

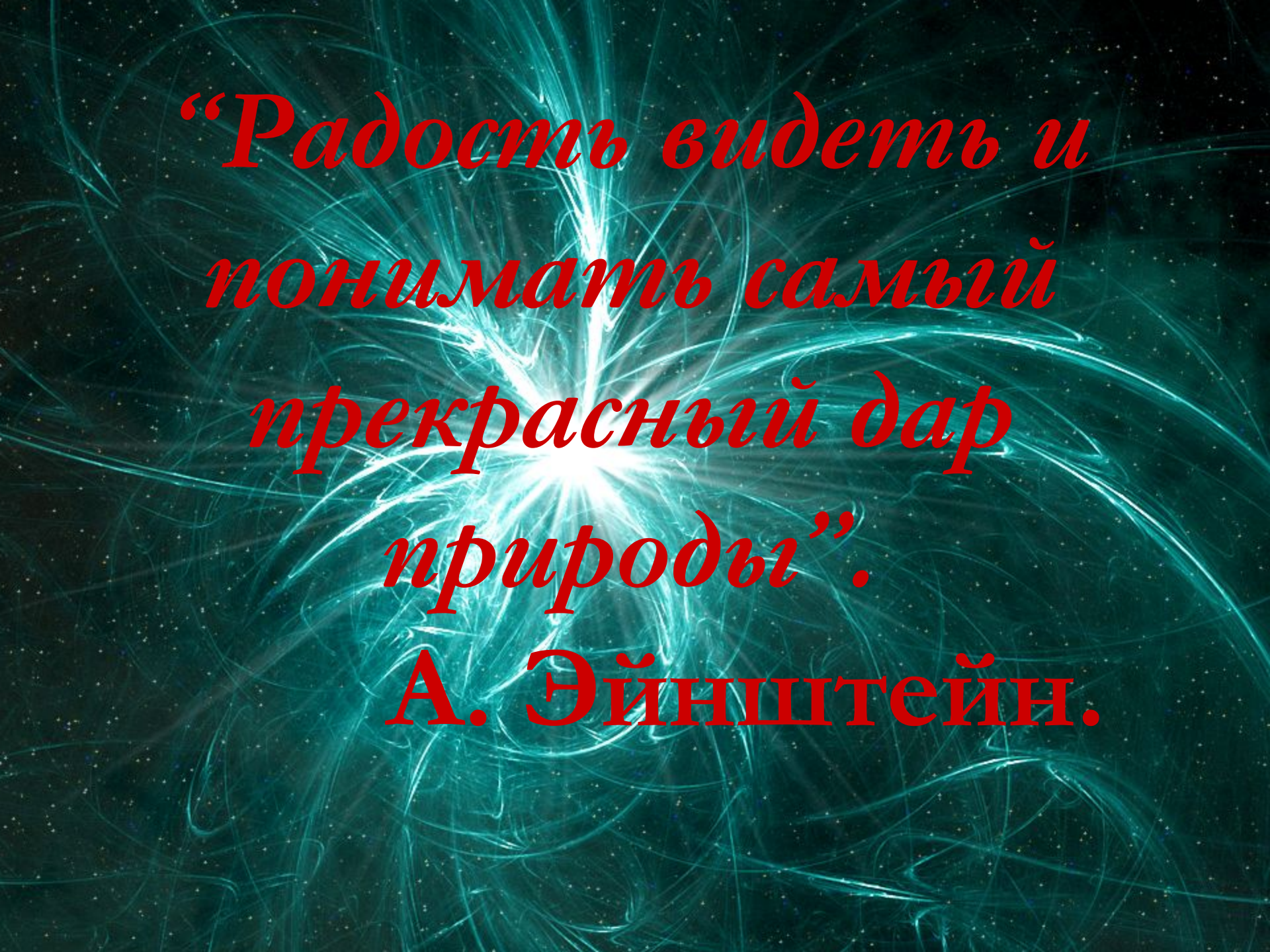
**ЛЕКЦИИ ПРЕЗЕНТАЦИИ
ПО РАЗДЕЛУ 5 «ОПТИКА»**

ЗАНЯТИЕ 68

ПРИРОДА СВЕТА.

СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА.

ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА. ЗАКОНЫ ОТРАЖЕНИЯ



*“Радость видеть и
понимать самый
прекрасный дар
природы”.*

А. Эйнштейн.

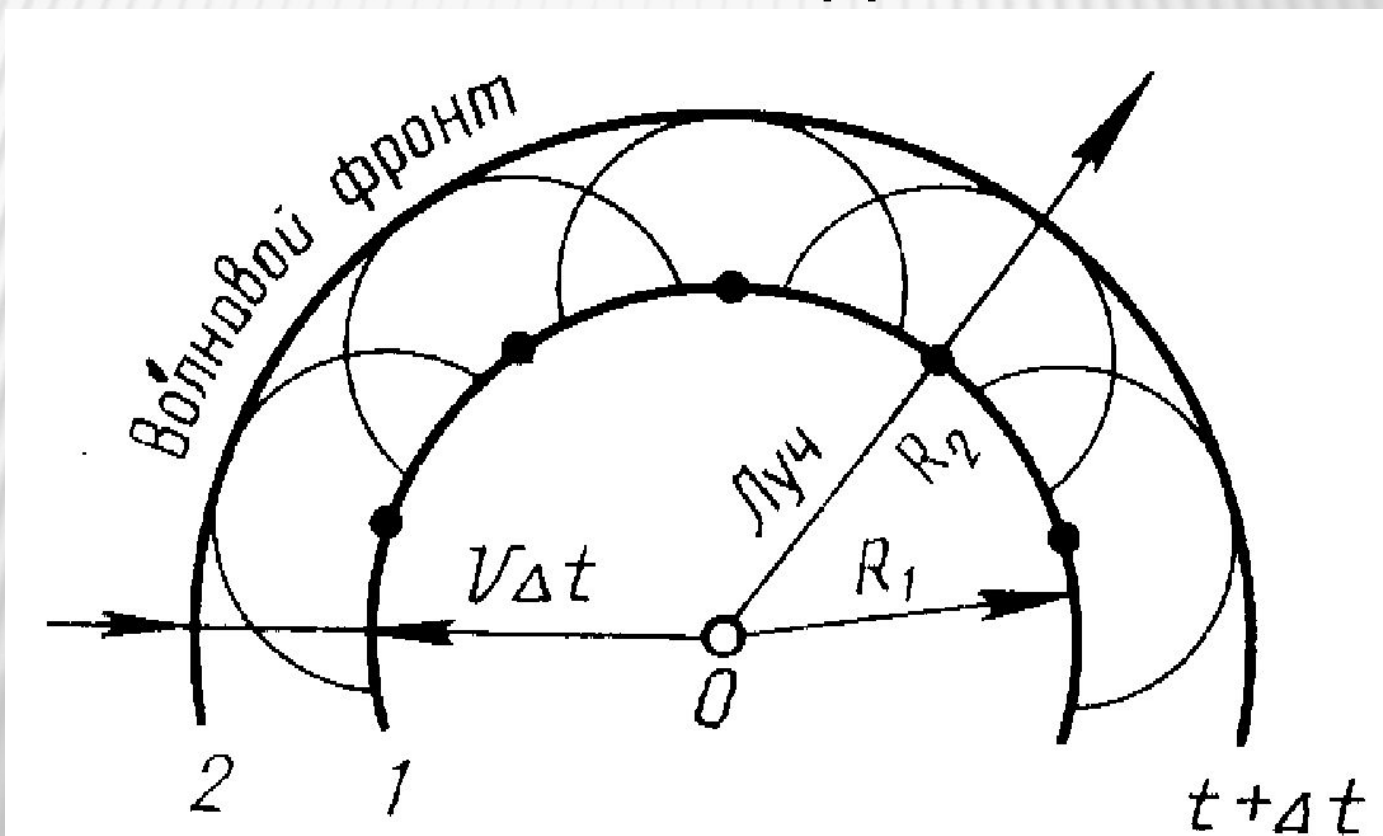
- Размышлять о природе света начали еще в древние времена. Первые гипотезы были наивны и туманны. Так, Аристотелю приписывают утверждение, что свет есть нечто, исходящее из глаз. Лучи света как бы ощупывают предметы, доставляя наблюдателю информацию об их форме и качестве.
- В школе Пифагора утверждали, что лучи Солнца «проникают через густой и холодный эфир». Впервые появляется мысль о том, что свет каким-то образом передается материальной средой — эфиром.

- Пифагор одним из первых выдвинул гипотезу о том, что тела испускают мельчайшие частицы, которые попадают в глаза, благодаря чему мы и видим окружающий мир.
- В XVII веке делаются первые попытки теоретического обоснования наблюдаемых световых явлений. Фундамент учения о свете заложил Исаак Ньютон.

- 1. *Корпускулярная теория* света, развитая Ньютоном, состоит в том, что световое излучение рассматривается как непрерывный поток мельчайших частиц – корпускул, которые испускаются источником света и с большой скоростью летят в однородной среде прямолинейно и равномерно (эта теория объясняла различные цвета излучений, отражение, преломление, дисперсию).

2. С точки зрения *волновой теории* света, основоположником которой является Х. Гюйгенс, световое излучение представляет собой волновое движение. Световые волны Гюйгенс рассматривал как упругие волны высокой частоты, распространяющиеся в особой упругой и плотной среде – эфире, заполняющем все материальные тела, промежутки между ними и межпланетные пространства (объясняла интерференцию, дифракцию, но не могла объяснить распространение света от Солнца до Земли).

- *Принцип Гюйгенса*: каждая точка среды, до которой дошло возмущение, сама становится источником вторичных сферических волн, огибающая которых дает новое положение фронта волны.



3. *Электромагнитная теория* света была создана в середине XIX века Максвеллом (1831–1879). Согласно этой теории световые волны имеют электромагнитную природу, а световое излучение можно рассматривать как частный случай электромагнитных явлений (объясняла распространение света в вакууме). Исследования Герца и в дальнейшем П.Н. Лебедева также подтвердили, что все основные свойства электромагнитных волн совпадают со свойствами световых волн.

- Всякое световое излучение является электромагнитными волнами, но не все электромагнитные волны являются световыми, а только те которые вызывают у человека зрительные ощущения (от $4 \cdot 10^{14}$ Гц до $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц).
- Длины волн светового излучения в вакууме: от 400 нм до 760 нм. При переходе из одной среды в другую цвет сохраняется так как сохраняется частота, а длина волны изменяется вследствие изменения его скорости распространения.

4. *Квантовая теория* света возникла в начале XX века. Она была сформулирована в 1900 году, а обоснована в 1905 году. Основоположниками квантовой теории света являются Планк и Эйнштейн, Бор и др. Согласно этой теории, световое излучение испускается и поглощается частицами вещества не непрерывно, а дискретно, то есть отдельными порциями – квантами (фотонами) света (объясняла все свойства света, в том числе испускание и поглощение света атомами).

Квантовая теория как бы в новой форме возродила корпускулярную теорию света, по существу же она явилась развитием единства волновых и корпускулярных явлений (квантово-волнового дуализма). Связь между волновыми и квантовыми свойствами света выражается формулой Планка:

$$E = h\nu,$$

где E – энергия фотона,

ν – частота колебаний

h – постоянная Планка, $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

Так как $c = \nu\lambda$, то $E = \frac{hc}{\lambda}$.

При излучении и поглощении
Первые представления
свет ведет себя подобно
древних ученых о свете
поток частиц.
были весьма наивны.
Считалось, что из глаз
выходят особые тонкие
щупальца и зрительные
впечатления возникают
при ощупывании ими
предметов.

*При
распространении
свет ведет себя
как волна*

ДВА ВЕЛИКИХ ПРОТИВОСТОЯНИЯ В НАУКЕ.
ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРИРОДЕ
СВЕТА.

2,5 тысячелетий назад.

Пифагор.

XVII век

Исаак Ньютон

Христиан Гюйгенс

XIX век.

Джеймс Максвелл.

XX век.

Примиряющая теория.

Корпускулярно-волновой дуализм.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ СВЕТА

▣ *Прямые:*
астрономические
и лабораторные

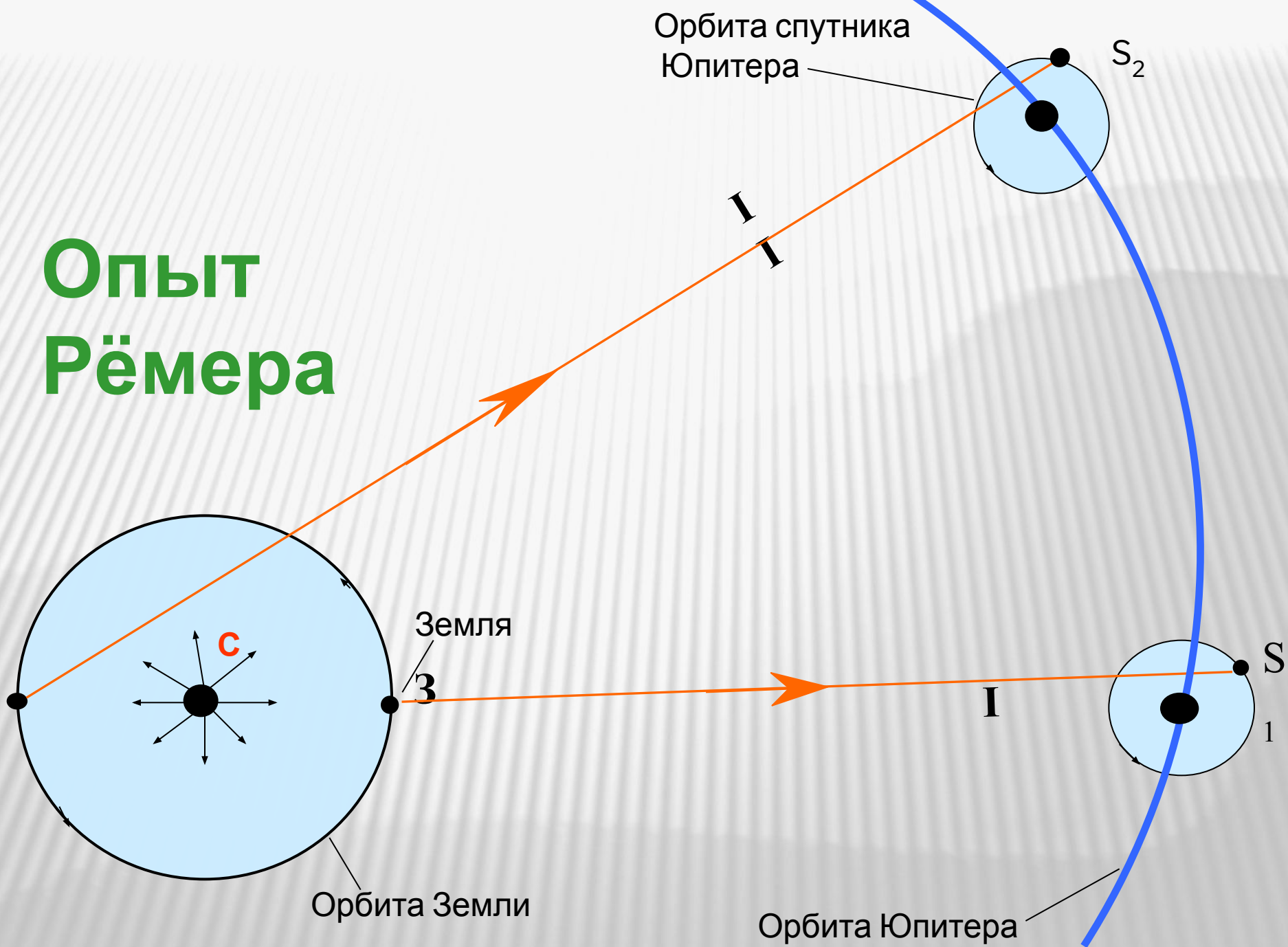
- ▣ ОПЫТЫ
- ▣ - О.Ремера,
- ▣ - А.Физо,
- ▣ - Л.Фуко,
- ▣ - А.Майкельсона

▣ *Косвенные: по*
формуле $c_c = \nu\lambda$

- ▣ ОПЫТЫ
- ▣ - Д.Брадлея,
- ▣ - Ф.Кольрауша,
- ▣ - В.Вебера

□ В 1676 году Ремер наблюдал за затмением спутника Юпитера – Ио. Спутник проходил перед планетой, а затем погружался в ее тень и пропадал из поля зрения. Через 42 часа 28 минут Ио появлялся опять. Ремер проводил измерения, когда Земля ближе всего подходила к Юпитеру. Когда через несколько месяцев он повторил наблюдения, то оказалось, что спутник появился из тени на 22 минуты позже. Ученый объяснил, 22 минуты свет затрачивает на прохождение из предыдущей точки наблюдения до нынешней точки.

Опыт Рёмера





РАЗДЕЛИВ ДИАМЕТР
ЗЕМНОЙ ОРБИТЫ НА
ВРЕМЯ
ЗАПАЗДЫВАНИЯ,
МОЖНО ПОЛУЧИТЬ
ЗНАЧЕНИЕ СКОРОСТИ
СВЕТА:

$$c = 3 \cdot 10^{11} \text{ м} : 1320 \text{ с} \approx 2,27 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$



МЕТОД ФИЗО

$$t = \frac{2 \cdot L}{c}$$

$$t = t'$$

$$t' = \frac{T}{2 \cdot N} = \frac{1}{2 \cdot N \cdot \nu}$$

$$c = 4 \cdot L \cdot N \cdot \nu$$

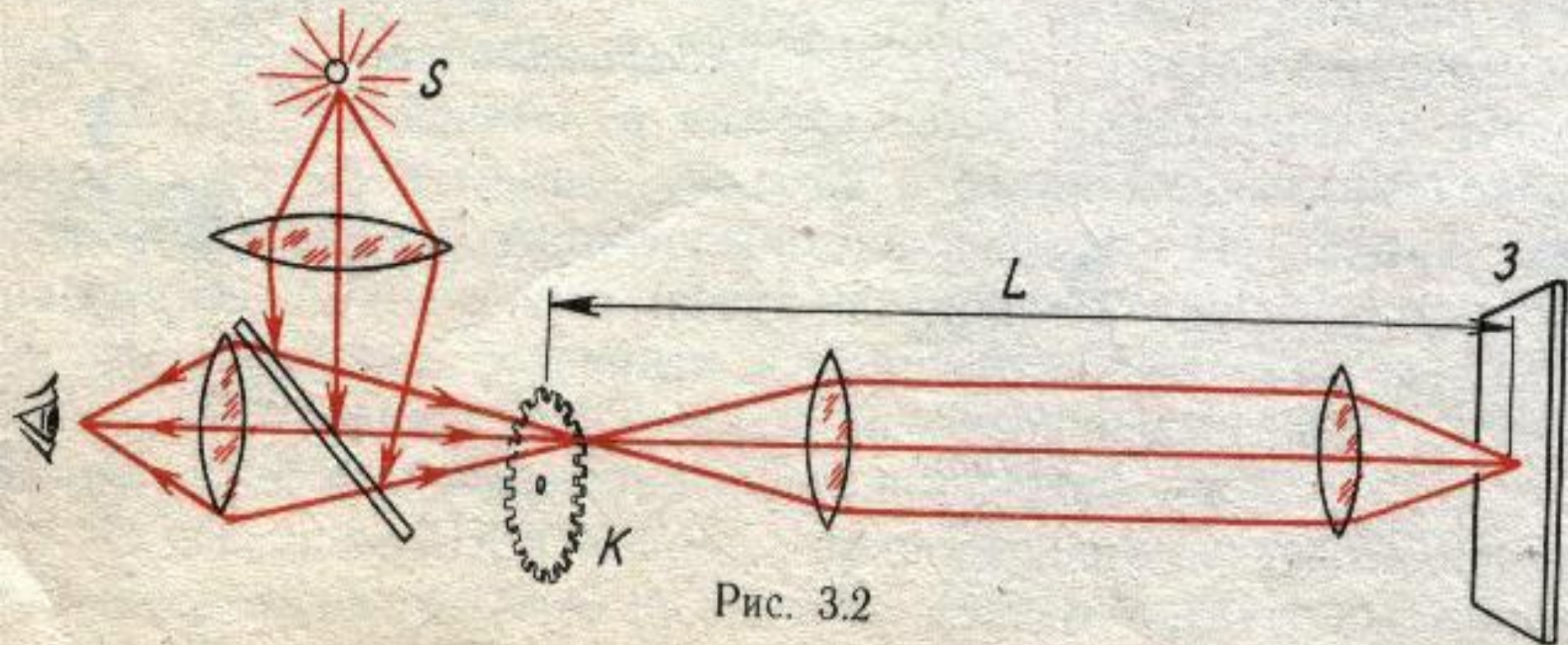


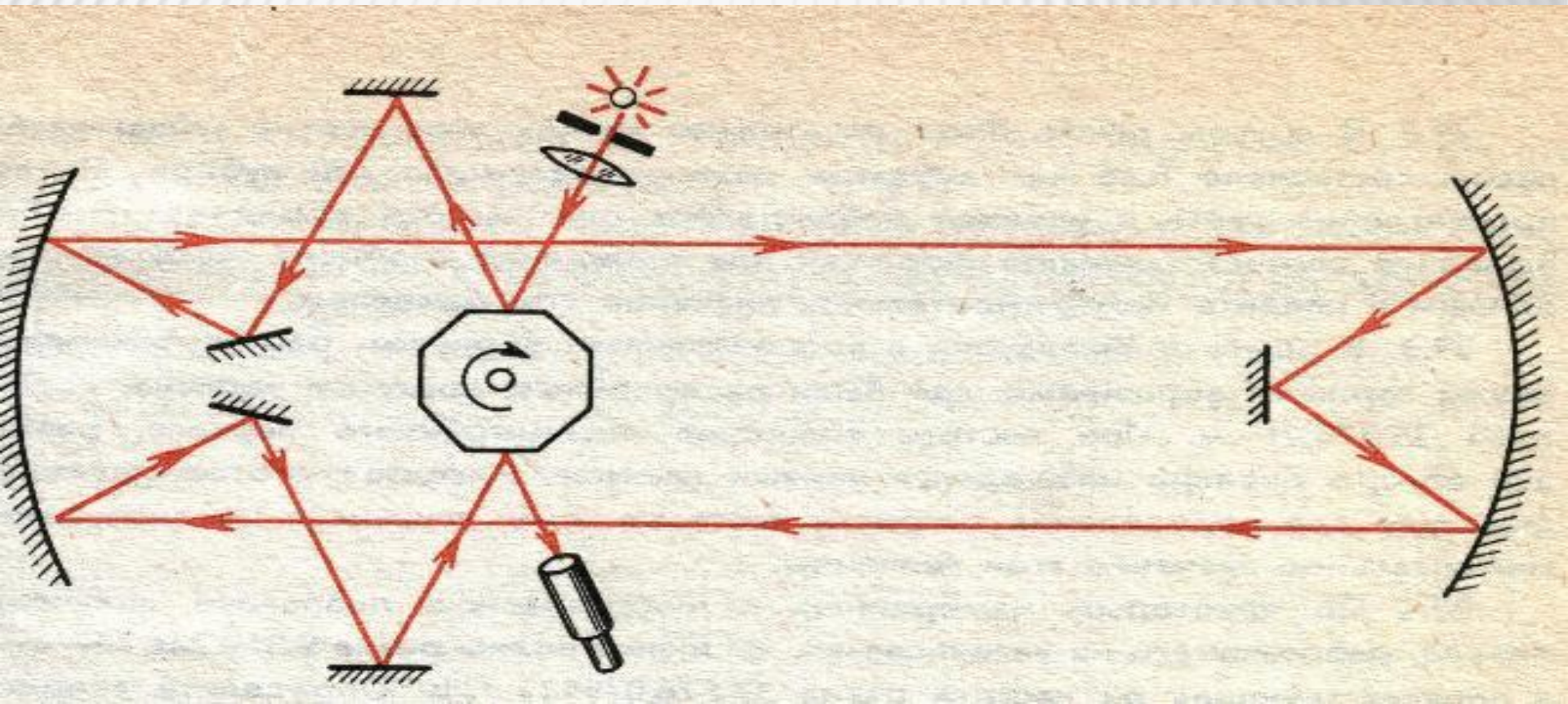
Рис. 3.2

В лабораторных условиях скорость света впервые удалось измерять в 1849 году французскому физику Физо. В его опыте свет от источника, пройдя через линзу, падал на полупрозрачную стеклянную пластинку. Отразившись от пластинки узкий пучок направлялся на периферию быстро вращающегося колеса. Пройдя между зубцами свет достигал зеркала, находившегося на расстоянии нескольких километров от колеса. Отразившись от зеркала, свет проходил между зубцами колеса и затем попадал в глаз наблюдателя. (Колесо имело 720 зубцов).

