

Тема: Разрешающая способность оптических приборов

Цели урока.

Образовательные – расширить представлений учащихся о физической картине мира

Развивающие – продолжить формирование умений сравнивать, обобщать;

устанавливать связи между изучаемыми фактами.

Оптические приборы - 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:**

- **светосила** - способность концентрировать излучение;
- **разрешающая сила** - способность различать соседние детали изображения;
- **увеличение** - соотношение размеров предмета и его изображения.
- Для многих приборов определяющей характеристикой оказывается **поле зрения** - угол, под которым из центра прибора видны крайние точки предмета.

Разрешающая сила (способность) - характеризует способность оптических приборов давать отдельные изображения двух близких друг к другу точек объекта.

Наименьшее линейное или угловое расстояние между двумя точками, начиная с которого их изображения сливаются, называется **линейным или угловым пределом разрешения.**

Способность прибора различать две близкие точки или линии обусловлена волновой природой света. Численное значение разрешающей силы, например, линзовой системы, зависит от умения конструктора справиться с аберрациями линз и тщательно отцентрировать эти линзы на одной оптической оси. Теоретический предел разрешения двух соседних изображаемых точек определяется как равенство расстояния между их центрами радиусу первого темного кольца их дифракционной картины.

Увеличение. Если предмет длиной H перпендикулярен оптической оси системы, а длина его изображения h , то увеличение m определяется по формуле:

$$m = h/H.$$

Увеличение зависит от фокусных расстояний и взаимного расположения линз; для выражения этой зависимости существуют соответствующие формулы.

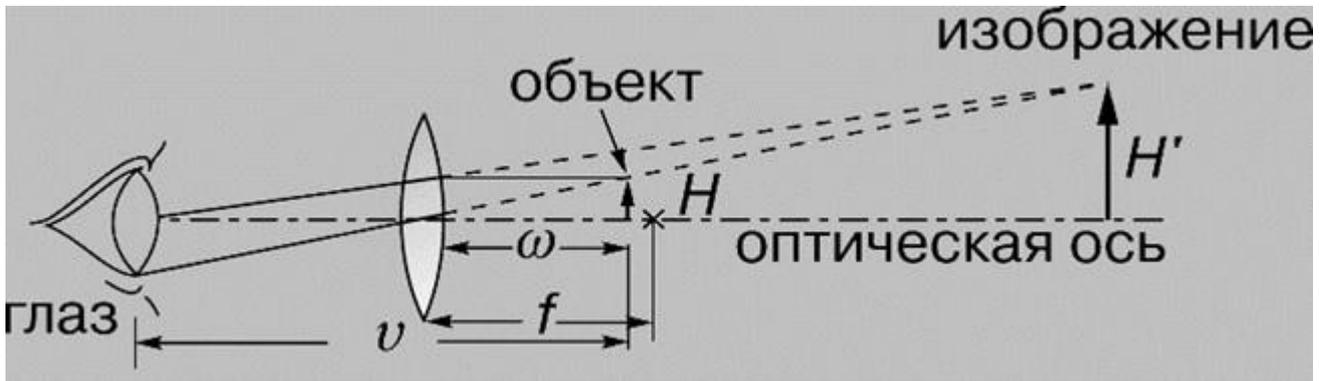
Важной характеристикой приборов для визуального наблюдения является **видимое увеличение M** . Оно определяется из отношения размеров изображений предмета, которые образуются на сетчатке глаза при непосредственном наблюдении предмета и рассмотрении его через прибор. Обычно видимое увеличение M выражают отношением $M = \tan b / \tan a$, где a - угол, под которым наблюдатель видит предмет невооруженным глазом, а b - угол, под которым глаз наблюдателя видит предмет через прибор.

Тонкие линзы обладают рядом недостатков, не позволяющих получать высококачественные изображения. Искажения, возникающие при формировании изображения, называются **абберациями**. Главные из них – сферическая и хроматическая абберации.

Микроскоп, лупа, увеличительное стекло.

Если рассматривать через положительную (собирающую) линзу предмет, расположенный за линзой не дальше ее фокальной точки, то видно увеличенное мнимое изображение предмета. Такая линза представляет собой простейший микроскоп и называется лупой или увеличительным стеклом.

