

Силантьева А.В. - методист

В помощь участникам областного астрономического практикума.

Краткая теория по тематикам исследовательских работ.

## **Web-камера, ее устройство, назначение и работа**

Web-камера – небольшая видеокамера, которая напрямую подключается к компьютеру.

Слово «web» в переводе с английского обозначает «сеть». Т.е. подразумевается, что камера может быть включена в единую компьютерную сеть (несколько компьютером, соединенных друг с другом для взаимного обмена данными), в т.ч. и в сеть Интернет.

Общий принцип работы web-камеры аналогичен принципу работы цифрового фотоаппарата.

Световой поток поступает в объектив, который фокусирует его на ПЗС-матрице. Сигнал с ПЗС-матрицы преобразуется процессором камеры, который формирует из него изображение. Далее оно поступает напрямую в компьютер, где с помощью специального программного обеспечения выводится на монитор и, при необходимости сохраняется. Поэтому без подключения к компьютеру web-камера не будет нормально функционировать.

При этом во время работы с web-камерой отсутствует возможность управления параметрами съемки (диафрагмой, выдержкой), т.е. нельзя откорректировать сигнал, поступающий на матрицу. Другими словами, камера снимает то, что видит.

Как правило, у объективов web-камер достаточно большое поле зрения

В астрономии web-камеры применяются при съемке ярких объектов (Солнца, планет) с помощью телескопа (в этом случае камера монтируется к окулярному узлу). Для получения высококачественного изображения объекта отснятый видеоматериал с помощью специальных программ раскладывается на отдельные кадры, которые затем суммируются.

Возможно применение web-камер для наблюдений метеоров. В этом случае камера направляется на выбранный участок неба и работает несколько часов, фиксируя все происходящее. Затем фильм просматривается наблюдателем, который сохраняет интересующие его кадры.

## **Выдержка и диафрагма**

Фотографическая пленка представляет собой светочувствительный слой (состоит из кристаллов галогенидов серебра, взвешенных в желатине), нанесенный на прозрачную подложку.

Задача фотографа состоит в том, чтобы пленка получила такое количество света, в результате действия которого возникло бы детальное изображение объекта.

Количество освещения, или произведение времени, в течение которого свет воздействует на фотоэмульсию, на освещенность, называется *экспозицией*. Изменяя время воздействия света или освещенность, можно регулировать количество света, поступающего в фотоаппарат.

Время, в течение которого свет падает на пленку (или время, в течение которого затвор фотоаппарата остается открытым), называется *выдержкой* (или *временем экспонирования*).

Как уже отмечалось, количество поступающего света можно регулировать, изменяя степень освещенности пленки. Последнее достигается путем изменения *относительного отверстия объектива*, или *диафрагмы*.

*Относительное отверстие объектива* – отношение диаметра объектива к его фокусному расстоянию.

*Диафрагма* представляет собой заслонку, состоящую из нескольких лепестков, образующих в центре объектива более или менее круглое отверстие. Диаметр этого отверстия можно регулировать с помощью специального кольца, расположенного на объективе. Ряд цифровых значений величины диафрагмы имеет следующий вид: 1, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22.

Каждое следующее число больше предыдущего в 1.4 раза и отражает изменение площади поверхности объектива, на которую падает свет, в 2 раза. Число, определяющее площадь объектива, называется *значением диафрагмы (диафрагменным числом)* или просто *диафрагмой*. Разницу между делениями шкалы диафрагм нередко называют ступенями.

Числа на шкале диафрагм характеризуют количество света, пропускаемого объективом. При одном и том же значении диафрагмы любой объектив пропускает примерно одинаковое количество света. Действительный размер отверстия объектива при данном значении диафрагмы непосредственно связан с его фокусным расстоянием, которое определяет формат получаемого на пленке изображения. Чем больше фокусное расстояние объектива, тем больше диаметр отверстия при одной и той же диафрагме. Однако, в конечном счете, интенсивность света, падающего на пленку, одна и та же.

В зависимости от характера снимаемого сюжета сочетания выдержки и диафрагмы могут быть различными.

## Дифракционная решетка

*Дифракция волн* – явление, которое можно рассматривать как отклонение от законов геометрической оптики при распространении волн. В основном понятие «дифракция» относится к огибанию волнами непрозрачных препятствий. В более общем смысле под дифракцией понимают рассеяние волн на резко выраженных неоднородностях среды. В качестве неоднородностей могут выступать узкие щели или малые отверстия (0.1 – 1.0 мм). Дифракция тесно связана с явлением интерференции.

*Интерференция* – наложение волн, при котором происходит их взаимное усиление в одних точках пространства и ослабление в других. Интерферировать могут только когерентные волны (волны, имеющие одинаковую частоту, в которых колебания совершаются вдоль одного и того же направления).

*Дифракционная решетка* – оптический прибор, представляющий собой совокупность большого числа регулярно расположенных штрихов (щелей, выступов), нанесенных на некоторую поверхность. Существуют отражательные (штрихи нанесены на зеркальную поверхность и наблюдение спектров ведется в отраженном свете) и прозрачные (штрихи наносятся на прозрачную поверхность или вырезаются в виде сквозных щелей, наблюдение ведется в проходящем свете).

Пусть свет, падающий на дифракционную решетку, проходит через щель, перпендикулярную штрихам решетки.

При прохождении света через щели на них происходит дифракция, в результате чего свет распространяется по всем направлениям. Фронт световой волны разбивается штрихами решетки на отдельные пучки когерентного света, которые интерферируют друг с другом. В некоторых направлениях световые колебания будут уничтожаться, а в других – сохраняться. Если осветить решетку монохроматическим светом, то на экране, расположенном далеко за щелью, будет видна картина светлых и темных полос, симметрично расположенных относительно светлой центральной, так называемой нулевой, полосы. Если свет смешанный, то каждая длина волны его излучения получит свой максимум, поэтому после прохождения через решетку мы получим совокупность монохроматических (одноцветных) изображений входной щели, расположенных в порядке возрастания длин волн (от фиолетовых волн к красным), т.е. спектр источника света. Спектр нулевого порядка есть изображение щели в смешанном свете. Далее следуют спектры 1, 2 и т.д. порядков, каждый по обе стороны от нормали к решетке. Естественно, каждый следующий спектр будет слабее предыдущего.

Следовательно, дифракционная решетка дает не один, а несколько спектров, что приводит к определенным потерям света по сравнению с применением призмы. Для устранения этого недостатка штрихам решетки придается определенный профиль, такой, что большая часть

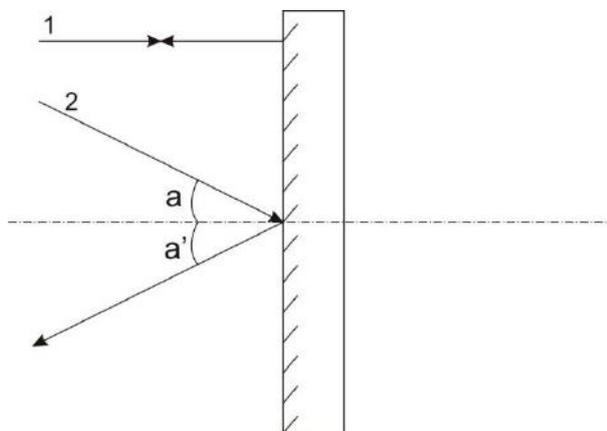
энергии концентрируется в одной спектре, в то время как остальные оказываются сильно ослабленными. Такие решетки называют направленными.

## Зеркало, принцип работы, построения в зеркалах

*Зеркало* – оптическая деталь, имеющая гладкую полированную поверхность правильной формы со специальным покрытием, способную отражать падающий на нее пучок лучей и создавать изображение предметов.

По форме различают *плоские*, *сферические* и *асферические* зеркала. Все зеркала отличаются высокой отражающей способностью.

*Плоское зеркало* представляет собой простейшую оптическую систему. Это единственная система, являющаяся идеальной. Плоские зеркала применяются для изменения направления оптической оси, оборачивания изображения, подсветки и т.д.



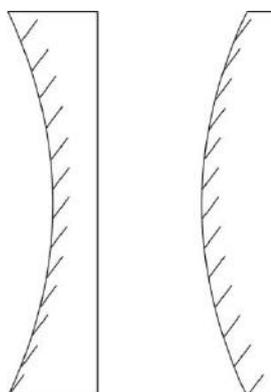
На рисунках зеркала показывается вместе с основанием (подложкой) на которое наносится покрытие. Штриховка под углом  $45^\circ$  означает отражающее покрытие.

Луч 1 параллелен оптической оси, падает по нормали (перпендикулярной прямой) к зеркалу и возвращается обратно по тому же направлению. Плоское зеркало – афокальная система (фокус его находится в бесконечности).

Луч 2 падает на плоское зеркало под углом  $a$  и, в соответствии с законом отражения, отражается под углом  $a'$ , равным углу  $a$ .

Поверхность *сферического* зеркала представляет собой часть сферы. *Сферические* зеркала могут быть вогнутыми или выпуклыми.

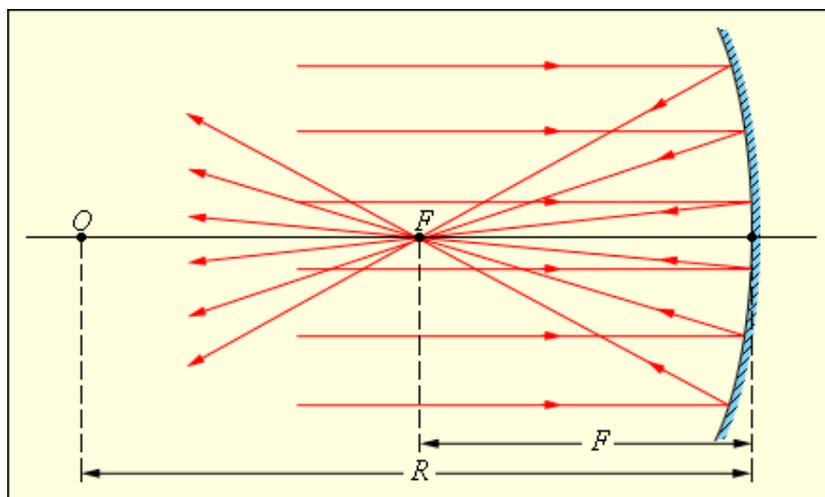
На схеме показаны вогнутое и выпуклое сферические зеркала.



Основной характеристикой сферического зеркала, как и линзы, является *оптическая сила*. Для сферических зеркал фокусное расстояние  $F = R/2$ , где  $R$  – *радиус кривизны сферической поверхности* (радиус сферы, частью которой является поверхность зеркала).

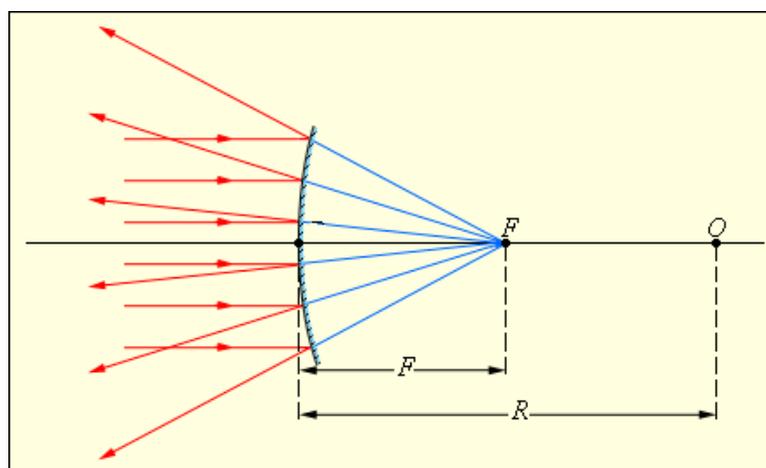
Оптическая ось сферического зеркала проходит через *центр кривизны зеркала* (центр воображаемой сферы, частью которой является поверхность зеркала), на схеме обозначенной т. О. и является его осью симметрии. Вершина сферического сегмента зеркала называется *полюсом* (Р).

У вогнутого сферического зеркала главный фокус *действительный*.



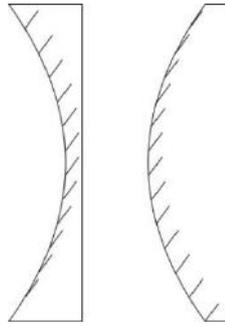
Единственно, необходимо иметь в виду, что отраженные лучи пересекаются примерно в одной точке, если падающий пучок параллельных лучей был достаточно узким.

Главный фокус выпуклого зеркала является мнимым. Если на выпуклое зеркало падает пучок лучей, параллельных главной оптической оси, то после отражения в фокусе пересекутся не сами лучи, а их продолжения.



Фокусным расстояниям сферических зеркал приписываются определенные знаки: для вогнутого зеркала  $F > 0$ , для выпуклого  $-F < 0$ .

Помимо сферических зеркал существуют и асферические. Поверхность асферического зеркала в разрезе представляет собой не часть дуги окружности, а параболу или гиперболу. В остальном асферические зеркала сходны со сферическими.

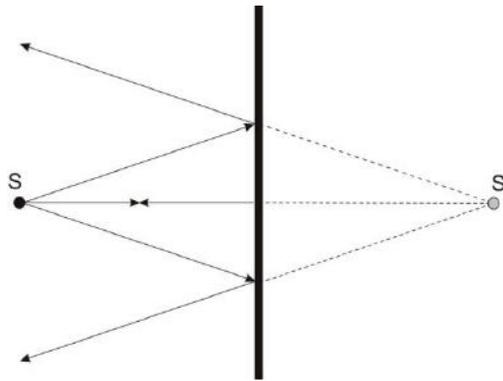


Асферические зеркала тоже бывают вогнутыми и выпуклыми (см. рисунок).

Сферические и асферические зеркала применяются отдельно, образуя оптическую систему, или входят в состав зеркальных или зеркально-линзовых систем различного назначения. Самым известным применением этих зеркал являются астрономические телескопы.