□ Когда скорость вращения была маленькой, свет отраженный от зеркала был виден, при увеличении скорости вращения он исчезал. При дальнейшем увеличении скорости вращения, свет опять становился виден (при частоте 12,6 об/с). То есть, за время распространения света до зеркала и обратно колесо успевало повернуться на столько, что на место прежней прорези вставала уже новая прорезь. Зная это время и расстояние между колесом и зеркалом можно определить скорость света. В опыте Физо расстояние равнялось 8,6 километров, а скорость света получилась равной 313000 километров в секунду.

МЕТОД МАЙКЕЛЬСОНА

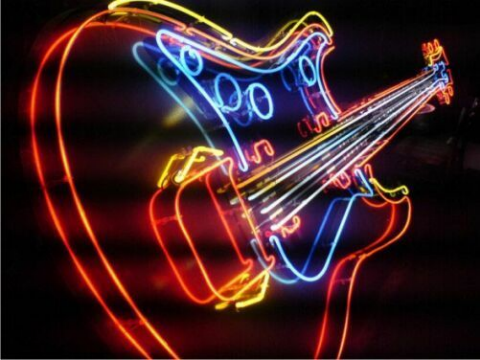
- $c_c = 2\ell/\tau$
- $\tau = 1/8n$
- $c_c = 16\ell n$



В 1926 году установка Майкельсона была выполнена между двумя горными вершинами, так что расстояние, проходимое лучом от источника до его изображения после отражений от первой грани восьмигранной зеркальной призмы, зеркал М 2 - М 7 и пятой грани, составляло около 35,4 км. Скорость вращения призмы (приблизительно 528 об/с) выбиралась такой, чтобы за время распространения света от первой грани до пятой призма успевала повернуться на $1/8$ оборота. Возможное смещение зайчика при неточно подобранной скорости играло роль поправки. Скорость света, определенная в этом опыте, оказалась равной 299796,4 км/с.

- В основе косвенного способа измерения скорости света лежит представление о свете как об электромагнитной волне и ее скорость находится путем умножения длины волны на частоту колебаний волны.
- Определенным итогом измерения скорости света в СВЧ-диапазоне стала работа американского ученого К.Фрума, результаты которой были опубликованы в 1958 году. Ученый получил результат 299792,50 километров в секунду.
- Способ определения частот с помощью использования лазерного излучения дает величину скорости света, равную 299792,462 километра в секунду.

ИСТОЧНИКИ СВЕТА



□ Температурные – светятся за счет своей внутренней энергии

□ Люминесцентные – светятся за счет поглощенной ими энергии



- - Солнце
- - спичка
- - лампа накаливания
- - газосветные трубки

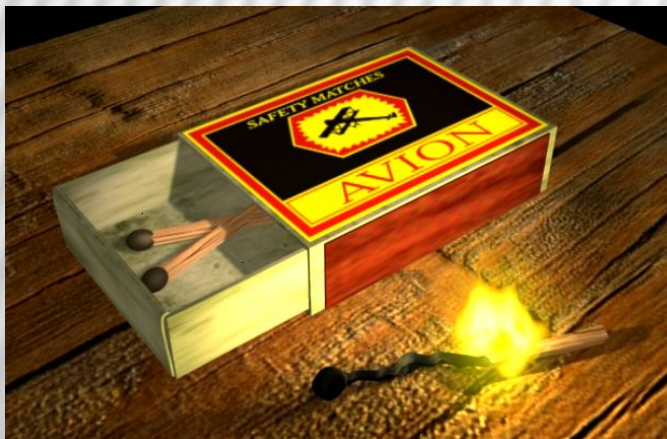
- фосфор
- люминофоры



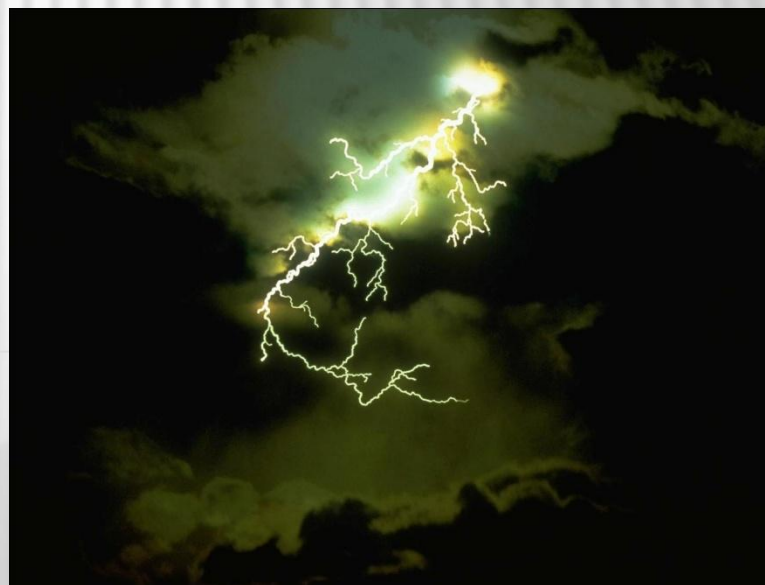
Источники света

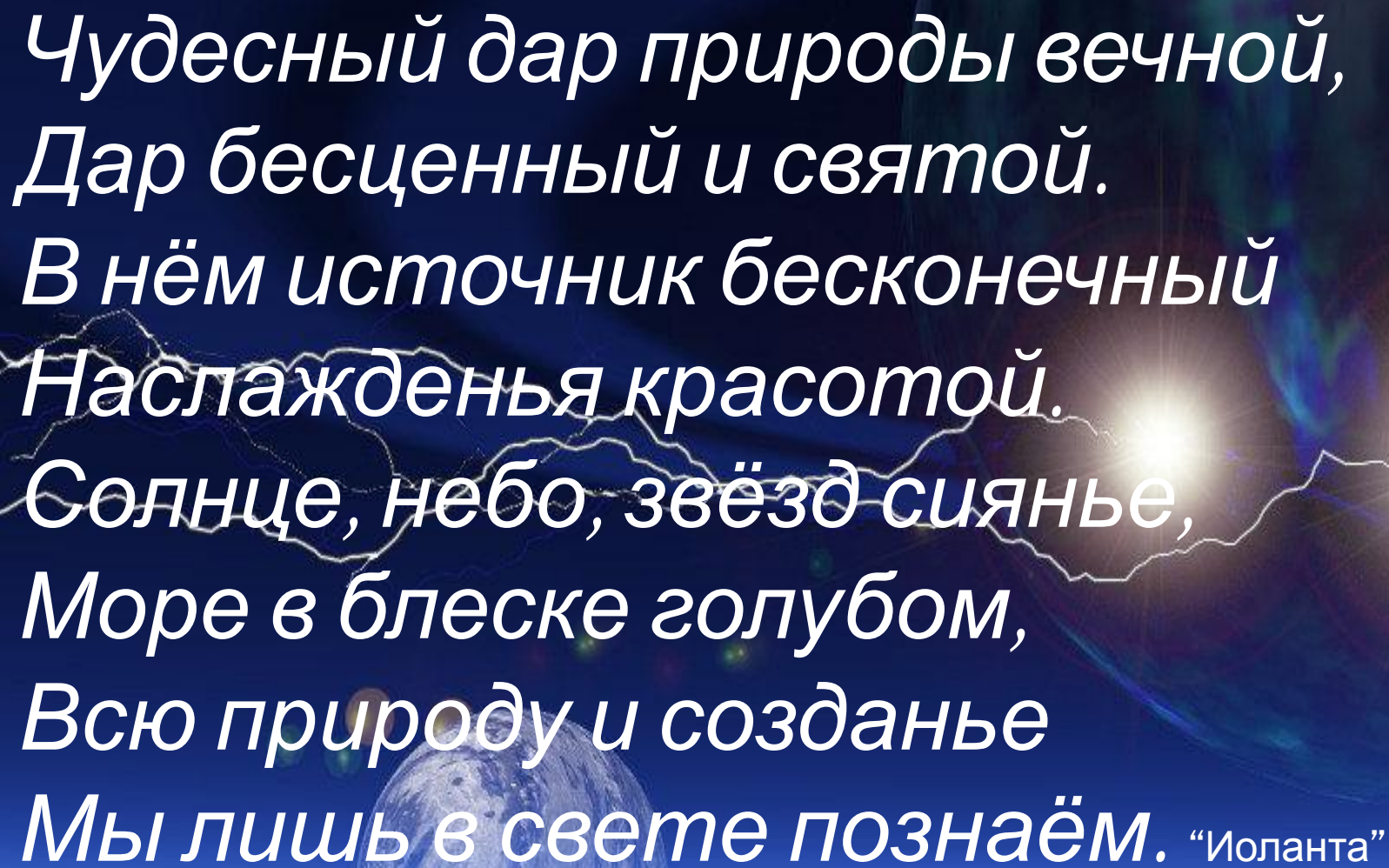


Искусственные



ЕСТЕСТВЕННЫЕ



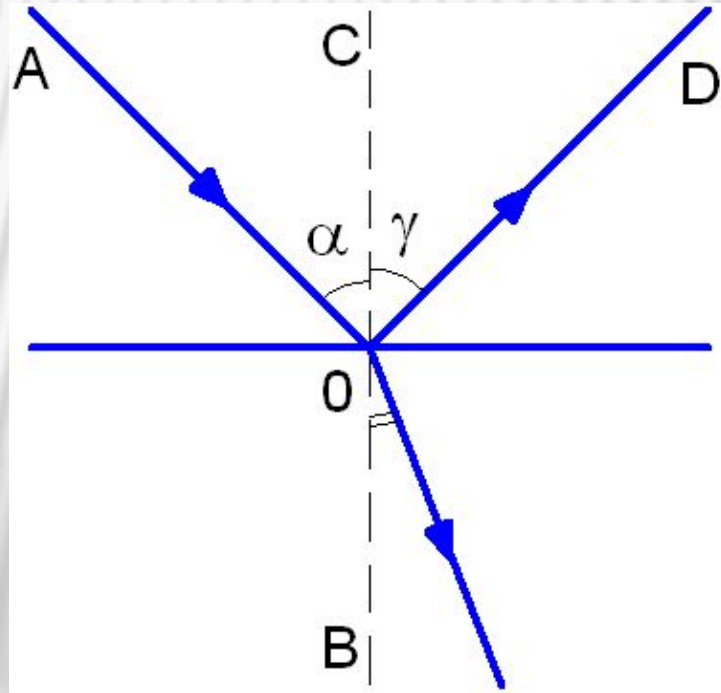


Чудесный дар природы вечной,
Дар бесценный и святой.
В нём источник бесконечный
Наслажденья красотой.
Солнце, небо, звёзд сиянье,
Море в блеске голубом,
Всю природу и создание
Мы лишь в свете познаём. “Иоланта”

□ ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА

- На границе раздела двух различных сред, если эта граница раздела значительно превышает длину волны, происходит изменение направления распространения света: часть световой энергии возвращается в первую среду, то есть отражается, а часть проникает во вторую среду и при этом преломляется. Луч АО носит название падающий луч, а луч OD – отраженный луч. Взаимное расположение этих лучей определяют законы отражения и преломления света.

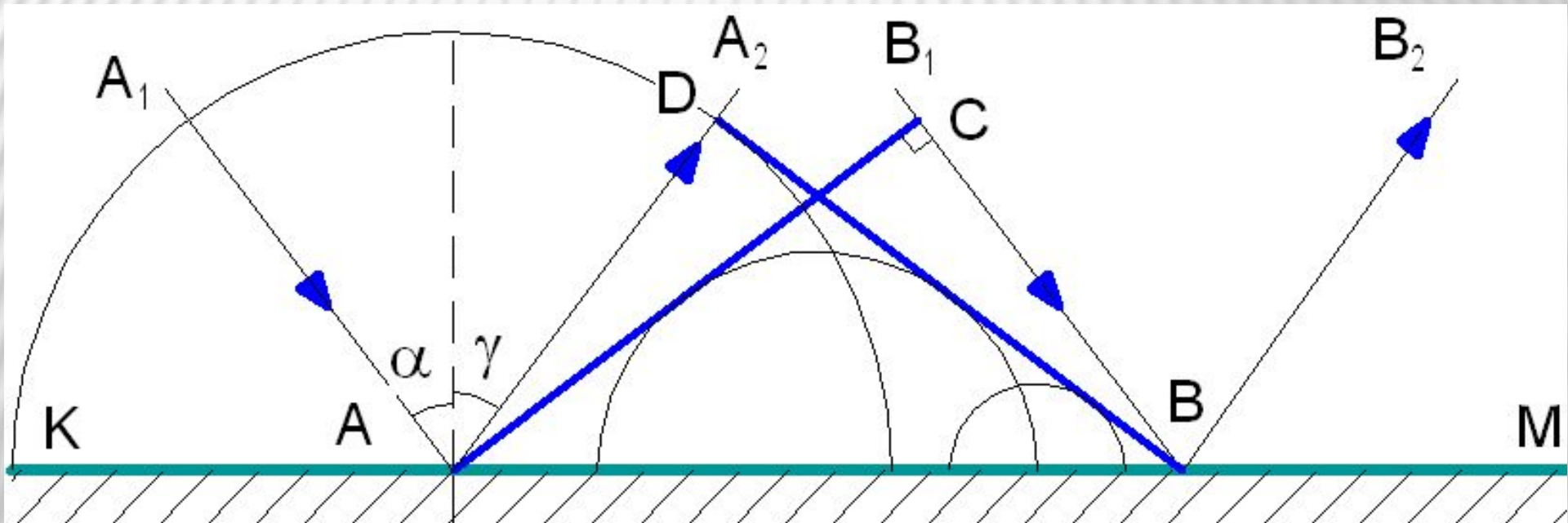
- Угол α между падающим лучом и перпендикуляром к границе раздела двух сред, восстановленным к поверхности в точке падения луча, носит название *угол падения*.
- Угол γ между отражённым лучом и тем же перпендикуляром, носит *название угол отражения*.



Каждая среда в определённой степени (то есть по своему) отражает и поглощает световое излучение. Величина, которая характеризует отражательную способность поверхности вещества, называется коэффициентом отражения. Коэффициент отражения показывает, какую часть принесённого излучением на поверхность тела энергии составляет энергия, унесённая от этой поверхности отражённым излучением. Этот коэффициент зависит от многих причин, например, от состава излучения и от угла падения. Свет полностью отражается от тонкой плёнки серебра или жидкой ртути, нанесённой на лист стекла.

ЗАКОНЫ ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА

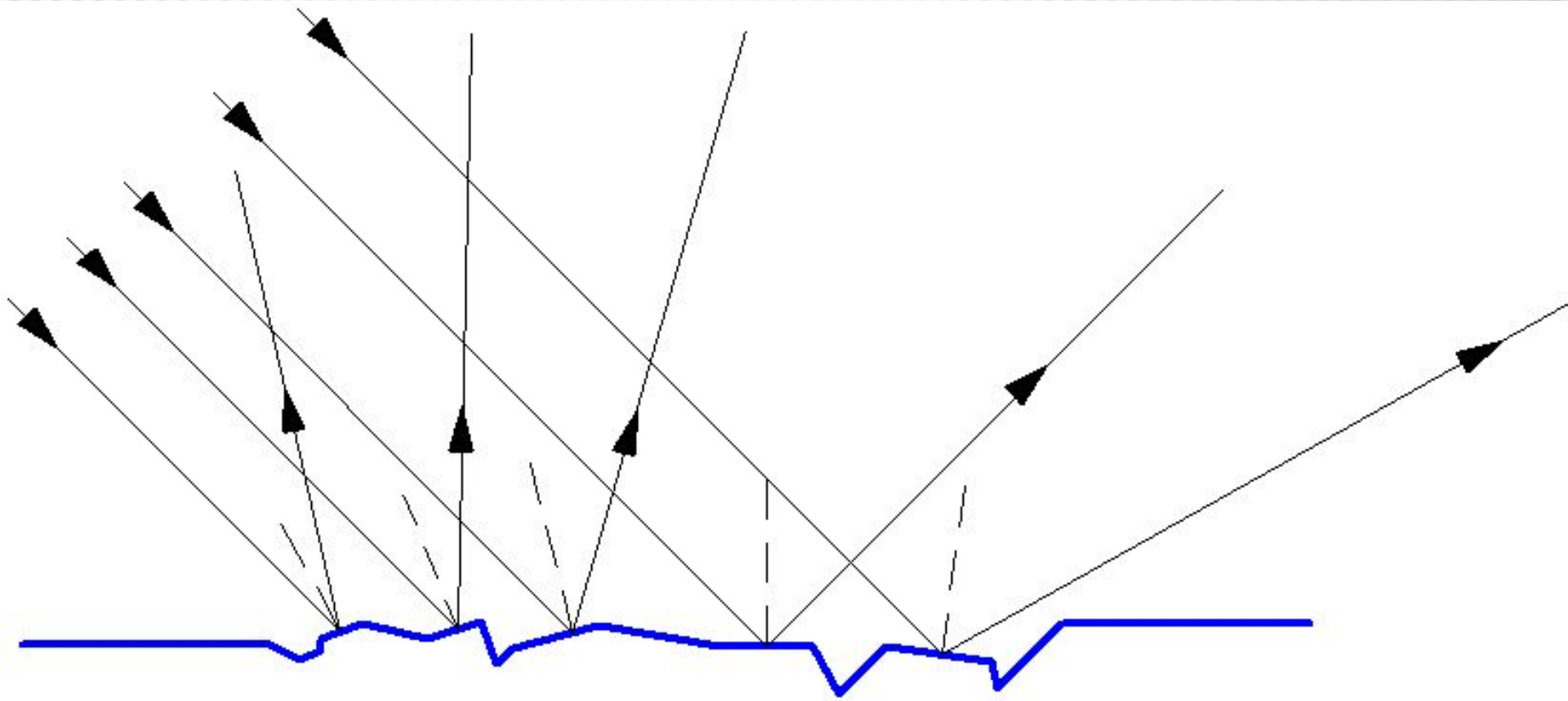
- 1. Падающий луч, отраженный луч и перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости.
- 2. Угол отражения γ равен углу падения α :
угол $\gamma =$ углу α



- $AD = \vartheta t$ и $CB = \vartheta t$, где ϑ – скорость распространения волны, поэтому $AD = CB$.
- Прямоугольные треугольники $\triangle ACB$ и $\triangle ADB$ имеют общую гипотенузу AB и равные катеты $AD = CB$. Следовательно, они равны. Угол $CAB =$ углу α и угол $DBA =$ углу γ , потому что это углы со взаимно перпендикулярными сторонами. А из равенства треугольников следует, что
- угол $\alpha =$ углу γ .

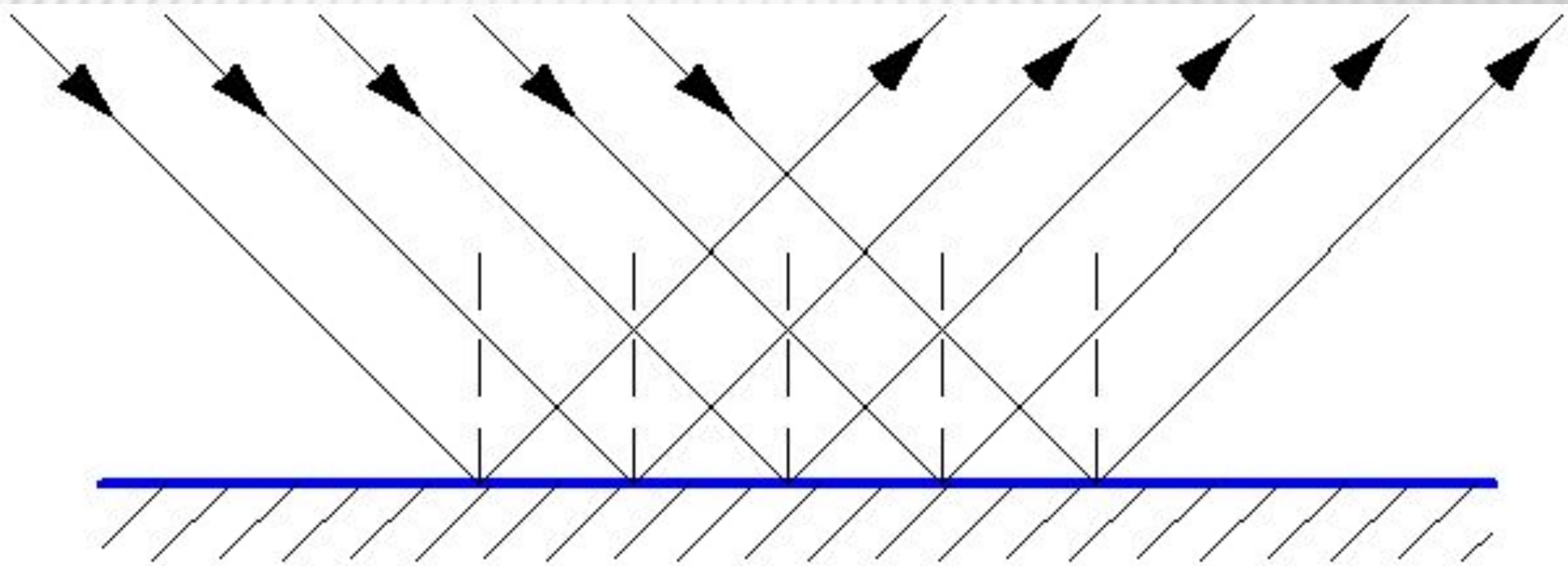
- Законы отражения справедливы при обратном направлении хода световых лучей. В следствие обратимости хода световых лучей имеем, что луч, распространяющийся по пути отражённого, отражается по пути падающего.
- Большинство тел лишь отражают падающее на них излучение, не являясь при этом источником света. Освещённые предметы видны со всех сторон, так как от их поверхности свет отражается в разных направлениях, рассеиваясь. Это явление называется *диффузное отражение* или *рассеянное отражение*.

Диффузное отражение света происходит от всех шероховатых поверхностей.

