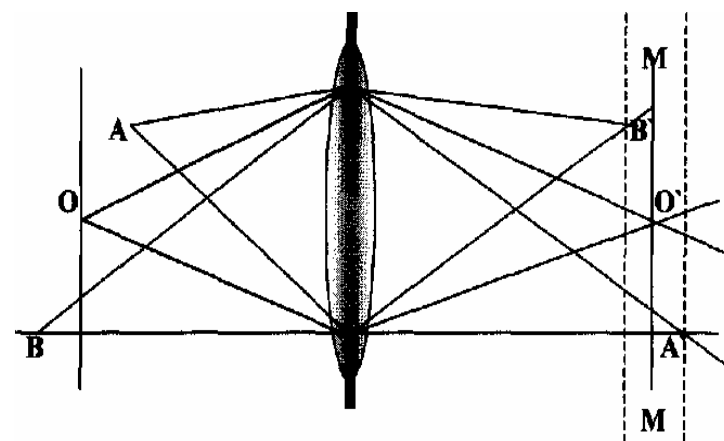


Рис. 5 Влияние диафрагмы на глубину резкого изображения.

Чем уже пучки тем, тем отчетливее изображение пространства предмета на плоскости. Точнее, на плоскости

изображается не сам пространственный предмет, а та плоская картина, которая является проекцией предмета на некоторую плоскость EE (плоскость установки), сопряженную относительно системы с плоскостью изображения MM . Центром проекции служит одна из точек системы (центр входного зрачка оптического инструмента).

Размеры и положение диафрагмы определяют освещенность и качество изображения, глубину резкости и разрешающую способность оптической системы, поле зрения.

Диафрагма наиболее сильно ограничивающая световой пучок, называется апертурной или действующей. Её роль может выполнять оправка какой-либо линзы или специальная диафрагма BB , если эта диафрагма сильнее ограничивает пучки света, чем оправы линз.

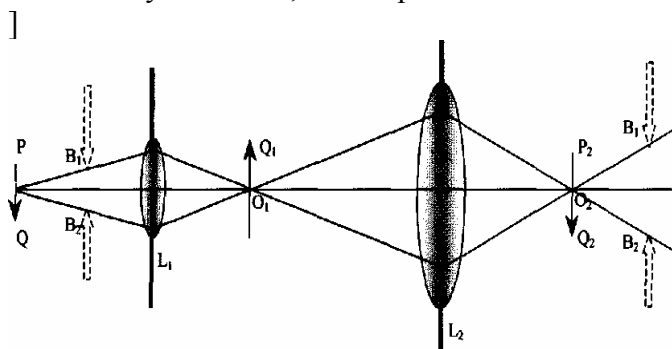


Рис. 6. BB - апертурная диафрагма; V_1V_1 - входной зрачок; V_2V_2 - выходной зрачок.

Апертурная диафрагма BB нередко располагается между отдельными компонентами (линзами) сложной оптической системы (рис.6), но её можно поместить и перед системой или после её.

Если BB - действительная апертурная диафрагма (рис. 6), а V_1V_1 и V_2V_2 - её изображения в передней и задней частях системы, то все лучи, прошедшие через BB , пройдут через V_1V_1 и V_2V_2 и на оборот, т.е. любая из диафрагм BB , V_1V_1 и V_2V_2 ограничивает активные пучки. [3]

3.2 Входной и выходной зрачки.

Входным зрачком называется то из действительных отверстий или их изображений, которое сильнее всего ограничивает входящий пучок, т.е. видно под наименьшим углом из точки пересечения оптической оси с плоскостью предмета.

Выходным зрачком называется отверстие или его изображение, ограничивающее выходящий из системы пучок. Входной и выходной зрачки являются сопряженными по отношению ко всей системе.

Роль входного зрачка может играть то или иное отверстие или его изображение (действительное или мнимое). В некоторых важных случаях изображаемый предмет есть освещенное отверстие (например, щель спектрографа), причем освещение обеспечивается непосредственно источником света, расположенным недалеко от отверстия, или при помощи вспомогательного конденсора. В таком случае в зависимости от расположения роль входного зрачка может играть граница источника или его изображения, или граница конденсора и т.д.

Если апертурная диафрагма лежит перед системой, то она совпадает с входным зрачком, а выходным зрачком явится её изображение в этой системе. Если она лежит сзади системы, то она совпадает с выходным зрачком, а входным зрачком явится её изображение в системе. Если апертурная диафрагма BB лежит внутри системы (рис. 6), то её изображение V_1V_1 в передней части системы служит входным зрачком, а изображение V_2V_2 в задней части системы - выходным. Угол, под которым виден радиус

входного зрачка из точки пересечения оси с плоскостью предмета, называется апертурным углом, а угол, под которым виден радиус выходного зрачка из точки пересечения оси с плоскостью изображения, есть угол проекции или выходной апертурный угол. [3]

Оптические системы, вооружающие глаз.

Хотя глаз и не представляет собой тонкую линзу, в нем можно все же найти точку, через которую лучи проходят практически без преломления, т.е. точку, играющую роль оптического центра. Оптический центр глаза находится внутри хрусталика вблизи задней поверхности его. Расстояние h от оптического центра до сетчатой оболочки, называемое глубиной глаза, составляет для нормального глаза 15 мм.

Зная положение оптического центра, можно легко построить изображение какого-либо предмета на сетчатой оболочке глаза. Изображение всегда действительное, уменьшенное и обратное (рис. 11 ,а). Угол (ρ , под которым виден предмет S) из оптического центра O , называется углом зрения.

Сетчатая оболочка имеет сложное строение и состоит из отдельных светочувствительных элементов. Поэтому две точки объекта, расположенные настолько близко друг к другу, что их изображение на сетчатке попадают в один и тот же элемент, воспринимаются глазом, как одна точка. Минимальный угол зрения, под которым две светящихся точки или две черные точки на белом фоне воспринимаются глазом ещё раздельно, составляет приблизительно одну минуту. Глаз плохо распознает детали предмета, которые он видит под углом менее $1''$. Это угол, под которым виден отрезок, длина которого 1 см на расстоянии 34 см от глаза. При плохом освещении (в сумерках) минимальный угол разрешения повышается и может дойти до Γ .

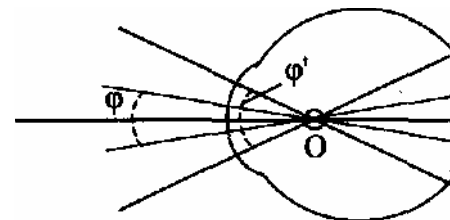


Рис. 11. Коррекция изображения рассматриваемых предметов: а - угол зрения $\rho = S'J' / h = St / D$;

б - при увеличении угла зрения увеличивается изображение рассматриваемого предмета на сетчатке ; $N = b'/b = \rho'/\rho$.

3.3. Современные оптические системы.

Оптическая система.

Тонкая линза представляет простейшую оптическую систему. Простые тонкие линзы

применяются главным образом в виде стекол для очков. Кроме того, общеизвестно применение линзы в качестве увеличительного стекла.

Действие многих оптических приборов - проекционного фонаря, фотоаппарата и других приборов - может быть схематически уподоблено действию тонких линз. Однако тонкая линза дает хорошее изображение только в том сравнительно редком случае, когда можно ограничиться узким одноцветным пучком, идущим от источника вдоль главной оптической оси или под большим углом к ней. В большинстве же практических задач, где эти условия не выполняются, изображение, даваемое тонкой линзой, довольно не совершенно. Поэтому в большинстве случаев прибегают к построению более сложных оптических систем , имеющих большое число преломляющих поверхностей и не ограниченных требованием близости этих поверхностей (требование,

которому удовлетворяет тонкая линза). [4]