### Построение изображений с помощью зеркал.

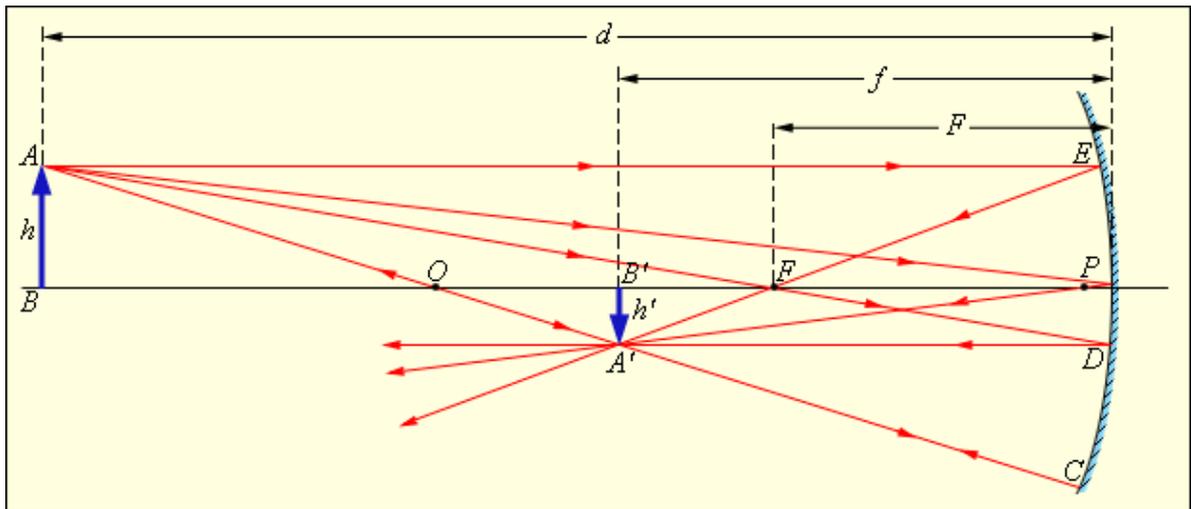
Изображение предмета, даваемое плоским зеркалом, формируется за счет лучей, отраженных от зеркальной поверхности. Это изображение является *мнимым*, т.к. оно образуется пересечением не самих отраженных лучей, а их продолжений.



На схеме точка  $S'$  является мнимым изображением точки  $S$ . Вследствие закона отражения света мнимое изображение располагается симметрично действительному относительно зеркальной поверхности. Размер изображения равен размеру предмета.

Изображение какой-либо точки  $A$  в сферическом зеркале можно построить с помощью одной из четырех пар лучей (см. схему):

- луч  $AOC$ , проходящий через центр кривизны зеркала, отраженный луч  $COA$  идет по той же траектории;
- луч  $AFD$ , идущий через фокус зеркала; отраженный луч  $DFA$  идет параллельно главной оптической оси;
- луч  $AE$ , параллельный главной оптической оси; отраженный луч  $EFA_1$  проходит через фокус зеркала;
- луч  $AP$ , падающий на зеркало в его полюсе; отраженный луч симметричен с падающим относительно главной оптической оси.



Отрезок  $A'B'$  на схеме является изображением отрезка  $AB$ . Здесь  $f$  – расстояние от полюса зеркала до изображения предмета. Все перечисленные стандартные лучи выходят из точки  $A$  и сходятся в точке  $A'$ , которая является изображением точки  $A$ . Такой ход лучей, при которой все лучи, вышедшие из одной точки, собираются в другой точке, называются *стигматическим*.

Для случая выпуклого зеркала построения будут аналогичны, только изображение предмета окажется мнимым.

Если проводить аналогию с линзами, то вогнутое сферическое зеркало соответствует собирающей линзе, а выпуклое – рассеивающей.

Схема построения изображения в асферических зеркалах будет аналогичны схеме построения изображения в сферических.

Положение изображения и его размер можно так же определить с помощью *формулы сферического зеркала*:

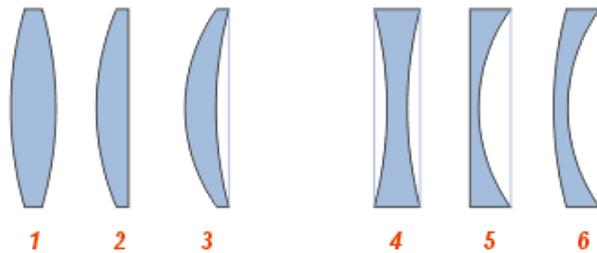
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

Здесь  $d$  – расстояние от предмета до зеркала,  $f$  – расстояние от зеркала до изображения. Величины  $d$  и  $f$  подчиняются определенному правилу знаков: для действительных изображений  $d > 0$ ,  $f > 0$ ; для мнимых изображений  $d < 0$ ,  $f < 0$ .

## Линза, принцип работы, построение изображений в линзах, формула линзы

*Линза* – оптическая деталь, ограниченная двумя преломляющими поверхностями, имеющими сферическую (или асферическую) форму, причем одна из поверхностей может быть плоской.

В зависимости от характера поверхности линзы делят на *собирающие* (положительные) *линзы* (двояковыпуклые, плосковыпуклые, вогнуто-выпуклые) и *рассеивающие* (отрицательные) *линзы* (двояковогнутые, плосковогнутые, выпукло-вогнутые). Средняя часть у собирающих линз толще, а у рассеивающих линз тоньше, чем края.



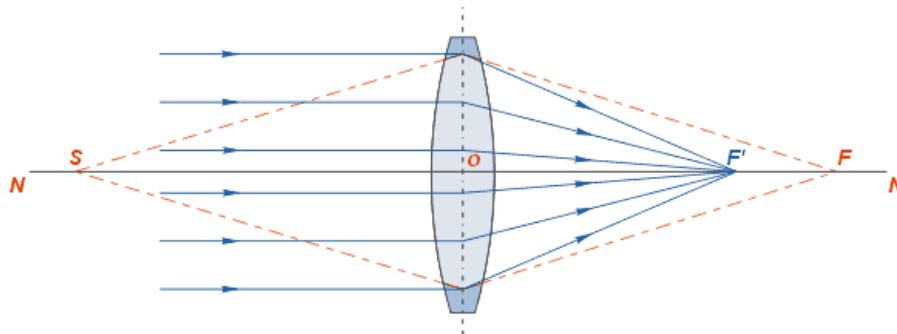
На рисунке показаны виды линз:

1. Двояковыпуклая
2. Плосковыпуклая
3. Вогнуто-выпуклая (положительный мениск)
4. Двояковогнутая
5. Плосковогнутая
6. Выпукло-вогнутая (отрицательный мениск)

Радиусы сферических поверхностей линзы называются *радиусами кривизны линзы*.

Отличительным свойством *собирающей линзы* является способность собирать падающие на ее поверхность лучи в одной точке, расположенной на другой стороне линзы.

*Основные элементы* линзы представлены на следующем рисунке. Ход лучей на схеме представлен как в идеализированной плоской линзе



На схеме:

NN – главная оптическая ось линзы, которая представляет собой прямую линию, проходящую через центры сферических поверхностей, ограничивающих линзу;

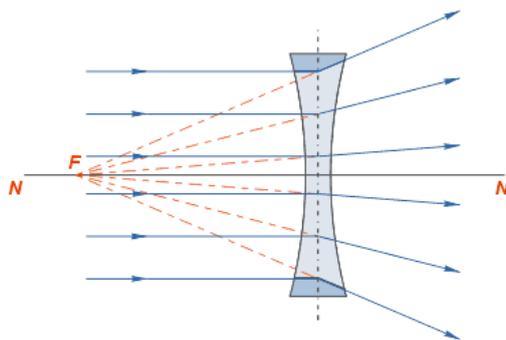
O – оптический центр линзы.

Если на некотором расстоянии перед собирающей линзой поместить светящуюся точку S, то луч света, направленный по оси, пройдет через линзу не преломившись, а лучи, проходящие не через центр, будут преломляться в сторону оптической оси и пересекутся на ней в некоторой точке F, где и будет построено линзой изображение точки S. Точка F носит название *сопряженного фокуса линзы*.

Если на линзу будет падать свет от очень удаленного источника, то лучи от него можно представить идущими параллельно (в виде параллельного пучка). На выходе из линзы лучи переломятся под большим углом, чем в предыдущем случае, и точка F переместится ближе к линзе. Точка F' будет носить название *действительного главного фокуса линзы*. Расстояние от центра линзы до главного фокуса – *главное фокусное расстояние*.

Величина главного фокусного расстояния зависит от радиусов кривизны линзы и показателя преломления стекла.

Лучи, падающие на *рассеивающую линзу*, по выходе из нее будут преломляться в направлении краев линзы, т.е. рассеиваться. Если эти лучи продолжить в обратном направлении так, как показано на следующем рисунке пунктирной линией, то они сойдутся в одной точке F, которая называется *мнимым фокусом* данной линзы.



Сказанное о фокусе на главной оптической оси в равной степени относится и к тем случаям, когда изображение точки находится на *наклонной оптической оси* (линия, проходящая через центр линзы под углом к главной оптической оси). Плоскость, перпендикулярная к главной оптической оси, расположенная в главной фокусе линзы, называется *главной фокальной плоскостью*, а в сопряженном фокусе – просто *фокальной плоскостью*.

Собирающие линзы могут быть направлены к предмету любой стороной, вследствие чего лучи по прохождению через линзу могут собираться как с одной, так и с другой стороны. Поэтому линза имеет два фокуса – *передний* и *задний*. Расположены они на оптической оси по обе стороны линзы на фокусном расстоянии от центра линзы.

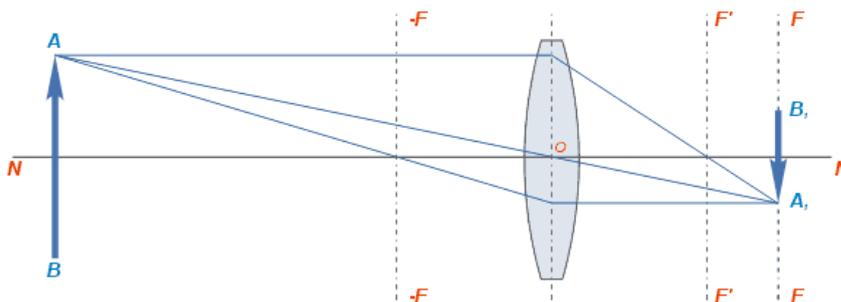
Линзы характеризуются, как правило, своей *оптической силой* (измеряется в диоптриях) или *фокусным расстоянием*, а также *апертурой*.

*Оптическая сила* линзы - величина, характеризующая преломляющую способность осесимметричных линз и систем таких линз, обратно пропорциональная ее фокусному расстоянию.

Апертура – действующее отверстие оптической системы. Т.е. это та поверхность линзы, на которую падает свет.

### Построение изображения в линзе

Построение линзой изображения предметов, имеющих форму и размеры, получается следующим образом. Допустим, линия АВ представляет собой объект, находящийся на некотором расстоянии от линзы, значительно превышающем ее фокусное расстояние. От каждой точки предмета через линзу пройдет бесчисленное множество лучей, из которых, для наглядности, на рисунке изображено только три.



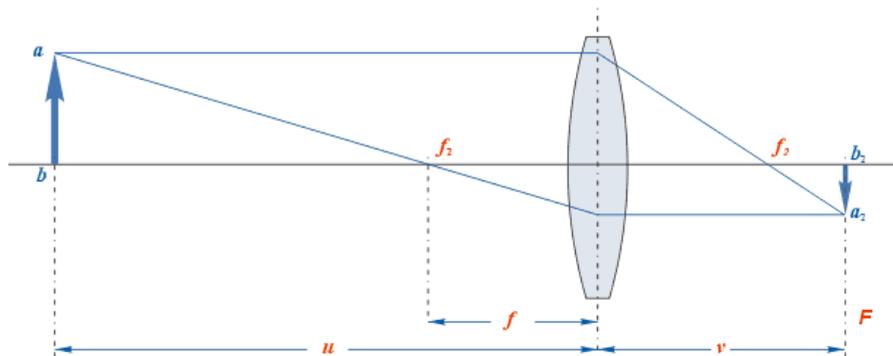
Три луча, исходящие из точки А, пройдут через линзу и пересекутся в соответствующих точках схода на  $A_1B_1$ . Оно будет уменьшенным и перевернутым.

Один луч пройдет параллельно главной оптической оси и пересечет задний главный фокус  $F'$  (здесь  $F'F'$  – задняя главная фокальная плоскость) после преломления. Второй пройдет через главный передний фокус  $-F$  ( $-F-F$  – передняя главная фокальная плоскость), и после преломления станет параллельным главной оптической оси. Третий луч проходит через оптический центр линзы без преломления.

В данном случае изображение получено в сопряженном фокусе в некоторой фокальной плоскости FF, несколько удаленной от главной фокальной плоскости F'F', проходящей параллельно ей через главный фокус.

### Формула линзы

Расстояние от точки предмета до центра линзы ( $u$ ) и от точки изображения до центра линзы ( $v$ ) называются *сопряженными фокусными расстояниями*.



Эти величины находятся в зависимости между собой и определяются формулой, называемой *формулой тонкой линзы*:

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

Здесь  $f$  – главное фокусное расстояние.

Знаки  $u$ ,  $v$ ,  $f$  выбираются, исходя из следующих соображений. Для действительного изображения от действительного предмета в собирающей линзе все эти величины положительны. Если изображение мнимое, расстояние до него принимается отрицательным, если предмет мнимый – расстояние до него отрицательно, если линза рассеивающая – фокусное расстояние отрицательно.

Увеличение расстояния от предмета до линзы влечет за собой уменьшение расстояния от линзы до его изображения, и наоборот. Указанное условие обеспечивается фокусировкой объектива фотоаппарата перед съемкой.

## Оптическая схема большого телескопа «Веги»

Большой телескоп был установлен в башне обсерватории «Вега» в конце 1988 году. Его привез бывший веговец Олег Александрович Ивлев из обсерватории, расположенной на горе Майданак (Узбекистан).

Оптическая схема телескопа двухзеркальная, т.е. включает в себя два зеркала.