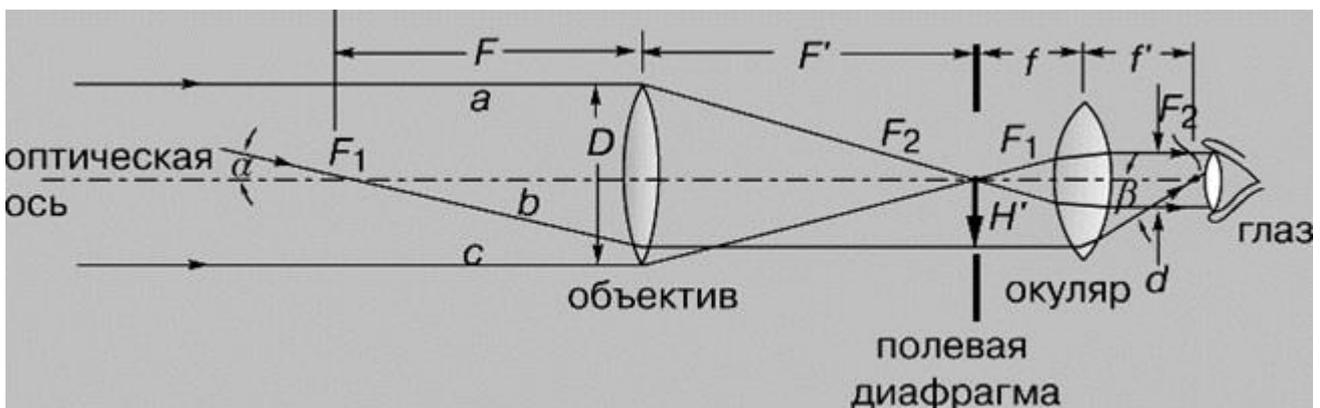
Из оптической схемы можно определить размер увеличенного изображения.



Когда глаз настроен на параллельный пучок света (изображение предмета находится на неопределенно большом расстоянии, а это означает, что предмет расположен в фокальной плоскости линзы), видимое увеличение M можно определить из соотношения: $M = \text{tg}b / \text{tga} = (H/f)/(H/v) = v/f$, где f - фокусное расстояние линзы, v - расстояние наилучшего зрения, т.е. наименьшее расстояние, на котором глаз хорошо видит при нормальной аккомодации. M увеличивается на единицу, когда глаз настраивается так, что мнимое изображение предмета оказывается на расстоянии наилучшего зрения. Способности к аккомодации у всех людей разные, с возрастом они ухудшаются; принято считать 25 см расстоянием наилучшего зрения нормального глаза. В поле зрения одиночной положительной линзы при удалении от ее оси резкость изображения быстро ухудшается из-за поперечных aberrаций. Хотя и бывают лупы с увеличением в 20 крат, типичная их кратность от 5 до 10. Увеличение сложного микроскопа, именуемого обычно просто микроскопом, доходит до 2000 крат.

Телескоп.

Телескоп увеличивает видимые размеры удаленных предметов. В схему простейшего телескопа входят две положительные линзы.



Лучи от удаленного предмета, параллельные оси телескопа (лучи a и c на схеме), собираются в заднем фокусе первой линзы (объектива). Вторая линза (окуляр) удалена от фокальной плоскости объектива на свое фокусное расстояние, и лучи a и c выходят из нее вновь параллельно оси системы. Некоторый луч b , исходящий не из тех точек предмета, откуда пришли лучи a и c , падает под углом a к оси телескопа, проходит через передний фокус объектива и после него идет параллельно оси системы. Окуляр направляет его в свой задний фокус под углом b . Поскольку расстояние от переднего фокуса объектива до глаза наблюдателя пренебрежимо мало по сравнению с расстоянием до предмета, то из схемы можно получить выражение для видимого увеличения M телескопа: $M = -\text{tg}b / \text{tga} = -F/f$ (или F/f). Отрицательный знак показывает, что изображение перевернуто. В астрономических телескопах оно таким и остается; в телескопах для наблюдений за наземными объектами применяют оборачивающую систему, чтобы рассматривать нормальные, а не перевернутые изображения. В оборачивающую систему могут входить дополнительные линзы или, как в биноклях, призмы.

Бинокль.

Бинокулярный телескоп, обычно именуемый биноклем, представляет собой компактный прибор для наблюдений обоими глазами одновременно; его увеличение, как правило, от 6 до 10 крат. В биноклях

используют пару оборачивающих систем (чаще всего - Порро), в каждую из которых входят две прямоугольные призмы (с основанием под 45°), ориентированные навстречу прямоугольными гранями.



