

Геометрическая оптика.
Достоинства и недостатки оптических
приборов

Выполнил:
Фоминых Н.А.

г.Новосибирск
2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание

Введение

1. Базовые оптические элементы (оптические приборы)

2. Световые фильтры

3. Оптические инструменты

3.1. Лупа

3.2 Оптическая система – микроскоп

3.3. Зрительная трубка

3.4. Оптическая система телескоп

3.5. Искусственный глаз телескопа

3.6. Проекционные аппараты

3.7. Спектроскоп

3.8. Оптическая система глаза и некоторые ее особенности

Заключение

Список использованных источников

Введение

Геометрическая оптика основывается на представлении о прямолинейном распространении света. Главную роль в ней играет понятие светового луча. В волновой оптике световой луч совпадает с направлением нормали к волновому фронту, а в корпускулярной – с траекторией движения частицы. В случае точечного источника в однородной среде световые лучи представляют собой прямые линии, выходящие из источника во всех направлениях. На границах раздела однородных сред направление световых лучей может изменяться вследствие отражения или преломления, но в каждой из сред они остаются прямыми. Также в соответствии с опытом принимается, что при этом направление световых лучей не зависит от интенсивности света. Оптические приборы — это устройства, в которых излучение какой-либо области спектра (ультрафиолетовой, видимой, инфракрасной) преобразуется (пропускается, отражается, преломляется, поляризуется). Отдавая дань исторической традиции, оптическими обычно называют приборы, работающие в видимом свете. При первичной оценке качества прибора рассматриваются лишь основные его характеристики: способность концентрировать излучение – светосила; способность различать соседние детали изображения – разрешающая сила; соотношение размеров предмета и его изображения – увеличение. Для многих приборов определяющей характеристикой оказывается поле зрения – угол, под которым из центра прибора видны крайние точки предмета.

Способность прибора различать две близкие точки или линии обусловлена волновой природой света и называется разрешающей силой. Численное значение разрешающей силы, например, линзовой системы, зависит от умения конструктора справиться с абберациями линз и тщательно отцентрировать эти линзы на одной оптической оси.

При желании создать качественный оптический прибор следует оптимизировать набор его основных характеристик – светосилы, разрешающей способности и увеличения. Нельзя сделать хороший, например, телескоп, добиваясь лишь большого видимого увеличения и оставляя малой светосилу (апертуру). У него будет плохое разрешение, так как оно прямо зависит от апертуры. Конструкции оптических приборов весьма разнообразны, и их особенности диктуются назначением конкретных устройств. Но при воплощении любой спроектированной оптической системы в готовый оптико-механический прибор необходимо расположить все оптические элементы в строгом соответствии с принятой схемой, надежно закрепить их, обеспечить точную регулировку

положения подвижных деталей, разместить диафрагмы для устранения нежелательного фона рассеянного излучения. Нередко требуется выдерживать заданные значения температуры и влажности внутри прибора, сводить к минимуму вибрации, нормировать распределение веса, обеспечить отвод тепла от ламп и другого вспомогательного электрооборудования. Значение придается внешнему виду прибора и удобству обращения с ним.

1. Базовые оптические элементы (оптические приборы)

Термин «Оптические приборы» является частным случаем более общего понятия оптических систем, которое также включает в себя биологические органы, способные преобразовывать световые волны. Оптическая система — совокупность оптических элементов (преломляющих, отражающих, дифракционных и т. п.), созданная для определённого формирования пучков световых лучей (в классической оптике), радиоволн (в радиооптике), заряженных частиц (в электронной и ионной оптике). Вообще по своей сути, оптический прибор — это конструктивным образом оформленная для выполнения конкретной задачи оптическая система, состоящая, по крайней мере, из одного из базовых оптических элементов, исторически такими элементами являлись:

1. Линзы.
2. Призмы.
3. Зеркала.
4. Световые фильтры.

Теперь рассмотрим каждый оптический элемент или как их еще называют, оптические детали, подробнее.

Линзы

Линза — деталь из оптически прозрачного однородного материала, ограниченная двумя полированными преломляющими поверхностями вращения, например, сферическими или плоской и сферической. В настоящее время всё чаще применяются и «асферические линзы», форма поверхности которых отличается от сферы. В качестве материала линз обычно используются оптические материалы, такие как стекло, оптическое стекло, оптически прозрачные пластмассы и другие материалы. Линзами также называют и другие оптические приборы и явления, которые создают сходный оптический эффект, не обладая указанными внешними характеристиками. В зависимости от форм различают собирающие (положительные) и рассеивающие (отрицательные) линзы.

Собирающие:

- 1 — двояковыпуклая
- 2 — плоско-выпуклая
- 3 — вогнуто-выпуклая (положительный (выпуклый) мениск)

Рассеивающие:

4 — двояковогнутая

5 — плоско-вогнутая

6 — выпукло-вогнутая (отрицательный (вогнутый) мениск)

К группе собирающих линз обычно относят линзы, у которых середина толще их краёв, а к группе рассеивающих — линзы, края которых толще середины. Следует отметить, что это верно только если показатель преломления у материала линзы больше, чем у окружающей среды. Если показатель преломления линзы меньше, ситуация будет обратной. Например, пузырёк воздуха в воде — двояковыпуклая рассеивающая линза. Линзы характеризуются, как правило, своей оптической силой (измеряется в диоптриях), или фокусным расстоянием. Для построения оптических приборов с исправленной оптической аберрацией (прежде всего — хроматической, обусловленной дисперсией света, — ахроматы и апохроматы) важны и иные свойства линз и их материалов, например, коэффициент преломления, коэффициент дисперсии, коэффициент пропускания материала в выбранном оптическом диапазоне. Иногда линзы/линзовые оптические системы (рефракторы) специально рассчитываются на использование в средах с относительно высоким коэффициентом преломления.

Призмы

Призма — оптический элемент из прозрачного материала (например, оптического стекла) в форме геометрического тела — призмы, имеющий плоские полированные грани, через которые входит и выходит свет. Свет в призме преломляется. На сегодняшний день известно большое количество различных призм.

1. Дисперсионные призмы, как правило, имеют три равных угла по 60° , их используют в спектральных приборах для пространственного разделения излучений различных длин волн. Вот некоторые из них:

- Простая трехгранная призма
- Призма Броунинга-Рузерфорда
- Дисперсионная призма Аббе
- Призма Амичи (призма прямого зрения)
- Призма Литтрова
- Призма Корню

- Призма Пеллин-Брока

2. Отражательные призмы используют для изменения хода лучей, изменения направления оптической оси, изменения направления линии визирования, для уменьшения габаритных размеров приборов. Классифицируются отражательные призмы по нескольким признакам:

- Количеству отражений в призме
- Наличию или отсутствию «крыши»
- Характеру конструкции призмы
- Углу излома оптической оси

Также, особую нишу среди отражательных призм занимают составные призмы, — состоящие из нескольких частей, разделённых воздушными промежутками. Некоторые широко распространённые призмы получили собственные имена.