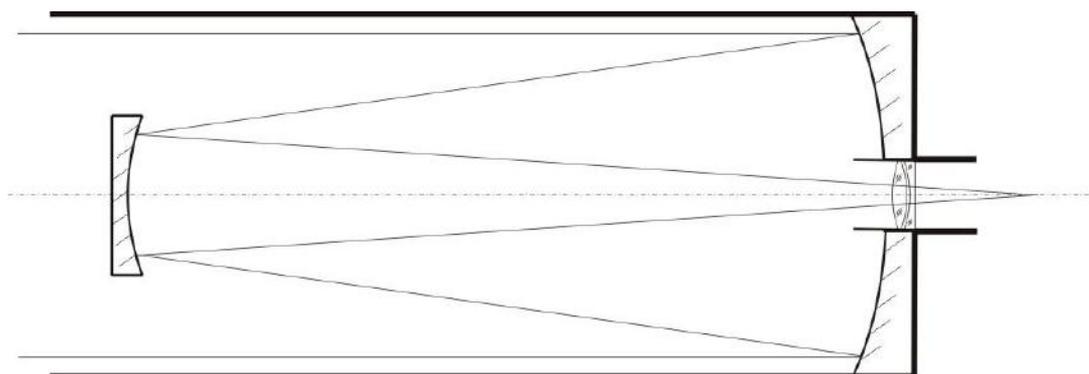
Главный телескоп «Веги» представляет собой *двухзеркальную систему* (изображение объекта строится с помощью двух зеркал). Лучи от звезд параллельными пучками падают на первое зеркало, называемое *главным*. От него они отражаются на второе, обычно называемое *вторичным*. Общее фокусное расстояние телескопа (фокусное расстояние системы из двух зеркал) называется *эквивалентным фокусным расстоянием*.

Существует несколько разновидностей двухзеркальных оптических систем.

В большом телескопе «Веги» реализована система Ричи-Кретьена. Она является одной из самых распространенных оптических систем. Система Ричи-Кретьена является *апланатической* (система, где устранена кома – одна из разновидностей геометрических аберраций, которая выражается в том, что изображение точки строится в виде размытого пятна).

В системе Ричи – Кретьена оба зеркала телескопа имеют гиперболическую форму, т.е. поверхность зеркала представляет собой не часть сферы, а гиперboloид вращения (он образуется,

если поворачивать гиперболу вокруг ее оси симметрии), но главное зеркало телескопа вогнутое, а вторичное - выпуклое.



Для исправления геометрических aberrаций, возникающих в зеркальных системах, телескоп снабжен *линзовым корректором*, расположенным в центральном отверстии главного зеркала. Корректор состоит из нескольких линз различной формы с асферическими поверхностями (т.е. поверхности линз не являются частями сферы). Такой тип корректоров называется *корректором Гаскойна*.

Два зеркала и линзовый корректор составляют *объектив*. Но у телескопа имеется еще и *окуляр*, который предназначен для рассматривания изображения, построенного объективом.

Увеличение телескопа рассчитывается по формуле  $n = F/f$ , где  $F$  – фокусное расстояние объектива, а  $f$  – фокусное расстояние окуляра. Логично, что, для того, чтобы изменить увеличение телескопа, необходимо поменять окуляр, т.к. фокусное расстояние объектива изменить невозможно. Поэтому в визуальных телескопах имеется возможность смены окуляров.

В принципе, большой телескоп МАЦ «Вега» использовался не только для визуальных наблюдений. Кружковцы обсерватории неоднократно модернизировали телескоп, устанавливая в главном фокусе телескопа фотоаппарат, видеокамеру, web-камеру для получения изображений небесных объектов.

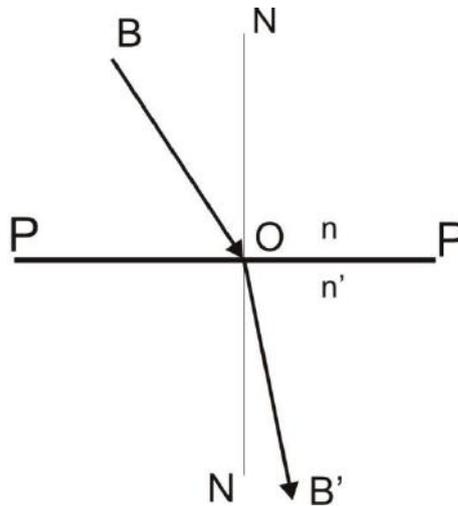
## Основные законы геометрической оптики

Закон прямолинейного распространения света: в однородной и изотропной среде оптическое излучение распространяется по прямой, представляющей собой геометрический луч.

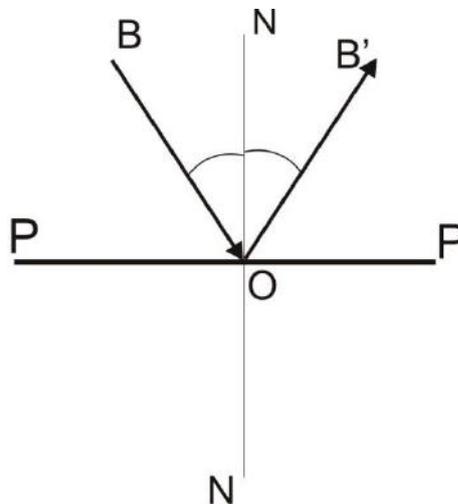
*Изотропной* называется среда, свойства которой одинаковы во всех направлениях.

Закон независимого распространения света: отдельные лучи не влияют друг на друга и распространяются в среде так, как будто других лучей не существует.

Закон преломления: луч ВО, падающий на границу РР раздела двух сред с показателями преломления  $n$  и  $n'$  ( $n < n'$ ), преломленный луч ОВ' и нормаль NN (перпендикулярная прямая) к поверхности раздела РР в точке падения (т. О) лежат в одной плоскости.



Закон отражения: падающий луч  $BO$ , нормаль  $NN$  к отражающей поверхности  $PP$  в точке падения (т.  $O$ ), отраженный луч  $OB'$  лежат в одной плоскости. Угол падения  $BON$  равен углу отражения  $NOB'$ .



Закон (принцип) обратимости: геометрический луч проходит через прозрачные среды в прямом и обратном направлениях по одному и тому же пути.

## ПЗС-матрица

ПЗС-матрица является электронным устройством, содержащим огромное количество светочувствительных элементов. Слово ПЗС является аббревиатурой словосочетания «прибор с зарядовой связью».

Каждая светочувствительная ячейка (пиксель) способна накапливать электрический заряд, который образуется в результате воздействия на нее света. Чем интенсивнее световой поток во время экспозиции, тем выше итоговый заряд данного пикселя. Итоговый заряд фиксируется в виде цифрового кода, с помощью которого фотография впоследствии может быть представлена на экране компьютера или бумаге.

В ПЗС-матрицах могут находиться миллионы светочувствительных ячеек, причем, чем этих ячеек больше, тем выше разрешение матрицы, а, соответственно, и качество получаемого изображения.

## ПЗС – линейка

Если пиксели выстроены в один ряд, то приемник называется ПЗС-линейкой. Основная сфера применения линейных световоспринимающих устройств – сканеры и научно-исследовательское оборудование.

## Призма, разложение света в спектр, спектр видимого диапазона.

*Преломление (дифракция)* – явление изменения пути следования светового луча (или других волн), возникающее на границе раздела двух прозрачных (проницаемых для этих волн) сред или в толще среды с непрерывно изменяющимися свойствами.

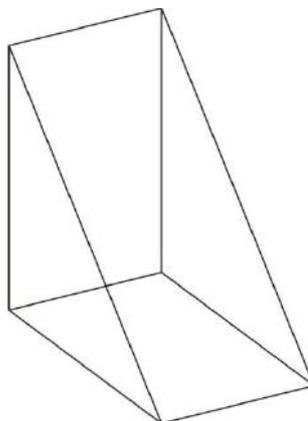
Преломление свойственно многим видам излучения различной природы, например, электромагнитным и звуковым волнам. Преломление возникает, когда скорость движения волн в контактирующих средах различается.

Для характеристики величины преломления волны вводится понятие «*показатель преломления*» ( $n$ ). Это величина, равная отношению скоростей волн в вакууме ( $c$ ) и рассматриваемой среде ( $v$ ).

$$n = \frac{c}{v}$$

### Призма

*Призма* – оптическая деталь, ограниченная преломляющими и отражающими плоскостями (гранями), расположенными под углом друг к другу.



Призма

Призма имеет не менее двух преломляющих поверхностей (или преломлений через одну и ту же грань).

Основными видами призм являются *отражательные* и *преломляющие (спектральные или диспергирующие)*.

*Отражательные* призмы имеют хотя бы одну отражающую грань. В оптических приборах с помощью отражательных призм или призмных систем можно изменить направление оптической оси для уменьшения размеров прибора, сместить оптическую ось параллельно самой себе или перевернуть изображение.

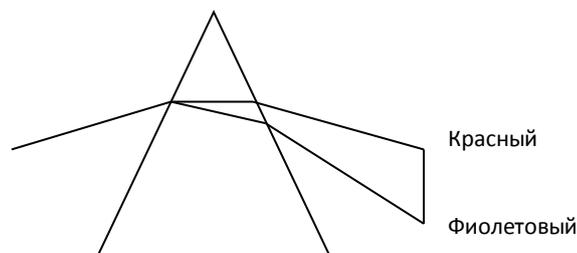
*Преломляющие* призмы служат для разложения в спектр оптического излучения, поступающего в призму. Призмы такого типа, как правило, используют в спектральных приборах.

### Дисперсия

*Дисперсия* – явление зависимости абсолютного показателя преломления вещества от длины волны света.

Один из самых наглядных примеров дисперсии – разложение белого света на цветные составляющие (красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый) при прохождении его через призму. При этом получается так называемый *спектр видимого излучения*.

Сущностью явления *дисперсии* является неодинаковая скорость распространения лучей света с различной длиной волны в прозрачном веществе – оптической среде (в вакууме скорость света всегда одинакова, независимо от длины волны и, следовательно, цвета). Обычно, чем больше частота волны, тем больше показатель преломления среды и меньше скорость света в ней. Поэтому у красного света максимальная скорость распространения в среде и минимальный показатель преломления, у фиолетового – минимальная скорость распространения в среде и максимальный показатель преломления.



Белый свет разлагается на составляющие при прохождении не только призмы, но и дифракционной решетки.

Дисперсия света по длинам волн на его составляющие лежит в основе *спектрального анализа* и осуществляется при помощи спектральных аппаратов (*спектроскопов*), в которых разложение света выполняется с помощью призм или дифракционных решеток.

### **Дифракция и интерференция**

*Дифракция волн* – явление, которое можно рассматривать как отклонение от законов геометрической оптики при распространении волн. В основном понятие «дифракция» относится к огибанию волнами непрозрачных препятствий. В более общем смысле под дифракцией понимают рассеяние волн на резко выраженных неоднородностях среды. В качестве неоднородностей могут выступать узкие щели или малые отверстия (0.1 – 1.0 мм). Дифракция тесно связана с явлением интерференции.

*Интерференция* – наложение волн, при котором происходит их взаимное усиление в одних точках пространства и ослабление в других. Интерферировать могут только когерентные волны (волны, имеющие одинаковую частоту, в которых колебания совершаются вдоль одного и того же направления).

### **Дифракционная решетка**

*Дифракционная решетка* – оптический прибор, представляющий собой совокупность большого числа регулярно расположенных штрихов (щелей, выступов), нанесенных на некоторую поверхность. Существуют отражательные (штрихи нанесены на зеркальную поверхность и наблюдение спектров ведется в отраженном свете) и прозрачные (штрихи наносятся на прозрачную поверхность или вырезаются в виде сквозных щелей, наблюдение ведется в проходящем свете).

Пусть свет, падающий на дифракционную решетку, проходит через щель, перпендикулярную штрихам решетки.

При прохождении света через щели на них происходит дифракция, в результате чего свет распространяется по всем направлениям. Фронт световой волны разбивается штрихами решетки на отдельные пучки когерентного света, которые интерферируют друг с другом. В некоторых направлениях световые колебания будут уничтожаться, а в других – сохраняться. Если осветить решетку монохроматическим светом, то на экране, расположенном далеко за щелью, будет видна

картина светлых и темных полос, симметрично расположенных относительно светлой центральной, так называемой нулевой, полосы. Если свет смешанный, то каждая длина волны его излучения получит свой максимум, поэтому после прохождения через решетку мы получим совокупность монохроматических (одноцветных) изображений входной щели, расположенных в порядке возрастания длин волн (от фиолетовых волн к красным), т.е. спектр источника света. Спектр нулевого порядка есть изображение щели в смешанном свете. Далее следуют спектры 1, 2 и т.д. порядков, каждый по обе стороны от нормали к решетке. Естественно, каждый следующий спектр будет слабее предыдущего.

Следовательно, дифракционная решетка дает не один, а несколько спектров, что приводит к определенным потерям света по сравнению с применением призмы. Для устранения этого недостатка штрихам решетки придается определенный профиль, такой, что большая часть энергии концентрируется в одной спектре, в то время как остальные оказываются сильно ослабленными. Такие решетки называют направленными.

## Проявление и фиксирование фотопленок

После экспонирования фотографический материал подвергается химико-фотографической обработке для превращения *скрытого фотографического изображения* в видимое, усиления его и обеспечения стабильности изображения.

В результате обработки кристаллы галогенидов серебра, подвергшиеся действию света, превратятся в металлическое серебро; на пластинке или пленке появится *проявленное изображение*. Это будет *негативное изображение*: металлическое серебро в состоянии мелких зерен, взвешенных в желатине, выглядит черным и, следовательно, все светлые части предметов будут на фотографическом изображении выглядеть черными.

Изображение, которое видно на цветном негативе, окрашено в дополнительные цвета по отношению к объекту (желтый, пурпурный, голубой).

После этого необходимо лишить фотоэмульсию способности воспринимать свет, что достигается обработкой фотопластинки или фотопленки в растворе, вымывающем все кристаллы галогенидов серебра, оставшиеся в эмульсии неразложенными. Такой процесс называется *фиксированием фотографического изображения*.