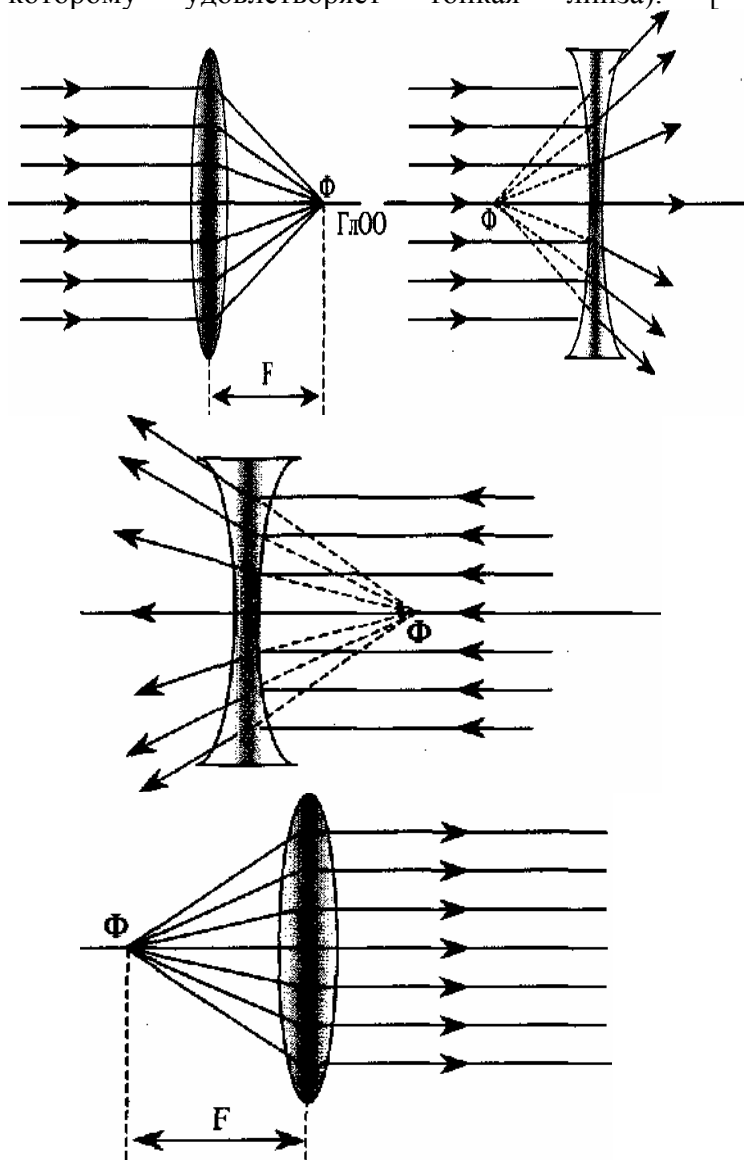


Рис. 7. Классификация линз и особенности преломления лучей: а - собирающая линза; б - рассеивающая линза.

Приближая предмет к глазу, мы увеличиваем угол зрения и, следовательно, получаем возможность лучше различать мелкие детали. Однако очень близко к глазу приблизить мы не можем, так как способность глаза к аккомодации ограничена. Для нормального глаза наиболее благоприятным для рассматривания предмета оказывается расстояние около 25 см, при котором глаз достаточно хорошо различает детали без чрезмерного утомления. Это расстояние называется расстоянием наилучшего зрения. для близорукого глаза это расстояние несколько меньше. поэтому близорукие люди, помещая рассматриваемый предмет ближе к глазу, чем люди с нормальным зрением или дальновзоркие, видят его под большим углом зрения и могут лучше различать мелкие детали.

Значительное увеличение угла зрения достигается с помощью оптических приборов. По своему назначению оптические приборы, вооружающие глаз, можно разбить на следующие большие группы.

Приборы, служащие для рассматривания очень мелких предметов (лупа, микроскоп). Эти приборы как бы «увеличивают» рассматриваемые предметы.

Приборы, предназначенные для рассматривания удаленных объектов (зрительная труба, бинокль, телескоп и т.п.) эти приборы как бы «приближают» рассматриваемые предметы.

Благодаря увеличению угла зрения при использовании оптического прибора размер изображения предмета на сетчатке увеличивается по сравнению с изображением в невооруженном глазе и, следовательно, возрастает

способность распознавания деталей. Отношение длины b на сетчатке в случае вооруженного глаза b' к длине изображения для невооруженного глаза b (рис.И,б) называется увеличением оптического прибора.

С помощью рис. 11 ,б легко видеть, что увеличение N равно также отношению угла зрения (ρ^* при рассматривании предмета через инструмент к углу зрения ρ для невооруженного глаза, ибо ρ' и ρ невелики. [2,3]
Итак,

$$N = b' / b = \varphi' / \varphi,$$

где N - увеличение предмета;

b' - длина изображения на сетчатке для вооруженного глаза;

b - длина изображения на сетчатке для невооруженного глаза;

φ' - угол зрения при рассматривании предмета через оптический инструмент;

φ - угол зрения при рассматривании предмета невооруженным глазом.

Лупа.

Одним из простейших оптических приборов является лупа - собирающая линза, предназначенная для рассматривания увеличенных изображений малых объектов. Линзу подносят к самому глазу, а предмет помещают между линзой и главным фокусом. Глаз увидит мнимое и увеличенное изображение предмета. Удобнее всего рассматривать предмет через лупу совершенно ненапряженным глазом, аккомодированным на бесконечность. Для этого предмет помещают в главной фокальной плоскости линзы так, что лучи, выходящие из каждой точки предмета, образуют за линзой параллельные пучки. На рис. 12 изображено два таких пучка, идущих от краев предмета. Попадая в аккомодированный на бесконечность глаз, пучки параллельных лучей

фокусируются на сетчатке и дают здесь отчетливое изображение предмета.

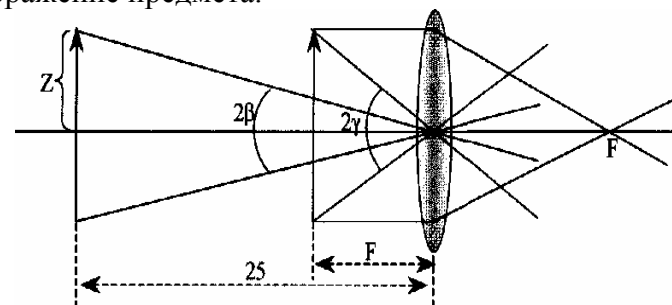


Рис. 12 Угловое увеличение лупы. Угловое увеличение. Глаз находится очень близко к линзе , поэтому за угол зрения можно принять угол 2γ , образованный лучами, идущими от краев предмета через оптический центр линзы. Если бы лупы не было , нам пришлось бы поставить предмет на расстоянии наилучшего зрения (25 см) от глаза и угол зрения был бы равен 2ρ . Рассматривая прямоугольные треугольники с катетами 25 см и F см и обозначая половину предмета Z , можем написать ;

$$\operatorname{tg} \gamma / F = Z / 25 \approx \rho'$$

где 2γ - угол зрения, при наблюдении через лупу;

2ρ - угол зрения, при наблюдении невооруженным глазом; F - расстояние от предмета до лупы; Z - половина длины рассматриваемого предмета.

Принимая во внимание , что через лупу рассматривают обычно мелкие детали и поэтому углы γ и ρ малы, можно тангенсы заменить углами. Таким образом получится следующее

выражение для увеличения лупы =

$$2\gamma / 2\rho = 25 / F$$

Следовательно, увеличение лупы пропорционально $1 / F$, то есть ее* оптической силе. [1]

Микроскоп.

Прибор, позволяющий получить большое увеличение при рассматривании малых предметов, называется микроскопом.

Простейший микроскоп состоит из двух собирающих линз. Очень короткофокусный объектив L_1 даёт сильно увеличенное действительное изображение предмета $P'Q'$ (рис. 13), которое рассматривается окуляром, как лупой.

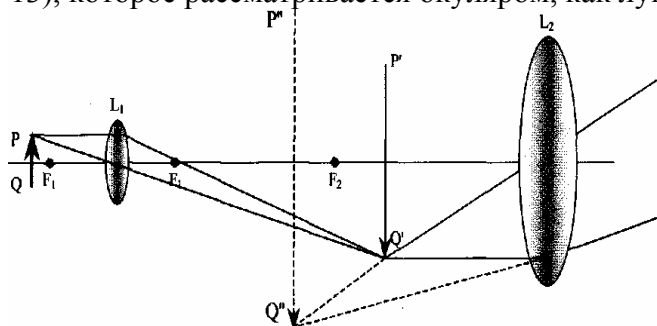


Рис. 13. Схема простейшего микроскопа.

Обозначим линейное увеличение β , даваемое объективом, через β_1 , а окуляром через β_2 ,

$P'Q' = \beta_1 PQ$ и $P''Q'' = \beta_2 P'Q'$ это значит, что $\beta = \beta_1 \beta_2$ и

где $P'Q'$ - увеличенное действительное изображение предмета; PQ - размер предмета;

$P''Q''$ - увеличенное мнимое изображение предмета; β_1 - линейное увеличение объектива; β_2 - линейное увеличение окуляра. Перемножив эти выражения, получим $\beta = \beta_1 \beta_2$,

где PQ - размер предмета; $P''Q''$ - увеличенное мнимое изображение предмета; β_1 - линейное увеличение объектива; β_2 - линейное увеличение окуляра.