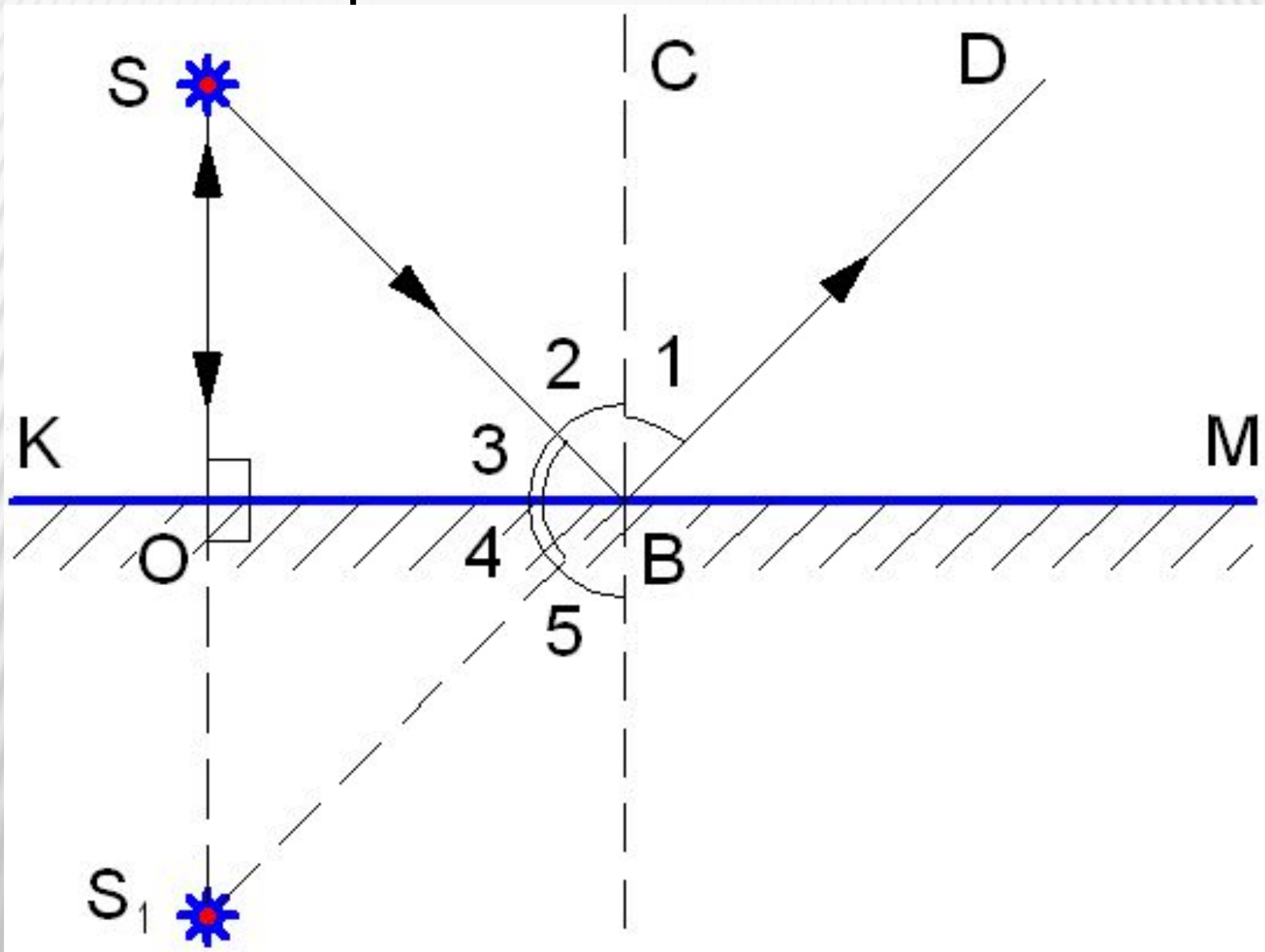


Зеркальное отражение происходит от идеально гладких поверхностей.

Зеркальные поверхности можно считать оптически гладкими, если размеры неровностей и неоднородностей на них не превышают длины световой волны (меньше 1 мкм).



ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ СВЕТЯЩЕЙСЯ ТОЧКИ В ЗЕРКАЛЕ

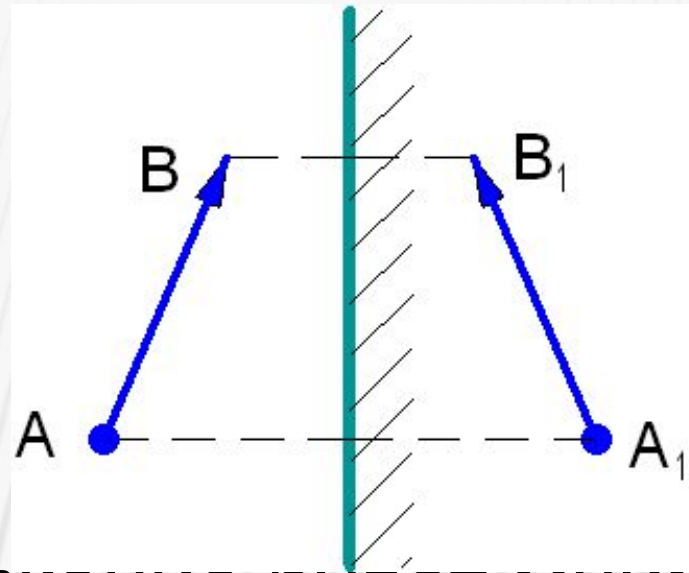


Изображение S_1 называется мнимым, если в ней пересекаются не сами отражённые лучи, а их продолжения.

Угол 1 и угол 5 равны – как вертикальные.
Сумма угла 2 и угла 3 = сумме угла 5 и угла 4. Эти суммы равны 90° . Следовательно, угол 3 = углу 4 и угол 2 = углу 5.

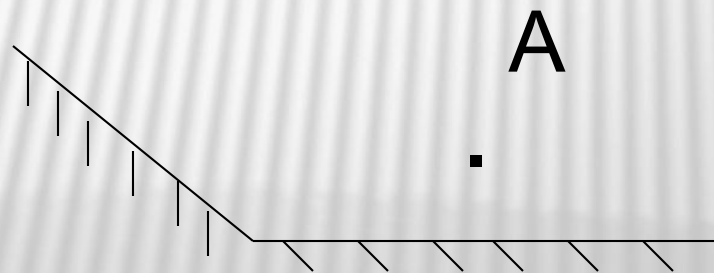
Прямоугольные треугольники $\triangle SOB$ и $\triangle S_1OB$ имеют общий катет OB и равные острые углы 3 и 4, следовательно, эти треугольники равны по стороне и двум прилежащим к катету углам. Это означает, что $SO = OS_1$, то есть точка S_1 расположена симметрично точке S относительно зеркала.

ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРЕДМЕТА В ЗЕРКАЛЕ



- Это изображение будет мнимым, прямым и в натуральную величину. Размеры и взаимное расположение предметов сохраняются, но при этом в зеркале левая и правая стороны у изображения меняются местами по сравнению с самим предметом.

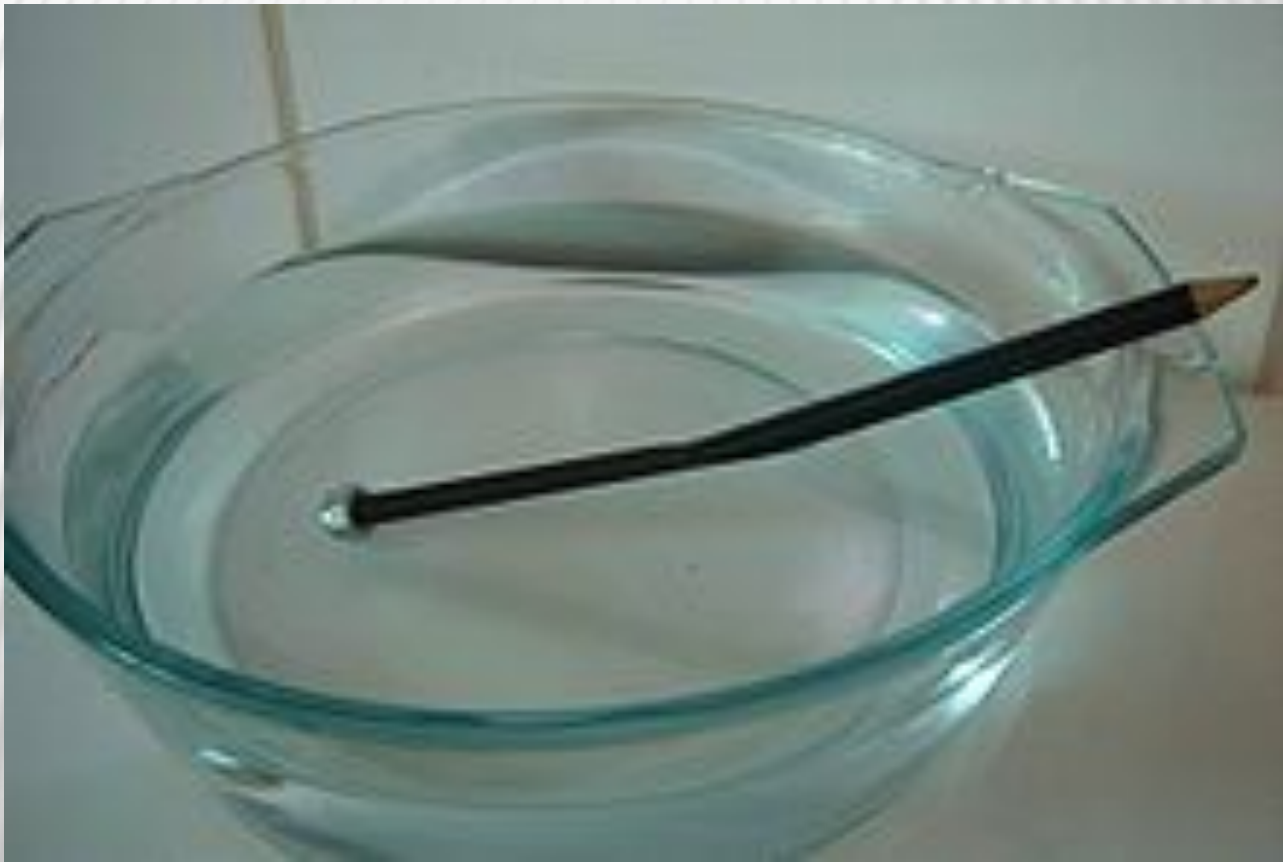
1. В комнате вертикально висит зеркало, верхний край которого расположен на уровне волос верхней части головы человека ростом 182 см. Какой наименьшей длины должно быть зеркало, чтобы этот человек видел себя в зеркале во весь рост.
2. Построить оптические изображения источника света, которые получаются в системе зеркал.



ЗАНЯТИЕ 69
ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА.
ЗАКОНЫ ПРЕЛОМЛЕНИЯ.
ПОЛНОЕ ОТРАЖЕНИЕ.
ЛИНЗЫ.
ГЛАЗ КАК ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА.
ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

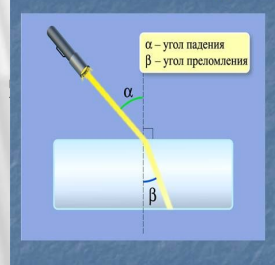
ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА

- Явление изменения направления распространения света на границе двух сред при переходе из одной среды в другую называется преломлением света.



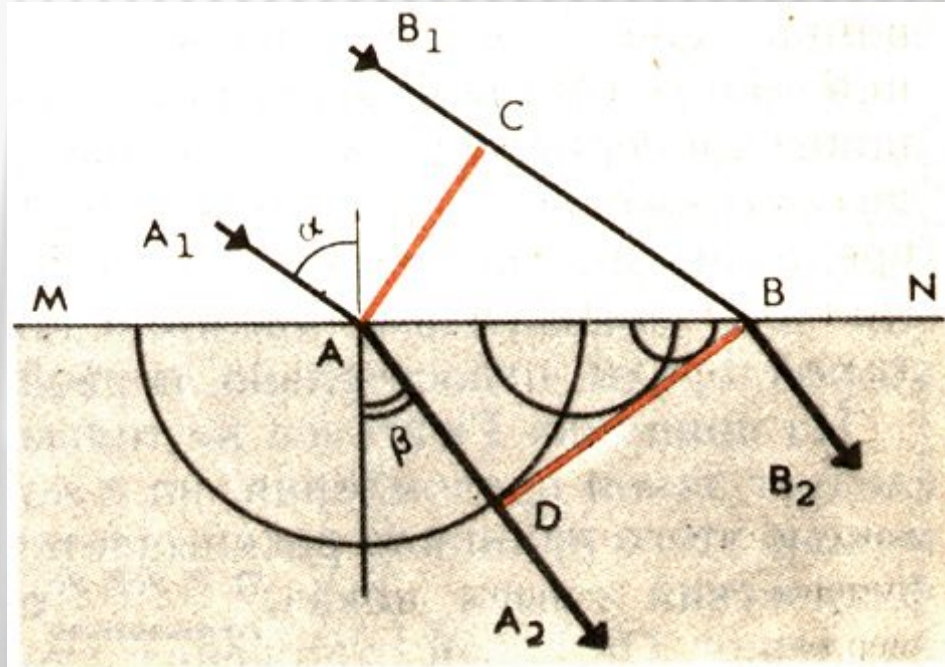
ЗАКОНЫ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА

1. Падающий луч, преломленный луч и перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча лежат в одной плоскости.



2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных двух сред.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$



Угол падения α луча равен углу CAB в треугольнике ABC (стороны одного из этих углов перпендикулярны сторонам другого). Следовательно,

$$CB = v_1 \Delta t = AB \sin \alpha$$

Угол преломления β равен углу ABD треугольника ABD .

Поэтому,

$$AD = v_2 \Delta t = AB \sin \beta$$

Отсюда:
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}$$

n_{21} - относительный показатель преломления

✦ Если обозначить скорость распространения света в первой среде v_1 , а во второй v_2 , то

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$$

Показатель преломления вещества относительно вакуума называется абсолютным показателем преломления:

$$n_1 = \frac{c_c}{v_1}; \quad n_2 = \frac{c_c}{v_2}$$

Умножим числитель и знаменатель первого уравнения на скорость света: $n_{21} = \frac{c_c v_1}{c_c v_2}$

отсюда:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1},$$

где n_1 и n_2 - абсолютные показатели преломления первой и второй сред.

Относительный показатель преломления показывает во сколько раз скорость распространения света в одной среде больше или меньше, чем в другой.



- Чем больше абсолютный показатель преломления, тем меньше скорость распространения света в среде.
- ✖ Для любой среды абсолютный показатель преломления больше 1.

Показатель преломления воды:

$$n_{21} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{300000 \frac{\text{KM}}{\text{C}}}{225000 \frac{\text{KM}}{\text{C}}} = 1,33$$

где:

ϑ_1 – скорость света в воздухе,

ϑ_2 – скорость света в воде.

Показатели преломления некоторых веществ

Стекло

$n = 1,52$

Спирт

$n = 1,36$

Алмаз

$n = 2,42$

Глицерин

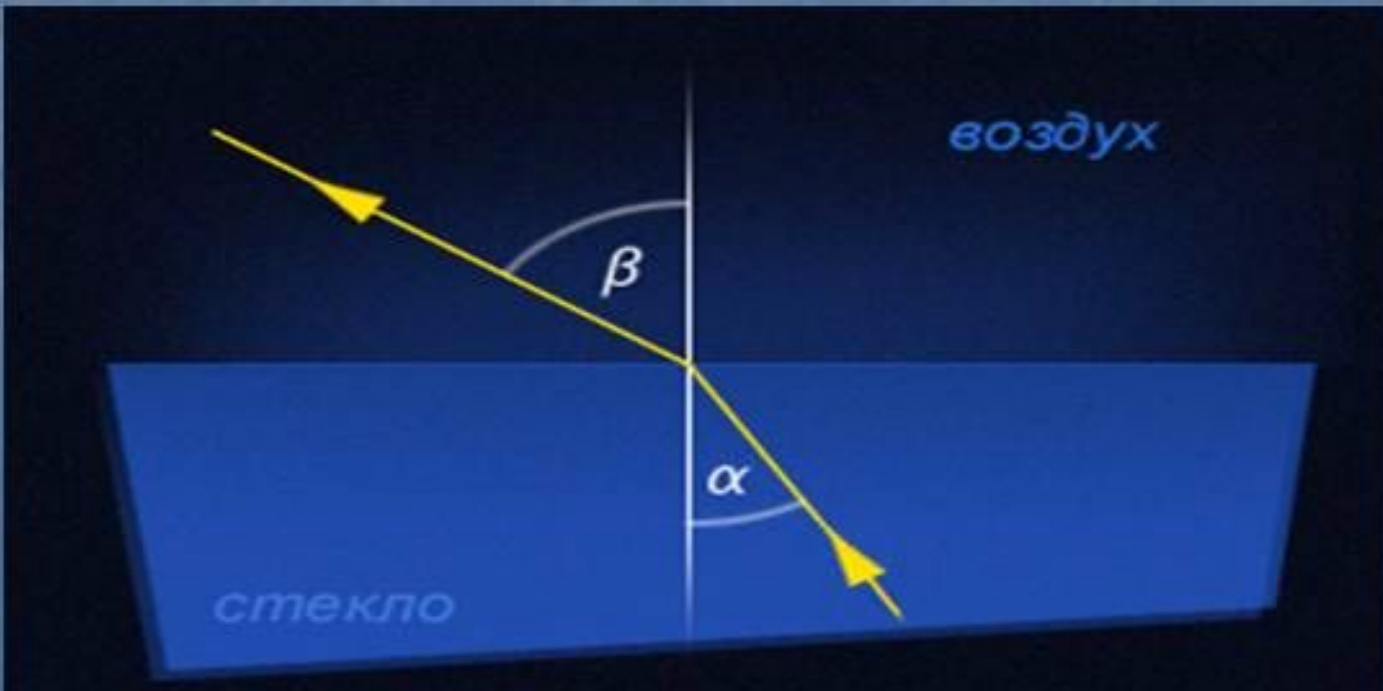
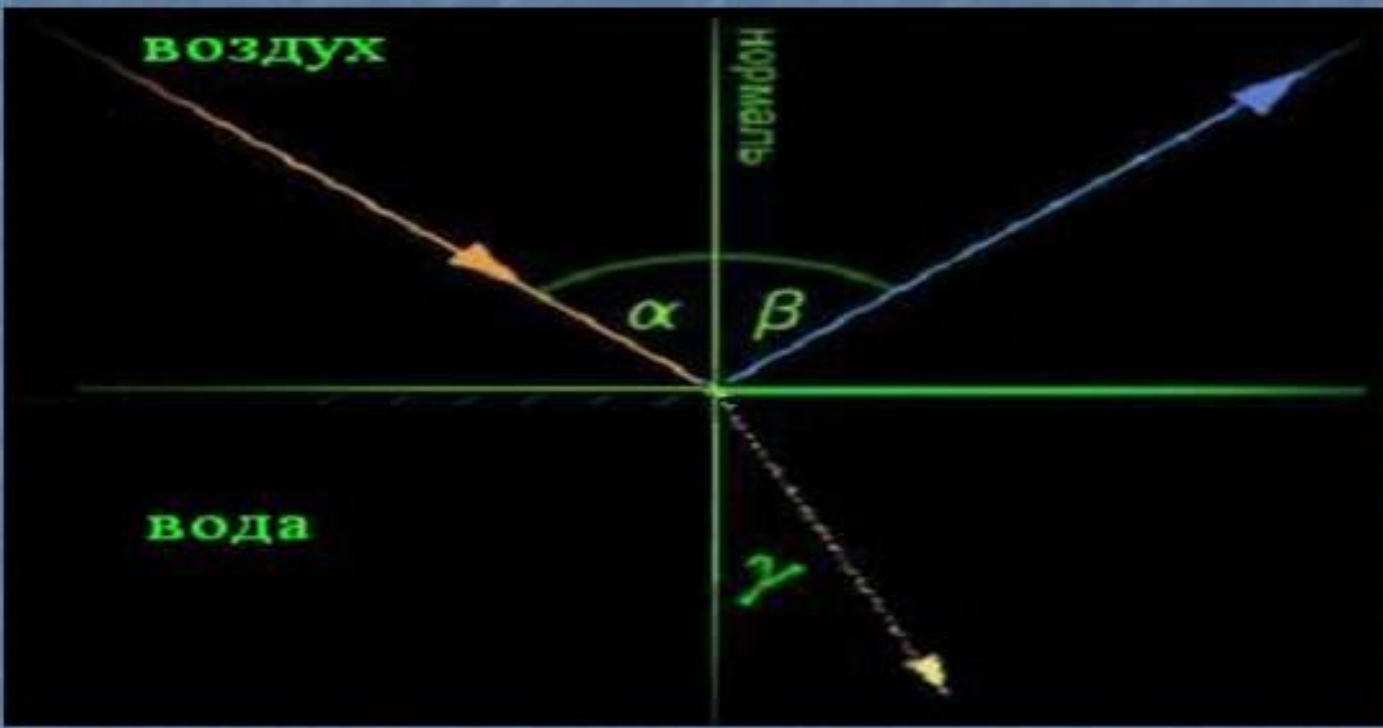
$n = 1,47$

Скипидар

$n = 1,5$

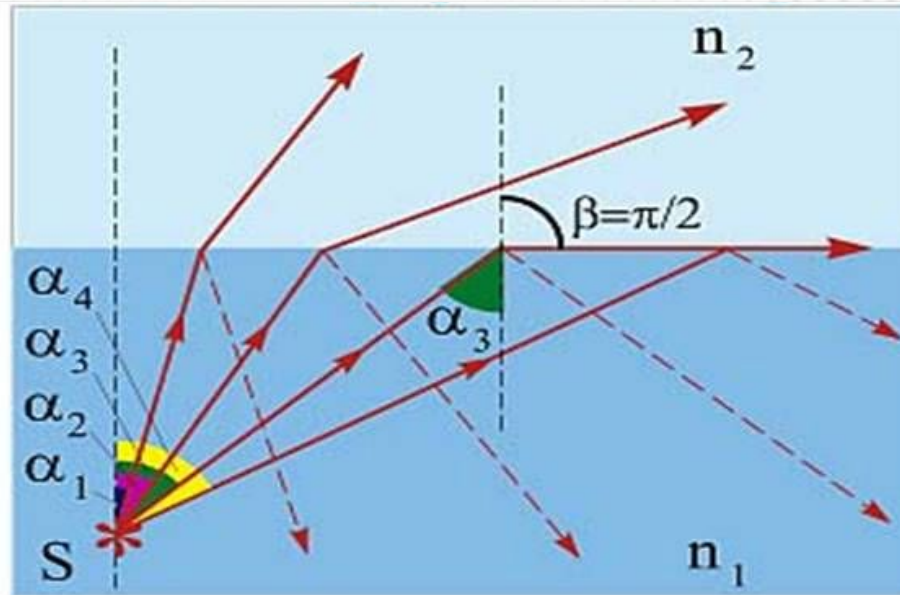
Воздух

$n = 1,0003$



ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ

- возникает при переходе из среды оптически более плотной в оптически менее плотную.



Из закона Снеллиуса:

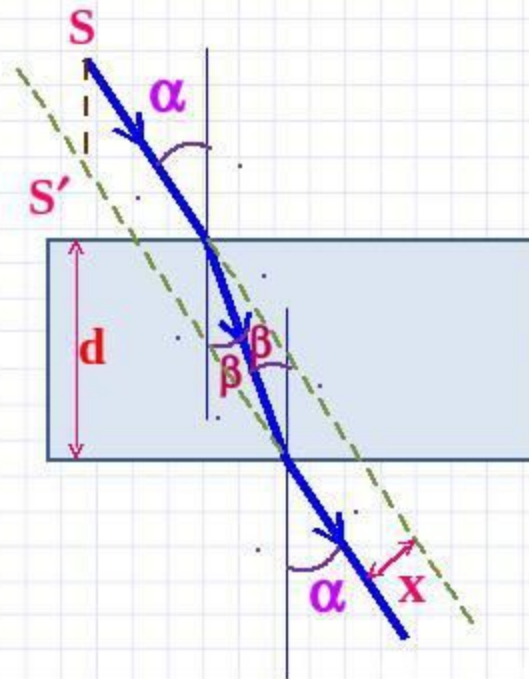
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{так как при } \alpha = \alpha_{\text{пр}}, \beta = \pi/2$$

$$\text{следует } \sin \alpha_{\text{пр}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

Условия полного внутреннего отражения

$$n_2 < n_1, \quad \alpha \geq \alpha_{\text{пр}}$$

Ход лучей в плоскопараллельной пластине

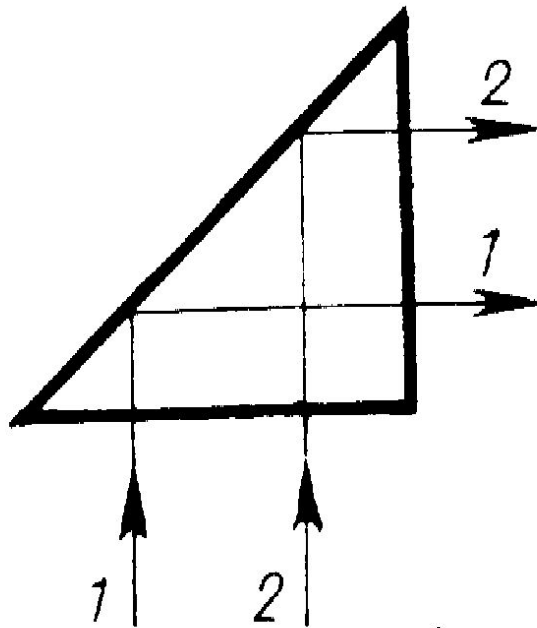


Световой луч после прохождения плоскопараллельной пластинки выходит параллельно падающему лучу и смещенным от него на расстояние x .