В конце пластинку или пленку тщательно отмывают в проточной воде от различных веществ, оставшихся в эмульсии и не участвовавших в образовании изображения. Если этого не сделать, негативы могут испортиться с течением времени и стать непригодными для дальнейшего использования.

После промывки фотографическая пленка (пластинка) сушится. В сухом виде эмульсионный слой довольно прочен и фотопластинка может храниться в течение многих десятилетий и быть готовой к повторному рассмотрению или измерению.

## Светофильтры

*Светофильтром* называется оптическая среда, изменяющая спектральный состав проходящего через нее света. Светофильтры, применяемые в фотографии, подразделяются на цветные, нейтрально-серые и поляризационные.

Действие светофильтра заключается в пропускании лучей определенных цветов (электромагнитных колебаний определенной длины волны) и поглощении других.

Существует понятие *кратности светофильтра*. Это степень поглощения света светофильтром.

*Цветные светофильтры* имеют избирательное поглощение света. В зависимости от компонентов, входящих в их состав, они по-разному изменяют проходящий через них свет.

В научных исследованиях применяются в основном монохроматические фильтры, которые пропускают и отражают лучи в узкой спектральной зоне.

При выборе светофильтра необходимо учитывать, что желаемый эффект может быть получен только в том случае, если съемочный материал чувствителен к цветам, проходящим через данный светофильтр.

*Нейтрально-серые светофильтры* предназначены для уменьшения количества света, проходящего на фотослой, без избирательного поглощения. Они применяются в случаях, когда невозможно уменьшить экспозицию путем диафрагмирования объектива, а также в макро- и микроустройствах, спектрофотометрических или фотометрических приборах. Нейтральные светофильтры не влияют на спектральную чувствительность.

*Поляризационные светофильтры* предназначены для *поляризации* света - выделение и избирательное пропускание световых волн в определенной плоскости. При этом они не изменяют спектрального состава проходящего через них света.

## **Солнечный телескоп, назначение, типы, оптические схемы**

Солнце – центральная звезда Солнечной системы и самый яркий объект на земном небе. Поэтому наблюдать Солнце в обычные телескопы достаточно проблематично.

Наблюдения Солнца имеют ту особенность, что яркость Солнца очень велика, поэтому светосила телескопов может быть небольшой. Гораздо важнее получить как можно больший масштаб изображения, и для достижения этой цели солнечные телескопы имеют очень большие фокусные расстояния (метры и десятки метров).

При этом возникает проблема перемещения телескопа и слежение его за быстро движущимся Солнцем. Традиционные экваториальные и горизонтальные монтажки для этого неудобны.

Поэтому для наблюдений Солнца созданы специальные солнечные телескопы. Солнечный свет с помощью системы зеркал направляется на неподвижное главное зеркало, которое строит изображение Солнца на экране. Часто в главном фокусе солнечного телескопа устанавливают научные приборы для исследования солнечного излучения.

Инструмент, с помощью которого обеспечивается неподвижность Солнца, называется *целостатом*. Его главная часть – вращающееся плоское зеркало, которое перемещается за Солнцем. Отраженные от него солнечные лучи направляются на второе плоское зеркало, которое уже отражает их на главное зеркало телескопа.

В зависимости от направления главной оптической оси телескопа различают вертикальные (башенные) и горизонтальные солнечные телескопы.

*Горизонтальные солнечные телескопы* достаточно легко построить, т.к. все его детали находятся на оси, примерно параллельной поверхности земли. В принципе, с ним и работать достаточно просто. Но в стационарных условиях (т.е. когда телескоп никуда не перемещают) горизонтальный солнечный телескоп не является наилучшим вариантом. В приземных слоях воздуха (и внутри телескопа) в солнечную погоду наблюдается сильная турбулентция, что резко снижает качество изображения, которое дает телескоп.

Гораздо лучше, если отраженный луч идет вертикально вниз с высокой башни, несущей целостат. В этом случае реализуется конструкция *вертикального солнечного телескопа*. Здесь потоки воздуха внутри телескопа перемещаются почти параллельно лучам света и меньше влияют на изображение. Поэтому сильное влияние приземных слоев воздуха снижается, но зато появляются сильные вибрации, связанные с микросейсмическими явлениями (колебаниями и сотрясениями почвы и верхних слоев литосферы) и переменной ветровой нагрузкой (с

увеличением высоты ветер усиливается и воздействует на башню телескопа, имеющую большую площадь поверхности). Для уменьшения этих воздействий башня солнечного телескопа, как правило, имеет сложное строение и состоит из двух частей, внешней и внутренней. Внешняя конструкция несет купол целостата и защищает внутреннюю от ударов ветра и температурных воздействий. На внутренней конструкции находится площадка, на которой монтируется целостат, вспомогательное зеркало и главное зеркало телескопа.

Солнечные телескопы являются рефлекторами, т.е. объектив телескопа состоит из системы зеркал.

## Спектральный анализ

Как известно, свет представляет собой электромагнитные волны. При этом диапазон длин волн видимого света довольно узок – от 390 до 760 нм. Но зато наблюдения видимого излучения наиболее доступны для астрономов и не требуют создания специального оборудования. Тем более, земная атмосфера лучше всего пропускает как раз видимый свет.

При проведении астрофизических наблюдений и измерений, относящихся к звездам и в меньшей мере к Солнцу и планетам, весьма важным является спектральный состав излучения исследуемых тел.

Как правило, в излучении звезд и других космических объектов встречаются лучи всех цветов. Но количество энергии, излучаемое объектом, на разных длинах волн неодинаково.

График зависимости интенсивности излучения от длины волны называется *спектром излучения*, а метод определения свойств источника по спектру его излучения – *спектральным анализом*.

Нагретые твердые и жидкие тела обладают *сплошным* или *непрерывным спектром*. Так называется спектр, в котором присутствует излучение любой частоты или длины волны, без резкого ослабления или усиления интенсивности в отдельных его участках. Достаточно плотный нагретый газ или разреженный газ, но образующий плотный слой, также дает сплошной спектр.

Чем выше температура излучающего тела, тем более коротковолнового излучения оно посылает. Тело, нагретое до 500° С, глаз способен различать в темноте как самосветящееся, при дальнейшем повышении температуры тело излучает с заметной интенсивностью сначала только красный цвет, затем к нему присоединяется цвет оранжевый, желтый и т.д. Гармоничное излучение света во всех доступных глазу участках спектра производит впечатление белого света. Солнечный свет мы называем белым. Однако звезда, у которой спектральный состав излучения подобен составу солнечного света, кажется нам желтой (например, Капелла). Белой нам кажется звезда, более богатая излучением в голубом, синем, фиолетовом и ультрафиолетовом участках спектра, нежели Солнце (например, Вега). Это, несомненно, более горячая звезда, а самые горячие звезды представляются нам голубовато-белыми (например, Ригель). Ясно, что субъективные ощущения цвета и распределение энергии в спектрах звезд тесно между собой связаны.

Звездные спектры не являются сплошными – они пересечены многочисленными темными линиями (и комплексами линий - полосами), так называемыми *фраунгоферовыми линиями*, наличие которых указывает на то, что в некоторых определенных местах спектра, т.е. на определенных длинах волн (частотах), излучение звезды в какой-то степени ослаблено сравнительно с соседними местами непрерывного спектра. Фраунгоферовы линии (полосы) называются иначе *линиями (полосами) поглощения*.

Нагретые до свечения разреженные газы имеют спектр, состоящий из разрозненных светлых спектральных линий или полос на темном фоне, т.е. сплошной спектр отсутствует. Если же на оптической оси спектроскопа за нагретым газом поставить еще более горячий источник, дающий сплошной спектр, например, раскаленное твердое тело, то в результате спектр системы действительно будет тоже сплошным, но все светлые линии, сохранив свое положение в спектре

(т.е. свою длину волны). В данном случае газ поглотил то излучение более горячего твердого тела, которое он может испускать, беспрепятственно пропустив остальное излучение.

Основой спектрального анализа стал тот факт, что длина волны каждой линии испускания или заменяющей ее линии поглощения строго определенная и является безупречной характеристикой атомов данного элемента. Поэтому говорят, что такие-то линии (полосы) «принадлежат» данному химическому элементу (молекуле). Присутствие светлых или темных линий в спектре какого-либо источника света является бесспорным доказательством наличия в источнике того или иного элемента или химического соединения.

Темные линии в спектрах звезд и Солнца возникают потому, что непрерывное излучение внутренних раскаленных областей проходит через более холодную внешнюю газовую оболочку светила. Исследуя спектры различных химических элементов, можно определить положение их спектральных линий. Зная положение линий, можно найти их в спектре Солнца или другой звезды и тем самым выявить ее химический состав. Фраунгоферовы линии в спектре звезды позволяют судить не только о химическом составе атмосферы звезды, но и о физическом состоянии содержащихся в ней химических элементов. Например, наличие полос поглощения, присущих тем или иным химическим соединениям, указывает на существование атомов, связанных в молекулы.

В других случаях наблюдаются линии, принадлежащие данному элементу не в его нормальном состоянии, а в так называемом *ионизованном* состоянии, когда соответствующие атомы лишены одного или нескольких внешних электронов, входящих в состав электронной оболочки данного атома. Нормальный атом называется *нейтральным*, принадлежащие ему спектральные линии сопровождаются (после написания ее длины волны, выраженной в ангстремах) химическим символом элемента с прибавлением римской цифры I (например, He I). Линии, принадлежащие ионизованному атому – иону данного элемента, обозначаются тем же химическим символом с прибавлением римской цифры II для однократно ионизованного атома, III – для дважды ионизованного и т.д.

Спектры звезд чрезвычайно разнообразны. Как это всегда бывает при изучении большого числа однородных объектов, появляется потребность в их классификации по тому или иному признаку. Естественно, возникла необходимость в *спектральной классификации звезд*, основанной на различиях проявления существенных признаков, характеризующих спектр звезды. Были установлены *спектральные классы звезд*. В настоящее время общепринятой считается *гарвардская классификация звездных спектров*.

## Строение атома

*Атом* – наименьшая часть химического элемента, которая определяет его свойства.

Атом состоит из ядра и вращающихся вокруг него электронов.

*Атомное ядро* – центральная, наиболее тяжелая, часть атома. Структура и состав ядра определяют химический элемент, к которому относится атом.

*Ядро* состоит из особых частиц, называемых *нуклонами* (от греческого слова «нуклеос» - ядро), которые связаны между собой при помощи сильного взаимодействия. Нуклоны бывают двух типов – протоны и нейтроны.

*Протоны* (от греческого слова «протос» - основной, первый) – элементарные частицы, имеющие небольшой положительный электрический заряд. Масса протона примерно составляет  $1.7 \cdot 10^{-27}$  кг.

*Нейтроны* (от латинского слова «neutral» - неопределенный, нейтральный) – элементарные частицы, не имеющие заряда. Масса нейтрона примерно равна массе протона.

*Электрон* – стабильная элементарная частица, одна из основных структурных составляющих вещества, обладающая отрицательным электрическим зарядом, равным заряду

протона. Масса электрона примерно  $9.1 \cdot 10^{-31}$  кг. Электроны перемещаются вокруг атомного ядра по сложным неопределенным трехмерным траекториям (орбиталям), создавая вокруг него электронное облако.

Существует некоторый набор устойчивых *орбиталей*, на которых электроны находятся дольше всего.

При этом каждой орбитали соответствует определенный уровень энергии, которым обладает электрон. Электрон может переходить с одного уровня на другой. Чтобы перейти на уровень с большей энергией, ему нужно поглотить порцию энергии в виде фотона (частица светового излучения). Аналогично, излучив фотон, электрон может оказаться на более низком энергетическом уровне (уровне с меньшей энергией). При этом энергия фотона будет равна разности энергий электрона на этих уровнях.

В промежутках между энергетическими уровнями электроны находиться не могут, поэтому они получили название *запрещенные энергетические уровни*.

Чтобы электрон смог преодолеть притяжение ядра, ему необходимо передать энергию от внешнего источника. Естественно, чем ближе электрон находится к ядру, тем больше энергии для этого необходимо.

Количество протонов в ядре атома называется его зарядовым числом, которое равно порядковому номеру элемента в таблице Менделеева. Количество протонов в ядре полностью определяет структуру электронной оболочки нейтрального атома (количество электронов должно быть равно количеству протонов) и, таким образом, химические свойства соответствующего элемента.

В обычном атоме количество протонов и нейтронов в ядре должно быть одинаково. Но физики выделяют так называемые *изотопы* – атомы, принадлежащие одному элементу, с одинаковым количеством протонов, но разным числом нейтронов.

Полное количество нуклонов в ядре называют его массовым числом, и оно приблизительно равно средней массе атома, которое указывается в таблице Менделеева.

Если число протонов совпадает с числом электронов, то атом является электрически нейтральным. Если электронов больше или меньше, чем протонов, то атом называется *ионом*. Если электронов больше, чем протонов, то ион будет иметь отрицательный электрический заряд, если меньше – то положительный.

Атомы не имеют отчетливой внешней границы, поэтому их размеры определяются по расстоянию между ядрами соседних атомов, которые образовали химическую связь. Радиус зависит от положения атома, его типа, вида химической связи, числа ближайших атомов и т.п. В периодической системе элементов (периодическая таблица Менделеева) размер атома увеличивается сверху вниз по столбцу и уменьшается при движении по строке слева направо. Поэтому самым маленьким является атом гелия ( $32 \cdot 10^{-12}$  м), а самым большим – атом цезия ( $225 \cdot 10^{-12}$  м). Атомы невозможно увидеть в оптический микроскоп, т.к. их размеры гораздо меньше длины волны света.

Атомы различного вида в различных количествах, связанные межатомными связями, образуют молекулы.

## Телескопы

*Телескоп* – астрономический прибор, который собирает и фокусирует электромагнитное излучение от небесных объектов. Слово «телескоп» образовано от сочетания двух греческих слов: «теле» - далеко, и «скопео» - смотрю, и, следовательно, обозначает «смотреть далеко».

Существуют различные типы телескопов в зависимости от интервала электромагнитных волн, в которых они могут получать информацию о космических объектах: гамма-телескопы, рентгеновские, ультрафиолетовые, оптические, инфракрасные и радиотелескопы.