Отсюда видно, что увеличение микроскопа равно произведению увеличений, даваемых объективом и окуляром в отдельности. Поэтому возможно построить инструменты, дающие очень большие увеличения - до 1000 и даже больше. В хороших микроскопах объектив и окуляр - сложные.

Окуляр обычно состоит из двух линз объектив же гораздо сложнее. Желание получить большие увеличения заставляют употреблять короткофокусные линзы с очень большой оптической силой. Рассматриваемый объект ставится очень близко от объектива и дает широкий пучок лучей, заполняющий всю поверхность первой линзы. Таким образом, создаются очень невыгодные условия для получения резкого изображения: толстые линзы и нецентральные лучи. Поэтому для исправления всевозможных недостатков приходится прибегать к комбинациям из многих линз различных сортов стекла.

В современных микроскопах теоретический предел уже почти достигнут. Видеть в микроскоп можно и очень малые объекты, но их изображения представляются в виде маленьких пятнышек, не имеющих никакого сходства с объектом.

При рассматривании таких маленьких частиц пользуются так называемым ультрамикроскопом, который представляет собой обычный микроскоп с конденсором, дающим возможность интенсивно освещать рассматриваемый объект сбоку, перпендикулярно оси микроскопа.

С помощью ультрамикроскопа удаётся обнаружить частицы, размер которых не превышает миллимикрон.

Зрительные трубы.

Простейшая зрительная труба состоит из двух собирающих линз. Одна линза, обращенная к рассматриваемому предмету, называется объективом, а другая, обращенная к глазу наблюдателя - окуляром.

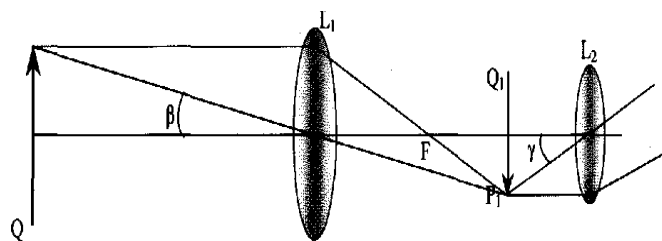


Рис. 14. Ход лучей в зрительной трубе.

Ход лучей в зрительной трубе показан на рис. 14.

Объектив L_1 дает действительное обратное и сильно уменьшенное изображение предмета P^*Q^* , лежащее около главного фокуса объектива. Окуляр помещают так, чтобы изображение предмета находилось в его главном фокусе. В этом положении окуляр играет роль линзы, при помощи которой рассматривается действительное изображение предмета.

Действие трубы, так же как и линзы, сводится к увеличению угла зрения. При помощи трубы обычно рассматривают предметы, находящиеся на расстояниях, во много раз превышающих её длину. Поэтому угол зрения, под которым предмет виден без трубы, можно принять углом 2β , образованный лучами, идущими от краев предмета через оптический центр объектива.

Рис. 5. Угловое увеличение зрительной трубы. Изображение видно под углом 2γ и лежит почти в самом фокусе F объектива и в фокусе F_1 окуляра.

Рассматривая два прямоугольных треугольника с общим катетом Z' , можем написать:

$$\frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{Z' / F_1}{Z' / F} = \frac{F}{F_1}$$

где 2γ - угол под которым видно изображение предмета;

2β - угол зрения, под которым виден предмет невооруженным глазом; F - фокус объектива; F_1 - фокус окуляра;

Z - половина длины рассматриваемого предмета.

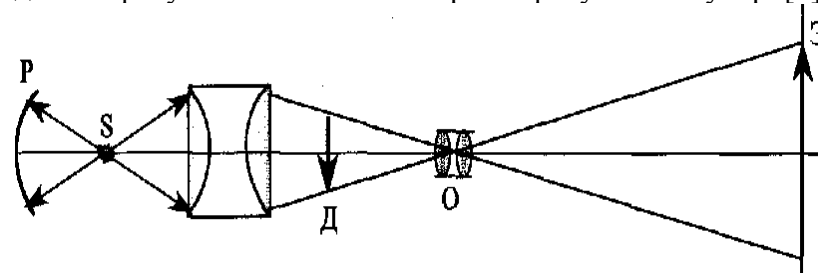
Углы β и γ не велики, поэтому можно с достаточным приближением заменить $\operatorname{tg} \beta$ и $\operatorname{tg} \gamma$

$$\frac{2\gamma}{2\beta} = \frac{\gamma}{\beta} = \frac{F}{F_1}$$

углами и тогда увеличение трубы =

где 2γ - угол под которым видно изображение предмета; 2β - угол зрения, под которым виден предмет невооруженным глазом; F - фокус объектива; F_1 - фокус окуляра.

Угловое увеличение трубы определяется отношением фокусного расстояния объектива к фокусному расстоянию окуляра. Чтобы получить большое увеличение, надо брать длиннофокусный объектив и короткофокусный окуляр. [1]



Проекционные устройства.

Для показа зрителям на экране увеличенного изображения рисунков, фотоснимков или чертежей

применяют проекционный аппарат. Рисунок на стекле или на прозрачной пленке называют диапозитивом, а сам аппарат, предназначенный для показа таких рисунков, - диаскопом. Если аппарат предназначен для показа непрозрачных картин и чертежей, то его называют эпископом. Аппарат, предназначенный для обоих случаев называется эпидиаскопом.

Линзу, которая создает изображение находящегося перед ней предмета, называют объективом. Обычно объектив представляет собой оптическую систему, у которой устранены важнейшие недостатки, свойственные отдельным линзам. Чтобы изображение предмета на было хорошо видно зрителям, сам предмет должен быть ярко освещен.

Схема устройства проекционного аппарата показана на рис. 16.

Источник света S помещается в центре вогнутого зеркала (рефлектора) P . свет идущий непосредственно от источника S и отраженный от рефлектора P , попадает на конденсор K , который состоит из двух плосковыпуклых линз. Конденсор собирает эти световые лучи на

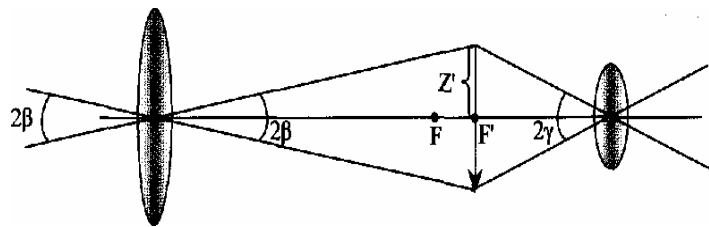


Рис. 6 Схема проекционного устройства

объективе O , который уже направляет их на экран \mathcal{E} , где получается изображение диапозитива \mathcal{D} . Сам диапозитив помещается между главным фокусом объектива и точкой, находящейся на расстоянии $2F$ от объектива. Резкость

изображения на экране достигается перемещением объектива, которое часто называется наводкой на фокус. [2]

Спектральные аппараты.

Для наблюдения спектров пользуются спектроскопом.

Наиболее распространенный призматический спектроскоп состоит из двух труб, между которыми помещают трехгранную призму (рис. 17).

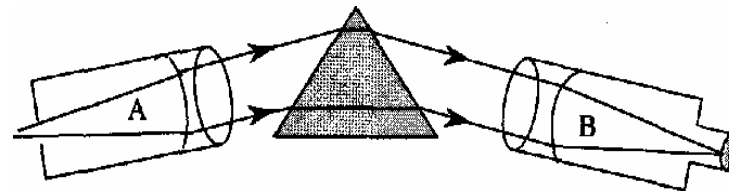


Рис. 17. Спектроскоп.

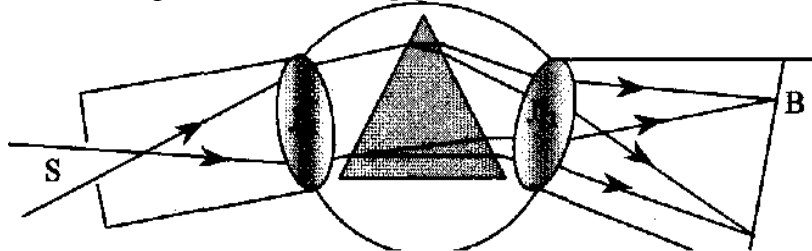
В трубе A , называемой коллиматором имеется узкая щель, ширину которой можно регулировать поворотом винта. Перед щелью помещается источник света, спектр которого необходимо исследовать. Щель располагается в фокальной плоскости коллиматора, и поэтому световые лучи из коллиматора выходят в виде параллельного пучка. Пройдя через призму, световые лучи направляются в трубу B , через которую наблюдают спектр. Если спектроскоп предназначен для измерений, то на изображение спектра с помощью специального устройства накладывается изображение шкалы с делениями, что позволяет точно установить положение цветных линий в спектре.