- Призма Аббе
- Призма Аббе-Порро
- Призма Аббе-Кёнига
- Призма дихроидная
- Призма Дове
- Призма Пехана-Шмидта
- Призма Лемана
- Пентапризма
- Призма Порро
- Призма Шмидта-Пехана
- Призмы с «крышей»

3. Поляризационные призмы, с их помощью получают линейно поляризованное оптическое излучение. Обычно состоят из 2 или более трёхгранных призм, по меньшей мере одна из которых вырезается из оптически анизотропного кристалла. Призма Глана-Тейлора — одна из наиболее часто используемых в настоящее время призм, предназначена для преобразования излучения с произвольной поляризацией в линейно поляризованное. Конструкция была предложена Аркардом и Тейлором в 1948 году. Основные из поляризационных призм:

- Призма Аренса
- Призма Волластона
- Призма Глазбрука
- Призма Глана-Тейлора
- Призма Глана-Томпсона
- Призма Глана-Фуко
- Призма Николя
- Призма Номарски
- Призма Рошона
- Призма Сенармонта

Зеркала

Зеркало — гладкая поверхность, предназначенная для отражения света (или другого излучения). Наиболее известный пример — плоское зеркало. Зеркала широко используются в оптических приборах — спектрофотометрах, спектрометрах в других оптических приборах. Различают несколько видов зеркал:

- Плоское зеркало — Простейшее оптическое устройство, способное создавать изображение предмета. Изображение предмета, даваемое плоским зеркалом, формируется за счет лучей, отраженных от зеркальной поверхности. Это изображение является мнимым, так как оно образуется пересечением не самих отраженных лучей, а их продолжений в «зазеркалье».

- Сферическое зеркало — представляет собой часть поверхности шара и может быть вогнутым или выпуклым. Хотя принято считать, что зеркала должны быть стеклянными, на практике сферические зеркала чаще делают металлическими

- Параболическое зеркало — Это вогнутый диск, немного напоминающий по форме чашу и способный отражать свет, имеет зеркальное покрытие и, будучи правильно направлено, фокусирует весь падающий свет в одной точке, находящейся немного выше центра параболоида

- Гиперболическое зеркало — это зеркало, у которого поверхность выполнена в виде одной из полостей эллиптического гиперboloида.

2. Световые фильтры

Светофильтр в оптике, технике — оптическое устройство, которое служит для подавления (выделения) части спектра электромагнитного излучения. В мире существует огромное количество всевозможных световых фильтров и каждый предназначен для своих целей, например: защитный фильтр, предназначен для предохранения передней поверхности объектива от механических воздействий. Часто в этой роли используется ультрафиолетовый фильтр.

Виды фильтров:

Нейтральный фильтр, служит для снижения эффективной светосилы объектива без изменения геометрической, а также для снижения эффективной светосилы объектива, не имеющего диафрагмы.

Солнечный фильтр — чрезвычайно плотный нейтральный фильтр, позволяющий без вреда для фотографа и фотоматериала снимать солнце, ядерный взрыв и другие явления, значительно превышающие по яркости обычные предметы.

Градиентный фильтр, выравнивает яркость сцены, притемняя или меняя цвет части изображения. Обычно служит для компенсации избыточной яркости неба и для получения различных художественных эффектов. Также применяется термин «Оттенённый светофильтр».

Спектральные (цветные):

- Ультрафиолетовый фильтр (бесцветный фильтр) — предназначен для снижения воздействия ультрафиолетовой части спектра в горных, высотных и иных аналогичных условиях съёмки. Актуален только в случае, если объектив пропускает ультрафиолетовую часть спектра.

- Инфракрасный фильтр — пропускает инфракрасную часть спектра, задерживая все остальные части спектра.

- Корректирующие фильтры применяются в чёрно-белой фотографии — «жёлтый фильтр», «жёлто-зелёный фильтр», «оранжевый фильтр» и «красный фильтр». Эти фильтры демпфируют синюю часть спектра и делают изображение более контрастным. «Голубой фильтр» обладает противоположными свойствами.

- Конверсионный фильтр — общее название группы фильтров, служащих для преобразования (конверсии) спектра.

- Флуоресцентный фильтр — специальный корректирующий светофильтр, приводящий освещение лампами дневного света к балансу, близкому к лампам накаливания.
- Мозаичный фильтр — светофильтр, состоящий из большого числа элементов разных цветов, расположенных в определённом порядке. Применяется при получении пробного цветного отпечатка, по которому определяется комбинация корректирующих субтрактивных светофильтров.

Светофильтры методов цветовоспроизведения

- Аддитивные светофильтры — цветоделительные зональные светофильтры, выделяющие из исходного светового потока белого света трёх пространственно разделённых (с помощью других оптических элементов) потоков: синего, зелёного и красного.
- Тепловой фильтр, теплофильтр — избирательно поглощает или отражает инфракрасное излучение и пропускает с малыми потерями диапазон видимого света. Применяются в осветительной аппаратуре, в проекторах для защиты плёнки, а также в микрофотографии для защиты биологических объектов от нагревания.
- Абсорбционные, обладают спектральной избирательностью, обусловленной различным поглощением различных участков спектра электромагнитного излучения. Наиболее массовые фильтры. Производятся на основе окрашенных оптических стёкол или органических веществ (например, из желатины).
 - Интерференционный фильтр, отражает одну и пропускает другую часть спектра падающего излучения, благодаря явлению многолучевой интерференции в тонких диэлектрических плёнках. Также называется Дихроичный фильтр.
 - Отражательный фильтр. Действие отражательных фильтров основано на спектральной зависимости отражения непрозрачного материала. Преимуществом отражательного фильтра перед абсорбционными является единственность участвующей в оптической системе поверхности и отсутствии хроматических аберраций, вносимых преломляющими прозрачными средами.
 - Поляризационный фильтр. Простейший съёмочный поляризационный фильтр линейной поляризации, содержит один поляризатор, поворачивающийся в оправе. Его применение основывается на том, что часть света в окружающем нас мире поляризована. Частично поляризованы все лучи, неотвесно падающие отражённые от диэлектрических поверхностей. Частично поляризован свет, поступающий от неба.

Поэтому, применяя поляризатор при съёмке, фотограф получает дополнительную возможность изменения яркости и контраста различных частей изображения. Например, результатом съёмки пейзажа в солнечный день с применением такого фильтра может получиться тёмное, густо-синее небо. При съёмке находящихся за стеклом объектов поляризатор позволяет избавиться от части отражений в стекле.

- Дисперсные фильтры основаны на зависимости показателя преломления от длины волны. В сочетании с отражающими и/или интерференционными фильтрами, а также растром часто служат для создания расщепляющих оптических систем — дихроических призм. Находят применение в современных мультимедийных проекторах, где являются основным инструментом разделения светового потока мощной лампы накаливания на три спектральных диапазона. Применяются в качестве эффектных фильтров для получения радужных изображений.