Для небольших обсерваторий и любителей астрономии наиболее доступными, удобными и простыми в применении являются оптические телескопы, т.е. работающие в видимой области спектра.

Оптический телескоп представляет собой трубу, установленную на специальной монтировке. В трубе размещены оптические детали, необходимые для собирания света, идущего от космических объектов, и построения их увеличенного изображения. Оптическая схема любого телескопа включает в себя объектив и окуляр.

В оптике объективом называют оптическую деталь, собирающую свет и создающую изображение, которое затем рассматривается через окуляр. Окуляр, как правило, состоит из нескольких линз. В оптических телескопах, предназначенных для специальных научных исследований, окуляр может быть заменен каким-либо прибором (ПЗС-матрицей, спектрографом, ФЭУ).

В зависимости от типа объектива телескопы подразделяются на рефлекторы (зеркальные), рефракторы (линзовые) и зеркально-линзовые.

Монтировка – опора, предназначенная для установки специальных астрономических приборов. Она состоит из основания (колонна, тренога) и двух взаимно перпендикулярных осей, вокруг которых может поворачиваться труба телескопа. Для точного наведения трубы телескопа на нужный объект оси монтировки снабжаются специальными координатными кругами. Когда телескоп стоит неподвижно, из-за вращения Земли вокруг своей оси изображения звезд получаются вытянутыми. Чтобы этого не произошло, монтировки снабжаются специальным часовым механизмом, который медленно поворачивает трубу телескопа вслед за вращением неба.

В зависимости от применяемой при наведении телескопа системы координат монтировки бывают азимутальными и экваториальными.

## Виды аберраций оптических систем

Любая оптическая система не является идеальной, поэтому итоговое изображение будет так или иначе искажено. Эти искажения носят название аберрации.

Существует два основных вида аберраций: геометрические и хроматические.

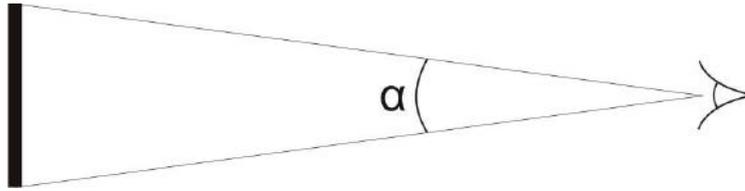
В идеальной оптической системе точка должна изображаться точкой, причем расположенной в определенном месте. Геометрические аберрации ведут к тому, что она отображается в виде небольшой размытой фигуры или ее изображение создается не там, где должно быть.

Хроматические аберрации возникают из-за того, что лучи разного цвета имеют разные показатели преломления. Одиночная линза ведет себя как призма, и не только преломляет световые лучи, но и разлагает свет на составляющие цвета. При этом фокус красных лучей располагается от объектива дальше, чем фокус синих лучей (т.к. синие лучи преломляются сильнее, чем красные). При визуальных или фотографических наблюдениях (к окуляру монтируется фотоаппарат) фокусировка происходит по желто-зеленым лучам (т.к. к ним наиболее чувствителен человеческий глаз, потому что на них приходится максимум солнечного излучения), поэтому у изображения получается красная и синяя (в сумме фиолетовая) кайма.

## Основные параметры телескопа

В первую очередь телескопы характеризуются двумя параметрами: *диаметром объектива (апертурой)* и его *фокусным расстоянием*.

Введем понятие «угловой размер». Это угол между линиями, соединяющими максимально удаленные друг от друга точки предмета и глаз наблюдателя (на схеме обозначен  $\alpha$ ).



Величина угла  $\alpha$  в градусах и будет угловым размером отрезка на схеме.

*Увеличением телескопа* называют угловое увеличение, т.е. отношение угла, под которым виден предмет в телескоп, к углу, под которым он был бы виден простому глазу. Как правило, увеличение ( $n$ ) определяется как отношение фокусного расстояния объектива ( $F$ ) к фокусному расстоянию окуляра ( $f$ ).

$$n = \frac{F}{f}$$

При наблюдениях протяженных объектов больший объектив даст в фокусе более яркое изображение, чем меньший объектив, при одинаковых фокусных расстояниях. Но длиннофокусный объектив даст в фокусе более слабое изображение, чем короткофокусный того же диаметра. Чтобы охарактеризовать яркость изображений, полученных телескопом, была введена специальная величина *геометрическая светосила*:

$$A^2 = \left(\frac{D}{F}\right)^2$$

Здесь  $A$  – *относительное отверстие объектива телескопа* (отношение диаметра объектива  $D$  к его главному фокусному расстоянию  $F$ ):

$$A = \frac{D}{F}$$

Как правило, относительное отверстие и светосила представляются в виде дроби, в которой числитель приведен к 1.

Объективы и телескопы с  $A \geq 1 : 5$  называют светосильными.

Еще одна важная характеристика объектива телескопа – его *разрешающая способность*. Это способность объектива показывать отдельно близко расположенные объекты. Разрешающая способность объектива обратно пропорциональна его диаметру, т.е. чем больше диаметр объектива, тем более близкие объекты он может показать отдельно.

Разрешающую способность объектива (в случае визуальных наблюдений) можно приближенно вычислить по формуле

$$r'' = \frac{116''}{D_{\text{мм}}}$$

Здесь  $r''$  – предельный угол разрешения объектива (минимальное угловое расстояние между малыми предметами, при котором они будут видны в телескоп отдельно).

*Проницающая сила телескопа* определяется предельной звездной величиной звезд, видимых в него в ясную безлунную ночь. Другими словами, яркостью максимально слабой звезды, которую можно увидеть в телескоп при идеальной погоде. Естественно, что идеальные условия наблюдений (отсутствие Луны и посторонней засветки, полностью чистое небо, отсутствие ветра и высокой влажности, и т.д.) практически недостижимы, поэтому минимальная яркость звезды, видимой в телескоп, почти всегда будет больше, чем указано в его характеристиках.

Большое значение при наблюдениях имеет *поле зрения* телескопа. Это угловые размеры видимого в телескоп участка неба. Поле зрения телескопа зависит от его увеличения. Чем выше увеличение, тем меньше поле зрения.

## Телескопы-рефракторы

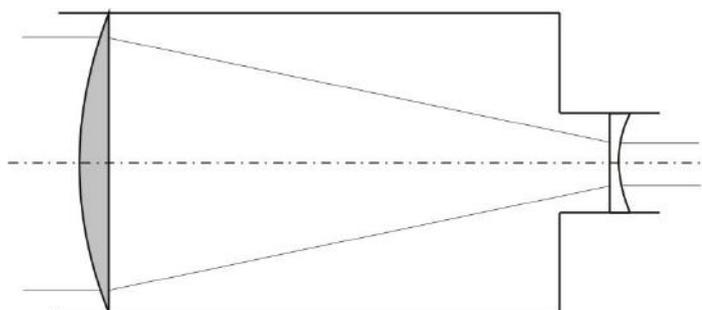
*Рефракторами* называют телескопы, в качестве объектива у которых используется система линз. Работа таких телескопов обусловлена явлением рефракции (преломления лучей света на границе двух сред).

Первый телескоп-рефрактор был изготовлен Галилео Галилеем в 1609 году по образцу голландской зрительной трубы. С его помощью ученым были сделаны выдающиеся астрономические открытия (горы на Луне, наличие спутников Юпитера, кольца Сатурна, звезды в Млечном пути, фазы Венеры, пятна на Солнце).

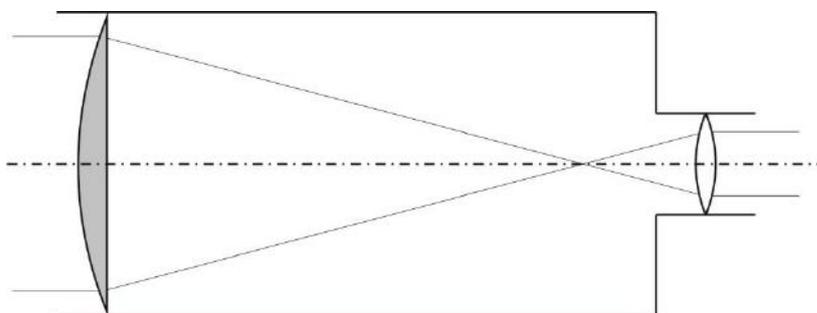
Оптическая схема телескопа-рефрактора содержит два основных узла: линзовый объектив и окуляр. Из-за того, что каждая линза обладает различными aberrациями, объективы, как правило, состоят из нескольких склеенных вогнутых или выпуклых линз.

Существует две основных схемы телескопов-рефракторов: схема Галилея и схема Кеплера.

*Телескоп Галилея* в качестве объектива имеет одну собирающую линзу, а в качестве окуляра – рассеивающую, поэтому прост в изготовлении и имеет малые потери света на оптических элементах. Такая оптическая схема дает мнимое неперевернутое (прямое) изображение, поэтому его нельзя измерить помощью измерительной сетки или спроецировать на экран. Главные недостатки подобного инструмента – малое поле зрения и сильная хроматическая aberrация. В настоящее время схема Галилея применяется в театральных биноклях.



В 1611 году Иоганн Кеплер усовершенствовал оптическую схему Галилея, заменив рассеивающую линзу в окуляре собирающей. Это позволило увеличить поле зрения, но изображение, даваемое телескопом, стало перевернутым. При этом в трубе Кеплера имеется промежуточное действительное изображение, которое при необходимости можно измерить с помощью специальной шкалы. Единственный сильный недостаток оптической схемы Кеплера – сильная хроматическая aberrация, которая устраняется применением специальных ахроматических объективов, состоящих из двух или трех линз, изготовленных из разного стекла.



В принципе, все современные телескопы-рефракторы созданы по схеме Кеплера. Самый большой телескоп-рефрактор в мире находится в Йеркской обсерватории (США) и имеет диаметр объектива 102 см. Более крупные рефракторы не используются, т.к. качественные большие линзы дороги в производстве и очень тяжелы, что ведет к их деформациям и ухудшению качества изображения.

Основные достоинства рефракторов:

- устойчивая оптическая система, практически не требующая юстировки;

- небольшие нарушения регулировки (например, от тряски прибора) практически не влияют на качество изображения, что важно для точных работ.

Основные недостатки рефракторов:

- большие хроматические aberrации;
- даже небольшие недостатки стекла сильно сказываются на качестве изображения;
- стекло объектива поглощает значительную часть света, особенно в фиолетовой и ультрафиолетовой части спектра;
- потери света при отражении от поверхностей линз;
- из-за особенностей оптической схемы труба рефрактора должна быть довольно длинной.

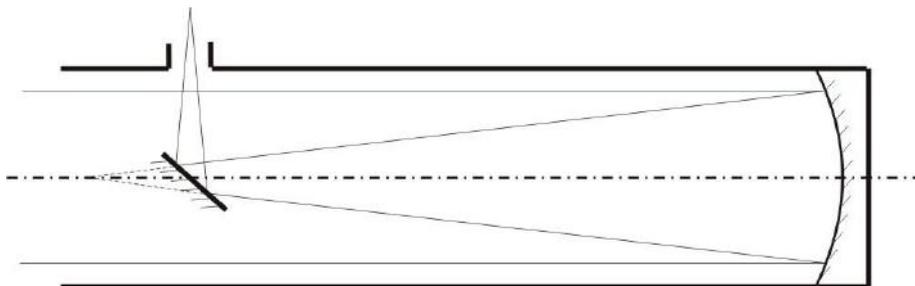
## Телескопы-рефлекторы

*Рефлекторами* называют телескопы, объектив которых представляет собой зеркало. Зеркало имеет сферическую или параболическую форму, и изготавливается из стекла, практически не чувствительного к изменению температуры окружающей среды и покрытого тонким слоем серебра или алюминия.

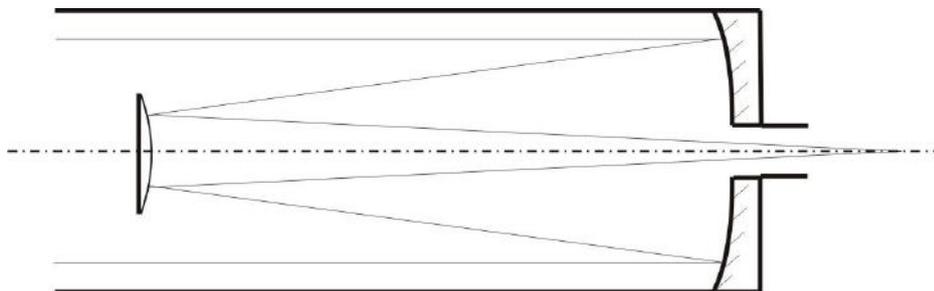
Впервые рефлектор был построен Исааком Ньютоном около 1670 года.

Существует несколько вариантов оптических схем рефлекторов.

Первой из них была оптическая схема, предложенная Ньютоном. Здесь плоское диагональное зеркало отклоняет световой пучок за пределы трубы, где изображение рассматривается через окуляр или фотографируется. Главное зеркало параболическое, но в некоторых случаях может быть и сферическим.



Чуть позже Лоренцом Кассегреном была предложена новая схема рефлектора, включающая в себя два зеркала. Главное зеркало большего диаметра вогнутое (как правило, параболическое) отражает лучи на вторичное выпуклое гиперболическое зеркало.

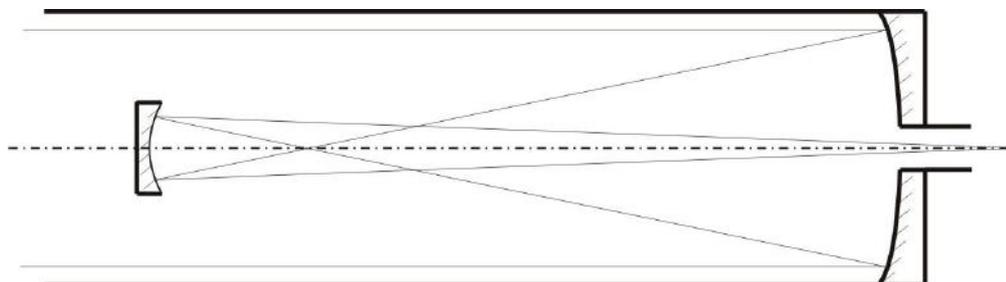


Вторичное зеркало расположено между главным зеркалом и его фокусом, поэтому полное фокусное расстояние объектива получается гораздо больше, чем у главного зеркала. Из-за этого существенно уменьшается длина трубы, что делает телескоп компактным и удобным в транспортировке.