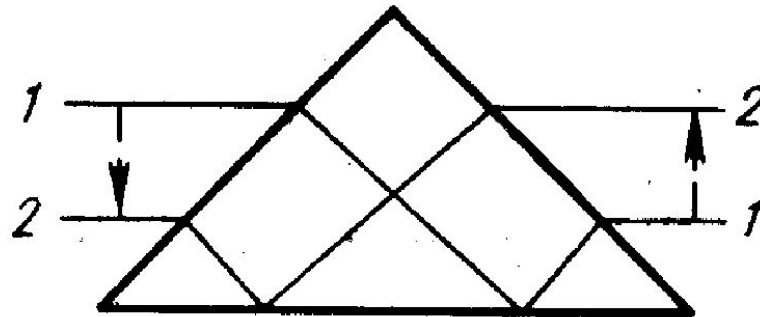
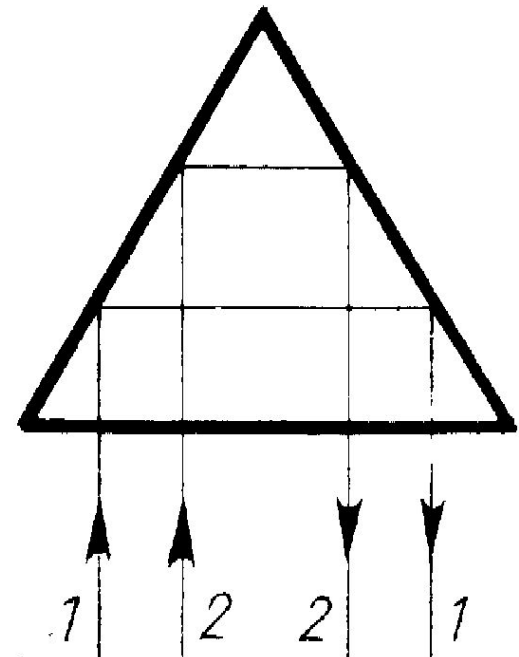
ХОД ЛУЧЕЙ В ПРИЗМАХ

Поворотные и оборачивающие призмы применяют в перископах, биноклях, киноаппаратах, а также часто вместо зеркал.

Поворотная призма.

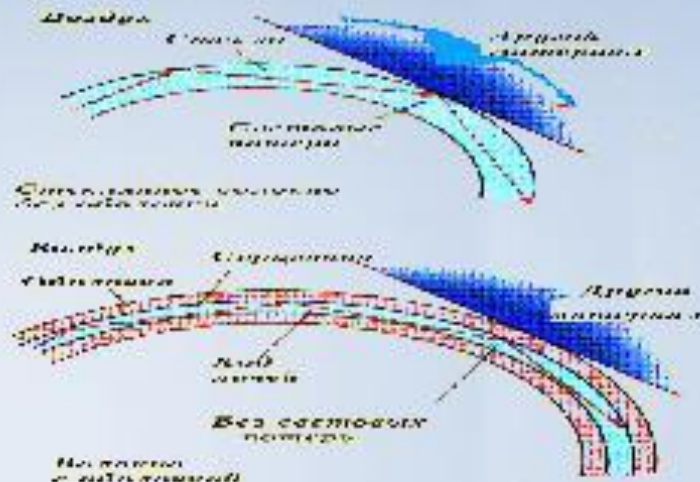


Оборачивающая призма.



Полное внутреннее отражение в технике

Полное отражение используется в так называемой волоконной оптике для передачи света и изображения по пучкам прозрачных гибких волокон – световодам.



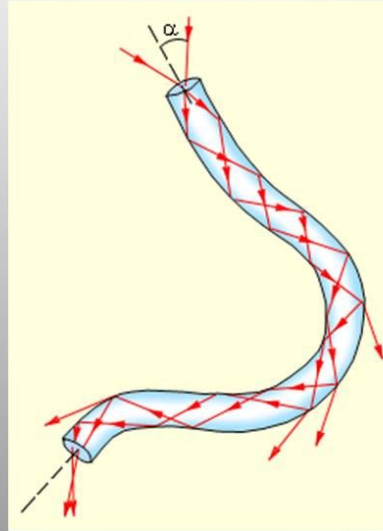
Жгуты из волокон используются, например, в медицине для исследования внутренних органов (введение обычной лампочки вызывает нежелательное нагревание).



Жгуты из стержней – световодов используют в медицине для исследования внутренних органов.



СВЕТОВОД



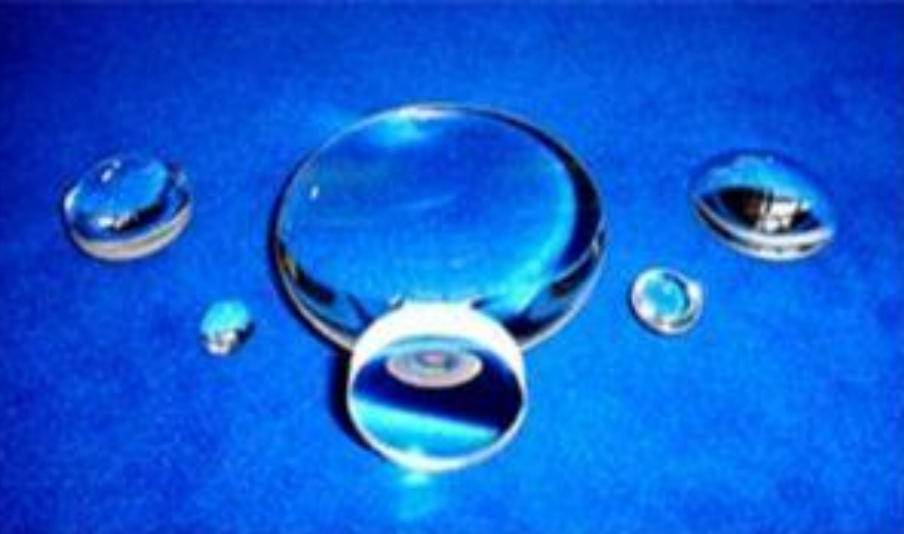
Световод — стеклянное волокно цилиндрической формы, покрытое оболочкой из прозрачного материала с показателем преломления меньше чем у волокна. За счет многократного полного отражения свет может быть направлен по изогнутому пути.

Явление полного отражения света используется в призмах, в волоконной оптике (световодах), в волоконном деле, в ювелирной промышленности. В ювелирном деле огранка камней подбирается так, чтобы на каждой грани наблюдалось полное отражение. Этим и объясняется "игра камней". Полным внутренним отражением объясняется и явление миража.

а) в пустыне.

б) в Арктике





Во многих оптических приборах одной из основных частей являются собирающие и рассеивающие линзы

 **Линза - это оптически прозрачное, стеклянное, твердое тело, ограниченное сферическими поверхностями, одна из которых может быть плоской.**

 **Если толщина линзы много меньше радиусов кривизны сферических поверхностей, то она называется тонкой.**

 **На рисунке обозначается так:**

- собирающая



- рассеивающая



Собирающие линзы



- Двояковыпуклая



- Плосковыпуклая



- Вогнуто-выпуклая

Линза, у которой
середина толще,
чем края,
называется
собирающей

Рассеивающие линзы



- Двояковогнутая



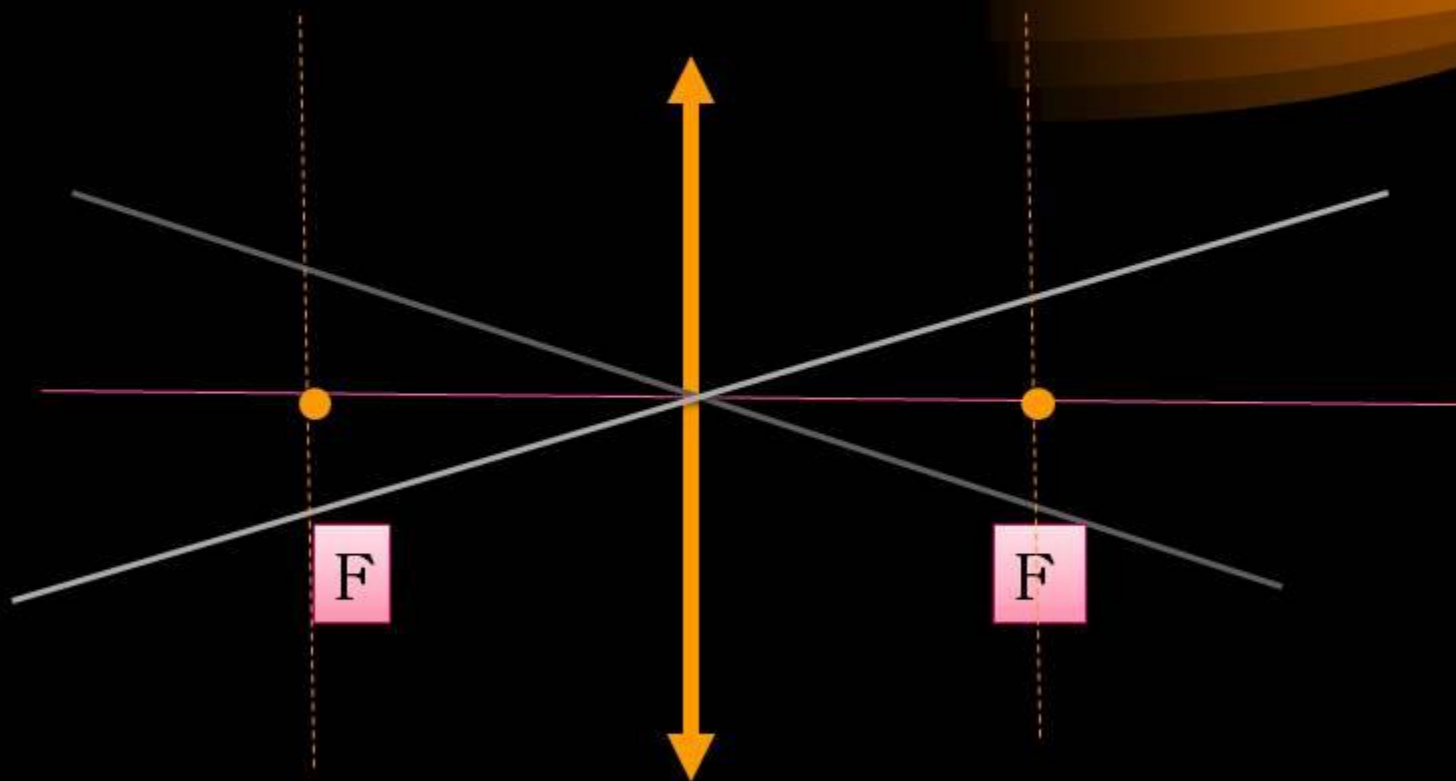
- Плосковогнутая



- Выпукло-вогнутая

**Линза, у которой
середина тоньше,
чем края, называется
рассеивающей**

Основные точки и линии линзы



Основные элементы линзы

Главная оптическая ось - это прямая, проходящая через центры сферических поверхностей линз.

Оптический центр - это точка пересечения главной оптической оси с линзой.

Фокус - точка, в которой после преломления собираются (рассеиваются) лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси.

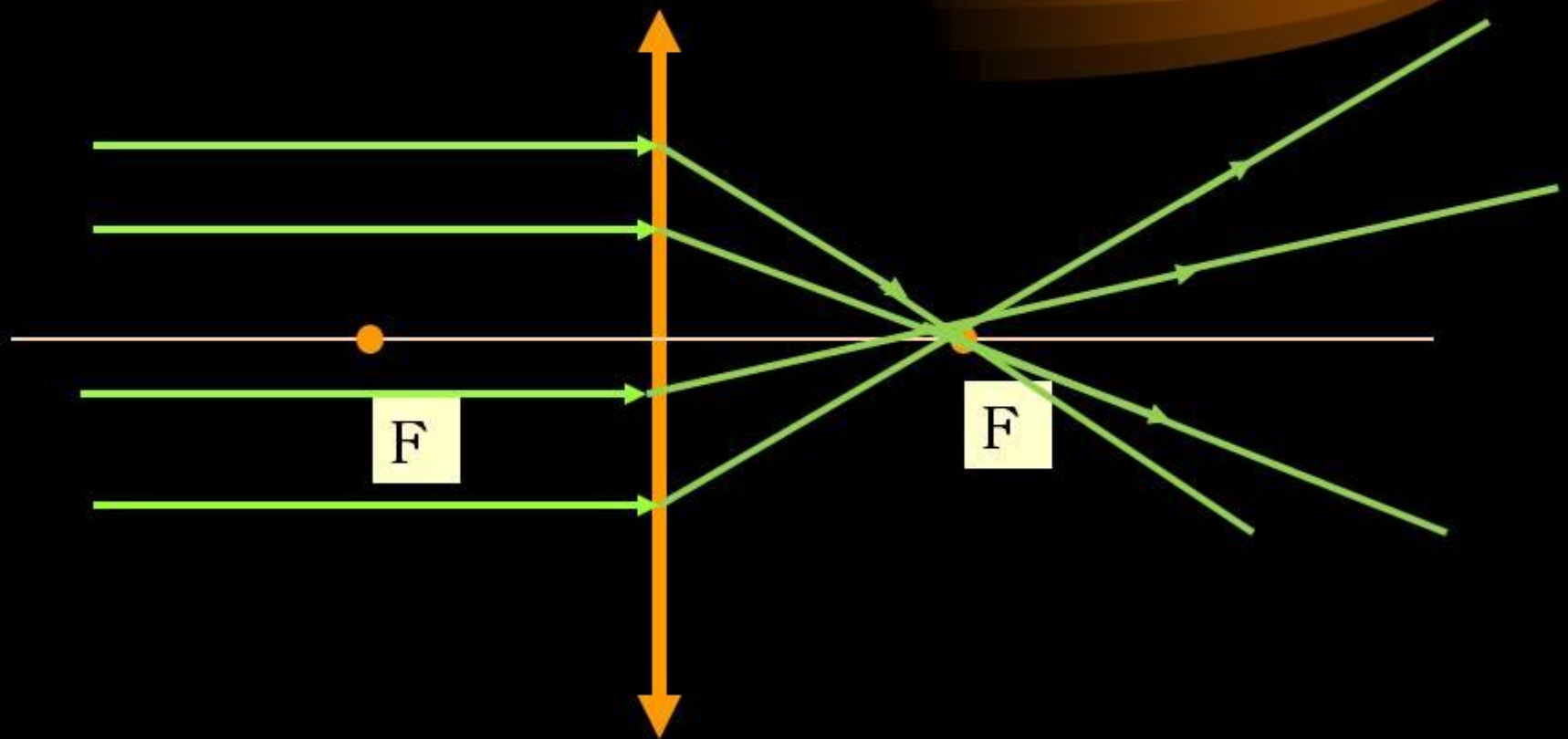
Основные элементы линзы

Фокусное расстояние - это расстояние от оптического центра линзы до её фокуса.

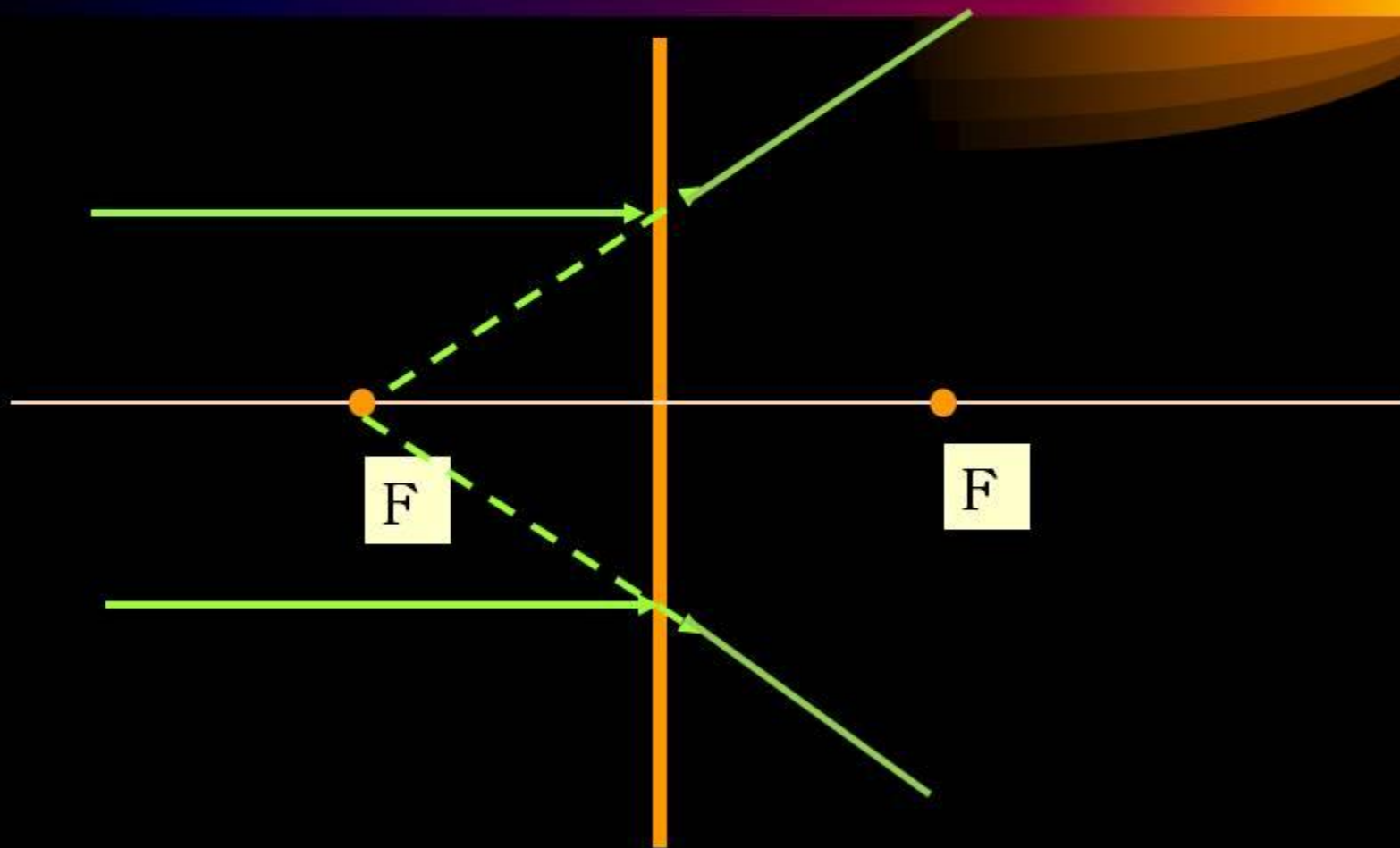
Фокальная плоскость - плоскость, проходящая через главный фокус линзы перпендикулярно к главной оптической оси.

Побочная оптическая ось - любая прямая, проходящая через оптический центр линзы, не совпадающая с главной оптической осью

Ход лучей в собирающей линзе



Ход лучей в рассеивающей линзе

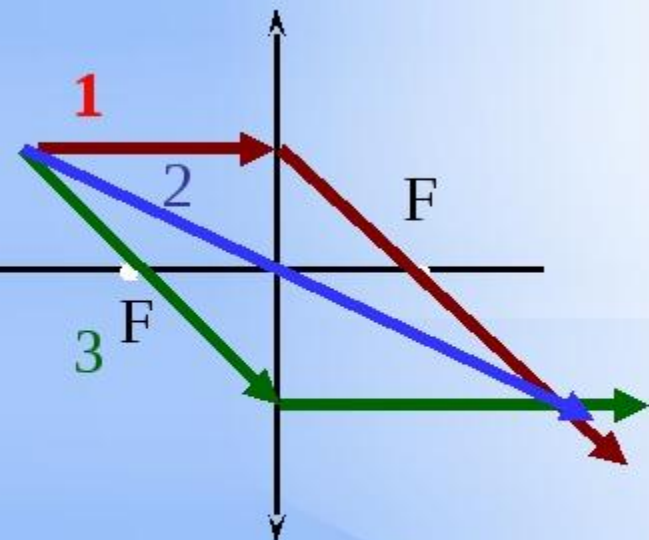


* Для построения изображения, даваемые линзой используют три удобных луча:

1. Луч, падающий на линзу параллельно оптической оси, после преломления идет через фокус линзы.

2. Луч, проходящий через оптический центр линзы не преломляется.

3. Луч, проходя через фокус линзы после преломления идет параллельно оптической оси.



Особенности изображения в линзах

ВЫПУКЛЫХ

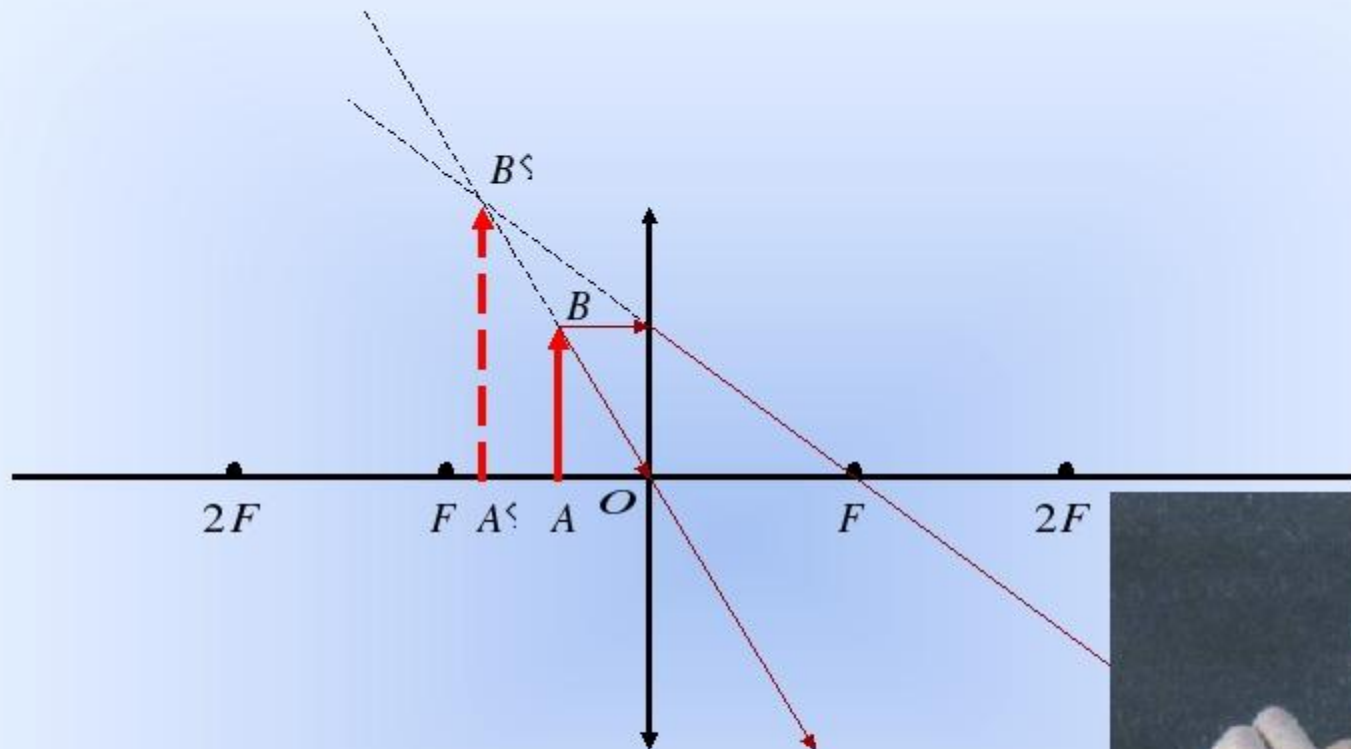
- ✓ действительное
- ✓ мнимое
- ✓ прямое
- ✓ перевёрнутое
- ✓ увеличенное
- ✓ уменьшенное
- ✓ равное предмету

ВОГНУТЫХ

ВСЕГДА

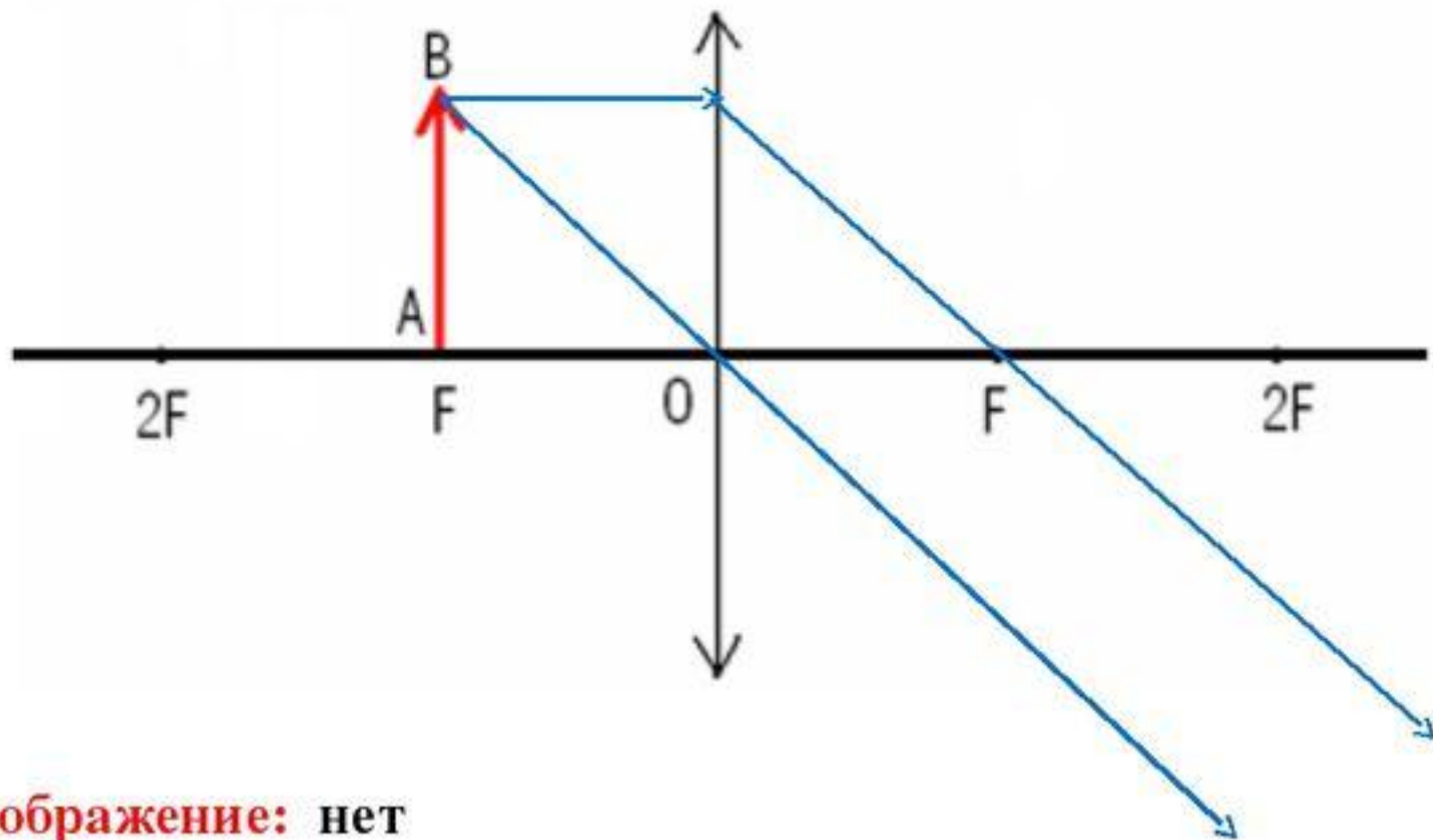
- ✓ мнимое
- ✓ прямое
- ✓ уменьшенное

Построение изображений в собирающей линзе.