3. Оптические инструменты

3.1. Лупа

Возможность разрешения деталей предмета зависит от размеров его изображения на сетчатке глаза или от угла зрения. Угол зрения можно увеличить, приблизив предмет к глазу, однако это связано с некоторыми ограничениями:

- 1) в ряде случаев технически невозможно существенно изменить расстояние между предметом и глазом (например, при рассмотрении звезд или Солнца);
- 2) невозможно приблизить предмет на расстояние меньше предельных возможностей точки глаза, до ближней аккомодации.

В связи с этим для увеличения угла зрения используют оптические приборы: телескопы, лупы, микроскопы и т.п.

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 рисунке 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.

Лупой называют оптическую систему, в передней фокальной плоскости которой или в непосредственной близости от нее расположен наблюдаемый предмет.

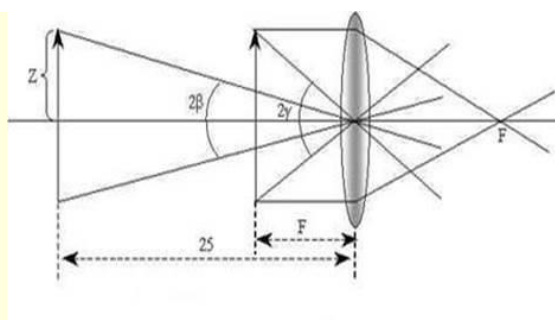


Рис. 1

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 2β . Рассматривая прямоугольные треугольники с катетами 25 см и F см и обозначая половину предмета Z, можем написать :

$$\frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{Z / F}{Z / 25} = \frac{25}{F}$$

где 2β – угол зрения, при наблюдении через лупу;

2γ - 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 β малы, можно тангенсы заменить углами. Таким образом получится следующее выражение для увеличения лупы

$$\frac{2\gamma}{2\beta} = \frac{25}{F}$$

Следовательно, увеличение лупы пропорционально $1 / F$, то есть её оптической силе.

Изображение, создаваемое лупой, находится в бесконечности или на удобном для глаза расстоянии. Если изображение в бесконечности, то оно наблюдается глазом без аккомодации.

Учитывая, что напряжение аккомодации сильно утомляет глаз и допустимо лишь как кратковременное явление, следует при пользовании лупой помещать предмет в фокальную плоскость, а глаз - у самой лупы.

Лупы изготавливают из одной или нескольких линз. Увеличение лупы зависит от ее конструкции и изменяется в пределах от 2 до 40-50. Наиболее распространены лупы с 10-кратным увеличением.

Разрешаемое с помощью лупы расстояние между двумя точками можно вычислить по формуле (26.8). Например, если для 10-кратного увеличения взять $\beta = 0,1'$ и $3 \cdot 10^{-5}$ рад; $L = a_0 = 0,25$ м, то получим $B = 0,25 \cdot 3 \cdot 10^{-5} = 7,5$ мкм.

3.2 Оптическая система – микроскоп

Изучение микроскопических объектов в медицине, биологии, химии, электронике нельзя представить без такого важного предмета, как микроскоп. Этот оптический прибор дает человеку возможность исследовать процессы и явления микромира. Современный **лабораторный микроскоп** – это высокотехнологичное, функциональное оборудование, предназначенное для комфортной ежедневной работы специалистов.

Микроскопы могут быть оптическими, электронными, цифровыми. В лабораториях находят широкое применение все модели. А какой именно прибор нужен в работе зависит от специфики исследований. Классическая модель – оптический микроскоп. Его конструкция состоит из окуляра и объектива, которые закреплены в подвижном тубусе. Под объективом размещается предметный столик для исследуемых образцов. Оптическая система с точным механизмом настройки и осветительный модуль позволяют получить четкое изображение высокого качества. Галогеновые, ксеноновые или светодиодные лампы дают бестеневое рабочее поле, не искажая цвета. В лабораторной работе широко распространены бинокулярные микроскопы. Они передают объемное увеличенное изображение. Стереомикроскопы применяются для препарирования микроскопических объектов. Благодаря тому, что изображение не инвертируется, можно легко манипулировать инструментами. Чтобы получить многократное увеличение применяется электронный микроскоп. Он дает изображение в тысячи раз крупнее, чем обычный оптический. Это возможно благодаря специальной технологии электростатических линз.

Микроскоп применяют для получения больших увеличений при наблюдении мелких предметов. Увеличенное изображение предмета в микроскопе получается с помощью оптической системы, состоящей из двух короткофокусных линз – объектива O_1 и окуляра O_2 (рис. 2). Объектив даст действительное перевернутое увеличенное изображение предмета. Это промежуточное изображение рассматривается глазом через окуляр, действие которого аналогично действию лупы. Окуляр располагают так, чтобы промежуточное изображение находилось в его фокальной плоскости; в этом случае лучи от каждой точки предмета распространяются после окуляра параллельным пучком.

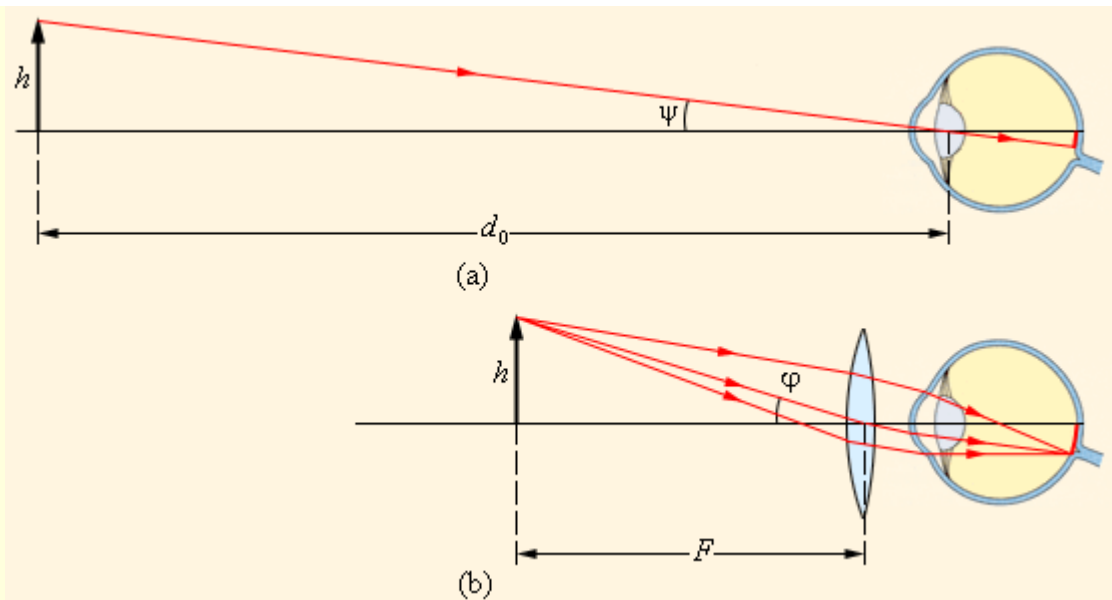


Рис. 2.