В телескопах, построенных на основе систем Ньютона и Кассегрена, итоговое изображение будет перевернутым, т.к. вторичные зеркала находятся ближе к главному зеркалу, чем его фокусное расстояние. Но при наблюдениях космических объектов характер изображения (прямое или перевернутое) не имеет большого значения. Наличие второго зеркала дает возможность

изготавливать телескопы с большим фокусным расстоянием и, следовательно, с большим увеличением.

В системе Грегори лучи от главного вогнутого параболического зеркала направляются на небольшое вогнутое эллиптическое зеркало, которое отражает их в окуляр, помещенный за центральным отверстием главного зеркала (аналогично схеме Кассегрена).



Поскольку эллиптическое зеркало расположено за фокусом главного зеркала, телескоп, построенный по схеме Грегори, дает прямое изображение предметов.

Основные достоинства рефлекторов:

- полное отсутствие хроматических аберраций;
- зеркальные телескопы могут обладать большой светосилой, недостижимой для рефракторов;
- особенности некоторых оптических схем позволяют получить трубу небольших размеров по сравнению с рефракторами;
- качество материала для зеркала должно отвечать только механическим требованиям, при этом качество стекла не имеет большого значения;
- изготовление рефлектора проще, поэтому обходится в несколько раз дешевле, чем рефрактор такого же размера.

Основные недостатки рефлекторов:

- необходимость периодически заново покрывать зеркало светоотражающим слоем;
- чувствительность зеркала к изменениям температуры внешней среды и механическим воздействиям, необходимость частой юстировки;
- потери света на промежуточных оптических деталях (вторичных зеркалах);
- наличие экранирования (часть светового потока, поступающего на главное зеркало, из-за особенностей конструкции перекрывается вторичным зеркалом);
- большая требовательность к правильности поверхности зеркала.

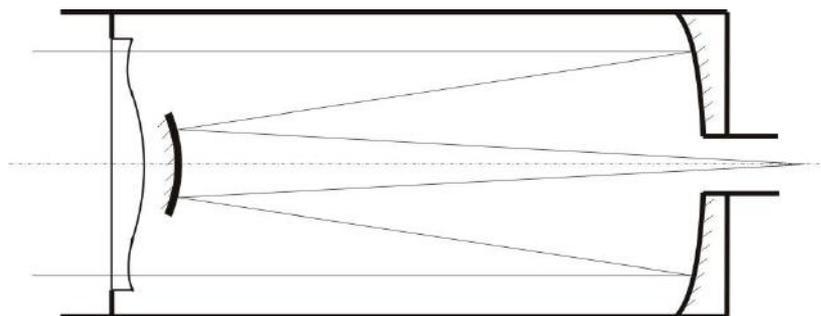
## Зеркально-линзовые телескопы

*Зеркально-линзовый (катадиоптрический) телескоп* – телескоп, изображение в котором строится сложным объективом, содержащим как зеркала, так и линзы. При этом линзовые элементы сравнимы по диаметрам с главным зеркалом и предназначены для коррекции созданного им изображения.

Допустимая величина неровностей на поверхности зеркала (точность поверхности) должна быть не больше  $\lambda/8$ , где  $\lambda$  - длина волны, на которой ведется наблюдения (для оптических телескопов  $\lambda \approx 550$  нм). Изготовить сферическое зеркало гораздо проще, чем параболическое или гиперболическое, которые в основном используются в зеркальных телескопах. Но сферические зеркала обладают очень сильными геометрическими аберрациями и поэтому непригодно для использования. В зеркально-линзовых телескопах для исправления аберраций зеркал применяются специальные линзы – корректоры.

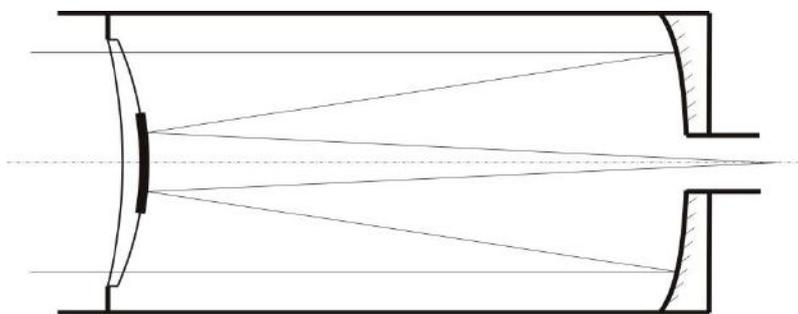
В 1930 году Барнхардом Шмидтом была разработана оптическая схема, в настоящее время нашедшая широкое применения при создании астрографов (телескопов, предназначенных для фотографических астрономических наблюдений). В центре кривизны главного сферического зеркала устанавливается диафрагма, ограничивающая световой поток и исправляющая часть

аббераций. Для устранения остальных aberrаций Шмидтом была разработана линза-корректор сложной формы.



В настоящее время данная схема усовершенствована за счет введения выпуклого вторичного зеркала, в качестве которого иногда используется центральная часть корректора, покрытая отражающим слоем.

В 1941 году русский оптик Д.Д. Максутов разработал новую схему зеркально-линзового телескопа, где геометрическая aberrация главного зеркала устраняется с помощью мениска – выпукло-вогнутой линзы.



В настоящее время имеются менисковые аналоги различных оптических схем телескопов.

Основные преимущества зеркально-линзовых систем:

- простота изготовления сферического зеркала;
- малое фокусное расстояние, и, следовательно, большое поле зрения и светосила;
- жесткость конструкции, нечувствительность к внешним воздействиям, полностью закрытая труба телескопа, что обеспечивает лучшую сохранность оптических деталей и поверхностей.

Недостатки зеркально-линзовых систем:

- сложность изготовления корректоров больших размеров;
- корректор дает небольшую хроматическую aberrацию и поглощает часть светового пучка.

Малые размеры и фокус не позволяют использовать катадиоптрические телескопы в астрофизике, но они нашли применение в астрометрии (раздел астрономии, занимающийся измерением положения звезд на небе и их блеска). Как раз из-за малых размеров, жесткости конструкции и неплохого качества изображения зеркально-линзовые телескопы довольно широко распространены среди любителей астрономии

## Устройство фотоаппарата

Фотосъемка осуществляется с помощью высокоточного оптического прибора – фотоаппарата.

В настоящее время большое распространение получили цифровые фотоаппараты, вытеснив привычные пленочные. Устройство цифровых и пленочных фотоаппаратов принципиально одинаково. Принципиальная схема цифрового зеркального фотоаппарата приведена на рис. 1.

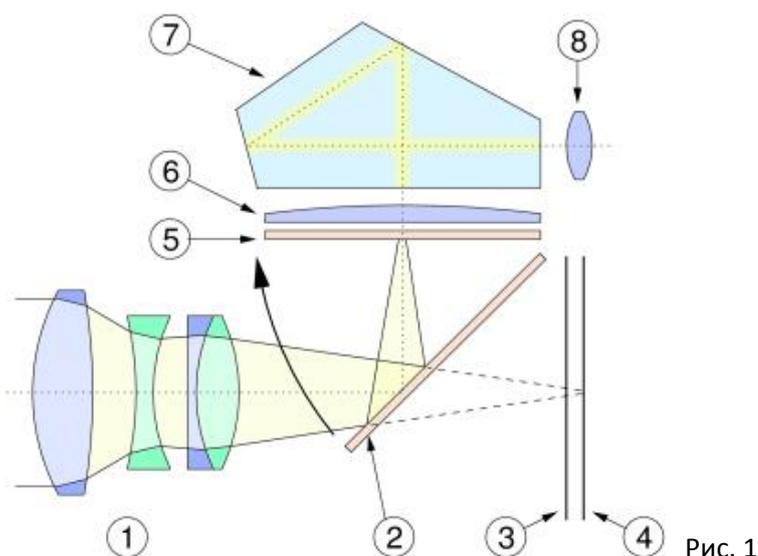


Рис. 1

Здесь точечной линией показано, как идет свет в положении визирования, т.е. когда фотограф «ловит» объект.

Изображение фокусируется в объективе (1), представляющем собой систему линз. Световой поток, попадающий в объектив, ограничивается диафрагмой. Затем свет отражается от зеркала (2), проходит через матовую линзу (6) в пентапризму (7). Пентапризма делает переворот изображения в его естественное (для нас) положение. Если бы не пентапризма, то в окуляре видоискателя (8) мы бы видели изображение перевернутым, как строит его объектив.

Сразу за объективом находится затвор (3). Благодаря ему регулируется длительность воздействия света на фотоматрицу. В цифровых фотоаппаратах затворы бывают двух типов: электронные (фотоматрицу включает электронное реле, и оно же регулирует длительность выдержки) и электромеханический (аналогичный пленочным фотоаппаратам, но управляемый электронными устройствами). В момент съемки зеркало (2) поворачивается в положение (5), а затвор (3) поднимается на время выдержки.

Сразу за затвором находится фотоматрица (4), благодаря которой происходит преобразование полученного изображения в электрические импульсы. С фотоматрицы полученные сигналы поступают в управляющий процессор.

Управляющий процессор – это мощное устройство, которое осуществляет управление экспозицией и фокусировкой объектива, преобразует сигналы, поступающие с фотоматрицы, создает файл и сжимает полученное изображение, а затем передает созданное изображение в карту памяти. Процессор обладает операционной системой, в которой есть разветвленный интерфейс и графическое меню, которым можно воспользоваться с помощью жидкокристаллического дисплея. Это дает возможность фотографу самостоятельно изменять параметры съемки или пользоваться встроенными сценариями.

В цифровом фотоаппарате зафиксированное на матрице изображение поступает на карту памяти для хранения. Просмотреть полученное изображение можно с помощью дисплея.

## ПЗС-матрица

Фотоматрица является электронным устройством, содержащим огромное количество светочувствительных элементов. Слово ПЗС является аббревиатурой словосочетания «прибор с зарядовой связью», которое является

Каждая ячейка способна воспринять электрический заряд, прямо пропорциональный интенсивности света, попадающего на нее. Яркость света регистрируется ячейкой, а потом фиксируется в виде цифрового кода, с помощью которого фотография впоследствии может быть представлена на экране компьютера или бумаге.

В ПЗС-матрицах могут находиться миллионы светочувствительных ячеек, причем чем этих ячеек больше, тем выше разрешение матрицы, а, соответственно, и качество получаемого изображения.

## **ПЗС – линейка**

Если пиксели выстроены в один ряд, то приемник называется ПЗС-линейкой. Основная сфера применения линейных световоспринимающих устройств – сканеры и научно-исследовательское оборудование.

### **Форматы записи изображений**

Существуют различные способы сохранения цифровых изображений. Чтобы объем записываемой информации стал меньше, управляющий процессор фотоаппарата ее обрабатывает (сжимает). Благодаря сжатию на карте памяти можно разместить значительно большее количество изображений; кроме того, их будет легче переместить на жесткий диск компьютера и обеспечить им дальнейшее хранение. Изображение можно сжать как с потерей качества снимка, так и без него.

При сжатии фотографических изображений как правило используется формат JPG. В этом случае при передаче информации совершенно исключаются сведения о мелких деталях, следовательно, файл сжимается с незначительной потерей информации. При этом есть возможность изначально задать процент информации, которую нужно сохранить. Единственно, необходимо помнить, что файл, подвергавшийся сжатию, никогда не удастся восстановить в первоначальном качестве.

Многие современные цифровые фотоаппараты позволяют сохранять изображение не только в сжатом формате JPG, но и в форматах, сохраняющих необработанные данные, поступающие от фотоматрицы. Для обозначения того, что изображение не было обработано процессором фотокамеры, используется обобщенный термин – RAW (в переводе с английского «сырой, необработанный»). По сравнению с другими форматами, формат RAW имеет некоторые особенности:

- при сохранении данных и сжатии изображения не теряется качество изображения,
- размер файла, как правило, превышает размер файла в формате JPG,
- данные об изображении хранятся отдельно от данных о параметрах обработки.

Как правило, в астрономической фотографии используется только формат RAW.

### **Карты памяти**

Как уже было сказано выше, для хранения информации в цифровых фотоаппаратах применяются специальные карты памяти. Они легко подключаются к фотоаппарату и компьютеру с помощью специальных разъемов, информацию на них можно стирать и перезаписывать, карты имеют различные объемы хранения информации.

Существует несколько типов карт памяти, применяющихся в различных моделях цифровых фотоаппаратов. Наиболее распространенные из них Compact Flash (CF), Secure Digital Card, xD-Picture Card, Memory Stick и др.

## **Фотодиод**

*Оптоэлектроника* – область физики и техники, рассматривающая вопросы преобразования электромагнитного излучения оптического диапазона в электрический ток и обратно.

Приборы оптоэлектроники бывают нескольких видов:

- для преобразования света в электрический ток (ПЗС-матрицы, фотодиоды, фотоэлектронные умножители);
- для преобразования тока в световое излучение (лампы накаливания, люминесцентные лампы, светодиоды, лазеры различных модификаций);
- для изоляции электрических цепей;
- для применения в различных электронных устройствах (оптоэлектронные интегральные микросхемы, в которых связь между отдельными узлами и компонентами осуществляется путем оптической связи для изоляции их друг от друга).

Любое оптоэлектронное устройство содержит фотоприемный блок. И в большинстве современных приборов основу фотоприемника представляет фотодиод.

*Фотодиод* – приемник оптического излучения, который преобразует попавший на его чувствительную площадь свет в электрический заряд. При этом фотодиод только преобразует свет в электрический ток, но не усиливает его.

Основой (фоточувствительной областью) фотодиода является *полупроводник*. *Полупроводниками* называют вещества, стоящие между диэлектриками (веществами, не проводящими электрический ток) и проводниками (веществами, хорошо проводящими электрический ток). Способность полупроводников проводить ток сильно зависит от химических примесей, температуры и других параметров. Под действием света в полупроводниках происходят специфические физические процессы, приводящие к появлению электрического тока.

