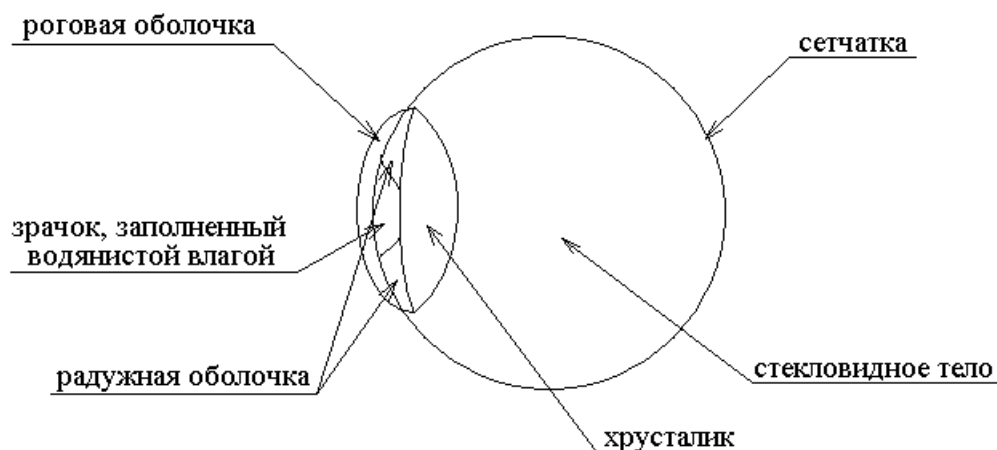


Экзамен. Глаз.



Рассмотрим устройство глаза, мысленно двигаясь по ходу луча.

Сначала свет проходит роговую оболочку, которая защищает глаз от механических повреждений. Под роговой оболочкой свет проходит через зрачок глаза, заполненный водянистой влагой. Зрачок по периметру ограничен радужной оболочкой. Радужная оболочка не пропускает свет и представляет собой диафрагму, которая защищает глаз от избыточной засветки. Диаметр диафрагмы, той ее части, которая открыта для света, изменяется рефлекторно в зависимости от освещенности глаза. Если смотреть человеку в глаза, то центральная часть глаза выглядит, как черный кружок. Это и есть зрачок глаза. Зрачок глаза выглядит черным, так как свет проходит через зрачок в глаз и почти не отражается назад.

После зрачка свет попадает в хрусталик глаза. Хрусталик глаза представляет собой линзу, которая отображает рассматриваемый глазом предмет на заднюю стенку глаза. После линзы хрусталика свет проходит стекловидное тело, которое представляет собой основной объем глаза. На задней стенке стекловидного тела расположена сетчатка глаза, состоящая из светочувствительных клеток. В случае отслоения сетчатки ее пытаются приварить лазерным лучом.

Глазные мышцы позволяют сделать линзу хрусталика глаза более или менее выпуклой. При этом изменяется оптическая сила хрусталика. Способность глазных мышц подстраивать оптическую силу хрусталика так, чтобы изображение рассматриваемого предмета попадало на сетчатку глаза, называется аккомодацией глаза.

Обычно, обсуждая согласование какого-либо оптического прибора с глазом человека, считают, что глаз аккомодирован на бесконечность.

В случае помутнения хрусталика (катаракта) его заменяют кварцевой линзой.

Экзамен. Три цвета радуги. Свет и цвет.

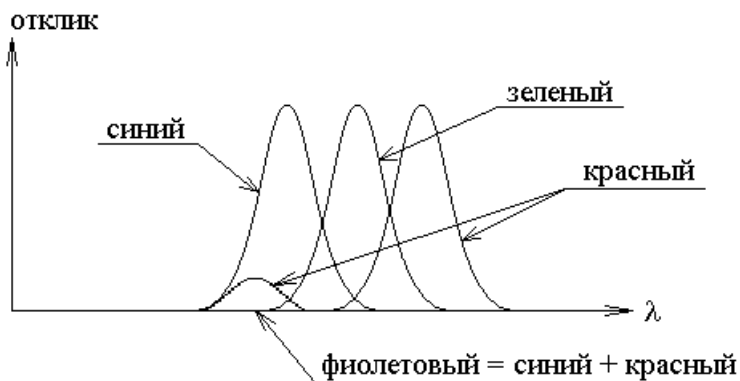
Свет имеет цвет.

Сетчатка глаза состоит из светочувствительных клеток двух типов.

Клетки одного типа (палочки) реагируют только на интенсивность света и позволяют видеть в полутьме. В экваториальных широтах, где день быстро сменяется ночью, границей дня и ночи считается момент, когда пропадают цвета.

Другие клетки чувствительные к цвету (колбочки) бывают трех типов. Они по-разному реагируют на свет разных длин волн. К коротким волнам (синий свет) чувствительны колбочки типа 'S' (short), к средним волнам (зеленый свет) — типа 'M' (medium), к длинным (красный свет) — 'L' (long).

Очень грубо (не в масштабе) зависимость чувствительности колбочек от длины волны света представлены на ниже следующем рисунке.



Поскольку глаз имеет только три разных отклика на свет, то и цветов радуги только три, а не семь. Так одна точка цветного изображения монитора содержит три светодиода трех разных цветов: синего, зеленого и красного. Эти три светодиода позволяют создавать любые оттенки цвета.

Несколько иначе обстоит дело с красками. Краски бывают двух типов: рассеивающие нужный цвет или пропускающие его насквозь. Например, краски цветного струйного принтера пропускают нужный свет.

- 1). Желтая краска поглощает синий свет, а остальные цвета пропускает.
- 2). Лиловая краска поглощает зеленый свет.
- 3). Бирюзовая — поглощает красный.