При исследовании спектра часто бывает целесообразней сфотографировать его, а затем изучать с помощью микроскопа.

Прибор для фотографирования спектров называется спектрографом.

Схема спектрографа показана на рис. 18.

Спектр излучения с помощью линзы.% фокусируется на матовое стекло АВ, которое при фотографировании заменяют фотопластинкой. [2]



Оптический измерительный прибор - средство измерения, в котором визирование (совмещение границ контролируемого предмета с визирной линией, перекрестием и т.п.) или определение размера осуществляется с помощью устройства с оптическим принципом действия. Различают три группы оптических измерительных приборов : приборы с оптическим принципом визирования и механическим способом отчета перемещения; приборы с оптическим способом визирования и отчета перемещения; приборы, имеющие механический контакт с измерительным прибором, с оптическим способом определения перемещения точек контакта.

Из приборов первой распространение получили проекторы для измерения и контроля деталей, имеющих сложный контур, небольшие размеры.

Наиболее распространенный прибор второй - универсальный измерительный микроскоп, в котором измеряемая деталь перемещается на продольной каретке, а головной микроскоп - на поперечной.

Приборы третьей группы применяют для сравнения измеряемых линейных величин с мерками или шкалами. Их объединяют обычно под общим названием компараторы. К этой группе приборов относятся оптиметр (оптикатор,

измерительная машина, контактный интерферометр, оптический дальномер и др.).

Оптические измерительные приборы также широко распространены в геодезии (нивелир, теодолит и др.).

Теодолит - геодезический инструмент для определения направлений и измерения горизонтальных и вертикальных углов при геодезических работах, топографической и маркшейдерских съемках, в строительстве и т.п.

Нивелир - геодезический инструмент для измерения превышений точек земной поверхности - нивелирования, а также для задания горизонтальных направлений при монтажных и т.п. работах.

В навигации широко распространён секстант - угломерный зеркально-отражательный инструмент для измерения высот небесных светил над горизонтом или углов между видимыми предметами с целью определения координат места наблюдателя. Важнейшая особенность секстанта - возможность совмещения в поле зрения наблюдателя одновременно двух предметов, между которыми измеряется угол, что позволяет пользоваться секстантом на самолёте и на корабле без заметного снижения точности даже во время качки.

Перспективным направлением в разработке новых типов оптических измерительных приборов является оснащение их электронными отсчитывающими устройствами, позволяющими упростить отсчет показаний и визирования, и т.п. [5]

Применение оптических систем в науке и технике.

Применение, а так же роль оптических систем в науке и технике очень велико. Не изучая оптические явления и не развивая оптические инструменты человечество не было бы на столь высоком уровне развития техники.

Почти все современные оптические приборы предназначены для непосредственного визуального наблюдения оптических явлений.

Законы построения изображения служат основой для построения разнообразных оптических приборов. Основной частью любого оптического прибора является некоторая оптическая система. В одних оптических приборах изображение получается на экране, другие приборы предназначены для работы с глазом. в последнем случае прибор и глаз представляют как бы единую оптическую систему и изображение получается на сетчатой оболочке глаза.

Изучая некоторые химические свойства веществ, ученые изобрели способ закрепления изображения на твердых поверхностях, а для проецирования изображений на эту поверхность стали использовать оптические системы, состоящие из линз. Таким образом, мир получил фото- и киноаппараты, а с последующим развитием электроники появились видео- и цифровые камеры.

Для исследования малых объектов, практически незаметных глазу используют лупу, а если её увеличения недостаточно, тогда применяют микроскопы. Современные оптические микроскопы позволяют увеличивать изображение до 1000 раз, а электронные микроскопы в десятки тысяч раз. Это даёт возможность исследовать объекты на молекулярном уровне.

Современные астрономические исследования не были бы возможными без «трубы Галилея» и «трубы Кеплера». Труба Галилея, нередко применяемая в обычном театральном бинокле, даёт прямое изображение предмета, труба Кеплера - перевернутое. Вследствие этого, если труба Кеплера должна служить для земных наблюдений, то её снабжают оборачивающей системой (дополнительной линзой или системой призм), в результате чего

изображение становится прямым. Примером подобного прибора может служить призмный бинокль.

Преимуществом трубы Кеплера является то, что в ней имеется дополнительное промежуточное изображение, в плоскость которого можно поместить измерительную шкалу, фотопластинку для производства снимков и т.п. Вследствие этого в астрономии и во всех случаях, связанных с измерениями, применяется труба Кеплера.

Наряду с телескопами, построенными по типу зрительной трубы - рефракторами, весьма важное значение в астрономии имеют зеркальные (отражательные) телескопы, или рефлекторы.

Возможности наблюдения, которые даёт каждый телескоп, определяются диаметром его отверстия. Поэтому с давних времен научно техническая мысль направлена на отыскание

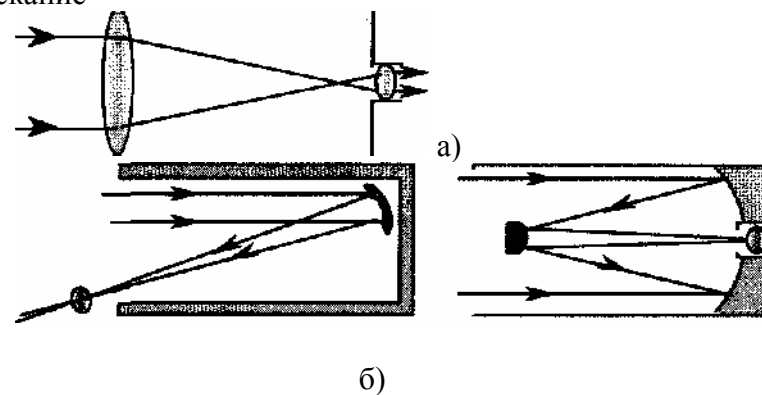


Рис. 19. Телескопы: а - телескоп – рефрактор; б - телескопы рефлекторы

способов изготовления больших зеркал и объективов.

С постройкой каждого нового телескопа расширяется радиус наблюдаемой нами Вселенной.

Зрительное восприятие внешнего пространства является сложным действием, в котором существенным обстоятельством является то, что в нормальных условиях мы пользуемся двумя глазами. Благодаря большой подвижности глаз мы быстро фиксируем одну точку предмета за другой; при этом мы можем оценивать расстояние до рассматриваемых предметов, а также сравнивать эти расстояния между собой. Такая оценка даёт представление о глубине пространства, об объёмном распределении деталей предмета, делает возможным стереоскопическое зрение.

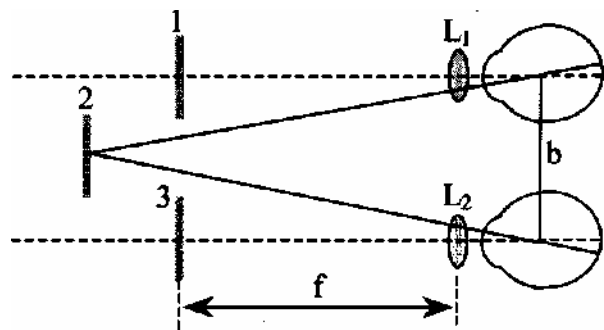


Рис. 20. Схема стереоскопа.

Стереоскопические снимки 1 и 2 рассматриваются с помощью линз L_1 и L_2 , помещенных каждая перед одним глазом. Снимки располагаются в фокальных плоскостях линз, и следовательно, их изображения лежат в бесконечности. Оба глаза аккомодированы на бесконечность. Изображения обоих снимков воспринимаются как один рельефный предмет, лежащий в плоскости S . Стереоскоп в настоящее время широко применяется для изучения снимков местности.

Производя фотографирование местности с двух точек, получают два снимка, рассматривая которые в стереоскоп

можно ясно видеть рельеф местности. Большая острота стереоскопического зрения даёт возможность применять стереоскоп для обнаружения подделок документов, денег и т.п.

В военных оптических приборах, предназначенных для наблюдений (бинокли, стереотрубы), расстояния между центрами объективов всегда значительно больше, чем расстояние между глазами, и удаленные предметы кажутся значительно более рельефными, чем при наблюдении без прибора.