Действие лупы: а – предмет рассматривается невооруженным глазом с расстояния наилучшего зрения $d_0 = 25$ см; б – предмет рассматривается через лупу с фокусным расстоянием F .

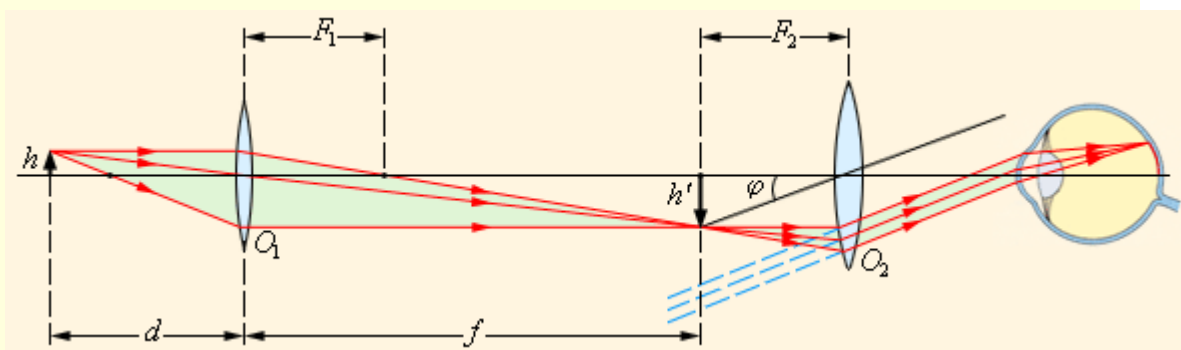


Рис. 3.

Ход лучей в микроскопе.

Мнимое изображение предмета, рассматриваемое через окуляр, всегда перевернуто. Если же это оказывается неудобным (например, при прочтении мелкого шрифта), можно перевернуть сам предмет перед объективом. Поэтому угловое увеличение микроскопа принято считать положительной величиной.

Как следует из рис. 3, угол зрения φ предмета, рассматриваемого через окуляр в приближении малых углов,

$$\varphi = \frac{h'}{F_2} = \frac{f \cdot h}{d \cdot F_2}$$

Приближенно можно положить $d \approx F_1$ и $f \approx l$, где l – расстояние между объективом и окуляром микроскопа («длина тубуса»). При рассматривании того же предмета невооруженным глазом

$$\psi = \frac{h}{d_0}$$

В результате формула для углового увеличения γ микроскопа приобретает вид

$$\gamma = \frac{\varphi}{\psi} = \frac{l \cdot d_0}{F_1 \cdot F_2}$$

Хороший микроскоп может давать увеличение в несколько сотен раз. При больших увеличениях начинают проявляться дифракционные явления.

У реальных микроскопов объектив и окуляр представляют собой сложные оптические системы, в которых устранены различные aberrации.

Для обработки данных на компьютере используется цифровой микроскоп. Оптическая система цифровых микроскопов совмещена с матрицей, трансформирующей световой поток в электрические сигналы. Это дает возможность передавать данные на компьютер для дальнейшей работы. Его конструкция позволяет присоединять камеру, изображение с которой можно анализировать на экране. Цифровой прибор обладает значительно расширенными возможностями по сравнению с другими моделями.

На сегодняшний день одним из самых мощных микроскопов является “Titan”. Созданный в рамках американско-европейского проекта TEAM, получил свои первые изображения с рекордным разрешением 0,04 нанометра. Это равно четверти поперечника атома углерода. Чтобы понять, какие возможности по изучению материалов или биологических молекул, нужно добавить, что диаметр спирали ДНК составляет целых 2 нанометра. TEAM означает Transmission Electron Aberration-corrected Microscope, то есть трансмиссионный электронный микроскоп с коррекцией aberrации (aberrация — отклонение от нормы). Он появился в результате смешения двух технологий: электронного микроскопа сканирующего и трансмиссионного типов (так называемая технология S/TEM). Для повышения разрешения здесь был применён ряд новаций, в частности, сразу две оригинальные системы коррекции сферической aberrации. Конечно, по техническим характеристикам на сегодняшний день лучше этого микроскопа нет. Но один из американских физиков Дэрок Истэм, считает, что возможно достигнуть в 4 раза лучший результат — 0,01 нм. Планируемый электронный микроскоп настолько мал, что соответствует в размерах кончику пальца, и в четыре раза мощнее. В

его проекте используется луч меньшей энергии, эмиттер электронов расположен всего в нескольких миллиметрах от изучаемого объекта. Вместо выделения электронов с вольфрамовой нити производится бомбардировка с одного атома крошечной золотой пирамиды высотой около 100 нм. Луч будет сосредоточен, поскольку он проходит через отверстие величиной 2 мкм, расположенное в кремниевом чипе, прежде чем достигнет цели. Луч электронов в новом микроскопе Истэма имеет длину всего 10 мкм. Длина в стандартном аппарате соответствует 600 нм. Луч, создаваемый прибором Истэма, имеет в 100 раз меньшую энергию, чем обычный сканирующий электронный микроскоп. Именно сокращение расхода энергии, по мнению Истэма, является главным направлением развития сканирующих электронных микроскопов. Меньшая мощность луча также позволяет изучать тонкие структуры, разрушаемые электронными микроскопами, например, необработанные белки и ДНК. Но многие эксперты консервативны в своих ожиданиях результатов работы нового микроскопа. Признавая верность сокращения длины луча, достижение разрешения в 0,01 нм расценивается как маловероятное. При этом существует эффект колебания энергии луча, что также ограничивает разрешающую способность, и, как ожидается, этот эффект имеет место и в разработке Истэма. При всей полезности сокращения энергопотребления, по мнению специалистов, этот микроскоп имеет недостаточную глубину проникновения для создания трехмерных изображений из-за конструкции отверстия.

Ко всему выше сказанному можно добавить только одно, что и по сей день основной задачей оптических приборов, используемых в лаборатории, является — оперативность в получении точных данных, необходимых для ежедневной работы. Микроскоп, помимо своего прямого назначения, должен отвечать таким требованиям, как надежность, функциональность и простота использования. Оснащение лабораторий качественными микроскопами обеспечивает эффективность ежедневного труда.

3.3. Зрительная трубка

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

Ход лучей в зрительной трубе показан на рисунке.