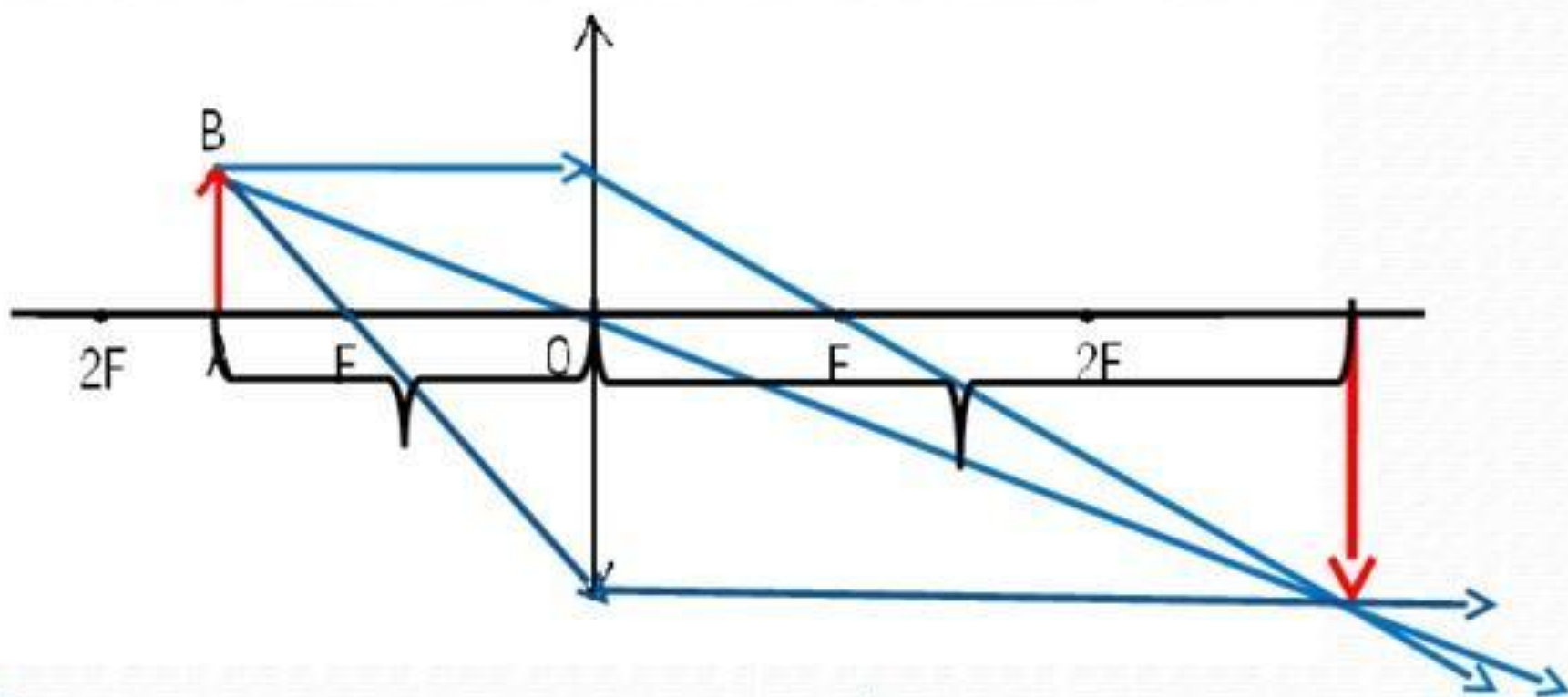
Характеристика изображения: *мнимое;*
прямое;
увеличенное.

Мнимое изображение получается, если преломленные лучи не пересекаются, но находится в точке пересечения продолжений лучей (невозможно получить на экране).



Изображение: нет





Расстояние от предмета до линзы d ,
расстояние от линзы до изображения f

Формула тонкой линзы

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

Правило знаков

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

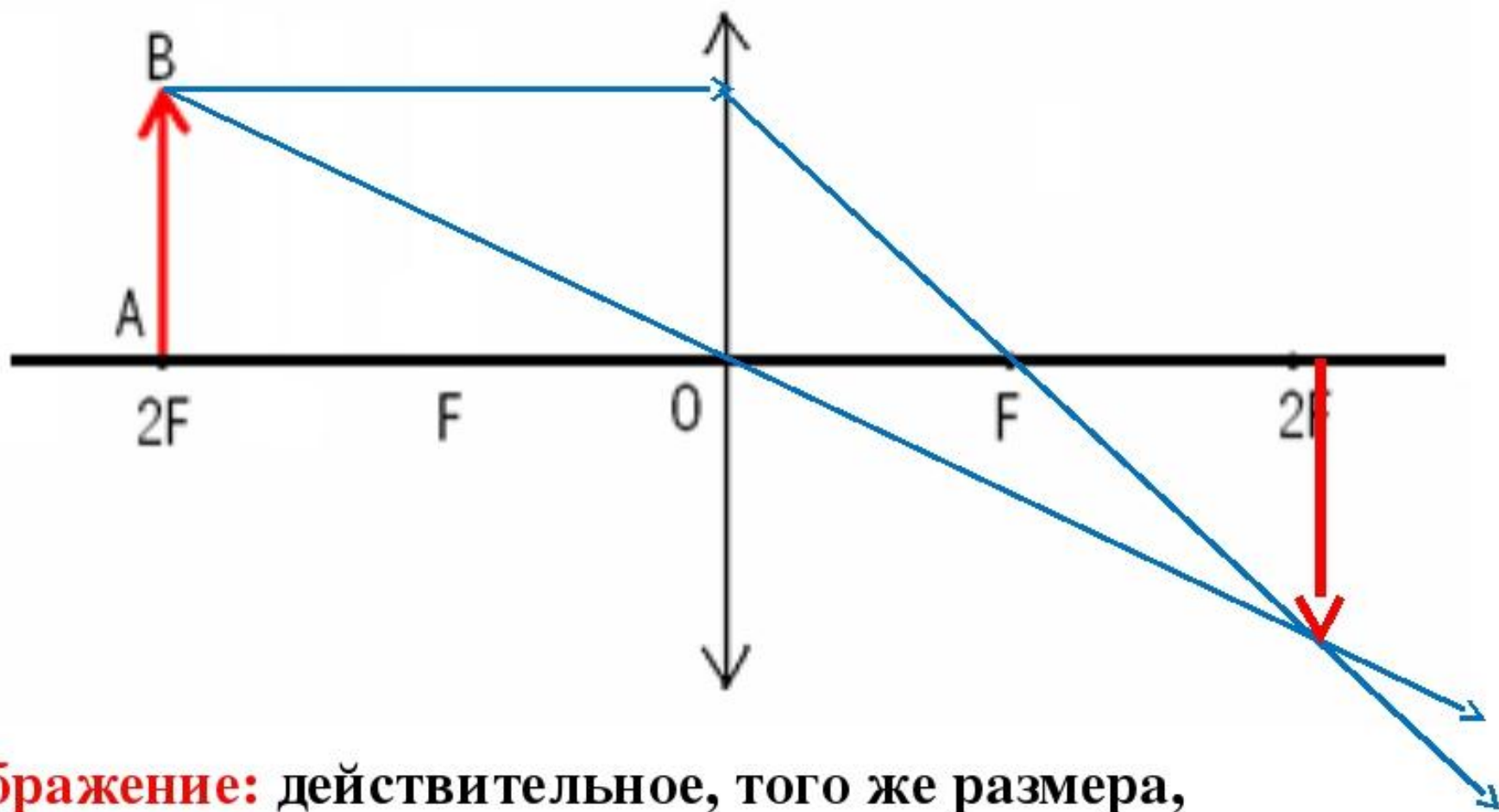
- линза собирающая,
изображение
действительное

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

- линза собирающая,
изображение мнимое

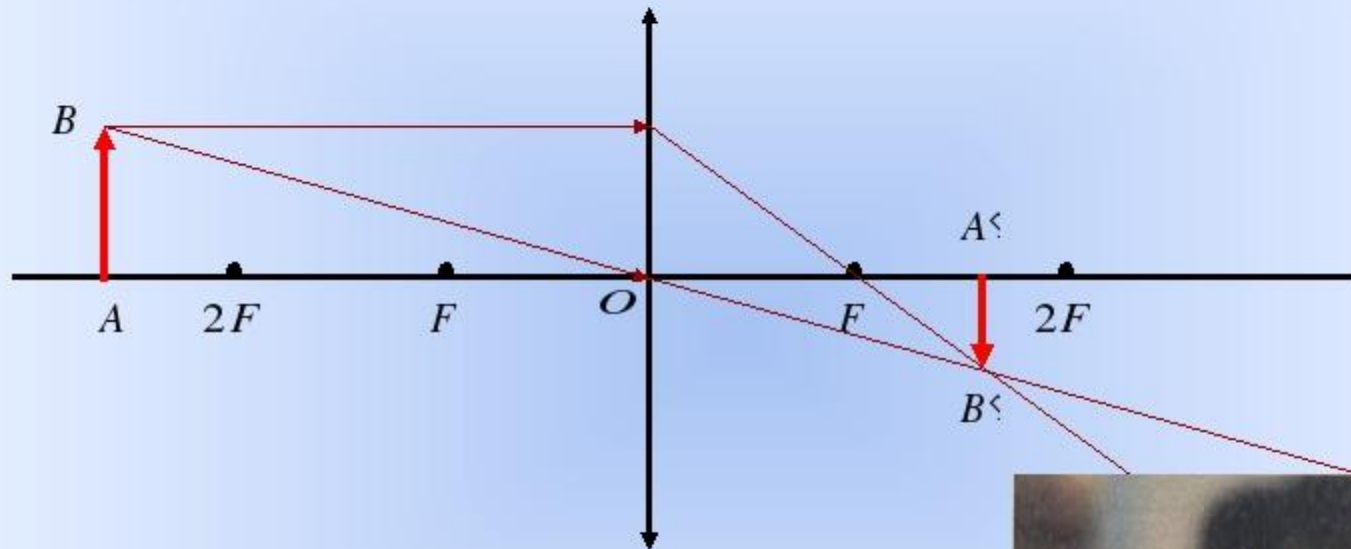
$$-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$$

- линза рассеивающая,
изображение мнимое



Изображение: действительное, того же размера, перевернутое

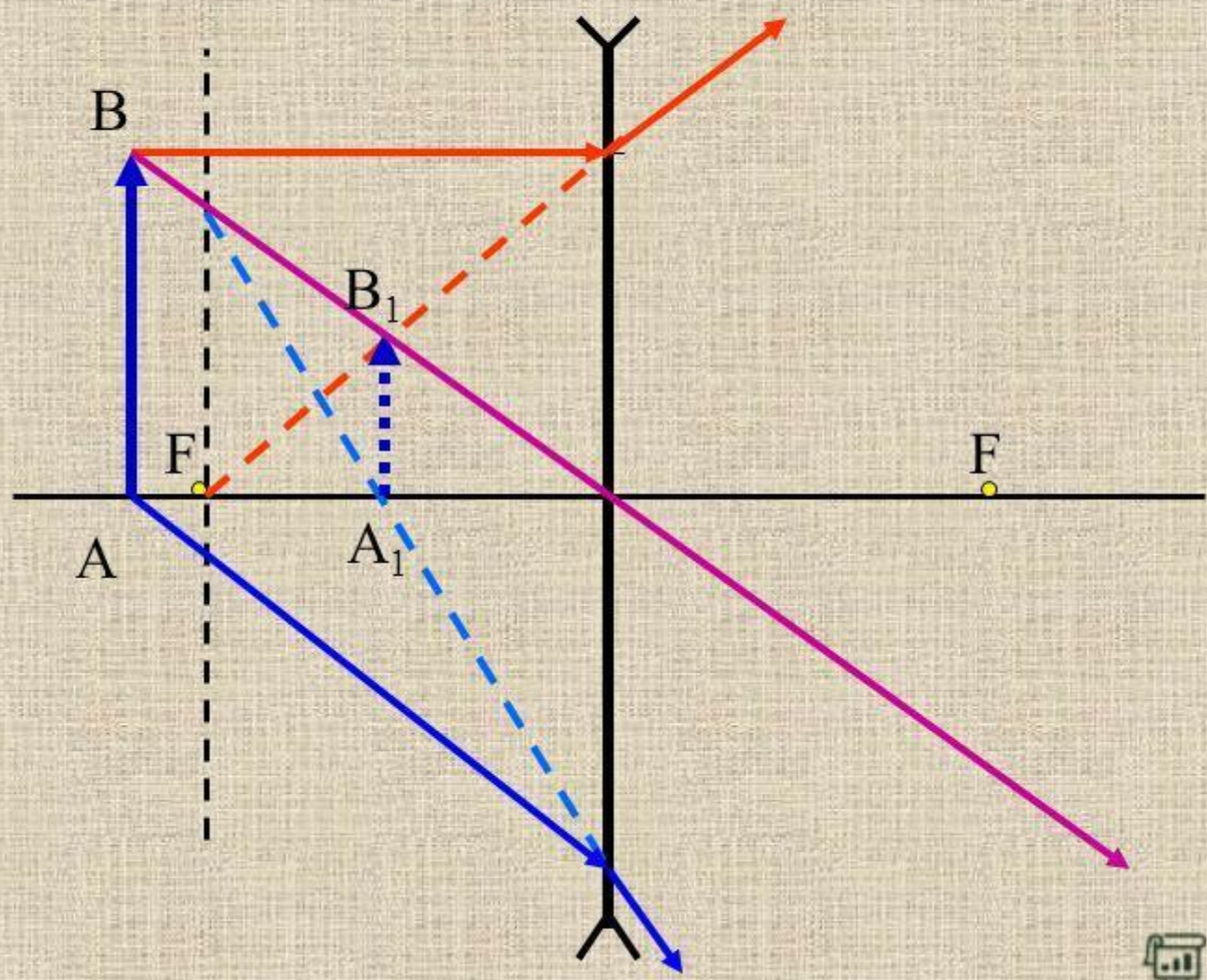
Построение изображений в собирающей линзе.



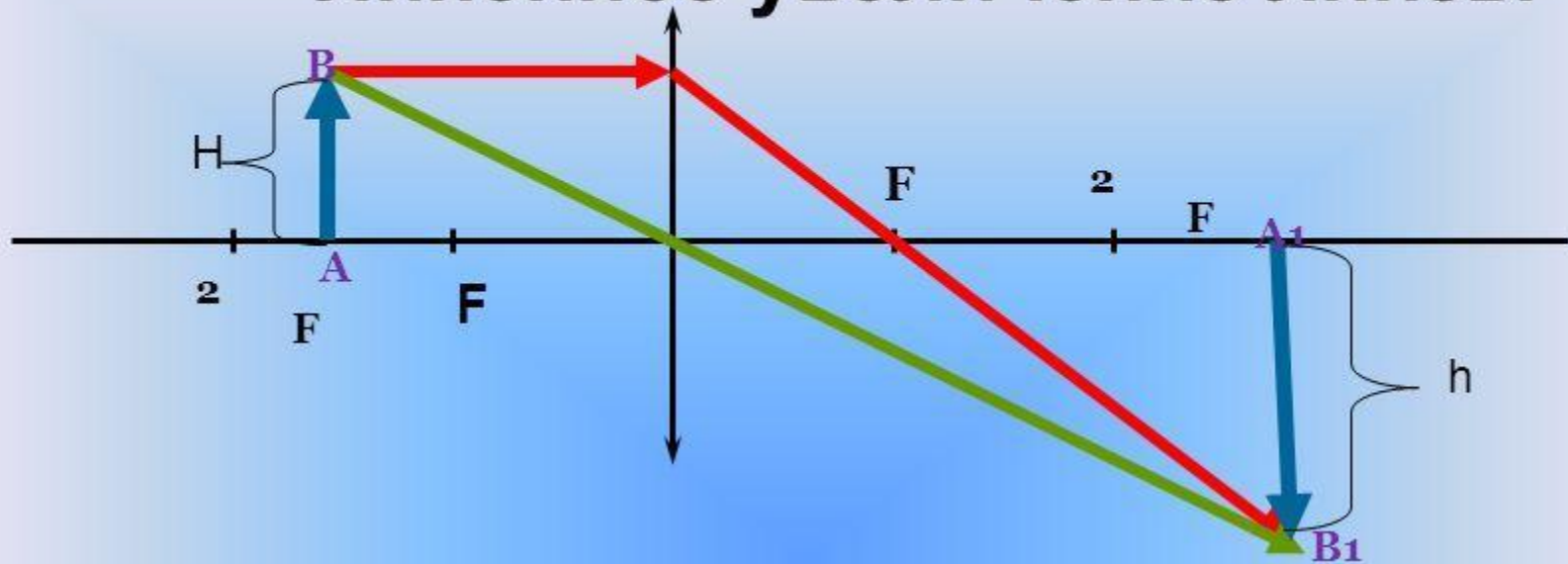
Характеристика изображения: **действительное;**
перевернутое;
уменьшенное.



Построение изображения предмета в рассеивающей линзе



Линейное увеличение линзы



Γ – линейное увеличение линзы

$$\Gamma = h/H = f/d$$

h – высота изображения

H – высота предмета

Оптическая сила линзы (D) — это величина, обратная её фокусному расстоянию

$$D = 1/F$$

D - оптическая сила линзы, дптр

F - фокусное расстояние, м

$[D] = 1/\text{м} = \text{дптр}$ (диоптрия)

1 дптр – это оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м

Недостатки линз
Аберрация оптических систем -
это погрешность изображения

Сферическая аберрация - изображение

точки в виде рассеянного пятна, обусловленное
широтой светового пучка.



Хроматическая абберация -

изображение
точки,
окружённой
цветным
ореолом,
обусловленное
дисперсией
света

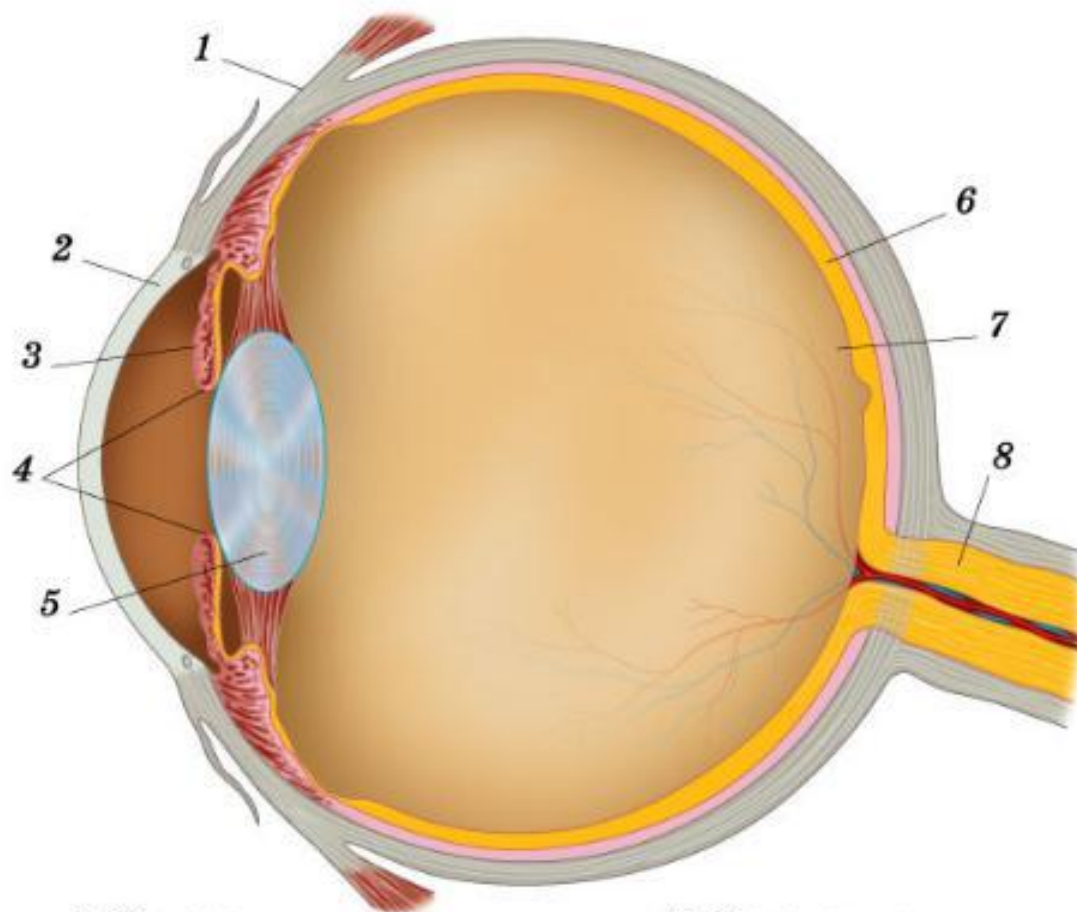


Астигматизм -

изображение точки в виде двух отрезков прямой, взаимно перпендикулярных и лежащих в разных плоскостях, обусловленное большим углом падения света относительно главной оптической оси



ГЛАЗ КАК ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА



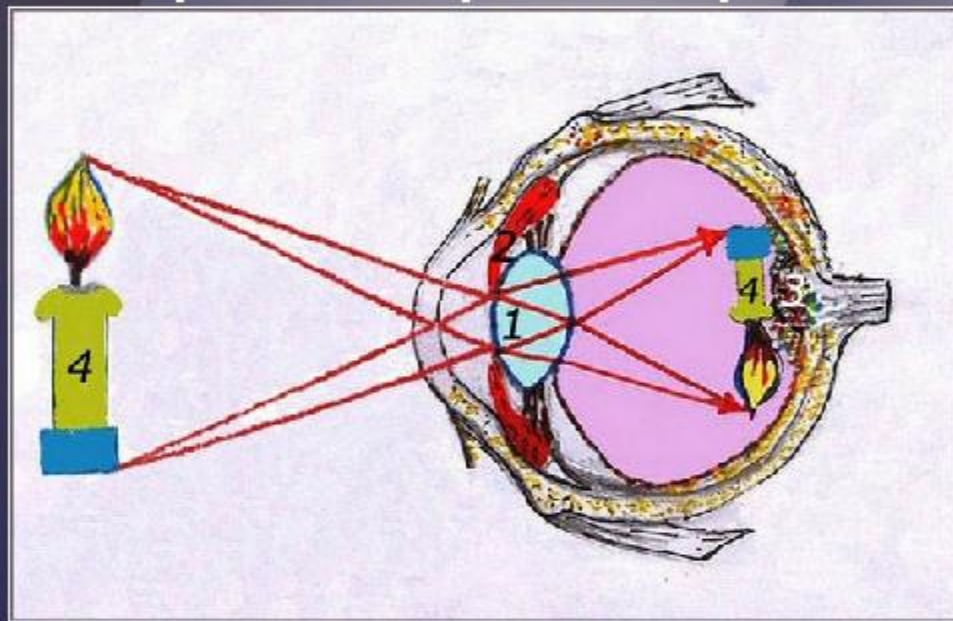
1. Склера
2. Роговица
3. Радужная оболочка
4. Зрачок

5. Хрусталик
6. Сетчатка
7. Стекловидное тело
8. Зрительный нерв

□ По своему устройству глаз как оптическая система сходен с фотоаппаратом. Роль объектива выполняет хрусталик совместно с преломляющей средой передней камеры и стекловидного тела. Изображение получается на светочувствительной поверхности сетчатки. Наводка на резкость изображения осуществляется путем аккомодации. Наконец, зрачок играет роль изменяющейся по диаметру диафрагмы. Способность глаза к аккомодации обеспечивает возможность получения на сетчатке резких изображений предметов, находящихся на различных расстояниях.