Особенности фотодиодов:

- простота технологии изготовления,
- сочетание высокой чувствительности и быстродействия,
- малое сопротивление полупроводника.

Параметры фотодиодов:

1. *Чувствительность* (изменение электрического тока на выходе фотодиода при подаче на светочувствительный элемент некоторого единичного оптического сигнала); чем выше чувствительность фотодиода, тем более слабые сигналы он может зарегистрировать;
2. *Шумы* (хаотичные сигналы, появляющиеся на выходе фотодиода); Если у фотодиода высокий уровень шумов, то на нем нельзя регистрировать слабые полезные сигналы.

Характеристики фотодиодов:

1. *Вольт-амперная характеристика* (показывает зависимость выходного напряжения от входного тока),
2. *Спектральные характеристики* (показывают зависимость фототока от длины волны света, падающего на фотодиод),
3. *Световые характеристики* (зависимость фототока от освещенности, чем выше освещенность, тем больше фототок),
4. *Постоянная времени* (время, в течение которого фототок изменяется после освещения или затемнения фотодиода на 63% по отношению к установившемуся значению),
5. *Темновое сопротивление* (сопротивление затемненного фотодиода),
6. *Инерционность* (скорость реакции на световое излучение, т.е величина промежутка между началом освещения фотодиода и возникновением электрического тока).

## **Фотопленка, назначение, светочувствительность, типы**

Одним из методов астрономических наблюдений является астрофотография.

Фотография используется в астрономии и как самостоятельный метод наблюдений, и как сопутствующий при применении других способов регистрации изображений.

Изображение, находящееся на фотопластинке (пленке), является документом, запечатлевшим состояние фотографируемого предмета в некоторый момент времени. При этом осмотру и измерению подлежит все, что находится на негативе, хотя бы оно и не являлось первоначально предметом фотографирования, а «вышло» попутно. Это свойство особенно ценно при фотографировании звездных полей, когда на негативе получаются изображения тысяч звезд, каждая из которых может стать предметом особого исследования.

## 1. Области применения астрофотографии.

- Фотографическая астрометрия.

Астрометрия – область астрономии, одной из важнейших задач которой является определение координат светил на небесной сфере, изучение движения небесных тел в пространстве, определение расстояний.

Применение фотографии позволило получать изображения больших звездных полей и измерять положения звезд друг относительно друга с высокой точностью.

- Фотографическая фотометрия звезд.

Фотометрия – раздел астрономии, посвященный измерению яркости небесных светил.

Применения фотографии позволило распространить фотометрические наблюдения и измерения на слабые звезды, слабые газовые и пылевые туманности, кометы и объекты, лежащие за пределами нашей Галактики.

Одна из основных сфер применения астрофотографии в фотометрии – поиск и наблюдение переменных звезд, поиске новых и сверхновых звезд.

Особое место принадлежит фотометрии спектров небесных светил.

- Составление обзоров, карт, атласов звездного неба, регистрация объектов на больших участках небесной сферы.

## 2. Строение фотографического материала.

Современные фотографические материалы имеют довольно сложное строение.

*Фотографическая эмульсия* состоит из множества кристаллов галогенидов серебра, взвешенных в желатине.

В процессе изготовления эта эмульсия в жидком виде наливается на поверхность стекла, целлулоида или другой прозрачной основы. После высыхания получается *фотографическая пластинка* или *пленка*, готовые к употреблению.

Подвергнем фотографическую пластинку (пленку) воздействию света, например, поместив ее в фокусе объектива камеры, направленной на какую-либо область неба. Видимых изменений на эмульсионном слое заметно не будет, но в ней произошли определенные фотохимические реакции, которые приводят к образованию *скрытого фотографического изображения*. Последнее может быть выявлено посредством соответствующей химической обработки, в результате которой кристаллы галогенидов серебра, подвергшиеся действию света, превратятся в металлическое серебро.

После проявления мы увидим *негативное изображение* предметов, при котором светлые части предметов будут темными, и наоборот.

*Галогениды серебра* представляют собой соединения серебра (Ag) с веществами – галогенами. Это фтор (F), хлор (Cl), бром (Br) и йод (I). Т.е. химические формулы кристаллов имеют следующий вид: AgF, AgCl, AgBr, AgI. Эмульсии, включающие бромистое и йодистое серебро, обладают наивысшей чувствительностью.

Размер микрокристаллов обычно составляет около 1 мкм ( $10^{-6}$  м), число их достигает  $10^9$ – $10^{10}$  на  $1\text{ см}^2$  поверхности слоя.

Для того, чтобы кристаллик бромистого серебра обладал высокой светочувствительностью, необходимо, чтобы в нем были физические или химические неоднородности в виде мельчайших, расположенных на поверхности кристалла групп атомов серебра или сернистого серебра. Такие включения называют центрами чувствительности.

Под действием поглощаемых квантов света внешние электроны атомов брома передвигаются по кристаллической решетке и накапливаются в центрах чувствительности. Здесь они притягивают к себе ионы серебра, что вызывает рост центра чувствительности до таких размеров, когда он может стать центром проявления, т.е. с его помощью проявляющее вещество восстанавливает весь кристаллик бромида серебра до металлического серебра Ag.

Очень существенным для достижения высокой светочувствительности является процесс *созревания эмульсии*, когда ее выдерживают при температуре около  $100^\circ\text{C}$  в течение 0.5 – 2 часов после смешения желатинового раствора с растворами, образующими в желатине кристаллы

бромид серебра. При этом размеры кристаллов сильно растут, а светочувствительность возрастает в несколько десятков раз.

Высокочувствительные эмульсии неустойчивы, они способны проявлять не только скрытое изображение, но и кристаллы, которые не подвергались действию света. Тогда негативное изображение получается на фоне *фотографической вуали*, состоящей из металлических зерен серебра, равномерно рассеянных по всему фотографическому слою.

Поскольку светочувствительные элементы – кристаллы галогенидов серебра рассеяны в эмульсии в виде отдельно расположенных зерен, проявленное изображение также имеет зернистое строение.

Каждый кристаллик бромида серебра не увеличивается в размерах после проявления, но совокупность образовавшихся зерен металлического серебра часто образует более крупные скопления зерен, располагающихся на различных уровнях фотографического слоя, что, в основном, и создает впечатление зернистости фотографического изображения, ограничивающей *разрешающую способность фотографической эмульсии*. Последнюю определяют обычно числом, равным числу штрихов, которые могут уместиться на протяжении 1 мм фотографического изображения, оставаясь при этом различимыми. Обычно высокочувствительные эмульсии обладают разрешающей способностью порядка 40 штрихов на мм, а малочувствительные – до 100.

Из потока световых квантов, падающих на фотоэмульсию, подавляющая часть диффузно отражается от нее или проходит сквозь нее, а на образование скрытого изображения идет небольшая часть этого потока.

Основное свойство фотографической эмульсии – способность накапливать действие света в течение времени, т.е. эмульсия отзывается на общее количество пришедшей и поглощенной в эмульсии лучистой энергии.

Измерение фотографических свойств светочувствительных слоев составляет предмет изучения сенситометрии. Важнейшей ее частью является разработка методов измерения фотографического эффекта. Последний выражается числом проявленных зерен серебра. Очевидно, что счет зерен серебра, ввиду их многочисленности, невозможен. Поэтому за меру фотографического эффекта принимается способность проявленных зерен поглощать свет, падающий на негатив. Пусть на негатив при его исследовании в лаборатории падает свет, интенсивность которого, остающаяся после отражения света от эмульсии и основы, равна  $I_0$ ; пройдя исследуемое место негатива, свет будет ослаблен поглощением и рассеянием, его интенсивность станет  $I$ . Тогда отношение  $I_0/I$  может служить выражением черноты данного места негатива (*плотности фотографического изображения*).

Изменение плотности фотографического изображения по мере увеличения количества упавшей на фотографическую пластинку (фотопленку) энергии показывает характеристическая кривая.

Чем выше способность фотографической эмульсии отзываться на малые количества света, тем выше ее *чувствительность*.

В настоящее время светочувствительность фотографических материалов оценивается в системе ISO (Международная организация по стандартизации). Различают фотопленки чувствительностью 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 единиц.

Существуют способы повышения чувствительности фотоэмульсий, так называемая *гиперсенсibilизация*.

Фотографические материалы обладают различной чувствительностью к излучению разных длин волн, т.е. фотографический эффект зависит не только от интенсивности излучения, но и от его спектрального состава. Эта характеристика слоя называется его спектральной чувствительностью и является важнейшим параметром, по значению возможно даже превосходящим параметр «общая светочувствительность» при астрономических наблюдениях.

В связи с этим возникла оптическая сенсбилизация, т.е. придание фотоэмульсии чувствительности к излучению тех областей спектра, которые совершенно не действуют на обыкновенные фотоматериалы. От оптического сенсбилизатора требуется, чтобы он окрашивал зерна бромида серебра, т.е. адсорбировался ими.

Фотографические материалы бывают черно-белые и цветные.

У черно-белых фотоматериалов имеется только один слой фотоэмульсии, чувствительной к количеству белого света, падающего на него.

В цветных фотопленках имеется три слоя эмульсии. Лучи белого света разделяются на синий, зеленый и красный компоненты (так называемые основные цвета), и разделение происходит в самом эмульсионном слое, благодаря действию соответствующих красителей. Чтобы красители не смешивались, они размещены в трех разных слоях в эмульсии.

Существуют также так называемые *обращаемые фотопленки*. По строению и составу фотоэмульсии они схожи с негативными, но после обработки получается цветной или черно-белый слайд, рассчитанный на правильное визуальное восприятие.

В настоящее время в специализированных магазинах имеется большое количество разновидностей фотопленок. Но не все из них подходят для получения качественных снимков небесных объектов. При этом выбор пленки зависит от типа объекта, имеющихся объективов, условий фотосъемки.

При фотографировании газовых туманностей необходима пленка с хорошей чувствительностью к красному. При фотографировании галактик или шаровых скоплений высокая красная чувствительность не нужна и можно выбрать фотопленку с большой общей чувствительностью. Также, если вы снимаете с объективом, например, «Таир-3», который имеет большой кружок рассеяния, то можно взять пленку высокой чувствительности (ISO 400-800), имеющую значительное зерно. И наоборот, если вы используете объектив с очень высоким качеством изображения, то лучше взять мелкозернистую низкочувствительную пленку (ISO 100), но сделать большую экспозицию

## Процесс печати и фиксирования фотографий

### Фотобумага

Фотографическая бумага – светочувствительный материал, состоящий из бумажной основы (подложки) и нанесенного на нее светочувствительного эмульсионного слоя, и предназначенный для печати фотографий.

Фотобумаги бывают черно-белыми и цветными. По назначению их разделяют на два типа – общего назначения и техническую. Первая группа предназначена для любительской, профессиональной и художественной фотографии, а вторая – для фотографических работ в различных областях техники (размножение технической документации, получение фотокопий, фотозаписи в различных регистрирующих приборах).

Фотобумаги подразделяются:

- по структуре (гладкие, структурные), структурные бывают бархатистые, зернистые и тисненные;
- по характеру поверхности (глянцевые, полуматовые, матовые);
- по толщине подложки (тонкие, полукартон, картон);
- по градационным группам (мягкие, полумягкие, нормальные, контрастные, особоконтрастные);
- по цвету основы черно-белые бывают белыми и окрашенными.

Фотобумаги изготавливают на бумаге-основе с белым баритовым покрытием, бумаге-основе с полимерным покрытием и гибкой основе других видов (ткани, полимерные материалы и т.п.).

## Печать фотографий

Существует два вида печати фотографий: контактная и проекционная.

Контактной печатью называется процесс получения позитивного изображения тех же размеров, что и негативное. Для получения контактных отпечатков негатив эмульсионной стороной накладывают на эмульсионный слой фотобумаги.

Проекционная (оптическая) печать позволяет получать увеличенное, уменьшенное или одинаковое по размерам с негативом позитивное изображение. При этом могут быть в определенной степени исправлены перспективные искажения, возникающие при съемке, т.е. изображение трансформируется. Приборы, предназначенные для экспонирования фотобумаги при реализации проекционного метода печати, называют фотоувеличителями.

Для каждого вида печати применяется специальная фотобумага.

## Фотоувеличитель

*Фотографический увеличитель* – оптико-механическое устройство, применяемое при проекционном способе фотопечати для проецирования изображений с прозрачных негативов на фотобумагу.

Независимо от конструктивных особенностей, все фотоувеличители имеют *основание и штангу*.

*Основание* – доска размером примерно 40x50 см, обеспечивающая устойчивость установки.

*Штанга* служит для крепления прибора и перемещения его по вертикали.

Фотоувеличитель состоит из *осветительного устройства, рамки для негативов* (служит для удерживания негативов в выпрямленном состоянии), *проекторного объектива, средства контроля размера и фокусировки изображения*, проецируемого с негатива на лист фотобумаги.

По существу, каждый фотоувеличитель работает по принципу, обратному принципу действия фотоаппарата: объектив проецирует в увеличенном масштабе освещенное сквозным светом изображение негатива на фотобумагу.

Перед началом работы необходимо отрегулировать положение источника света, чтобы добиться равномерного освещения поля кадра. Затем при полностью открытой диафрагме объектива необходимо установить резкость проецируемого изображения.

Негативы помещают в рамку эмульсионной стороной к объективу, основой – к источнику света.

Выбор бумаги для печати фотографий производится с учетом целевой задачи и вкуса фотографа.

Время экспонирования отпечатков зависит от многих факторов, поэтому на практике определяется путем изготовления пробных фотографий.

## Обработка фотобумаги

Обработка фотобумаг включает в себя: проявление, промежуточную промывку, фиксирование, окончательную промывку, сушку или глянцевание. Фотобумаги обрабатывают при желтом, оранжевом, красном или желто-зеленом освещении в зависимости от спектральной чувствительности позитивного материала.

Для проявки изображений на фотобумаге применяются специальные проявители. Продолжительность процесса проявления – примерно 2 минуты. Температура проявителя должна составлять около 20°C.