Изучение свойств света, идущего в телах с большим показателем преломления привело к открытию полного внутреннего отражения. Это свойство широко применяется при изготовлении и использовании оптоволокон. Оптическое волокно позволяет проводить любое оптическое излучение без потерь. Использование оптоволокон в системах связи позволило получить высокоскоростные каналы для получения и отправки информации.

Полное внутреннее отражение позволяет использовать призмы вместо зеркал. На этом принципе построены призматические бинокли и перископы.

Перископы широко применяются в подводных кораблях, а также в военных оптических приборах.

Рис. 21. Схема перископа.

Использование лазеров и систем фокусировки позволяет фокусировать лазерное излучение в одной точке, что применяется в резке различных веществ, в устройствах для чтения и записи компакт-дисков, в лазерных дальномерах.

Оптические системы широко распространены в геодезии для измерения углов и превышений (нивелиры, теодолиты, секстанты и др.).

Использование призм для разложения белого света на спектры привело к созданию спектрографов и

спектроскопов. Они позволяют наблюдать спектры поглощений и испусканий твердых тел и газов. Спектральный анализ позволяет узнать химический состав вещества.

Использование простейших оптических систем - тонких линз, позволило многим людям с дефектами зрительной системы нормально видеть (очки, глазные линзы и т.д.).

Благодаря оптическим системам было произведено много научных открытий и достижений.

Оптические системы используются во всех сферах научной деятельности, от биологии до физики. Поэтому, можно сказать, что сфера применения оптических систем в науке и технике-безгранична. [4,6]

4. Назначение элементов оптических приборов

4.1. Источники излучения

В качестве искусственных источников излучения в спектральных приборах используют газовый разряд различных видов, пламя, тепловые излучатели, спектральные высокочастотные газовые и парометаллические лампы, лазеры и т.п. Тип источника и его характеристики выбираются исходя из задач измерений и параметров спектрального прибора.

Источниками оптического излучения являются также естественные излучатели – атмосфера, планеты, звезды, фоны.

Источники бывают: сплошного излучения, линейчатого излучения, излучения в вакуумной УФ области, излучения в средневолновой и длинноволновой ИК областях и естественные.

Источники сплошного излучения широко применяются в спектральных приборах, предназначенных для измерения спектров поглощения и отражения. Наибольшее распространение получили тепловые излучатели (лампы накаливания), водородные газоразрядные лампы, дуговые газоразрядные ртутные и ксеноновые лампы сверхвысокого давления, импульсные источники сплошного спектра, лазерная искра.

Под тепловым излучением понимается электромагнитное излучение, испускаемое телом, вещество которого находится в состоянии термодинамического равновесия и характеризуется определенной температурой. Дуговые газоразрядные лампы сверхвысокого давления – лампы, основанные на использовании дугового разряда в парах ртути или инертных газов (чаще всего ксенона).

Основная область применения источников линейчатого излучения – атомная и атомно-абсорбционная спектроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния, градуировка спектральных приборов.

Рассмотрим наиболее распространенные виды ламп с линейчатым спектром.

Гейслеровские трубки – Лампы представляющие собой колбы с металлическими электродами, наполненными инертными газами. Они работают при низком давлении. В качестве источника используется излучения положительного столба тлеющего разряда, проходящего через узкий капилляр, при напряжении на электродах до 2-3 кВ и токе 1-100 мА. Преимуществом гейслеровских трубок являются простота, высокая интенсивность излучаемых линий и их малая ширина.

Дуговые парометаллические лампы – лампы, состоящие из небольшой разрядной трубки, заключенной внутри цилиндрической колбы. Разрядные трубки заполняются аргоном и небольшим количеством какого-

либо металла .В колбе поддерживается давление ~ 10 Па , что обеспечивает постоянство разряда .

Лампы с полыми катодами – Лампы имеющие особенность, что их катод изготавливается в форме полого цилиндра , внутри которого при определенном токе и давлении концентрируется все отрицательное свечение тлеющего разряда .Это приводит к существенному повышению яркости излучения , содержащего интенсивные и узкие линии металла , из которого сделан катод.

Промышленность выпускает лампы и полые катоды , изготавливаемые из алюминия , хрома, меди, железа, никеля и других металлов. Лампы наполняются неоном при давлении ~ 400 Па, что способствует наиболее яркому свечению разряда . Лампы с полым катодом находят широкое применение в качестве источников спектров сравнения , стандартов длин волн и интенсивностей , а также при атомно-абсорбционном анализе.

Лампа с высокочастотным возбуждением – лампа представляющая собой трубку , в которой возбуждается газовый разряд под воздействием электрического поля высокой частоты (10-10 МГц), создаваемому как с помощью электродов , введенных внутрь трубки, так и без них .

Резонансная лампа. В этой лампе излучение возбуждается оптическим путем .Лампа представляет собой стеклянную или кварцевую колбу , заполненную парами исследуемого металла при низком давлении. При освещении колбы светом газоразрядной лампы , содержащей пары содержащей пары того же металла что и резонансная лампа , последняя излучает поглощения резонансного излучения . В лампах такого типа можно наблюдать резонансные линии щелочных металлов .

Лазеры. Среди источников линейчатого спектра необходимо особо отметить газовые лазеры . Чрезвычайно

малая ширина генерируемых ими линий (10 – 10 нм)позволяет использовать их в качестве источников "идеально" монохроматического излучения при измерении формы и ширины аппаратных функций спектральных приборов высокой разрешающей способности. При спектральных измерениях находят также применение жидкостные лазеры, в которых в качестве активной среды чаще всего используются растворы сложных органических красителей.

При спектральных измерениях в вакуумной УФ области спектра используют водородные лампы , лампы со сплошным излучением инертных газов , ксеноновые и криптоновые резонансные лампы. Водородные лампы излучают спектр , состоящий в вакуумной УФ области из сплошного спектра (континуума) при длинах волн более 170 нм , многолинейчатого молекулярного спектра и резонансных линий атомарного водорода с длинноволновой линией 121 нм. Для исследования спектров поглощения используется излучение разряда инертных газов - аргона , криптона и ксенона, - возбуждаемых с помощью высокочастотного разряда . Для фотохимических исследований применяются ксеноновые и криптоновые резонансные лампы, содержащие в вакуумной УФ области только одну или две резонансные линии, излучаемых в дуговом или тлеющем разряде при малой плотности тока или в безэлектродном разряде при низком давлении газа.

Источники излучения в средневолновой и длинноволновой их областях.

Особенность источников средневолнового (1,5 – 20 мкм) и длинноволнового (20 – 1000мкм) диапазонов заключается в малой интенсивности их излучения .В средней ИК области используются тепловые излучатели – штифт Нерста и глобар.

Штифт Нерста представляет собой спрессованный и прокаленный при высокой температуре стержень из смеси порошков окиси циркония и окиси иттрия .

Глобар- это спрессованный из карбида кремния и подвергнутый обжигу сплошной стержень длиной 5-10 см с утолщенными концами, обжимаемыми металлическими электродами.

Излучение некоторых естественных источников.

Естественные источники – Солнце, Луна, звезды, планеты, поверхность Земли, облака- являются объектами спектроскопического исследования.

Спектральная щель

В призмных и дифракционных приборах спектральная щель является одним из основных элементов, так как образующийся на выходе приборов спектр представляет собой дискретную или непрерывную совокупность изображений щели.

К спектральной щели предъявляется ряд требований. Ее ширина должна быть постоянной и выдерживаться с погрешностью не более 10%. Ножи щели должны лежать в одной плоскости, перпендикулярной оптической оси прибора. Раскрытие щели должно быть симметричным относительно начального положения.

В отечественных спектральных приборах преимущественно используется унифицированная щель УФ-2, образованная двумя ножами. Раскрытие щели осуществляется с помощью кулачкового механизма, закрытие – с помощью пластинчатых пружин. Цена деления барабана, устанавливающего щели, 0,001мм, диапазон измерения ширины 0-4мм.

Освещение щели бывает безлинзовое или с помощью конденсоров.

Наиболее простой способ освещения щели – безлинзовый, т.е. без применения специальной осветительной системы.

Конденсор представляет собой линзу (или систему линз), служащую для освещения щели. Задача конденсора – увеличить угловые размеры источника, освещающего щель.