Глаз как оптическая система

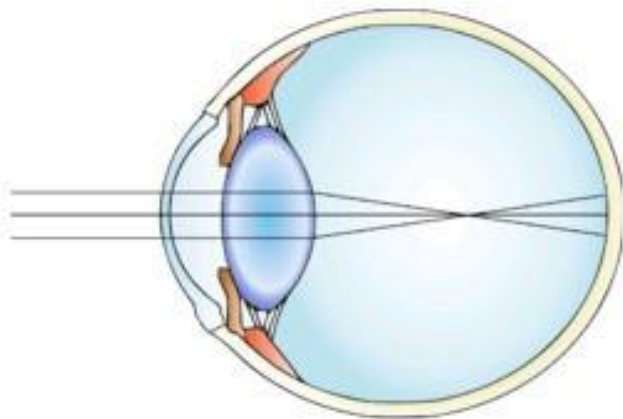
Свет, преломляясь в оптической системе глаза, которую образуют роговица, хрусталик и стекловидное тело, дает на сетчатке действительное, уменьшенное, перевернутое изображение рассматриваемого предмета.



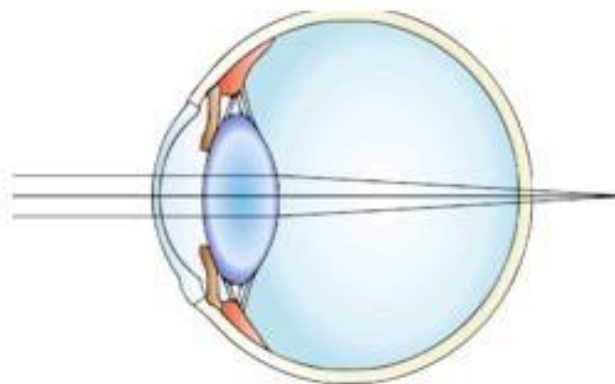
Оптическая система глаза напоминает фотоаппарат.



Близорукость



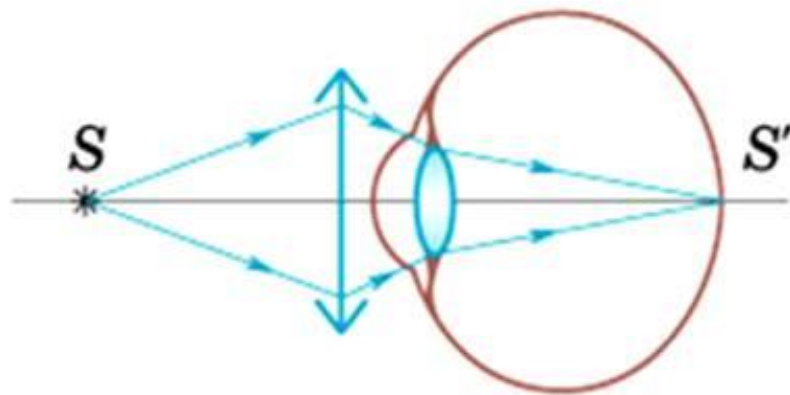
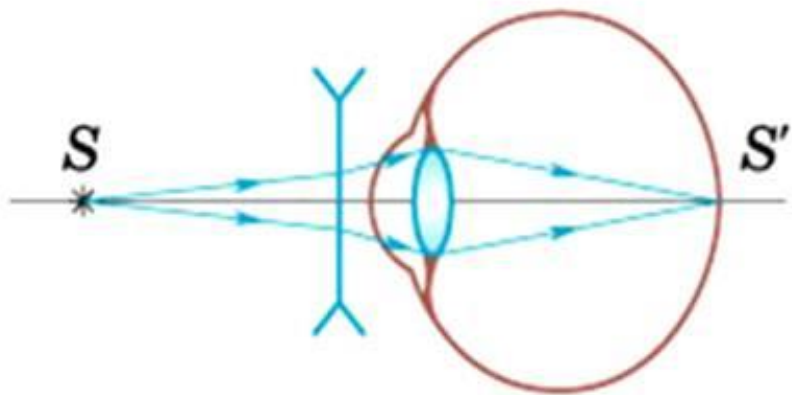
Дальнозоркость



(человек щурится, чтобы увидеть то, что вдали)

это дефект зрения, при котором изображение формируется не на сетчатке глаза, а перед ней

изображения далёких предметов в покое аккомодации фокусируются за сетчаткой



Таким образом,
глаз – это система линз,
с относительным
показателем преломления
от 1,34 до 1,43
и оптической силой
59 диоптрий.



▣ **Оптические приборы**

— устройства, в которых оптическое излучение преобразуется (пропускается, отражается, преломляется, поляризуется). Они могут увеличивать, уменьшать, улучшать (в редких случаях ухудшать) качество изображения, давать возможность увидеть искомый предмет косвенно.

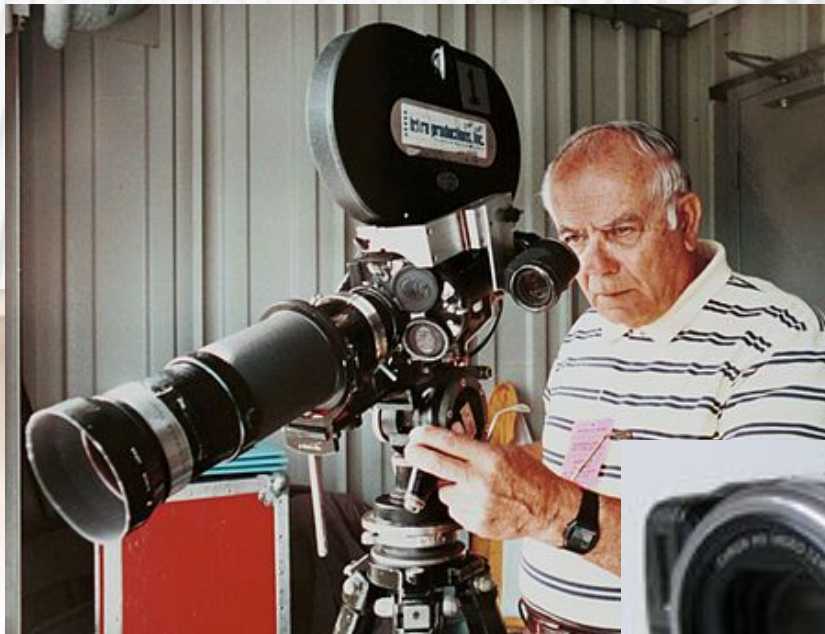
Оптические приборы

1) Приборы для
получения
действительных
изображений

- фотоаппараты
- проекционная
аппаратура



Фотоаппарат, Кинокамера, Видеокамера — оптические приборы, позволяющие записывать неподвижное и движущееся изображение на фотоматериалах, магнитной ленте или в цифровой памяти. Все они состоят из объектива и светонепроницаемой камеры.



□ *Проектор, Кинопроектор, Диапроектор, Эпидиаскоп* — оптические приборы, предназначенные для оптического воспроизведения небольшого по размеру изображения на большом экране.



Оптические приборы

2) Приборы,
увеличивающие угол
зрения на
рассматриваемый
предмет

- на микрообъекты

- на удалённые

предметы

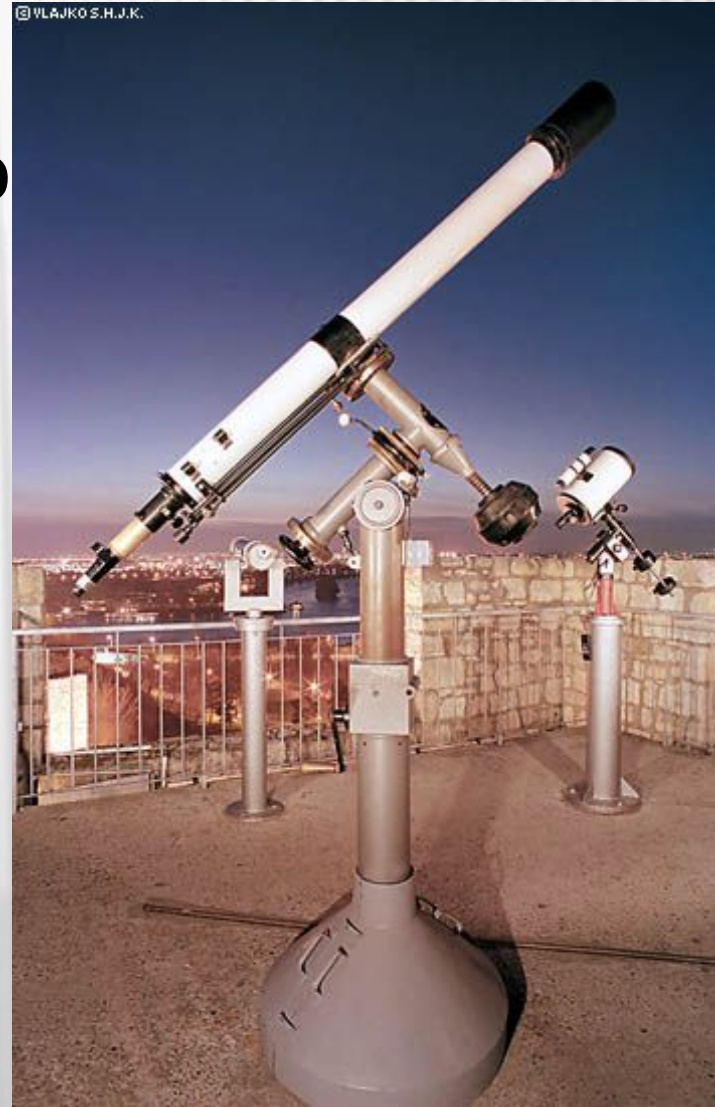


Лупа — это двояковыпуклая линза, которая увеличивает угол зрения предметов.

Микроскоп — это оптический прибор, показывающий в увеличенном виде очень мелкие, не видимые глазу, близко расположенные объекты. Микроскоп используется для наблюдения за такими мельчайшими объектами, как бактерии и клетки.



Телескоп — прибор, предназначенный для наблюдения небесных тел. В частности, под телескопом понимается оптическая телескопическая система, применяемая не обязательно для астрономических целей.



□ *Разреша́ющая спосо́бность* (разрешающая сила) оптических приборов, характеризует способность этих приборов давать отдельные изображения двух близких друг к другу точек объекта. Наименьшее линейное или угловое расстояние между двумя точками, начиная с которого их изображения сливаются, называется линейным или угловым пределом разрешения. Обратная ему величина обычно служит количественной мерой разрешающей способности.

ЗАНЯТИЕ 71

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА.

КОГЕРЕНТНОСТЬ СВЕТОВЫХ ЛУЧЕЙ.

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ.

ПОЛОСЫ РАВНОЙ ТОЛЩИНЫ.

КОЛЬЦА НЬЮТОНА.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ В

НАУКЕ И ТЕХНИКЕ.

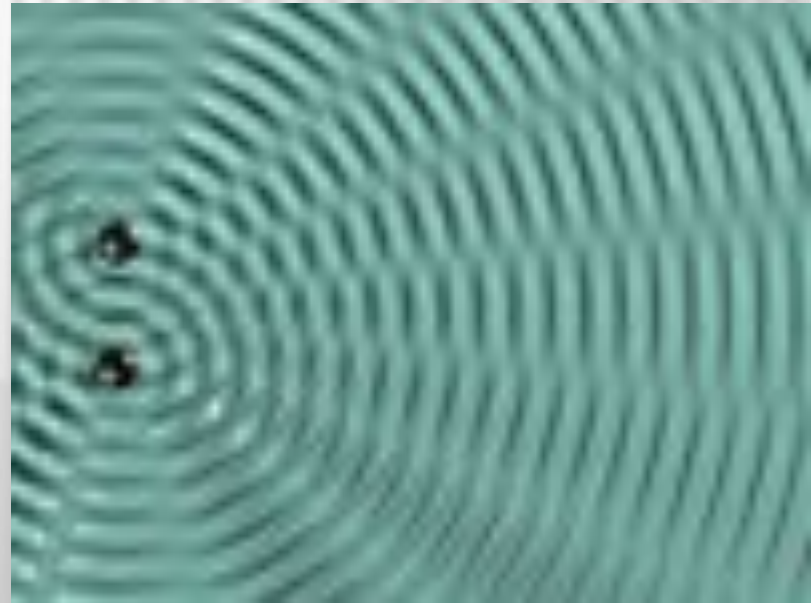
ДИФРАКЦИЯ СВЕТА.

ДИФРАКЦИЯ НА ЩЕЛИ В

ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛУЧАХ.

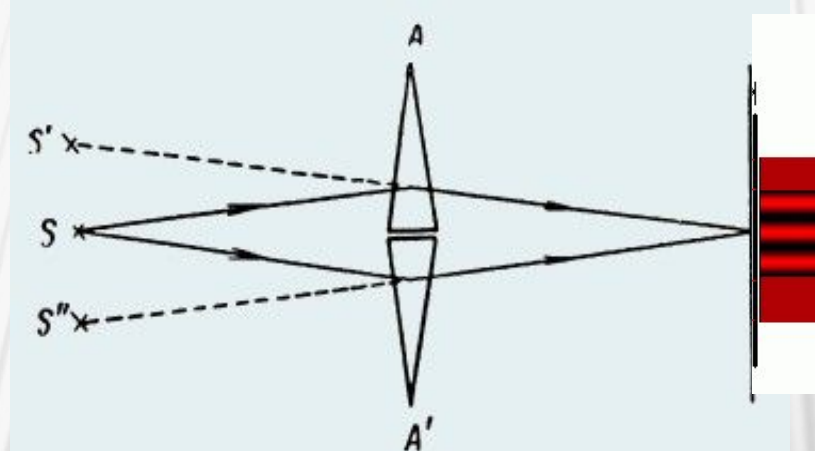
ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА

- *Интерференцией* световых волн называется наложение двух или нескольких когерентных волн, вследствие которого наблюдается перераспределение энергии в волнах (усиление или ослабление результирующих световых колебаний в различных точках пространства).
- *Когерентными* являются волны одинаковой частоты, между которыми существует постоянная разность фаз (это волны, распространяющиеся от одного и того же источника света).



БИПРИЗМА ФРЕНЕЛЯ

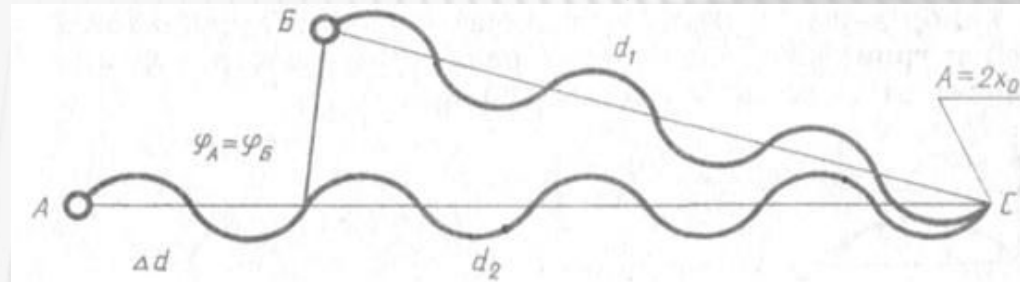
Свет от источника S преломляется в двух призмах с малыми преломляющими углами A и A_1 , сложенных основаниями.



Призмы отклоняют лучи в противоположных направлениях (к основанию) и, таким образом, возникают два мнимых когерентных источника света S_1 и S_2 . Лучи от этих источников, перекрываясь в области D , дают интерференционные полосы.

Если колебания вибраторов А и Б совпадают по фазе и имеют равные амплитуды, то очевидно, что результирующее смещение в точке С зависит от разности хода двух волн.

Условия максимума:

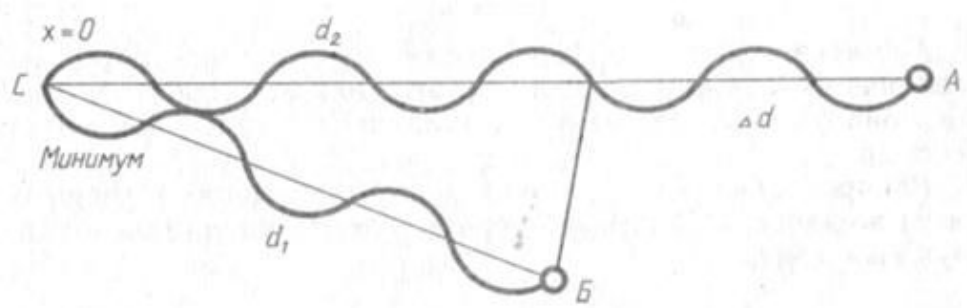


Если разность хода этих волн равна целому числу волн (т. е. четному числу полуволн)

$\Delta d = k\lambda$, где $k = 0, 1, 2, \dots$, то в точке наложения этих волн образуется интерференционный максимум ($A = 2x_0$).

$$\Delta d = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

Условие минимума:

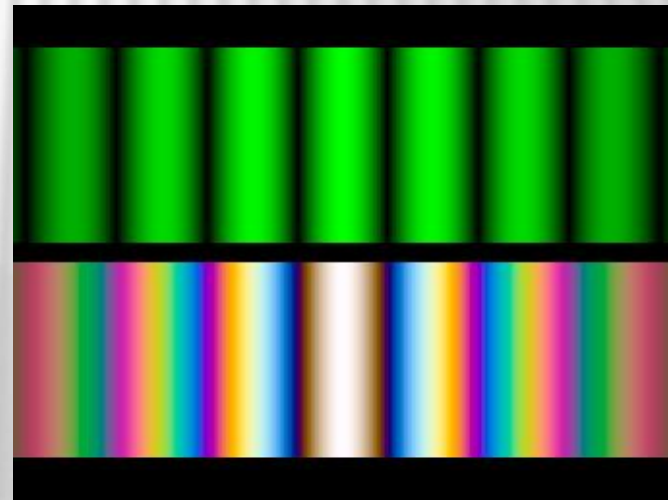


Если разность хода этих волн равна нечетному числу полуволен, то это означает, что волны от вибраторов А и Б придут в точку С в противофазе и погасят друг друга: амплитуда результирующего колебания $A = 0$.

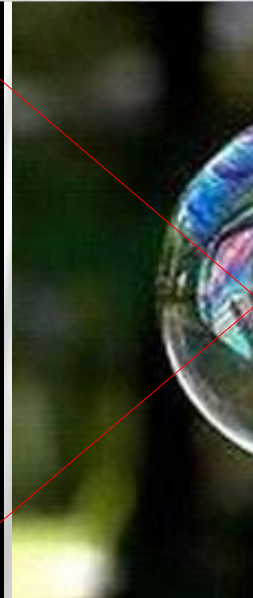
$$\Delta d = (2k - 1) \frac{\lambda}{2}$$

Наиболее четкую картину можно получить используя монохроматическое излучение (картина будет в виде чередующихся темных и монохроматических полос).

- При изменении фиолетового цвета на красный интерференционные полосы будут реже (максимумы располагаются шире).
- При освещении белым светом в центре белая полоса, а по обе стороны от нее цветные полосы, окрашенные всеми цветами радуги от фиолетового до красного, так как раньше выполнится условие максимума для наименьшей длины волны.



С интерференционными явлениями мы сталкиваемся довольно часто: цвета мыльных пузырей и масляных пятен на асфальте, окраска замерзающих оконных стекол, причудливые цветные рисунки на крыльях некоторых бабочек и жуков – все это проявление интерференции света.

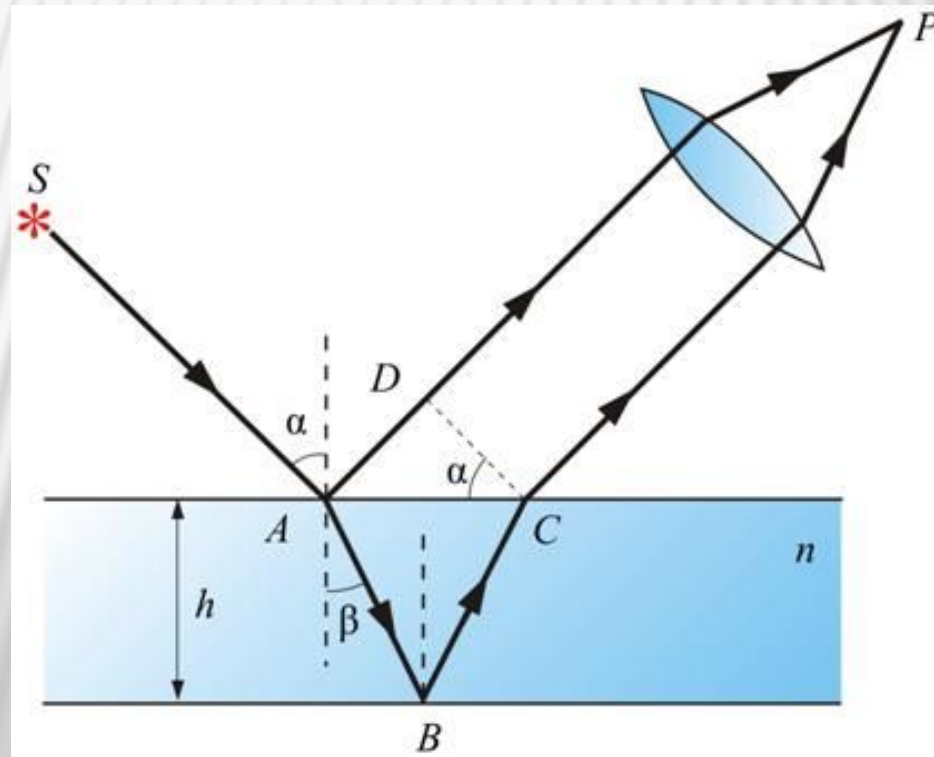


ПОЛОСЫ РАВНОГО НАКЛОНА

Оптическая разность хода в точке P такая же, как на линии DC :

$$\Delta = n (AB+BC) - AD$$

Здесь n – показатель преломления материала пластинки.