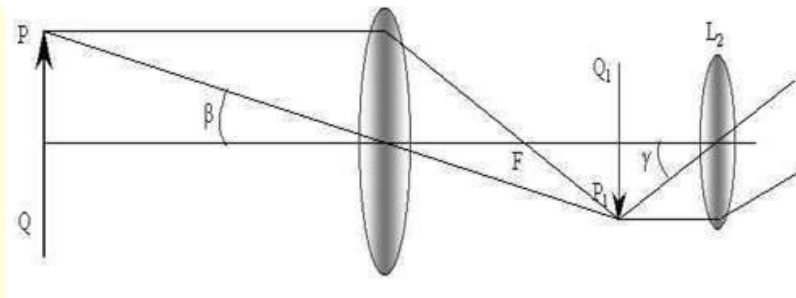


Рис. 4

Объектив L_1 дает действительное обратное и сильно уменьшенное изображение предмета $P^1 Q^1$, лежащее около главного фокуса объектива. Окуляр помещают так, чтобы изображение предмета находилось в его главном фокусе. В этом положении окуляр играет роль лупы, при помощи которой рассматривается действительное изображение предмета. Действие трубы, так же как и лупы, сводится к увеличению угла зрения. При помощи трубы обычно рассматривают предметы, находящиеся на расстояниях, во много раз превышающих её длину.

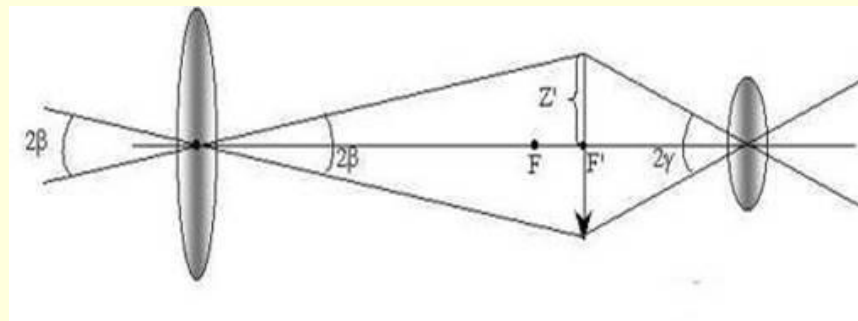


Рис. 5

Поэтому угол зрения, под которым предмет виден без трубы, можно принять угол 2β , образованный лучами, идущими от краев предмета через оптический центр объектива.

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 Y и B - не велики, поэтому можно с достаточным приближением заменить $\text{tg}Y$ и $\text{tg}B$ углами и тогда увеличение трубы

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

где $2Y$ - угол под которым видно изображение предмета;

$2B$ - 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.

3.4. Оптическая система телескоп

Основное назначение телескопов — собрать как можно больше излучения от небесного тела. Это позволяет видеть неяркие объекты. Во вторую очередь телескопы служат для рассматривания объектов под большим углом или, как говорят, для увеличения. Разрешение мелких деталей – третье предназначение телескопов. Количество собираемого ими света и доступное разрешение деталей сильно зависит от площади главной детали телескопа — его объектива. Объективы бывают зеркальными и линзовыми.

Телескопы (зрительные трубы) предназначены для наблюдения удаленных объектов. Они состоят из двух линз – обращенной к предмету собирающей линзы с большим фокусным расстоянием (объектив) и линзы с малым фокусным расстоянием (окуляр), обращенной к наблюдателю. Зрительные трубы бывают двух типов:

- Зрительная труба Кеплера, предназначенная для астрономических наблюдений. Она дает увеличенные перевернутые изображения удаленных предметов и поэтому неудобна для земных наблюдений.

- Зрительная труба Галилея, предназначенная для земных наблюдений, дающая увеличенные прямые изображения. Окуляром в трубе Галилея служит рассеивающая линза.

На рис. 6 изображен ход лучей в астрономическом телескопе. Предполагается, что глаз наблюдателя аккомодирован на бесконечность, поэтому лучи от каждой точки удаленного предмета выходят из окуляра параллельным пучком. Такой ход лучей

называется телескопическим. В астрономической трубе телескопический ход лучей достигается при условии, что расстояние между объективом и окуляром равно сумме их фокусных расстояний $l = F_1 + F_2$.

Зрительная труба (телескоп) принято характеризовать угловым увеличением γ . В отличие от микроскопа, предметы, наблюдаемые в телескоп, всегда удалены от наблюдателя. Если удаленный предмет виден невооруженным глазом под углом ψ , а при наблюдении через телескоп под углом φ , то угловым увеличением называют отношение

$$\gamma = \frac{\varphi}{\psi}.$$

Угловому увеличению γ , как и линейному увеличению Γ , можно приписать знаки плюс или минус в зависимости от того, является изображение прямым или перевернутым. Угловое увеличение астрономической трубы Кеплера отрицательно, а земной трубы Галилея положительно.

Угловое увеличение зрительных труб выражается через фокусные расстояния:

$$\gamma = -\frac{F_1}{F_2}.$$

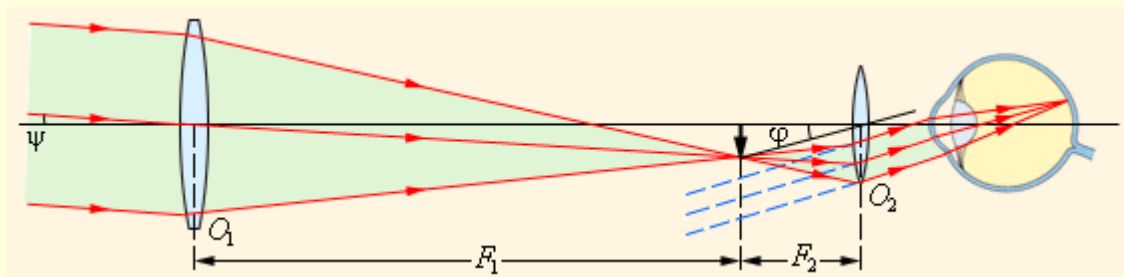


Рисунок 6.

Телескопический ход лучей.

В качестве объектива в больших астрономических телескопах применяются не линзы, а сферические зеркала. Такие телескопы называются рефлекторами. Хорошее зеркало проще изготовить, кроме того, зеркала в отличие от линз не обладают хроматической аберрацией.

В России построен самый большой в мире телескоп с диаметром зеркала 6 м. Следует иметь в виду, что большие астрономические телескопы предназначены не только для того, чтобы увеличивать угловые расстояния между наблюдаемыми космическими объектами, но и для увеличения потока световой энергии от слабосветящихся объектов.

Линзы, так или иначе, всегда используются в телескопе. Но в телескопах-рефракторах линзой является главная деталь телескопа – его объектив. Вспомним, что рефракция – это преломление. Линзовый объектив преломляет лучи света, и собирает их в точке, именуемой фокусом объектива. В этой точке строится изображение объекта изучения. Чтобы его рассмотреть используют вторую линзу – окуляр. Она размещается так, чтобы фокусы окуляра и объектива совпадали. Так как зрение у людей разное, то окуляр делают подвижным, чтобы было возможно добиться четкого изображения. Мы это называем настройкой резкости. Все телескопы обладают неприятными особенностями — абберациями. Абберации – это искажения, которые получаются при прохождении света через оптическую систему телескопа. Главные абберации связаны с не идеальностью объектива. Чтобы уменьшить абберации изготавливают сложные, вовсе не двухлинзовые системы. Дополнительные части вводятся для исправления аббераций объектива. На сегодняшний день первенство среди линзовых телескопов держит телескоп, Йеркской обсерватории с объективом 102 см в диаметре.