Чтобы получить большое увеличение в широком поле зрения, свободном от aberrаций объектива, и, следовательно, значительный угол обзора ($6-9^\circ$), биноклю необходим очень качественный окуляр, более совершенный, чем телескопу с узким углом зрения. В окуляре бинокля предусмотрена фокусировка изображения, причем с коррекцией зрения, - его шкала размечена в диоптриях. Кроме того, в бинокле положение окуляра подстраивается под расстояние между глазами наблюдателя. Обычно бинокли маркируются в соответствии с их увеличением (в кратях) и диаметром объектива (в миллиметрах), например, 8×40 или 7×50 .

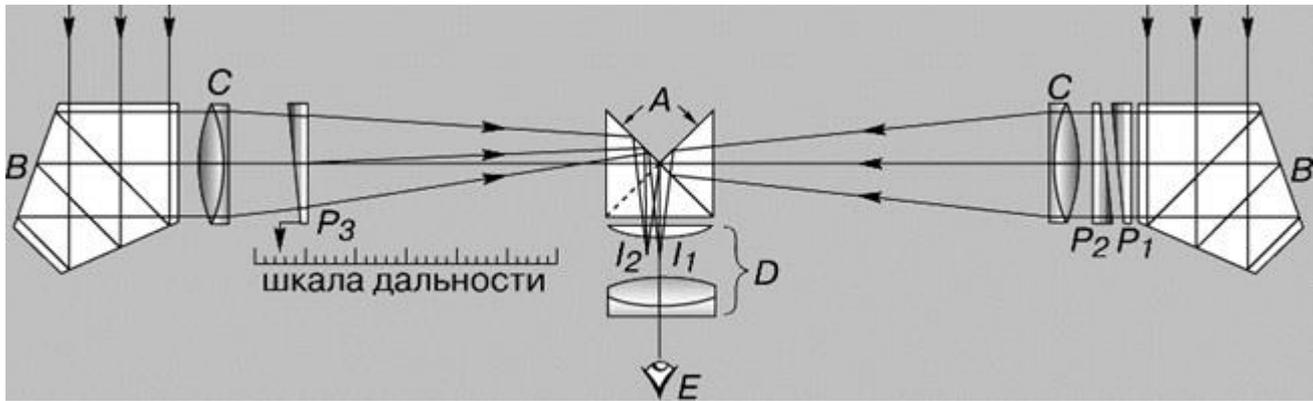
Оптический прицел.

В качестве оптического прицела можно применить любой телескоп для наземных наблюдений, если в какой-либо плоскости его пространства изображений нанести четкие метки (сетки, марки), отвечающие заданному назначению. Типичное устройство многих военных оптических установок таково, что объектив телескопа открыто смотрит на цель, а окуляр находится в укрытии. Такая схема требует излома оптической оси прицела и применения призм для ее смещения; эти же призмы преобразуют перевернутое изображение в прямое. Системы со смещением оптической оси называются перископическими. Обычно оптический прицел рассчитывается так, что зрачок его выхода удален от последней поверхности окуляра на достаточное расстояние для предохранения глаза наводчика от ударов о край телескопа при отдаче оружия.

Дальномер.

Оптические дальномеры, с помощью которых измеряют расстояния до объектов, бывают двух типов: монокулярные и стереоскопические. Хотя они различаются конструктивными деталями, основная часть оптической схемы у них одинакова и принцип действия один: по известной стороне (базе) и двум известным углам треугольника определяется неизвестная его сторона. Два параллельно ориентированных телескопа, разнесенных на расстояние b (база), строят изображения одного и того же удаленного объекта так, что он кажется наблюдаемым из них в разных направлениях (базой может служить и размер цели). Если с помощью какого-нибудь приемлемого оптического устройства совместить поля изображений обоих телескопов так, чтобы их можно было рассматривать одновременно, окажется, что соответствующие изображения предмета пространственно разнесены. Существуют дальномеры не только с полным наложением полей, но и с половинным: верхняя половина пространства изображений одного телескопа объединяется с нижней половиной пространства изображений другого. В таких приборах с помощью подходящего оптического элемента проводится совмещение пространственно разнесенных изображений и по относительному сдвигу

изображений определяется измеряемая величина. Часто в качестве сдвигающего элемента служит призма или комбинация призм.