Белый свет — это суперпозиция красного, зеленого и синего света. Белый свет, проходя через принтерную краску, окрашивается, достигает белой бумаги, рассеивается и проходит обратно через краску, окрашиваясь еще сильнее.

Поглощая в нужных пропорциях разные цвета из белого света, можно добиться любого оттенка рассеянного бумагой света.

Факультатив. Фотометрический парадокс Ольберса.

Все небо должно светиться от звезд при любой средней концентрации звезд во Вселенной.

И действительно, пусть n — средняя концентрация звезд, σ — площадь поперечного сечения одной звезды, r — расстояние от Земли до звезды. Тогда

$\Omega = \frac{\sigma}{r^2}$ — телесный угол, под которым с Земли видна звезда. Рассмотрим

вокруг Земли сферический слой с радиусами r и $r+dr$. Объем слоя $dV = 4\pi r^2 dr$,

количество звезд в этом слое $dN = n dV = 4\pi r^2 n dr$. Суммарный телесный угол, под которым видны звезды сферического слоя:

$$d\Omega = \frac{\sigma}{r^2} dN = \frac{\sigma}{r^2} 4\pi r^2 n dr = 4\pi \sigma n dr.$$

Если просуммировать телесные углы по всем r от нуля до бесконечности, то интеграл расходится на бесконечности. То есть, все небо должно светиться от звезд. Почему же оно не светится? Этому парадоксу может быть несколько объяснений.

Первое объяснение состоит в том, что средняя концентрация звезд во Вселенной равна нулю. И в этом нет ничего удивительного.

И действительно. Средняя плотность вещества в атомном ядре очень велика, но ядра атомов в веществе, из которого состоит планета Земля, расположены далеко друг от друга по сравнению с размерами одного атомного ядра. Поэтому средняя плотность вещества на планете Земля гораздо ниже средней плотности вещества в атомном ядре.

Планеты солнечной системы расположены далеко друг от друга по сравнению с размерами планет, поэтому средняя плотность вещества в солнечной системе гораздо ниже средней плотности вещества на планете Земля.

Звезды нашей галактики расположены далеко друг от друга по сравнению с размерами солнечной системы, поэтому средняя плотность вещества в нашей галактике гораздо меньше средней плотности вещества в солнечной системе.

Звездные галактики расположены далеко друг от друга по сравнению с размерами одной галактики, поэтому средняя плотность вещества в видимой части Вселенной гораздо меньше средней плотности вещества в нашей галактике.

Если предположить, что эта тенденция продолжается и в более крупных масштабах, то средняя плотность вещества во Вселенной может оказаться меньше любой наперед заданной величины, то есть может оказаться нулевой величиной.

Второе объяснение парадокса состоит в том, что Вселенная родилась в результате Большого взрыва, который был примерно 15 миллиардов лет назад. В таком случае мы не можем видеть свет звезд, которые расположены от нас на расстоянии дальше 15 миллиардов световых лет. Не можем, так как для нашего наблюдения сейчас эти звезды должны были бы излучить свет больше, чем 15 миллиардов лет назад, то есть тогда, когда этих звезд еще не было. Следовательно, складывать телесные углы звезд от сферических слоев нужно не до бесконечного радиуса, а только до радиуса 15 миллиардов световых лет. В результате интеграл сходится к конечной величине, и большая часть неба остается свободной от светящихся звезд.

Здесь полезно сделать замечание, основанное на представлениях о кривом пространстве-времени теории относительности. Представьте себе, что наше пространство искривлено.

А как это представить? Можно рассмотреть кривое пространство в более простом двумерном случае вместо реального трехмерного кривого пространства. Простейшее кривое двумерное пространство — это поверхность сферы. Радиус кривизны этого пространства — это радиус сферы. Любой малый участок этой сферы почти не искривлен, если размеры рассматриваемого участка гораздо меньше радиуса кривизны. Аналогично наше трехмерное пространство, если рассмотреть малый его участок по сравнению с радиусом кривизны пространства, то окажется, что пространство почти не искривлено.

Вернемся к двумерному пространству поверхности сферы. Большой взрыв, в результате которого все звезды разлетаются, можно рассматривать, как увеличение со временем радиуса сферы. Расстояния между двумя любыми точками на сфере при этом увеличиваются во времени пропорционально радиусу сферы. Может оказаться так, что даже со скоростью света нельзя добраться от одной точки сферы до другой. Для этого необходимо, чтобы радиус сферы увеличивался с ускорением. При этом одна часть пространства оказывается принципиально недоступной для другой части пространства. Для каждой точки в таком случае есть некоторый горизонт, за которым находится недоступная для изучения реальность. Некоторые объекты со временем могут уходить за этот горизонт и становиться недоступными.

За малый промежуток времени dt угловое перемещение по сфере со скоростью света c равно $d\theta = \frac{c dt}{R}$, где R — радиус сферы. Если, например

$R(t) = R_0 + V_0 t + \frac{at^2}{2}$, то интеграл $\theta = \int_{t_0}^{\infty} d\theta = \int_{t_0}^{\infty} \frac{c dt}{R(t)}$ сходится. То есть за

бесконечное время можно переместиться по сфере только на конечный угол. Если этот угол меньше начального угла между двумя точками, то эти точки недоступны друг для друга.

Современные представления о Большом взрыве предполагают, что на ранних стадиях радиус кривизны пространства возрастал быстрее скорости света (теория инфляции).

Если часть пространства недоступна, то и свет звезд от этой части пространства отсутствует. Может быть, не все небо светится именно поэтому.