Что касается зеркальных объективов, то у простых зеркальных телескопов, телескопов-рефлекторов, объектив — это сферическое зеркало, которое собирает световые лучи и отражает их с помощью дополнительного зеркала в сторону окуляра — линзы, в фокусе которой строится изображение. Рефлекс – это отражение.

В зеркальных телескопах так же используются сложные конструкции, поверхности зеркал, отличные от сферических и прочее. Зеркальные телескопы изготавливать легче и дешевле. Именно поэтому их производство в последние десятилетия бурно развивается, в то время как новых крупных линзовых телескопов уже очень давно не делают. Самый большой зеркальный телескоп имеет сложный объектив из нескольких зеркал, эквивалентный целому зеркалу диаметром 11 метров. Самый большой монолитный зеркальный объектив имеет размер чуть больше 8-ми метров. Самым большим оптическим телескопом России является 6-ти метровый зеркальный телескоп БТА (Большой Телескоп Азимутальный). Телескоп долгое время был наикрупнейшим в мире.

Увеличение телескопа. Увеличение телескопа равно отношению фокусных расстояний объектива и окуляра. Если, скажем, фокусное расстояние объектива два метра, а окуляра – 5 см, то увеличение такого телескопа будет 40 крат. Если поменять окуляр, можно изменить и увеличение. Так астрономы и поступают, ведь не менять же, в самом деле, огромный объектив?!

Выходной зрачок. Изображение, которое строит для глаза окуляр, может в общем случае быть как больше глазного зрачка, так и меньше. Если изображение больше, то часть света в глаз не попадет, тем самым, телескоп будет использоваться не на все 100%. Это изображение называют выходным зрачком и рассчитывают по формуле: $p=D:W$, где p – выходной зрачок, D – диаметр объектива, а W – увеличение телескопа с данным окуляром. Если принять размер глазного зрачка равным 5 мм, то легко рассчитать минимальное увеличение, которое разумно использовать с данным объективом телескопа. Получим этот предел для объектива в 15 см: 30 крат.

Разрешение телескопов

В виду того что, свет – это волна, а волнам свойственно не только преломление, но и дифракция, никакой даже самый совершенный телескоп не дает изображение точечной звезды в виде точки. Идеальное изображение звезды выглядит в виде диска с несколькими концентрическими (с общим центром) кольцами, которые называют дифракционными. Размером дифракционного диска и ограничивается разрешение телескопа. Все, что закрывает собою этот диск, в данный телескоп никак не увидишь. Угловой размер дифракционного диска в секундах дуги для данного телескопа определяется из простого соотношения: $\tau=14/D$, где диаметр D объектива измеряется в сантиметрах. Упомянутый чуть выше пятнадцатисантиметровый телескоп имеет предельное разрешение чуть меньше секунды. Из формулы следует, что разрешение телескопа всецело зависит от диаметра его объектива. Вот еще одна причина строительства как можно более грандиозных телескопов.

Относительное отверстие. Отношение диаметра объектива к его фокусному расстоянию называется относительным отверстием. Этот параметр определяет светосилу телескопа, т. е., грубо говоря, его способность отображать объекты яркими. Объективы с относительным отверстием 1:2 – 1:6 называют светосильными. Их используют для фотографирования слабых по яркости объектов, таких, как туманности.

3.5. Искусственный глаз телескопа

Одной из самых ненадежных деталей телескопа всегда был глаз наблюдателя. У каждого человека — свой глаз, со своими особенностями. Один глаз видит больше, другой — меньше. Каждый глаз по-разному видит цвета. Глаз человека и его память не способны сохранить всю картину предлагаемую для созерцания телескопом. Поэтому, как только стало возможным, астрономы стали заменять глаз приборами. Если подсоединить

вместо окуляра фотоаппарат, то изображение, получаемое объективом можно запечатлеть на фотопластинке или фотопленке. Фотопластинка способна накапливать световое излучение, и в этом ее неоспоримое и важное преимущество перед человеческим глазом. Фотографии с большой выдержкой способны отобразить несравненно больше, чем под силу рассмотреть человеку в тот же самый телескоп. Ну и конечно, фотография останется как документ, к которому неоднократно можно будет в последствии обратиться. Еще более современным средством являются ПЗС — камеры с полярно-зарядовой связью. Это светочувствительные микросхемы, которые подменяют собой фотопластинку и передают накапливаемую информацию на ЭВМ, после чего могут делать новый снимок. Спектры звезд и других объектов исследуются с помощью присоединенных к телескопу спектрографов и спектрометров. Ни один глаз не способен так четко различать цвета и измерять расстояния между линиями в спектре, как это с легкостью делают названные приборы, которые еще и сохраняют изображение спектра и его характеристики для последующих исследований. Наконец, ни один человек не сможет посмотреть одним глазом в два телескопа одновременно. Современные системы из двух и более телескопов, объединенных одной ЭВМ и разнесенных, порой на расстояния в десятки метров, позволяют добиться потрясающе высоких разрешений. Такие системы называют интерферометрами.

3.6. Проекционные аппараты

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.

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 объективе O , который уже направляет их на экран \mathcal{E} , где получается изображение диапозитива D .

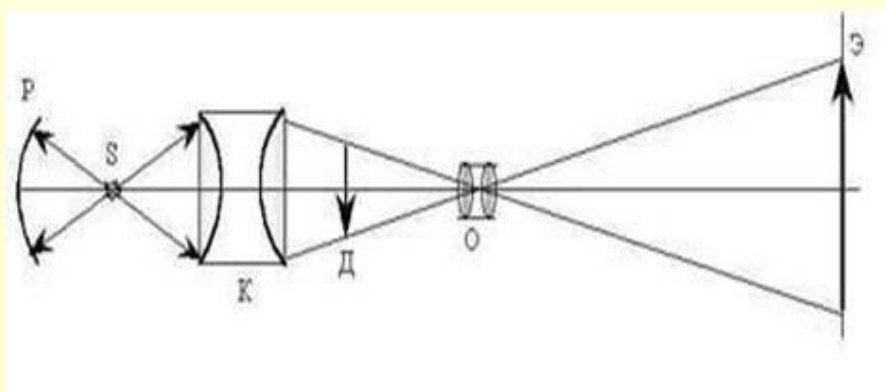


Рис. 7

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.

3.7.Спектроскоп

Для наблюдения спектров пользуются спектроскопом.

Наиболее распространенный призматический спектроскоп состоит из двух труб, между которыми помещают трехгранную призму.