ОБЪЕКТИВЫ

Объектив, обращенная к объекту часть оптической системы или самостоятельная оптическая система, формирующая действительное изображение оптическое объекта. Это изображение либо рассматривают визуально в окуляр, либо получают на плоской (реже искривленной) поверхности (фотографического светочувствительного слоя, фотокатода передающей телевизионной трубки или электроннооптического преобразователя, матового стекла или экрана). Конструктивно О. могут быть разделены на три класса: наиболее распространенные линзовые (рефракторы, диоптрические); зеркальные (рефлекторы, катоптрические); зеркально-линзовые (катадиоптрические По назначению О. делятся: на О. зрительных труб и телескопов, которые дают уменьшенное изображение; О. микроскопов -увеличенное изображение; фотографические и проекционные О., дающие в зависимости от конструкции и способа применения уменьшенное или увеличенное изображение.

Важнейшими оптическими характеристиками О. являются: фокусное расстояние, которое при заданном удалении объекта от О. определяет увеличение оптическое О.; диаметр входного зрачка О.; относительное отверстие и выражающаяся через него светосила О.; поле зрения О. Качество формируемого О. изображения характеризуют: разрешающая способность О., коэффициент передачи

контраста, коэффициенты интегрального и спектрального пропускания света, коэффициент светорассеяния в О., падение освещённости по полю изображения.

Объективы зрительных труб и телескопов. Расстояние до объектов, изображаемых такими О., предполагается очень (практически бесконечно) большим. Поэтому объекты характеризуют не линейными, а угловыми размерами. Соответственно, характеристиками О. данной группы служат угловое увеличение g , угловая разрешающая способность a и угол поля зрения $2w = 2w\phi/g$, где $2w\phi$ - угол поля зрения следующей за О. части оптической системы (обычно окуляра). В свою очередь, $g = f1/f2$, где $f1$ - фокусное расстояние О., $f2$ - переднее фокусное расстояние последующей части системы. Разрешающая способность О. в угловых секундах определяется по формуле $a'' = 120''/D$, где D - выраженный в мм диаметр входного зрачка О. (чаще всего им является оправа О.). Освещённость изображения (светосила О.) пропорциональна квадрату относительного отверстия $(D/f1)^2$.

По назначению фотографические О. разделяют на О., применяемые в любительской и профессиональной фотографии и кинематографии, репродукционные, телевизионные, аэрофотосъёмочные, флюорографические, астрографические и др., а также О. для невидимых областей спектра - инфракрасной и ультрафиолетовой. Среди О. одного и того же назначения различают нормальные, или универсальные, светосильные, широкоугольные и длиннофокусные, или телеобъективы. Наиболее широко используются нормальные (универсальные) О. Это, как правило, анастигматы, обеспечивающие резкое плоское изображение при умеренно большом относительном отверстии и поле зрения. Их фокусные расстояния $\sim 40-150$ мм, относительные отверстия - $1 : 1,8 - 1 : 4$, угол поля

зрения в среднем около 50° . Светосильные О. с относительными отверстиями от $1 : 1,8$ до $1 : 0,9$ (в некоторых конструкциях, в частности в зеркально-линзовых, - до $1 : 0,8$) используют для фотографирования в условиях пониженной освещённости; их поле зрения обычно меньше, чем у универсальных. Широугольные О. обладают углом поля зрения, превышающим 60° и достигающим у некоторых из них до 180° (например, показанный на рис. 1 объектив Гилля имеет поле зрения 180° при относительном отверстии $1 : 22$). Особенно важную роль такие О. играют в аэрофотосъёмке. Фокусные расстояния широкоугольных О. обычно в пределах от 100 до 500 мм; их относительные отверстия характеризуются средними и малыми значениями ($1 : 5,6$ и ниже). В них трудно исправлять такие аберрации, как дисторсия, кривизна поля и астигматизм. О. с исправленной дисторсией называется ортоскопическими. У О. с углом поля зрения, приближающимся к 180° (от около 120° до 180°), дисторсию не исправляют (она отчасти может быть исправлена при печатании снимков спец. О.). Для формируемых этими (т. н. дисторсирующими) О. изображений характерны значительные перспективные искажения. Такие О. применяются, например, для создания особых композиций при фотосъёмке архитектурных ансамблей и ландшафтов. Чем больше поле зрения, тем более резко к его краю падает освещённость изображения (пропорционально косинусу четвёртой степени от половины угла поля зрения). В О. для любительской и профессиональной фотографии неравномерность освещённости корректируется при расчёте аберраций О.; у др. типов фотообъективов освещённость выравнивается с помощью специальных фильтров.

К длиннофокусным относятся О., фокусное расстояние которых превышает трёхкратную величину линейного поля

зрения (для большей части фотографических О. это 100-2000 мм). Длиннофокусные О. применяются для съёмки удалённых объектов в крупном масштабе; их поле зрения обычно менее 30°, а относительное отверстие не превышает 1 : 4,5 - 1 : 5,6.

Одинаково хорошее исправление всех aberrаций фотографических О. представляет собой чрезвычайно трудную задачу, особенно у светосильных, широкоугольных и специальных О. Поэтому находят компромиссные решения, меняя требования к исправлению aberrаций в зависимости от назначения О.: например, в светосильных фотографических О. менее тщательно исправляют т. н. полевые aberrации, но при этом уменьшают поле зрения; в случае О. с большими фокусными расстояниями принимают особые меры для исправления хроматических aberrаций и т.д.

Выбор освещённости в плоскости изображения фотообъектива зависит от яркости объекта, чувствительности фотоматериала или иного приёмника света и требуемой глубины изображаемого пространства (глубины резкости). Изменение освещённости осуществляется путём изменения относительного отверстия О. с помощью диафрагмы переменного диаметра, например ирисовой диафрагмы. На оправе О. имеется шкала, по которой устанавливают нужное относительное отверстие (характеризуя О., обычно указывают максимальное значение этого отверстия). Освещённость плоскости изображения пропорциональна квадрату отношения диаметра входного зрачка О. к его фокусному расстоянию - т. н. геометрической светосиле О. Умножение этой величины на коэффициент, определяемый потерями световой энергии при прохождении через О. (на

поглощение в толще стекла и отражение от оптических поверхностей), даёт физическую светосилу О. Для увеличения физической светосилы (т. е. для уменьшения потерь света) современные фотографические О. просветляют (см. Просветление оптики). Подбор специальных просветляющих - однослойных и многослойных - покрытий позволяет не только повысить интегральное пропускание О., но и сбалансировать спектральное пропускание в соответствии со спектральной чувствительностью трёх слоев цветной обратимой плёнки. Это обеспечивает правильное воспроизведение цветов объектов, изображаемых на таких плёнках.

Широко применяются т. н. панкратические О. с переменным фокусным расстоянием (таковы многие киносъёмочные объективы); изменение этого расстояния осуществляется перемещением отдельных компонентов О., при котором его относительное отверстие обычно остаётся неизменным. Подобные О., в частности, позволяют менять масштаб изображения без изменения положения объекта и плоскости изображения (при смещении компонент О. и изменении его фокусного расстояния меняется положение главных плоскостей О.; см. Кардинальные точки оптической системы). По своим оптико-коррекционным свойствам О. с переменным фокусным расстоянием делятся на две группы: 1) вариообъективы, оптическая схема которых корригируется в отношении всех aberrаций как единое целое; 2) трансфокаторы - системы, состоящие из собственно О. и устанавливаемой перед ним афокальной насадки, aberrации которой исправляются отдельно. Получение изображений высокого качества в панкратическом О. достигается за счёт увеличения числа линз и компонент. Такие О. - сложные системы, состоящие из 11-20 линз.

Проекционные О. однотипны с фотографическими, отличаясь от них в принципе лишь обратным направлением лучей света. По типу проекции они делятся на О. для диапроекции в проходящем свете и О. для эпипроекции в отражённом свете (см. Кинопроекторный объектив, Проекционный аппарат). Особую подгруппу, также относимую к фотообъективам, составляют репродукционные О., применяемые для получения изображений плоских предметов, чертежей, карт и т.п.

Проекционные О., репродукционные О. и фотообъективы, используемые на малых удалениях от объекта, характеризуют не угловым, а линейным увеличением (масштабом изображения в собственном смысле), линейными размерами поля зрения и числовой апертурой. В этом отношении они сходны с О. микроскопов.