□ Предполагается, что над пластинкой находится воздух, т.е. $n=1$.

□ Так как

$$AB = BC = h \cos\beta,$$

$$AD = 2h \operatorname{tg}\beta \sin\alpha$$

(h – толщина пластинки, α и β – углы падения и преломления на верхней грани; $\sin\alpha = n \sin\beta$), то для разности хода получаем

$$\Delta = 2nh \cos\beta$$

Следует также учесть, что при отражении волны от верхней поверхности пластинки ее фаза изменяется на π

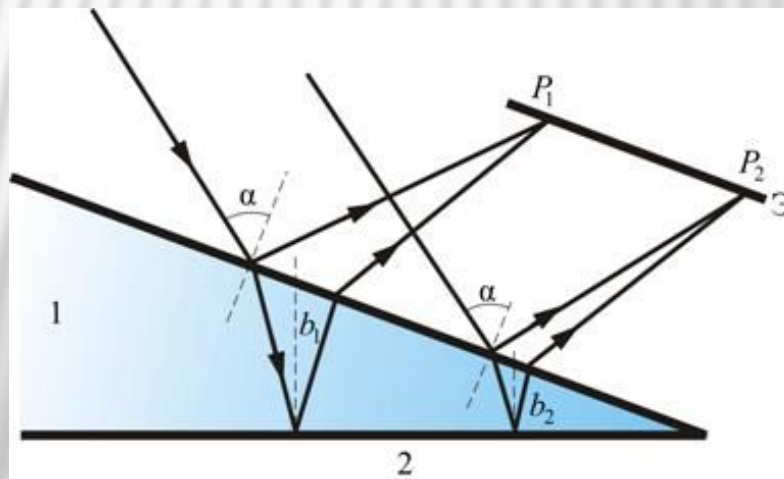
□ Светлые полосы расположены в местах, для которых: $2nh \cos\beta + \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0$

где: λ_0 – длина волны в вакууме,
 m – порядок интерференции.

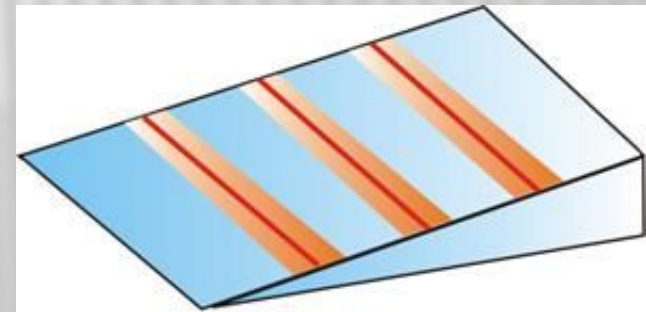
- ✘ Полоса, соответствующая данному порядку интерференции, обусловлена светом, падающим на пластинку под вполне определенным углом α . Поэтому такие полосы называют интерференционными полосами равного наклона. При увеличении угла падения окраска изменяется от красной до фиолетовой.
- ✘ При перпендикулярном падении света пластинка будет окрашена равномерно.

ПОЛОСЫ РАВНОЙ ТОЛЩИНЫ

Направления распространения световой волны, отраженной от верхней и нижней границы клина, не совпадают. Отраженные и преломленные лучи встречаются, поэтому интерференционную картину при отражении от клина можно наблюдать и без использования линзы, если поместить экран в плоскость точек пересечения лучей (хрусталик глаза помещают в нужную плоскость).

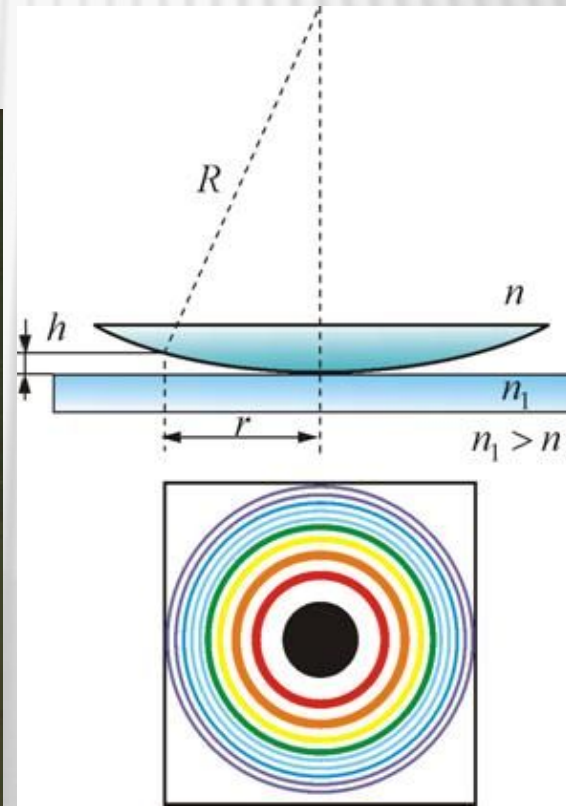
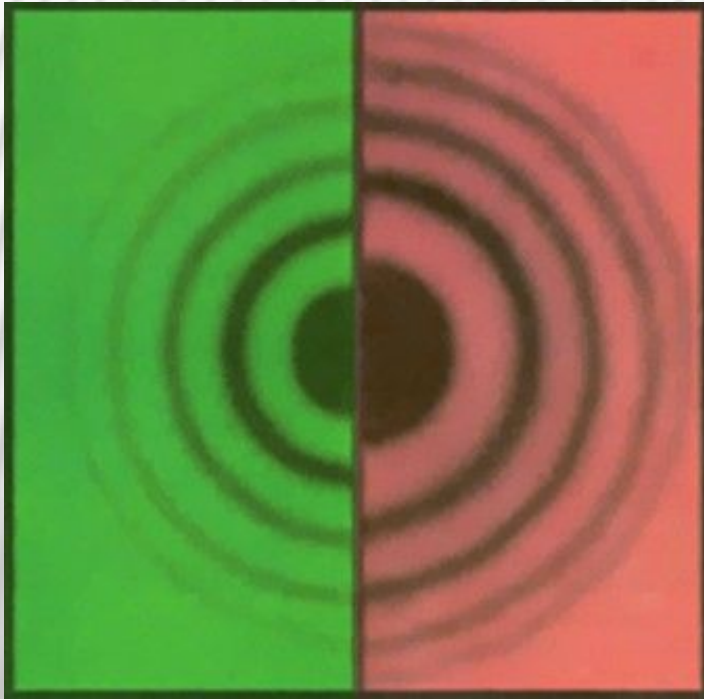


Поскольку разность хода лучей, отразившихся от различных участков клина, будет неодинаковой, освещенность экрана будет неравномерной, на экране будут темные и светлые полосы (или цветные при освещении белым светом). Каждая из таких полос возникает в результате отражения от участков клина с одинаковой толщиной, поэтому их называют полосами равной толщины. При уменьшении угла клина - полосы разбегаются, при увеличении - сжимаются (наблюдаются при угле меньше 1°).



КОЛЬЦА НЬЮТОНА

Кольцевые полосы равной толщины, наблюдаемые в воздушном зазоре между соприкасающимися выпуклой сферической поверхностью линзы большой кривизны и плоской поверхностью стекла, называют кольцами Ньютона.



- В отраженном свете центр темный, так как при толщине воздушной прослойки, на много меньшей, чем длина волны, разность фаз интерферирующих волн обусловлена различием в условиях отражения на двух поверхностях и близка к π (выполняется условие минимума).
- В проходящем свете в центре будет светлое пятно (максимумы и минимумы поменяются местами).
- С помощью колец Ньютона можно сравнительно простыми средствами приблизительно определить длину волны света.

Интерференция света широко используется при спектральном анализе, для точного измерения расстояний и углов, применяется для улучшения качества оптических приборов (просветление оптики), в интерферометрах, в задачах контроля качества поверхностей, для создания светофильтров, зеркал, на явлениях интерференции света основана голография.

Некоторые применения интерференции света



«Просветление оптики» - уменьшение отражения света от поверхности линзы в результате нанесения на нее специальной пленки. **Фиолетовый или сиреневый оттенок просветленных объективов.**



ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

КОНТРОЛЬ ПЛОСКОСТНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

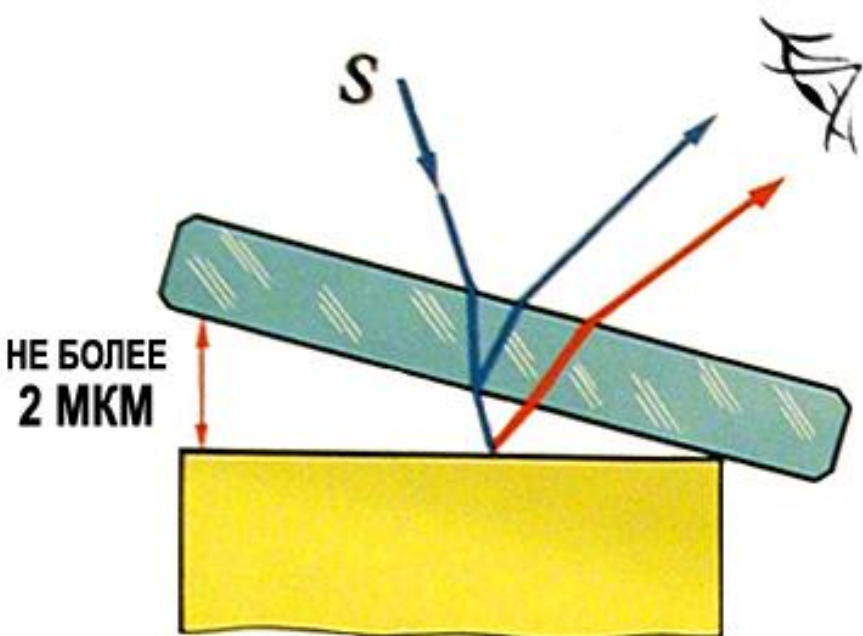
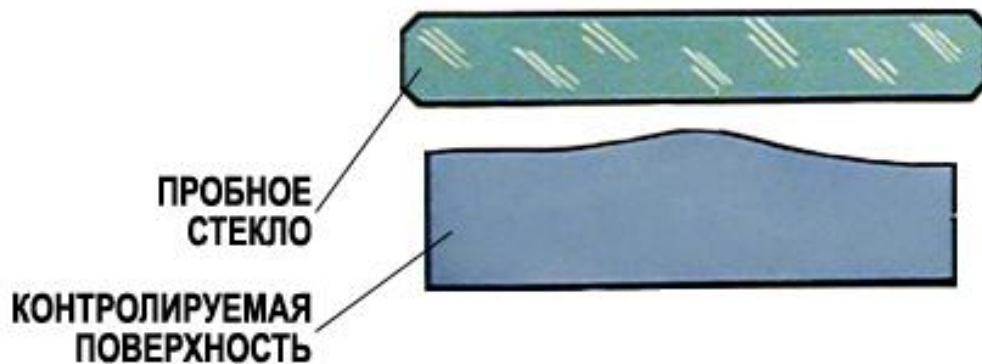
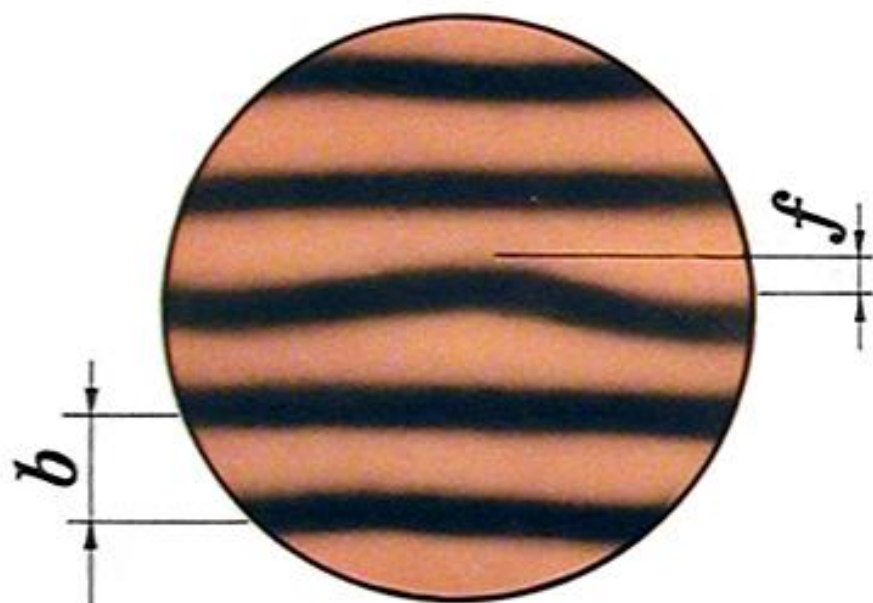


СХЕМА ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА
В ВОЗДУШНОМ КЛИНЕ

$$h = \frac{f}{b} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

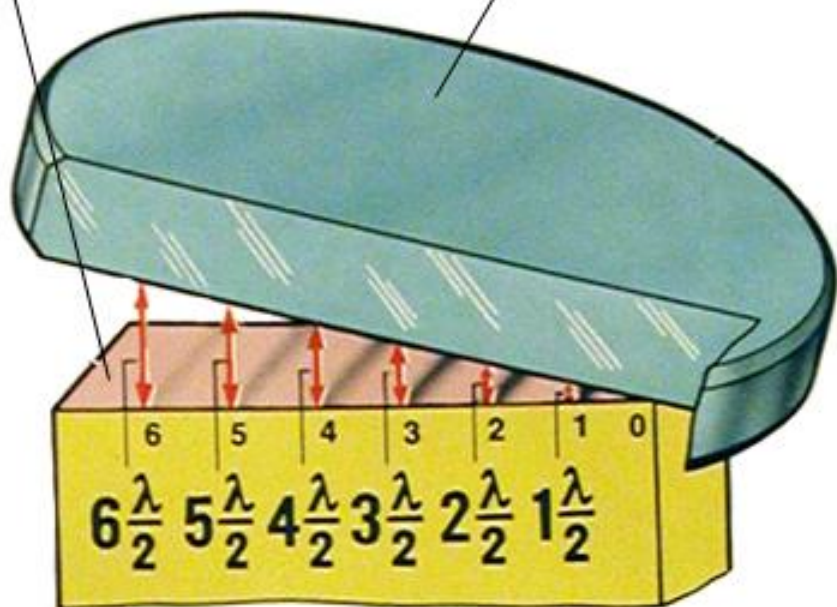


ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

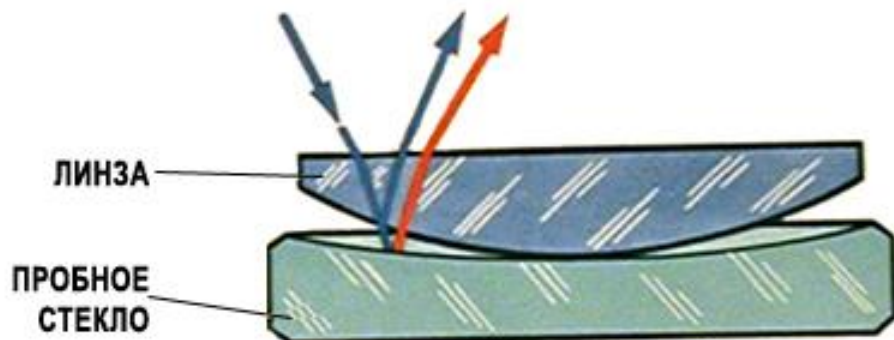
КОНТРОЛЬ КРИВИЗНЫ ПОВЕРХНОСТИ

ПОВЕРЯЕМАЯ
ПОВЕРХНОСТЬ

ПЛОСКОЕ ПРОБНОЕ
СТЕКЛО



СООТВЕТСТВИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ
ПОЛОС И ТОЛЩИН ВОЗДУШНОГО КЛИНА



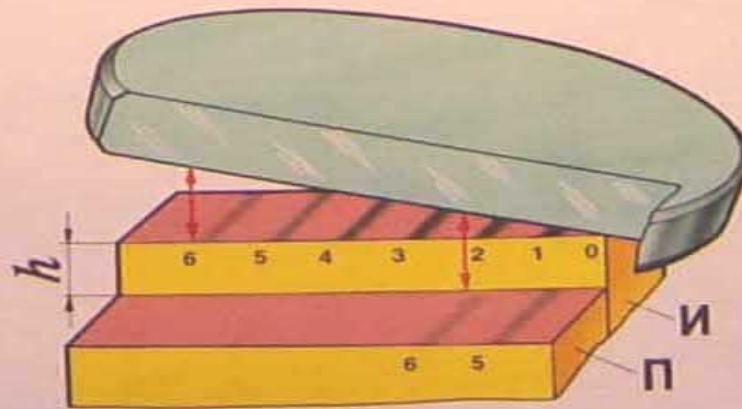
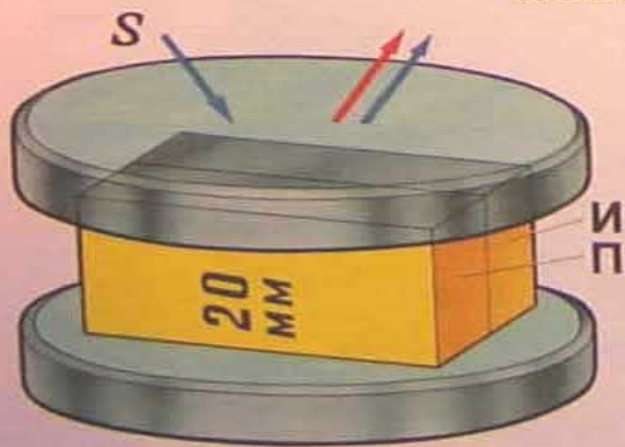
КРИВИЗНА ЛИНЗЫ
БОЛЬШЕ КРИВИЗНЫ
ПРОБНОГО СТЕКЛА



КРИВИЗНА ЛИНЗЫ
МЕНЬШЕ КРИВИЗНЫ
ПРОБНОГО СТЕКЛА



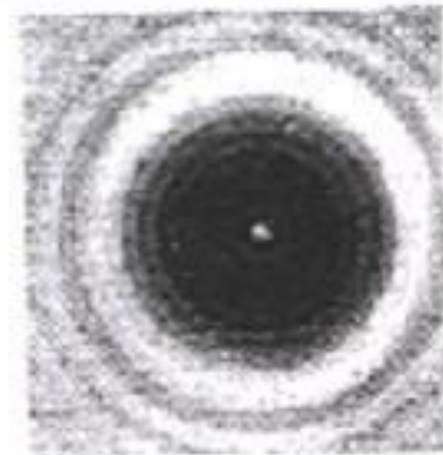
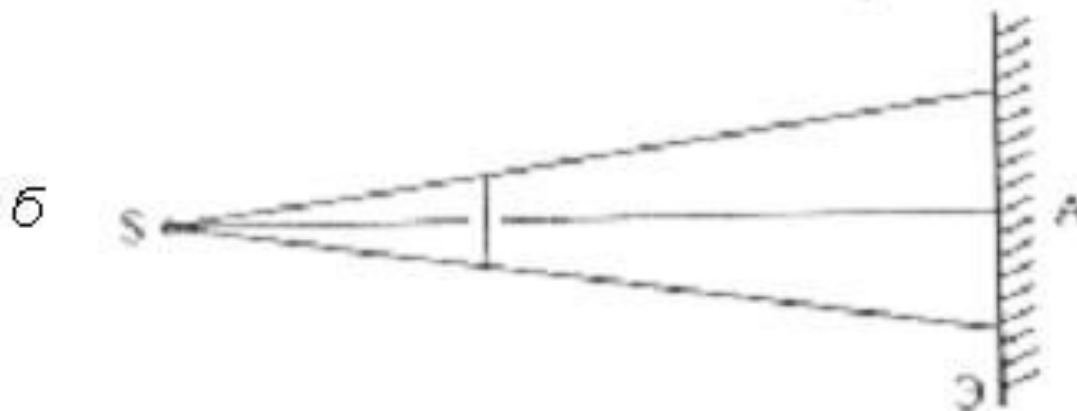
ПОВЕРКА КОНЦЕВЫХ МЕР



$$h = (6 - 2) \frac{\lambda}{2}$$



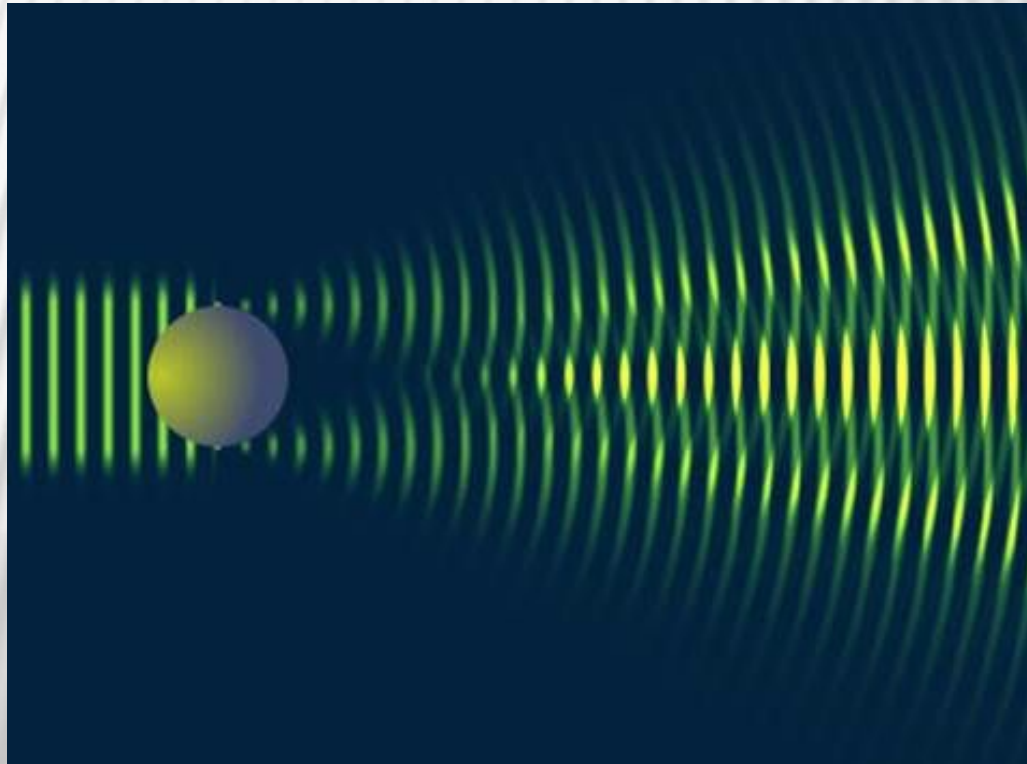
□ *Дифракцией* называется огибание волнами препятствий, встречающихся на их пути, или в более широком смысле - любое отклонение распространения волн вблизи препятствий от законов геометрической оптики. Благодаря дифракции волны могут попадать в область геометрической тени, огибать препятствия, проникать через небольшие отверстия в экранах и т. д.



□ Если расстояние от диска до экрана достаточно велико, то на экране получается дифракционная картина из чередующихся темных и светлых колец, а в центре экрана светлый кружок, так как в центр приходит энергия, обусловленная колебаниями волновой поверхности, которая примыкает непосредственно к диску, и все точки находятся в одинаковом положении, колебания в центр приходят в одинаковой фазе и усиливают друг друга.

□ Любое препятствие искажает фронт распространения волн. Согласно принципу Гюйгенса границы препятствия становятся вторичными источниками волн, а их интерференция за препятствием приводит к возникновению устойчивой картины - чередования максимумов и минимумов интенсивности. Эти максимумы и минимумы называют дифракционными, т.к. они произошли в результате дифракции волн.

- На фото показана дифракция волн, распространяющихся слева направо за шаром. Дифракция волн практически уничтожает тень от шара, а в её центре появляется область, где интенсивность волн очень велика.