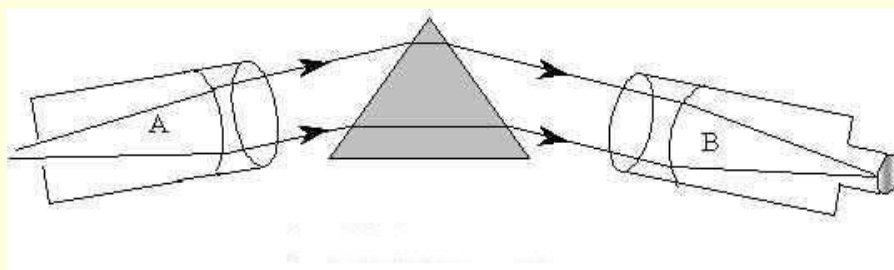


Рис. 8

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 рисунке.

Спектр излучения с помощью линзы L_2 фокусируется на матовое стекло АВ, которое при фотографировании заменяют фотопластинкой.

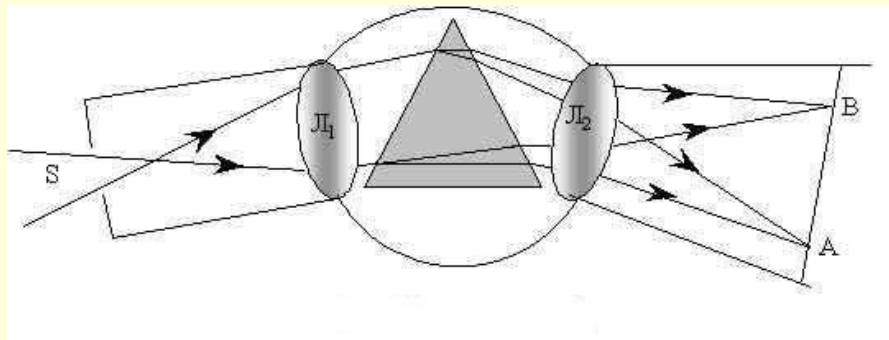


Рис. 9

3.8. Оптическая система глаза и некоторые ее особенности

Глаз человека является своеобразным оптическим прибором, занимающим в оптике особое место. Это объясняется, во-первых, тем, что многие оптические инструменты рассчитаны на зрительное восприятие, во-вторых, глаз человека (и животного), как усовершенствованная в процессе эволюции биологическая система, приносит в рамках бионики некоторые идеи по конструированию и улучшению оптических систем.

Для медиков глаз не только орган, способный к функциональным нарушениям и заболеваниям, но и источник информации о некоторых неглазных болезнях.

Остановимся кратко на строении глаза человека.

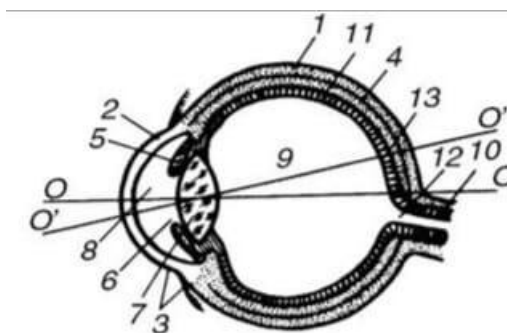


Рис. 10

Собственно глазом (рис. 10) является глазное яблоко, имеющее не совсем правильную шаровидную форму: передне-задний размер у взрослого в среднем 24,3 мм, вертикальный - 23,4 мм и горизонтальный - 23,6 мм. Стенки глаза состоят из трех концентрически расположенных оболочек: наружной, средней и внутренней. Наружная белковая оболочка - склера 1 - в передней части глаза превращается в прозрачную выпуклую роговую оболочку 2 - роговицу. Толщина роговицы в центре около 0,6 мм, на периферии - до 1 мм. По оптическим свойствам роговица - наиболее сильно преломляющая часть глаза. Она является как бы окном, через которое в глаз проходят лучи света. Радиус кривизны роговицы примерно 7-8 мм, показатель преломления ее вещества - 1,38. Наружный покров роговицы переходит в конъюнктиву 3, прикрепленную к векам.

Зрительный нерв 10 входит в глазное яблоко через заднюю стенку; разветвляясь, он переходит в самый внутренний слой глаза - сетчатку, или ретину 11, являющуюся световоспринимающим (рецепторным) аппаратом глаза. Сетчатка состоит из нескольких слоев и неодинакова по своей толщине и чувствительности к свету, в ней находятся светочувствительные зрительные клетки, периферические концы которых имеют различную форму. Продолговатые окончания называют палочками, конусообразные - колбочками. Длина палочек 63-81 мкм, диаметр около 1,8 мкм, для колбочек соответственно 35 и 5-6 мкм. На сетчатке глаза человека расположено около 130 млн палочек и 7 млн колбочек.

Глаз может быть представлен как центрированная оптическая система, образованная роговицей, жидкостью передней камеры и хрусталиком (четыре преломляющие поверхности) и ограниченная спереди воздушной средой, сзади - стекловидным телом. Главная оптическая ось OO (рис. 10) проходит через геометрические центры роговицы, зрачка и хрусталика. Кроме того, различают еще зрительную ось OS глаза, которая определяет направление наибольшей светочувствительности и проходит через центры хрусталика и желтого пятна. Угол между главной оптической и зрительной осями составляет около 5° .

На рис. 3 показаны фокусы, главные точки и плоскости и узловые точки для некоторого усредненного нормального глаза (расстояния указаны в миллиметрах). Для упрощения часто заменяют эту систему *приведенным* редуцированным глазом, т.е. линзой, окруженной воздухом со стороны пространства предметов и жидкостью с $n = 1,336$ со

стороны пространства изображений. В одной из моделей приведенного глаза единая главная плоскость находится на расстоянии 1,6 мм от передней поверхности роговицы, узловые точки совпадают и расположены на расстоянии 7,2 мм от поверхности роговицы.

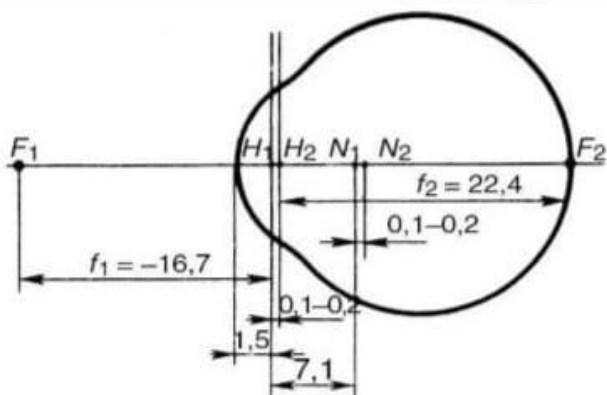


Рис. 11

Основное преломление света происходит на внешней границе роговицы, оптическая сила всей роговицы равна приблизительно 40 дптр, хрусталика - около 20 дптр, а всего глаза - около 60 дптр.