Объективы микроскопов отличает расположение в непосредственной близости от объекта. Их фокусные расстояния невелики - от 30- 40 мм до 2 мм. К основным оптическим характеристикам О. микроскопов относятся: числовая апертура A , равная $n_1 \sin u_1$, где n_1 - преломления показатель среды, в которой находится объект, u_1 - половина угла раствора светового пучка, попадающего в О. из точки объекта, лежащей на оптической оси О.; линейное увеличение b ; линейные размеры $2l$ поля зрения, резко изображаемого О.; расстояние от плоскости объекта до плоскости изображения. Величина A определяет как освещённость изображения, прямо пропорциональную A^2 , так и линейный предел разрешения микроскопа, т. е. наименьшее различаемое расстояние на объекте, равное для самосветящихся объектов (в предположении, что аберрации

отсутствуют) $e = 0,51 g/A$, где g - длина волны света. Если объект находится в воздухе ($n = 1$, "сухой" О.), то A не может превышать 1 (фактически не более 0,9). Помещая объект в сильно преломляющую ($n > 1$) жидкость, т. н. иммерсию, примыкающую к поверхности первой линзы О., добиваются того, что A достигает 1,4-1,6 (см. Иммерсионная система). b современных микроскопов доходит до 90-100'; полное увеличение микроскопа $\Gamma = b\Gamma_\phi$, где Γ_ϕ - угловое увеличение окуляра. Линейное поле $2l$ связано с диаметром D диафрагмы поля зрения окуляра соотношением $2l = D/b$. По мере увеличения A и b растёт сложность конструкции О., поскольку требования к качеству изображения очень велики - разрешающая способность О. практически не должна отличаться от приведённой выше для идеального (безабберационного) О. Этому условию удовлетворяют конструкции наиболее совершенных О. микроскопов - т. н. планахроматов и планapoхроматов. На рис. 2 приведена схема одного из лучших планapoхроматов советского производства. (Более подробно см. статьи Зеркально-линзовые системы; Микроскоп, разделы: Оптическая схема, принцип действия, увеличение и разрешающая способность микроскопа и Основные узлы микроскопа.)

Особые группы О. составляют: О. спектральных приборов, по свойствам во многом близкие к фотографическим О.; специальные О., предназначенные для использования с лазерами и т.д.

Лит.: Тудоровский А. И., Теория оптических приборов, 2 изд., ч. 1-2, М. - Л., 1948-52; Слюсарев Г. Г., Методы расчета оптических систем, 2 изд., Л., 1969; Flügge J., Das photographische Objektiv, W., 1955; Русинов М. М., Фотограмметрическая оптика, М., 1962; Микроскопы, под

ред. Н. И. Полякова, М., 1969; Михель К., Основы теории микроскопа, пер. с нем., М., 1955.

4.4. Отражения света. Зеркала.

Во введении к данной теме подчеркивается, что на границе раздела двух сред происходит отражение и преломление света. При разделении светового потока соблюдается закон сохранения энергии.

Указывается также, что при зеркальном отражении неровности отражающей поверхности должны быть значительно меньше 1 мк . Такого же порядка неоднородности могут быть в немутной преломляющей среде.

Чтобы студенты правильно отсчитывали углы падения и отражения света, можно рекомендовать вести отсчет этих углов всегда от перпендикуляра, восстановленного в точке падения луча. При формулировке закона отражения надо подчеркнуть не только равенство этих углов, но и то, что они лежат в одной плоскости.

Сравнивается характер зеркального и диффузного отражения. В числе иллюстрирующих примеров можно показать использование зеркального гальванометра (ставится опыт с отклонением светового пятна на шкале при нагревании термпары рукой).

При наличии достаточного времени желательно ознакомить учащихся с отражательной способностью некоторых материалов – с понятием, весьма важным в светотехнике (таб 1.)

материал	Коэффициенты отражения
----------	------------------------

Полированное серебро	0,88 – 0,93
Посеребренное стеклянное зеркало	0,7 – 0,85
Полированный хром	0,6 – 0,7
Белая жемчужина	0,69
Полированный никель	0,55 – 0,63

Зеркала.

Получение изображений (светящейся точки и протяженного предмета) в плоском зеркале рассматривается на опыте и при помощи геометрических построений. Для опыта лучше взять оконное стекло, а не обычное зеркало.

Из расходящегося пучка света берутся лишь два крайних луча, ограничивающих пучок и падающих на зеркало;

Все лучи после отражения пересекаются при обратном их продолжении в одной точке (мнимое изображение). Полезно построить два из них на чертеже; изображение предмета будет симметричным относительно зеркала, прямое равное и мнимое; глаз обладает свойством воспринимать расходящиеся пучки света, в результате чего человек видит предмет, хотя его изображение мнимое (в дальнейшем, после изучения свойства глаза, рисунок, иллюстрирующий получение изображения в плоском зеркале, можно дополнить построением действительного изображения предмета на сетчатке).

Какова область видения изображения (рис.1 и 2)

Для пояснения последнего вопроса можно повернуть плоское зеркало так, чтобы изображение, например, свечи увидела только одна половина класса, а после поворота вокруг вертикальной оси – другая половина.

Разъясняются различные применения плоских зеркал в технике.

Рекомендуются следующие упражнения:

1. Перед плоским зеркалом, несколько в стороне от него находится точечный источник света S . Определить где находится его изображение и область видения.

Эту задачу можно решить двояко. Первый путь – построить световой пучок, падающий на зеркало, и, пользуясь законом отражения, найти изображение точки и область его видения. Другой путь – нанести на чертеже точку S_1 , зная, что изображение находится на одном перпендикуляре к зеркалу со светящейся точкой и на таком же расстоянии от него, на каком источник S находится перед зеркалом. От точки S_1 проводят ограничивающий пучок на зеркало; продолжение его является отраженным пучком, где и находится область видения изображения.

Наконец определяется, каково направление любого третьего луча внутри светового пучка после отражения. Можно исследовать, куда движется изображение, если S перемещается вправо, влево, к зеркалу и от него.

2. Данный точечный источник света перед зеркалом и величина зрачка глаза, находящегося по ту же сторону зеркала:

а) построить пучок лучей, позволяющий наблюдателю видеть изображение источника;

б) определить всю область видения изображения.

3. Светящийся предмет находится перед зеркалом несколько в стороне от него. Построить изображение и определить область видения всего изображения.

Здесь полезно рассмотреть два случая: Когда предмет длинной стороной расположен параллельно зеркалу и под углом к его плоскости.

4. Проверить (дома) закон отражения света при помощи булавок и плоского зеркала (хорошо использовать полоску жести).

Излагаются характеристики сферических зеркал – полюс зеркала, фокус, оптический центр, дается понятие о приосевых лучах.

При геометрических построениях изображений рекомендуется:

каждый случай построения иллюстрировать опытом;

показать, что любой луч в пучке, падающий на зеркало, после отражения пройдет через ту точку, в которой пересекаются два луча, выбранных для построения изображения;

указать, что лучи, идущие от любой крайней точки предмета, пересекутся в соответствующих местах между крайними точками изображения;

не обрывать пучков света в местах получения изображений - их следует несколько продолжить после пересечения лучей;

в каждом случае рисовать зрачок глаза и подчеркивать, что расходящиеся световые пучки собираются в глазу, на сетчатке которого получается изображение;

Обращается внимание учащихся на то, что построение изображений возможно не только с помощью тех двух лучей, которые указаны в учебнике на рисунках, а любых двух лучей, падающих на зеркало. Наиболее удобно это сделать, пользуясь парой лучей из следующих трех: параллельно главной оптической оси; проходящего через оптический центр зеркала (вдоль радиуса кривизны).

Далее рассматривается применение сферических зеркал в прожекторах и фарах (в автомобилях, мотоциклах, велосипедах), в зеркальных телескопах, в оториноларингологии (вогнутое зеркало с отверстием посередине) и т.п. Обращается внимание на то, что

светотехнические устройства перераспределяют световой поток в пространстве, направляя его в пределах небольшого угла. Поэтому сила света в определенном направлении увеличивается.

4.5. Преломление света. Линзы.

Преломление света.

Изложение вопроса о полном отражении связывается с явлением разделения энергии света на границе двух сред и с анализом зависимости интенсивности отраженного и преломленного пучка от угла его падения.

Опыт ставится с оптической шайбой, при помощи которой узкий пучок света направляется на цилиндрическую поверхность стекла. При росте угла падения света на плоскую поверхность внутри стекла интенсивность преломленного пучка (в воздухе) уменьшается, а отраженного увеличивается. При угле полного отражения интенсивность последнего возрастает скачком. Это полезно иллюстрировать при помощи рисунков, где густотой точек в пучках отмечена интенсивность света (рекомендуется рисовать только параллельный пучок света). Дается определение, что называется предельным углом полного отражения, и формула для его вычисления.

$$\sin \gamma_0 = \frac{1}{n}$$

Применение явления полного отражения в стеклянных призмах демонстрируется также на оптической шайбе. Рассматриваются случаи поворота светового пучка на 90° и 180° (рис.5).

Линзы.