МОНОКУЛЯРНЫЙ ДАЛЬНОМЕР. *A - прямоугольная призма; B - пентапризмы; C - линзовые объективы; D - окуляр; E - глаз; P1 и P2 - неподвижные призмы; P3 - подвижная призма; I1 и I2 - изображения половин поля зрения*

В схеме монокулярного дальномера, показанной на рисунке, эту функцию выполняет призма P3; она связана со шкалой, проградуированной в измеряемых расстояниях до объекта. Пентапризмы B используются как отражатели света под прямым углом, поскольку такие призмы всегда отклоняют падающий световой пучок на 90° , независимо от точности их установки в горизонтальной плоскости прибора. Изображения, создаваемые двумя телескопами, в стереоскопическом дальномере наблюдатель видит сразу обоими глазами. База такого дальномера позволяет наблюдателю воспринимать положение объекта объемно, на некоторой глубине в пространстве. В каждом телескопе имеется сетка с марками, соответствующими значениям дальности. Наблюдатель видит шкалу расстояний, уходящую в глубину изображаемого пространства, и по ней определяет удаленность объекта.

Осветительные и проекционные приборы. Проекторы.

В оптической схеме прожектора источник света, например кратер дугового электрического разряда, находится в фокусе параболического отражателя. Лучи, исходящие из всех точек дуги, отражаются параболическим зеркалом почти параллельно друг другу. Пучок лучей немного расходится потому, что источником служит не светящаяся точка, а объем конечного размера.

Диаскоп.

В оптическую схему этого прибора, предназначенного для просмотра диапозитивов и прозрачных цветных кадров, входят две линзовые системы: конденсор и проекционный объектив. Конденсор равномерно освещает прозрачный оригинал, направляя лучи в проекционный объектив, который строит изображение оригинала на экране. В проекционном объективе предусматриваются фокусировка и замена его линз, что позволяет менять расстояние до экрана и размеры изображения на нем. Оптическая схема кинопроектора такая же.

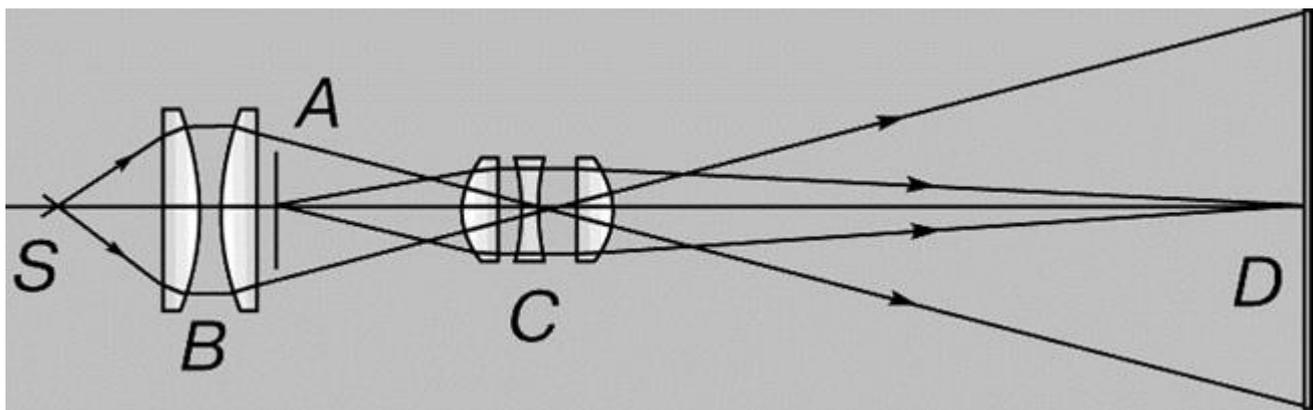


СХЕМА ДИАСКОПА. *A - диапозитив; B - линзовый конденсор; C - линзы проекционного объектива; D - экран; S - источник света*

Спектральные приборы.

Основным элементом спектрального прибора может быть дисперсионная призма либо дифракционная решетка. В таком приборе свет сначала коллимируется, т.е. формируется в пучок параллельных лучей, затем разлагается в спектр, и, наконец, изображение входной щели прибора фокусируется на его выходную щель по каждой длине волны спектра.

Спектрометр.

В этом более или менее универсальном лабораторном приборе коллимирующая и фокусирующая системы могут поворачиваться относительно центра столика, на котором расположен элемент, разлагающий свет в спектр. На приборе имеются шкалы для отсчетов углов поворота, например дисперсионной призмы, и углов отклонения после нее разных цветовых составляющих спектра. По результатам таких отсчетов измеряются, например, показатели преломления прозрачных твердых тел.