Различно удаленные предметы должны давать на сетчатке одинаково резкие изображения. Это можно осуществить либо изменяя расстояние a_2 между главной плоскостью и сетчаткой аналогично тому, как это делают в фотоаппаратах, либо изменяя кривизну хрусталика и, следовательно фокусные расстояния. В глазу человека реализуется второй случай.

*Приспособление глаза к четкому видению различно удаленных предметов - «наводка на резкость» - называют **аккомодацией**.*

Когда предмет расположен в бесконечности, то его изображение в нормальном глазу находится на сетчатке. Хрусталик при этом аккомодирован на бесконечность и его оптическая сила наименьшая. Если предмет приближается к глазу, то у хрусталика увеличивается кривизна; чем ближе предмет, тем больше оптическая сила глаза, ее изменения происходят приблизительно в пределах 60-70 дптр.

У взрослого здорового человека при приближении предмета к глазу до расстояния 25 см аккомодация совершается без напряжения и благодаря привычке рассматривать

предметы, находящиеся в руках, глаз чаще всего аккомодирует именно на это расстояние, называемое *расстоянием наилучшего зрения*.

Недостатки оптической системы глаза и их устранение

Аберрации, свойственные линзам, у глаз почти не ощущаются.

Сферическая аберрация незаметна ввиду малости зрачка и проявляется лишь в сумерках, когда зрачок расширен: изображения нерезки. Хотя глаз и не является ахроматической системой, однако хроматическая аберрация не ощущается из-за избирательности видности излучения и малого размера зрачка. Астигматизм косых пучков не имеет места, так как глаз всегда устанавливается в направлении наблюдаемого предмета. Исключение составляет лишь астигматизм, обусловленный асимметрией оптической системы (несферическая форма роговицы или хрусталика). Это проявляется, в частности, в неспособности глаза одинаково резко видеть взаимно перпендикулярные линии на испытательной таблице. Такой недостаток глаза компенсируют специальными очками с цилиндрическими линзами.

Оптической системе глаза свойственны некоторые специфические недостатки.

В нормальном глазу при отсутствии аккомодации задний фокус совпадает с сетчаткой - такой глаз называют *эмметропическим*, и *аметропическим*, если это условие не выполняется.

Наиболее распространенными видами аметропии являются *близорукость* (миопия) и *дальнозоркость* (гиперметропия). Близорукость - недостаток глаза, состоящий в том, что задний фокус при отсутствии аккомодации лежит впереди сетчатки; в случае дальнозоркости задний фокус при отсутствии аккомодации лежит за сетчаткой. Для коррекции близорукого глаза применяют рассеивающую линзу, дальнозоркого - собирающую.

Заключение

Практическое значение оптики и её влияние на другие отрасли знания исключительно велики. Изобретение телескопа и спектроскопа открыло перед человеком удивительнейший и богатейший мир явлений, происходящих в необъятной Вселенной. Изобретение микроскопа произвело революцию в биологии. Фотография помогла и продолжает помогать чуть ли не всем отраслям науки. Одним из важнейших элементов научной аппаратуры является линза. Без неё не было бы микроскопа, телескопа, спектроскопа, фотоаппарата, кино, телевидения и т.п. не было бы очков, и многие люди, которым перевалило за 50 лет, были бы лишены возможности читать и выполнять многие работы, связанные со зрением.

Область явлений, изучаемая физической оптикой, весьма обширна. Оптические явления теснейшим образом связаны с явлениями, изучаемыми в других разделах физики, а оптические методы исследования относятся к наиболее тонким и точным. Поэтому неудивительно, что оптике на протяжении длительного времени принадлежала ведущая роль в очень многих фундаментальных исследованиях и развитии основных физических воззрений. Достаточно сказать, что обе основные физические теории прошлого столетия - теория относительности и теория квантов - зародились и в значительной степени развились на почве оптических исследований. Изобретение лазеров открыло новые широчайшие возможности не только в оптике, но и в её приложениях в различных отраслях науки и техники.

В настоящее время ни один оптический прибор не обходится без базовых элементов, таких как: линза, призма, зеркало, светофильтр. Все даже самые сложные приборы содержат эти элементарные составляющие, какова бы не была концепция прибора. Наш современный мир не мыслится без оптических приборов, потому как самые невероятные открытия человечества, как раз таки сделаны при помощи них. Например, без микроскопа ученые бы никогда не узнали о том, что все вещества в мире состоят из элементарных, малых частиц. Так же, никогда бы не был открыт микромир и все его обитатели, будь то какие-нибудь бактерии или вирусы! Без микроскопа никогда бы не произошел научный «бум» в медицине и не были бы открыты многие имеющиеся на сегодняшний день медикаменты. Если задуматься, то без созданного когда-то людьми телескопа мир до сих пор бы опирался на неправильные гипотезы о существовании нашей планеты, галактики, и все возможных небесных тел. Без телескопа мы бы никогда не узнали, что это наша планета крутится вокруг солнца, а не оно вокруг нас.

Список использованных источников

1. Аристахова Л. И. "Глаз как оптическая система" / Физика - 1999, №11, стр. 9-2.
2. Бегунов, Б.Н. Геометрическая оптика: учеб. пособие / Б.Н. Бегунов. Изд-во Московского университета, 1966. – 210 с.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., Наука, 1973. -713 с.
4. Годжаев, Н.М. Оптика: учеб. пособие для вузов / Н. М. Годжаев. – М.: Альянс, 2015. – 432 с.
5. Ефремов А.А. и др. Сборка оптических приборов. М., 1978. -319 с.
6. Кулагин С.В. Основы конструирования оптических приборов. Л., 1982. – 312с.
7. Ландсберг Г.С. Оптика. Учеб. Пособие: Для вузов - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 848с.
8. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2019. - Т.3. - 664с.
9. Латыев С.М. Конструирование точных (оптических) приборов Уч. пособие. 2007 г. - 580 с.
10. Михеенко, А.В. Геометрическая оптика: учеб. пособие / А.В. Михеенко. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. -100с.
11. Павленко Ю. Г. Физика 10–11. Учебное пособие для школьников, абитуриентов и студентов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 848 с
12. Перельман Я. И. "Занимательная физика" - М.: «РИМИС», 2009.
13. Сивухин Д.В. Общий курс физики: В 5 т. Том IV. Оптика. - М.: Наука, 2005. - 751с.
14. Солнцев В. А. "Оптические наблюдательные приборы" - М.: "Просвещение", 1988
15. Справочник конструктора оптико-механических приборов. Л., 1980.
16. Физика: Оптика. Квантовая физика. 11 кл. Углубленный уровень: учебник / Г.Я. Мякишев Г. Я., А.З. Сияков. - М.: "Дрофа", 2015.- 399с.

Интернет-ресурсы:

1. <http://www.markbook.chat.ru>
2. <http://www.college.ru>
3. <http://som.fio.ru>