Проявленный отпечаток необходимо промыть в «промежуточной» воде (останавливающая ванна). Использование прерывающего раствора позволяет не только прекратить процесс проявления, но и продлить время действия фиксирующего раствора.

Чтобы получить на фотобумаге устойчивое серебряное изображение, необходимо удалить «неэкспонированные» частицы галогенидов серебра. Для этого отпечаток погружают в фиксирующий раствор примерно на 10 – 15 минут.

Для того, чтобы изображение сохранилось некоторое время отпечаток после обработки в фиксажном растворе необходимо промыть в течение примерно 30 минут в прохладной проточной воде.

Затем получившиеся фотографии нужно высушить, предварительно устранив с них водяные подтеки. После того, как отпечатки высохли, их складывают стопкой и помещают под груз для выравнивания.

## Фотоэффект

*Фотоэффект* – это испускание электронов веществом под действием света.

В металлах и некоторых материалах кроме электронов, связанных с отдельными атомами, имеются свободные электроны, которые могут перемещаться в пределах всей кристаллической решетки. Электрон может выйти из кристаллической решетки, если он приобретет энергию, превышающую некоторую определенную пороговую величину.

Электрон может получить энергию различными способами, например, поглотив квант (маленькую порцию) светового излучения (световой фотон). Следовательно, кванты с энергией, большей пороговой, могут выбивать электроны из поверхности облучаемого материала. Это явление называется *внешним фотоэлектрическим эффектом* или *фотоэлектронной эмиссией*. Электроны, вылетающие из вещества при внешнем фотоэффекте, называются *фотоэлектронами*, а электрический ток, образуемый ими при упорядоченном движении во внешнем электрическом поле, называется *фототоком*.

## Фотоэлемент

Явление внешней фотоэлектронной эмиссии используется в *фотоэлементах с внешним фотоэффектом*.

Прибор состоит из двух электродов, помещенных в вакуум. Электродами называют элементы конструкции прибора, по которым подводится электрический ток. Один из электродов (отрицательный) называется *фотокатодом*, второй (положительный) – *анодом*. Когда свет падает на фотокатод, между ним и анодом течет электрический ток. Сила тока при этом будет прямо пропорциональна световому потоку, т.е. чем больше света падает на фотокатод, тем больше сила тока.

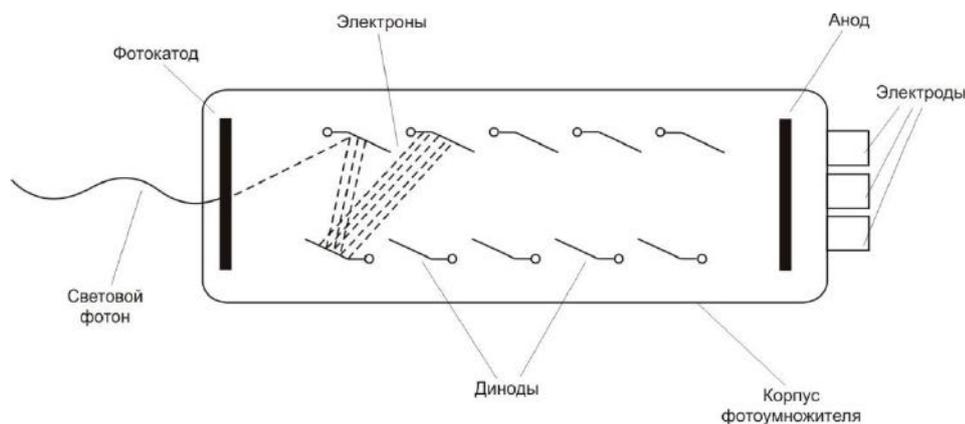
Эффективность фотоэлемента характеризуется величиной, называемой *квантовым выходом*. Это отношение числа электронов, образующих фототок, к числу квантов света, падающих на фотокатод. Часто оно достигает 0.1 – 0.3. Чувствительность фотокатода практически не меняется со временем, поэтому измерения блеска звезд можно выполнять с очень высокой точностью. Благодаря этому факту фотоэлектрическая техника прочно вошла в практику современной астрофизики.

## Фотоэлектронные умножители

Простые фотоэлементы с внешним фотоэффектом применяются сейчас сравнительно редко. На смену им пришли более сложные фотоэлектрические приемники – *фотоумножители (ФЭУ)*. В этих приборах используется явление вторичной фотоэлектронной эмиссии: электрон, обладающий достаточной энергией и разогнанный электрическим полем, попав на поверхность

из специального материала, может выбить несколько электронов. Таким образом можно получить усиление потока.

Между фотокатодом и анодом в ФЭУ имеется некоторое количество специально изогнутых электродов - динодов (Д), на которые подается некоторое напряжение. Форма и расположение всех электродов ФЭУ, а также приложенное к ним напряжение таковы, что фотоэлектрон, вырвавшийся из фотокатода, попадает на первый динод и выбивает из него несколько электронов, которые затем попадают на второй динод и выбивают соответственно еще больше электронов, и т.д. В результате каждый фотоэлектрон приводит к образованию лавины вторичных электронов (до  $10^8 - 10^9$ ) на аноде. После фотоумножителя ставится прибор, который измеряет средний ток на аноде или считывает отдельные импульсы, из которых тот состоит. Каждый импульс соответствует отдельному электрону.



Принципиальная схема ФЭУ

Как правило, фотоэлектронный умножитель используется в качестве приемника излучения и монтируется к окулярному узлу телескопа.

## Целостат, его оптическая схема, назначение и работа

Размер изображения небесного объекта получаемого в фокусе телескопа (его фокальной плоскости) прежде всего, зависит от фокусного расстояния объектива телескопа. Чем больше фокусное расстояние, тем больше размер изображения. Чем больше размер изображения объекта в фокусе телескопа, тем больше подробностей мы можем на нем разглядеть, однако яркость изображения так же зависит от фокусного расстояния. Чем больше фокусное расстояние, тем меньше яркость изображения. Вот и получается, что использовать длиннофокусные телескопы имеет смысл только для небесных объектов большой яркости, таких как Солнце и Луна.

Для наблюдения этих небесных объектов можно использовать телескопы с большими фокусными расстояниями (несколько десятков метров), что дает возможность получать размер их изображения в фокальной плоскости телескопа в десятки сантиметров.

Однако здесь возникает проблема изготовления механики такого телескопа, его трубы, устройства наведения и точного отслеживания суточного перемещения по небу наблюдаемого объекта. Это очень сложно и дорого.

Оптики и астрономы нашли выход из этого положения. Они придумали и разработали специальные солнечные телескопы. Оптика такого телескопа располагается на неподвижных опорах в горизонтальном (горизонтальный солнечный телескоп) или вертикальном (вертикальный (башенный) солнечный телескоп)) направлении. Свет от наблюдаемого объекта направляется на объектив такого телескопа с помощью специальной системы плоских оптических зеркал – целостата.

Целостат состоит из двух плоских круглых зеркал заключенных в металлические оправы.

Первое зеркало, устанавливается перпендикулярно главной оптической оси солнечного телескопа так, чтобы она проходила через его центр. Оправа этого зеркала должна иметь устройства позволяющие (в небольших пределах) отклонять плоскость этого зеркала от вертикального положения и вращать его вокруг вертикальной оси.

Второе зеркало целостата крепится в металлической оправе установленной на специальном устройстве, которое позволяет вращать плоскость зеркала вокруг оси совпадающей по направлению с осью вращения Земли (полярной оси). При этом солнечный свет отраженный этим зеркалом должен полностью заполнить собой плоскость первого зеркала.

Так как оптика самого солнечного телескопа закреплена неподвижно необходимо чтобы во время наблюдений Солнца (Луны) первое зеркало тоже находилось в неподвижном состоянии, а чтобы отслеживать суточное перемещение Солнца по небу, необходимо иметь возможность плавно вращать плоскость второго зеркала целостата вокруг полярной оси с постоянной скоростью 1оборот за 48 часов.

Итак, при наблюдениях Солнца (Луны), вращая вручную второе зеркало, добиваются, чтобы отраженные от него лучи равномерно заполняли плоскость первого зеркала. Включают двигатель вращения этого зеркала со скоростью 1 оборот за 48 часов. После этого корректируют положение 1-го

зеркала так, чтобы отраженный от него солнечный свет равномерно заполнял главное зеркало солнечного телескопа.

Солнечный телескоп готов к работе.

## Электромагнитные волны

*Электромагнитное излучение* – распространяющееся в пространстве возмущение магнитных и электрических полей.

Видимый свет является частным видом электромагнитного излучения, которое испускается не непрерывно, а отдельными порциями (*квантами*), характеризующимися своей энергией. Совокупность все видов излучения называется *спектром электромагнитного излучения*.

Электромагнитное излучение обладает волновыми свойствами. Поэтому электромагнитное колебание можно характеризовать длиной волны  $\lambda$  и частотой  $\nu$ .

Частота – физическая величина, характеризующая периодический процесс и равная числу полных циклов, совершенных за единицу времени. Единицей частоты в Международной системе единиц (СИ) является *герц* (Гц), которую можно представить как 1/с. Величина, обратная частоте, называется *периодом*.

Длина волны – одна из основных характеристик колебаний, представляющая собой расстояние между двумя ближайшими друг к другу точками, колеблющимися в одинаковых фазах. Если провести аналогию волнами, возникающими от брошенного в воду камня, то длина волны – расстояние между двумя соседними гребнями волны.

Единицы измерения длин электромагнитных волн:

- километры (км),
- метры (м),
- миллиметры (мм),
- микрометры (мкм),  $1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$ ,
- нанометры (нм),  $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ,
- ангстремы (А),  $1 \text{ А} = 10^{-10} \text{ м}$ .

Скорость распространения электромагнитных волн в вакууме равна скорости света  $c$  (299792.458 км/с  $\approx 3 \cdot 10^8$  м/с), в других средах – меньше.

Связь скорости распространения электромагнитного излучения с его частотой и длиной волны можно выразить следующим образом:

$$c = \lambda \nu$$

Как видно из формулы, поскольку скорость распространения электромагнитного излучения постоянна, то частота его колебаний жестко связана с длиной волны. Т.е. чем больше частота, тем короче длина волны, и наоборот.

Электромагнитные волны принято делить по частотным диапазонам. При этом между диапазонами нет резких переходов, они иногда перекрываются, и границы между ними условны.

Далее приведена таблица, отражающая разнообразие типов электромагнитных волн, изучаемых в астрономии. Длины волн приведены в нанометрах (нм) и микронах (мкм).  $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ,  $1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$ .

Область спектра		Длины волн
Ионизирующее электромагнитное излучение	Гамма излучение	$\leq 0.01 \text{ нм}$
	Рентгеновское излучение	$0.01 - 10 \text{ нм}$
Оптическое излучение	Далекий ультрафиолет	$10 - 310 \text{ нм}$
	Близкий ультрафиолет	$310 - 390 \text{ нм}$
	Видимое излучение	$390 - 760 \text{ нм}$
	Инфракрасное излучение	$760 \text{ нм} - 1 \text{ мм}$

Радиоволны	Ультракороткие	1 мм – 10 м
	Короткие	10 м – 100 м
	Средние	100 м – 1 км
	Длинные	1 км – 10 км
	Сверхдлинные	≥ 10 км

Области видимого излучения соответствует интервал длин волн примерно от 390 нм (фиолетовая граница видимого спектра) до 760 нм (красная граница). Между ними располагаются все цвета видимого спектра: фиолетовый (390 – 450 нм), синий (450 – 480 нм), голубой (480 – 510 нм), зеленый (510 – 570 нм), желтый (570 – 585 нм), оранжевый (585 – 620 нм), красный (620 – 760 нм). Указанные границы условны, и в действительности цвета излучения плавно переходят друг в друга.

Излучение в видимой области спектра играет особенно большую роль в астрономии, т.к. оно сравнительно хорошо пропускается земной атмосферой. В остальных участках спектра поглощение сказывается значительно сильнее, так что космическое излучение проникает только до некоторого уровня земной атмосферы (до высоты примерно 20 км). Сильнее всего атмосфера поглощает коротковолновую область спектра, т.е. ультрафиолетовое (УФ), рентгеновское и гамма-излучение. Это область, кроме близкого ультрафиолета, доступна для наблюдений только с ракет и искусственных спутников, оснащенных специальной аппаратурой.

В сторону длинных волн от видимой области спектра расположена область инфракрасного (ИК) излучения и радиоволны. Большая часть ИК-излучения, начиная примерно с длины волны в 1 мкм, поглощается молекулами воздуха (в основном, это молекулы водяных паров и углекислого газа). Поэтому наблюдения с Земли доступны только в некоторых сравнительно узких «окнах» видимости между полосами молекулярного поглощения. Остальные участки ИК-спектра становятся доступными наблюдениям со сравнительно небольших высот (чуть больше 20 км) и могут изучаться с аэростатов и шаров-зондов или (частично) на некоторых высокогорных обсерваториях.

Земная атмосфера прозрачна для радиоволн в диапазоне примерно от 1 см до 20 м. Волны короче 1 см в основном полностью поглощаются нижними слоями земной атмосферы, а волны, длиннее нескольких десятков метров, отражаются и поглощаются самыми верхними ее слоями – ионосферой.

## Источники информации

1. Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики. М.: Наука, 1977
2. Докучаева О.Д. Астрономическая фотография. М.: Физико-математическая литература, 1994
3. Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии. М.: УРСС Едиториал, 2001
4. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. М.: УРСС Едиториал, 2002
5. Сайт МАЦ «Вега» [infra.sai.msu.ru/vega](http://infra.sai.msu.ru/vega)
6. Свободная энциклопедия [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org)
7. Служба тематических толковых словарей [www.glossary.ru](http://www.glossary.ru)
8. Рессинг Р. Увеличение фотоснимка. М.: Мир, 1985
9. Фомин А.В. Общий курс фотографии. М.: Легпромбытиздат, 1987.
10. Гонт Л. Экспозиция в фотографии. М.: Мир, 1984
11. Хеймен Р. Светофильтры. М.: Мир, 1988

12. Жалпанова Л.Ж. Цифровая фотография: от новичка к мастеру. М.: Эксмо, 2005
- 13.