При изучении линз выясняются их оптические характеристики, назначение и принцип действия. Дается квалификация линз, приводятся их схематические

изображения и условные обозначения. При этом обычно указывается, что собирающие линзы толще посередине, чем по краям, а рассеивающие – наоборот. Однако это справедливо, лишь, когда показатель преломления вещества линзы больше, чем окружающей среды. В противном случае линзы с большей толщиной посередине будут рассеивающими, а с меньшей – собирающими.

Напоминается, что диафрагма ограничивает световой пучок, идущий от источника света, вырезает лишь часть светового потока. Линза, вставленная в диафрагму (оправу), собирает или рассеивает световые пучки¹.

Вводятся понятия об оптическом центре линзы, о главной и побочной оптической оси, переднем и заднем фокусе, фокусном расстоянии, фокальной плоскости, о действительном и мнимом фокусе. Здесь важно подчеркнуть следующее:

положение фокуса определяется для параксиальных (приосевых) лучей и для линз с малой кривизной поверхностей;

Световые пучки неодинаковой цветности собираются в разных точках;

Параллельный пучок белого света собирается линзой почти в одной точке при условии сохранения параксиальности лучей;

Переднее и заднее фокусные расстояния несимметричной линзы одинаковы;

Луч в направлении к оптическому центру линзы смещается ею тем меньше, чем она тоньше.

Таким образом, в школе изучаются тонкие линзы и приосевые световые пучки.

При изложении понятия об оптической силе линзы полезно разъяснить следующее: оптическая сила системы сложенных вместе тонких линз равна алгебраической сумме (с соблюдением правила знаков) оптических сил этих линз;

для определения оптической силы рассеивающей линзы необходимо измерить оптическую силу системы, состоящей из данной рассеивающей и собирающей линзы большей оптической силы, а затем вычесть последнюю из результата, полученного для системы линз.

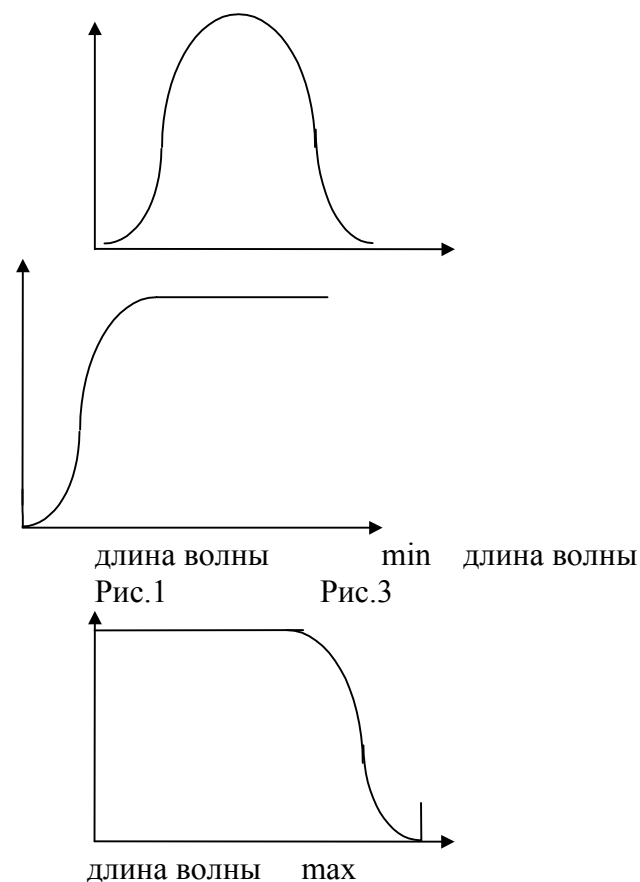
4.6.ОПТИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ.

Фильтр представляет собой устройство, изменяющее спектральный состав или энергии падающей на него световой волны. При этом практически не изменяется форма падающего волнового фронта.

Фильтры могут быть использованы как упрощенные спектральные приборы невысокой разрешающей способности для выделения одного или нескольких участков спектра, а также для обеспечения предварительной монохроматизации излучения или для ослабления потока излучения. Возможно использование фильтров для разделения потока на части без изменения спектрального состава.

В зависимости полосы пропускания от длины волны, оптические фильтры можно подразделить на:

1. полосовые, пропускающие излучения в узкой полосе длин волн, (рис.1);



2. длинноволновые, пропускающие излучения с длинами волн больше заданного предела, (рис.2);

3. коротковолновые, пропускающие излучения с длинами волн меньше заданного предела (рис.3).

Разновидности оптических фильтров.

Абсорбционные. Действие основано на ослаблении света, проходящего через материал фильтра. Из

абсорбционных фильтров наибольшее распространение получили стеклянные фильтры, которые отличаются постоянством спектральных характеристик, устойчивостью к тепловым и световым воздействиям, высокой оптической однородностью. Комбинацией нескольких фильтров можно обеспечить предварительную монохроматизацию излучения или отсечение нежелательной части спектра.

Отражательные фильтры. Предназначены для выделения различных участков коротковолновой части спектра. Эти фильтры представляют собой тонкие металлические и диэлектрические пленки, наносимые на стеклянную или кварцевую подложку. Для их изготовления применяются пленки серебра и щелочных металлов (Cs, Rb, K, Na, Li и др.).

Интерференционные фильтры. С их помощью можно выделить узкие участки спектра. Работа этих фильтров основана на принципе многолучевой интерференции.

4. Дисперсионные фильтры. Их работа основана на явлении дисперсии - зависимости показателя преломления от длины волны. Фильтр представляет собой кювету с порошком из прозрачного материала, куда заливается жидкость, показатель преломления n_1 которой для определенной длины волны равен показателю преломления n_2 порошка. При этом кювета однородна для лучей заданной длины волны, но рассеивает излучение других длин волн.

4.7. Призмы

Призма-тело из прозрачного вещества (стекла, кварца и т.д.), ограниченное пересекающимися плоскими поверхностями.

Специальные призмы и призмённые системы предназначены для решения следующих основных задач:

увеличение преломляющего угла, обеспечение определенного направления выходящего луча по отношению к входящему в призму, обеспечение положения минимума отклонения призмы при ее вращении, увеличение угловой дисперсии.

Призма Резерфорда. Призма состоит из двух одинаковых боковых призм (рис. 1.а) с небольшим преломляющим углом, между которыми находится основная призма с большим углом преломления θ . Боковые призмы сделаны из стекла, дисперсия которого значительно меньше, чем дисперсия стекла центральной призмы. Их значение – увеличение предельного преломляющего угла центральной призмы. Призма Резерфорда дает возможность получить дисперсию в 1,5-2 раза большую, чем обычная призма из того же стекла.

Контрольные задания

1. Необходимо выбрать оптическую схему определенного прибора из предлагаемого списка:

- поляриметр круговой СМ-3;
- сахариметр универсальный типа «СЦ-2»;
- сахариметр универсальный типа «СЦ-4»;
- колориметр фотоэлектрический концентрационный КФК-2;
- горизонтальный оптиметр ОГО-1;
- диафаноскопа ДСЗ-2;
- большой инструментальный микроскоп БМИ;
- вертикальный оптиметр;
- фотоэлектрический колориметр-нефелометр ФЭК-56.

2. Получить у преподавателя паспорт, руководство по пользованию, ознакомиться с назначением и устройством прибора.

3. По имеющимся оптическим схемам объяснить назначение каждого элемента, входящего в оптическую

схему и принцип действия прибора в целом, опираясь на основные законы и свойства света.

Список литературы.

- Арцыбышев С.А. Физика - М.: Медгиз, 1950. - 511 с.
Жданов Л.С. Жданов Г.Л. Физика для средних учебных заведений - М.: Наука, 1981. - 560 с.
Ландсберг Г.С. Оптика - М.: Наука, 1976. - 928 с.
Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики. - М.: Наука, 1986. - Т.3. - 656 с.
Прохоров А.М. Большая советская энциклопедия. - М.: Советская энциклопедия, 1974. Т. 18. - 632 с.
Сивухин Д.В. Общий курс физики: Оптика - М.: Наука, 1980. - 751 с.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Методическое указание к выполнению практических занятий для студентов специальности 190800 «Метрология и метрологическое обеспечение» дневной и заочной форм обучения

Составитель Жаргалов Б.С.

Подписано в печать __07.2003 г. Формат 60×84 1/16.
Усл. п. л. ____, уч.-изд. л. __ Тираж 15 экз. Заказ №__

Издательство ВСГТУ. Г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40 а

©ВСГТУ, 2003 г.