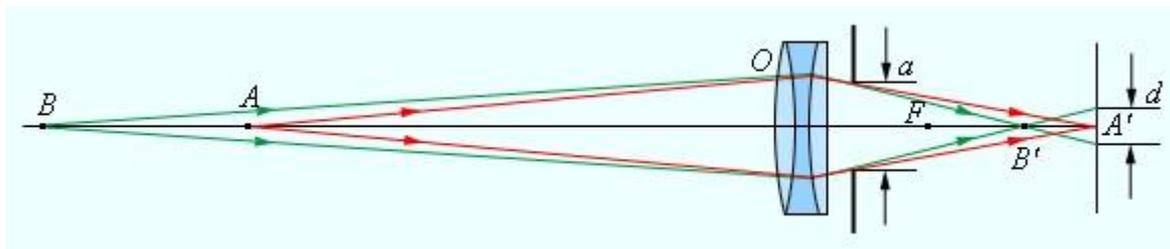
Спектрограф.

Так называется прибор, в котором полученный спектр или его часть снимается на фотоматериал. Можно получить спектр от призмы из кварца (диапазон 210-800 нм), стекла (360-2500 нм) или каменной соли (2500-16000 нм). В тех диапазонах спектра, где призмы слабо поглощают свет, изображения спектральных линий в спектрографе получаются яркими. В спектрографах с дифракционными решетками последние выполняют две функции: разлагают излучение в спектр и фокусируют цветовые составляющие на фотоматериал; такие приборы применяют и в ультрафиолетовой области.

Фотоаппарат представляет собой замкнутую светонепроницаемую камеру. Изображение фотографируемых предметов создается на фотопленке системой линз, которая называется объективом. Специальный затвор позволяет открывать объектив на время экспозиции.

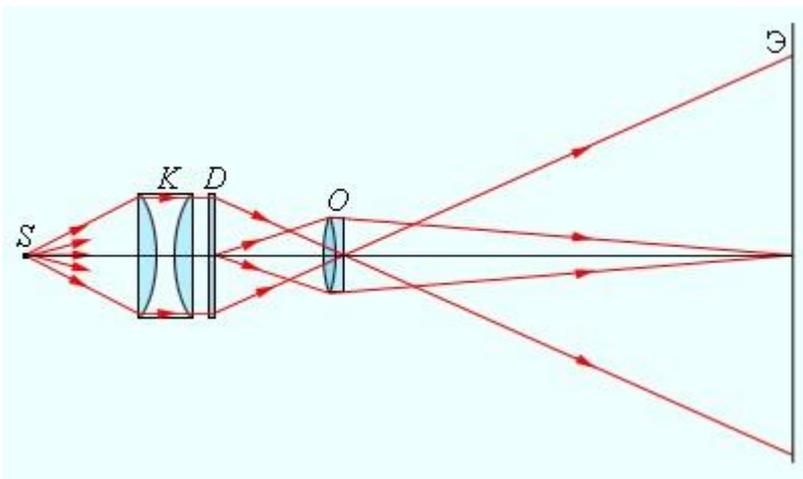
Особенностью работы фотоаппарата является то, что на плоской фотопленке должны получаться достаточно резкими изображения предметов, находящихся на разных расстояниях.

В плоскости фотопленки получаются резкими только изображения предметов, находящихся на определенном расстоянии. Наведение на резкость достигается перемещением объектива относительно пленки. Изображения точек, не лежащих в плоскости резкого наведения, получаются размытыми в виде кружков рассеяния. Размер d этих кружков может быть уменьшен путем диафрагмирования объектива, т.е. уменьшения относительного отверстия a / F . Это приводит к увеличению глубины резкости.



Объектив современной фотокамеры состоит из нескольких линз, объединенных в оптические системы (например, оптическая схема Тессар). Число линз в объективах самых простых фотокамер — от одной до трех, а в современных дорогих фотоаппаратах их бывает до десяти или даже восемнадцати.

Проекционный аппарат предназначен для получения крупномасштабных изображений. Объектив O проектора фокусирует изображение плоского предмета (диапозитив D) на удаленном экране \mathcal{E} . Система линз K , называемая конденсором, предназначена для того, чтобы сконцентрировать свет источника S на диапозитиве. На экране \mathcal{E} создается действительное увеличенное перевернутое изображение. Увеличение проекционного аппарата можно менять, приближая или удаляя экран \mathcal{E} с одновременным изменением расстояния между диапозитивом D и объективом O .



Домашнее задание

1. Выполнить в тетради краткий конспект. Ответить на вопросы:

А) Что называют угловым пределом разрешения?

Б) Чем определяется предел разрешения?

В) Как определяется и от чего зависит увеличение (формулы).

Г) Для чего нужны оптические дальномеры?