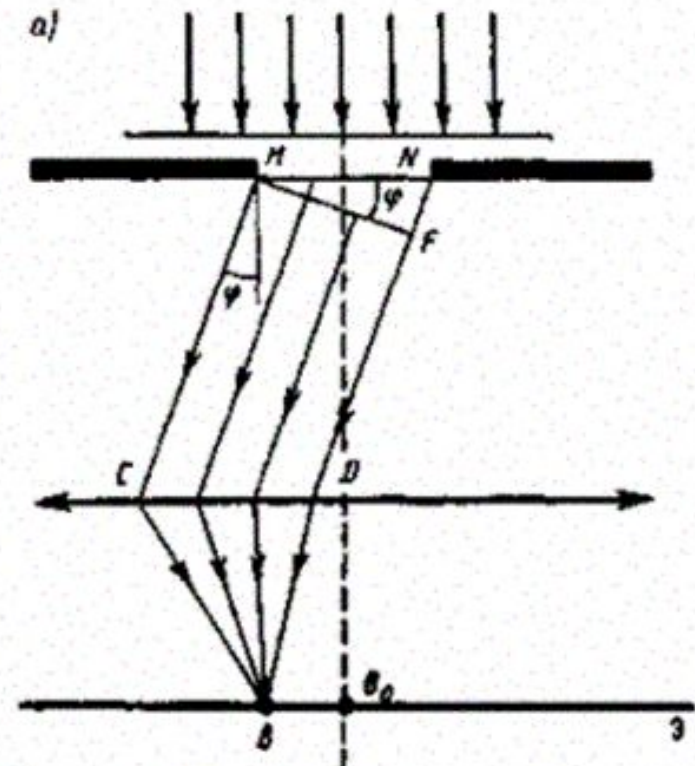


ДИФРАКЦИЯ НА ОДНОЙ ЩЕЛИ

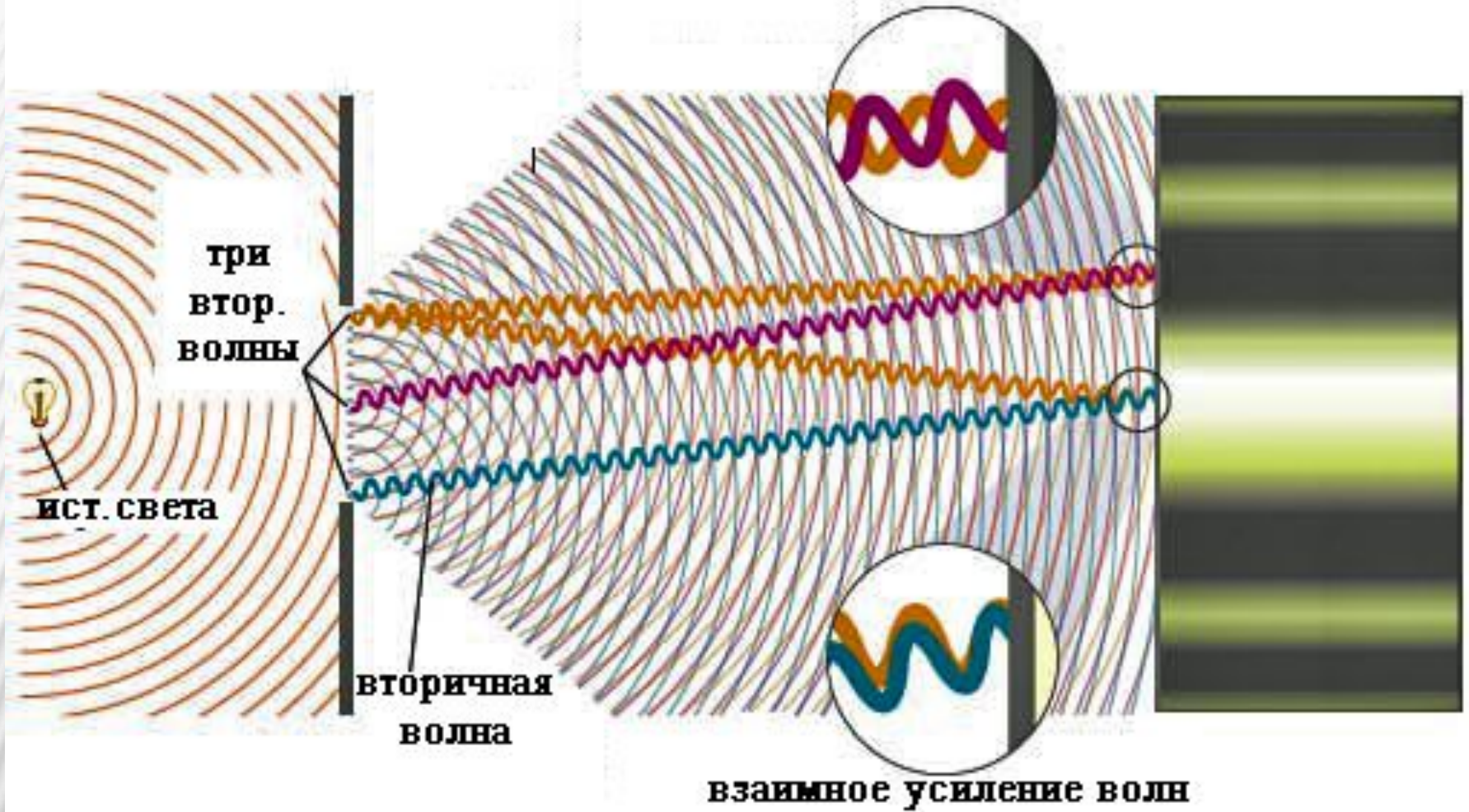
Пусть плоская монохроматическая световая волна падает нормально плоскости узкой щели шириной a . Оптическая разность хода между крайними лучами MC и ND , идущими от щели в произвольном направлении φ ,

$$\Delta = NF = a \sin \varphi,$$

где F - основание перпендикуляра, опущенного из точки M на луч ND .



взаимоуничтожение волн



дифракционные максимумы:

$$a \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} \quad (m' = 1, 2, 3, \dots),$$

□ Дифракционная картина получается в виде чередующихся темных и светлых полос цвета монохроматического излучения, в центре – светлая полоса.

Положение дифракционных максимумов зависит от длины волны λ .

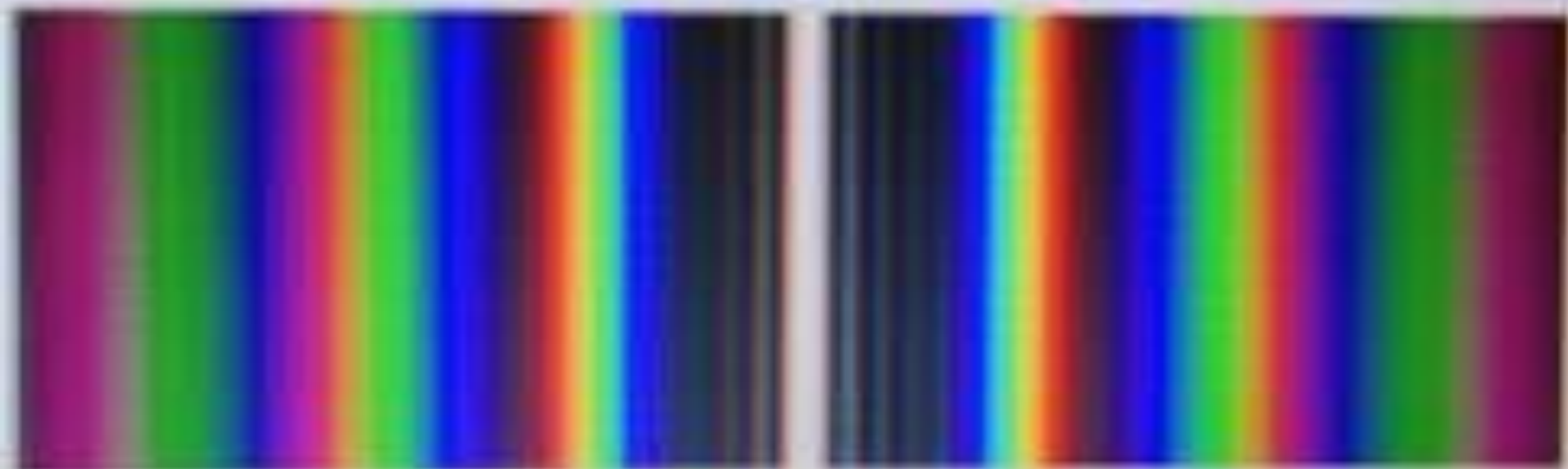
При освещении щели белым светом центральный максимум наблюдается в виде белой полоски; он общий для всех длин волн (при $\varphi = 0$ разность хода равна нулю для всех λ).

Боковые максимумы радужно окрашены, так как условие максимума при любых m различно для разных λ .

Таким образом, справа и слева от центрального максимума наблюдаются максимумы первого ($m = 1$), второго ($m = 2$) и других порядков, обращенные фиолетовым краем к центру дифракционной картины.

Однако они настолько расплывчаты, что отчетливого разделения различных длин волн с помощью дифракции на одной щели получить невозможно.

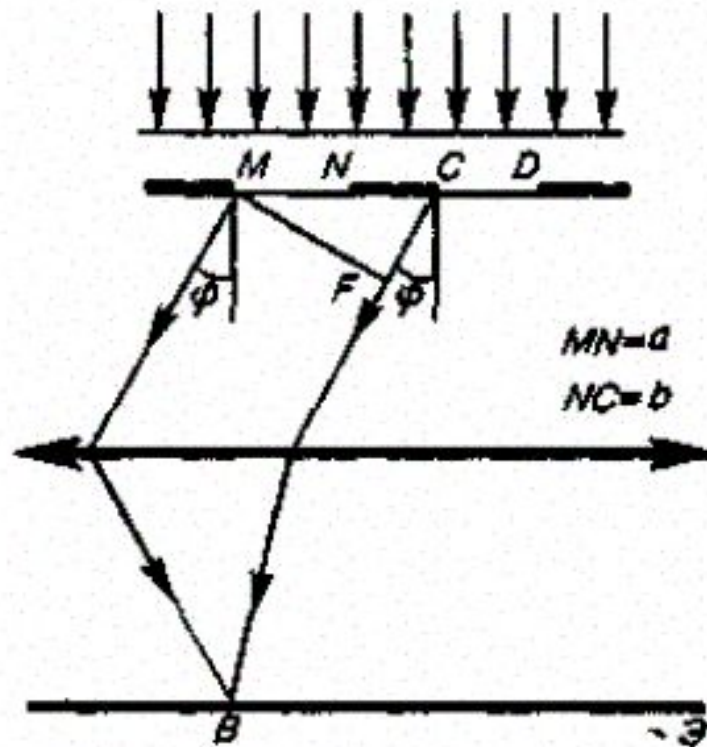
Дифракция света на тонкой щели



ДИФРАКЦИЯ НА ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКЕ

- ✦ *Дифракционная решетка* – это система параллельных щелей равной ширины, лежащих в одной плоскости и разделенных равными по ширине непрозрачными промежутками.
- ✦ Если ширина каждой щели равна a , а ширина непрозрачных участков между щелями b , то величина $d = a + b$ называется постоянной (периодом) дифракционной решетки: $d = \frac{1}{N}$, где N - число штрихов.

- Дифракционные решетки бывают отражательные и прозрачные.
- Дифракционная картина на решетке определяется как результат взаимной интерференции волн, идущих от всех щелей, т. е. в дифракционной решетке осуществляется многолучевая интерференция когерентных дифрагированных пучков света, идущих от всех щелей.
- Для наглядности на рисунке показаны только две соседние щели MN и CD.



Пусть плоская монохроматическая волна падает нормально к плоскости решетки. Так как щели находятся друг от друга на одинаковых расстояниях, то разности хода лучей, идущих от двух соседних щелей, будут для данного направления φ одинаковы в пределах всей дифракционной решетки:

$$\Delta = CF = (a + b) \sin \varphi = d \sin \varphi.$$

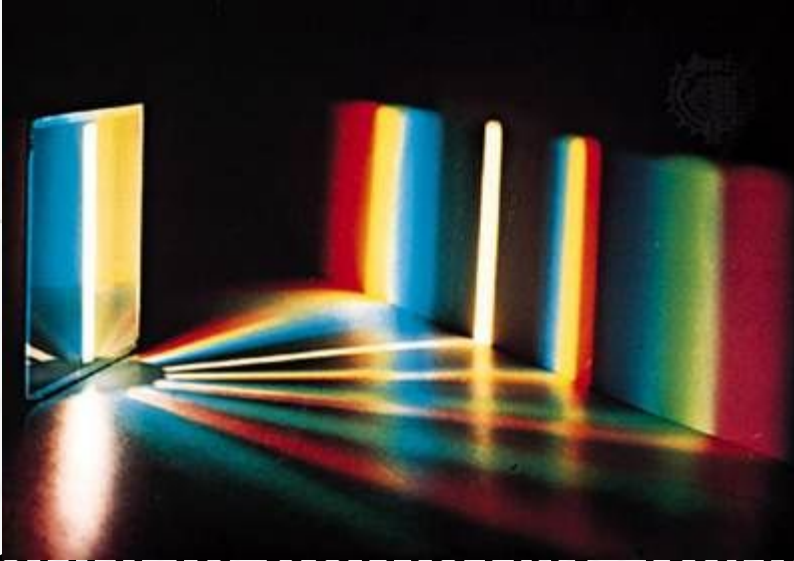
□ Главные максимумы интенсивности будут наблюдаться в направлениях, определяемых условием:

$$d \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} = \pm m\lambda \quad (m=0, 1, 2, \dots),$$

□ Чем больше щелей N , тем большее количество световой энергии пройдет через решетку, тем более интенсивными и более острыми будут максимумы.

□ Положение главных максимумов зависит от длины волны λ .

□ Поэтому при пропускании через решетку белого света все максимумы, кроме центрального ($m = 0$), разложатся в спектр, фиолетовая область которого будет обращена к центру дифракционной картины, красная - наружу. Это свойство дифракционной решетки используется для исследования спектрального состава света (определения длин волн и интенсивностей всех монохроматических компонентов), т. е. дифракционная решетка может быть использована как спектральный прибор.



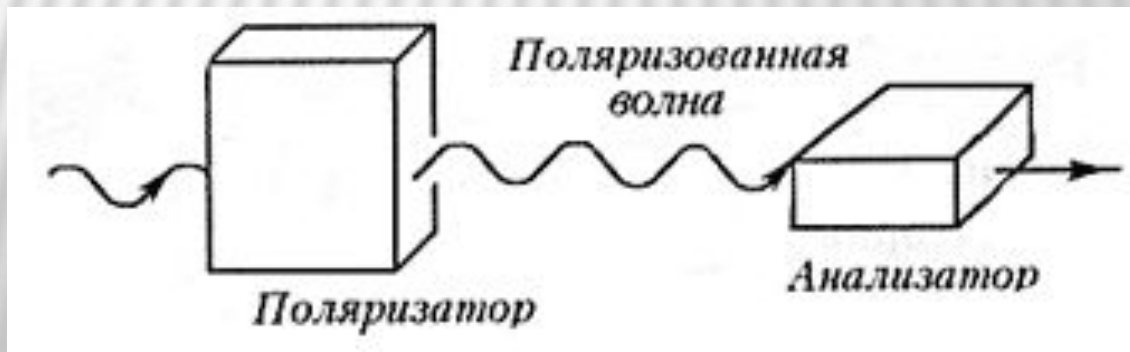
- Дифракционные решетки, используемые в различных областях спектра, отличаются размерами, формой, материалом поверхности, профилем штрихов и их частотой (от 6000 до 0,25 штрих/мм, что позволяет перекрывать область спектра от ультрафиолетовой его части до инфракрасной).

ЗАНЯТИЕ 74

**ПОЛЯРИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН.
ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА. ПОЛЯРОИДЫ.
ДВОЙНОЕ ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕ.
ПОНЯТИЕ О ГОЛОГРАФИИ**

□ ПОЛЯРИЗАЦИЯ ВОЛН

- Свойство поперечных волн – *поляризация*.
- Поляризованной волной называется такая поперечная волна, в которой колебания всех частиц происходят в одной плоскости.
- Такую волну можно получить с помощью резинового шнура, если на его пути поставить преграду с тонкой щелью. Щель пропустит только те колебания, которые происходят вдоль нее.

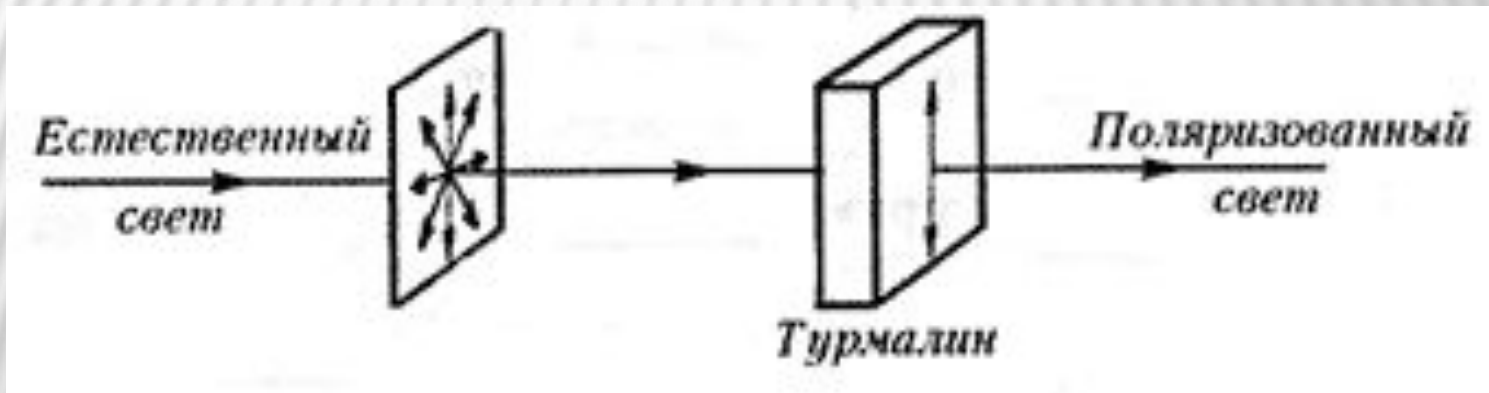


- Устройство, выделяющее колебания, происходящие в одной плоскости, называется поляризатором.
- Устройство, позволяющее определить плоскость поляризации (вторая щель) называется анализатором.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

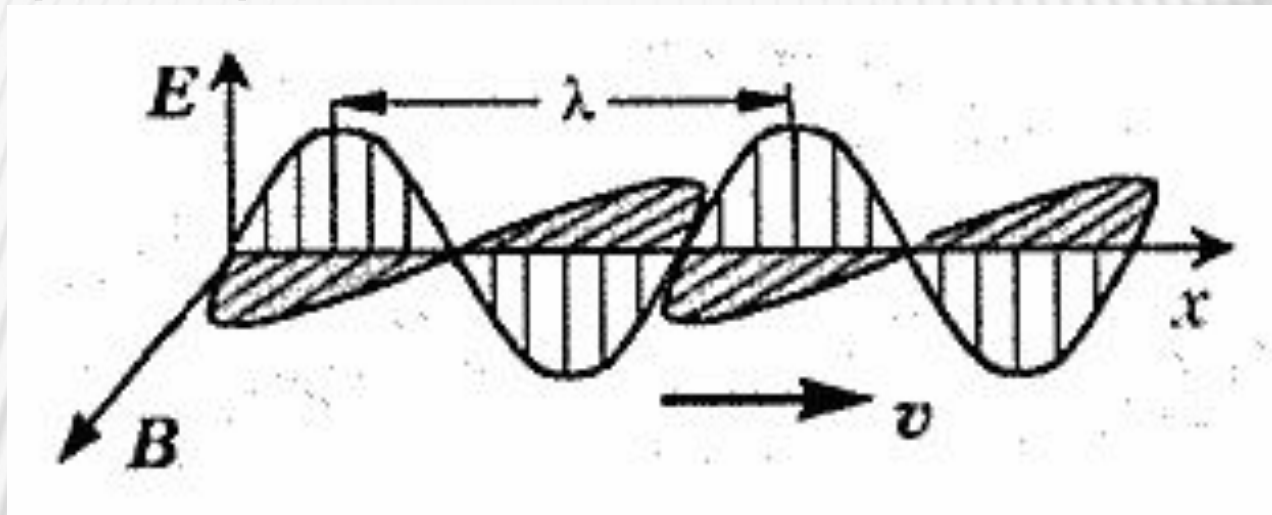
- Опыт с турмалином – доказательство поперечности световых волн.
- Кристалл турмалина – это прозрачный, зеленого цвета минерал, обладающий осью симметрии.

□ В луче света от обычного источника присутствуют колебания векторов напряженности электрического поля \vec{E} и магнитной индукции \vec{B} всевозможных направлений, перпендикулярных направлению распространения световой волны. Такая волна называется естественной волной.



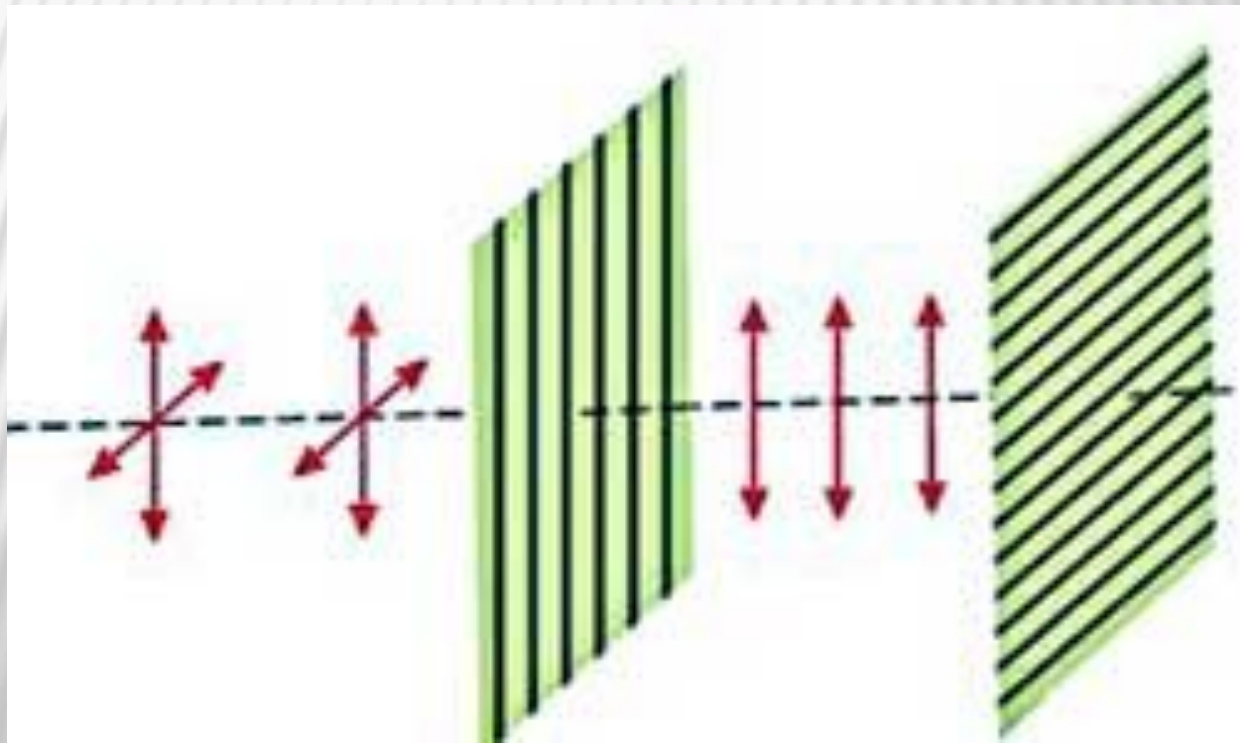
□ При прохождении через кристалл турмалина свет поляризуется.

- У поляризованного света колебания вектора напряженности \vec{E} происходят только в одной плоскости, которая совпадает с осью симметрии кристалла.



- Поляризация света после прохождения турмалина обнаруживается, если за первым кристаллом (поляризатором) поставить второй кристалл турмалина (анализатор).

- При одинаково направленных осях двух кристаллов световой луч пройдет через оба и лишь чуть ослабнет за счет частичного поглощения света кристаллами.
- Схема действия поляризатора и стоящего за ним анализатора:



Если второй кристалл начать поворачивать, т.е. сместить положение оси симметрии второго кристалла относительно первого, то луч будет постепенно гаснуть и погаснет совершенно, когда положение осей симметрии обоих кристаллов станет взаимно перпендикулярным.

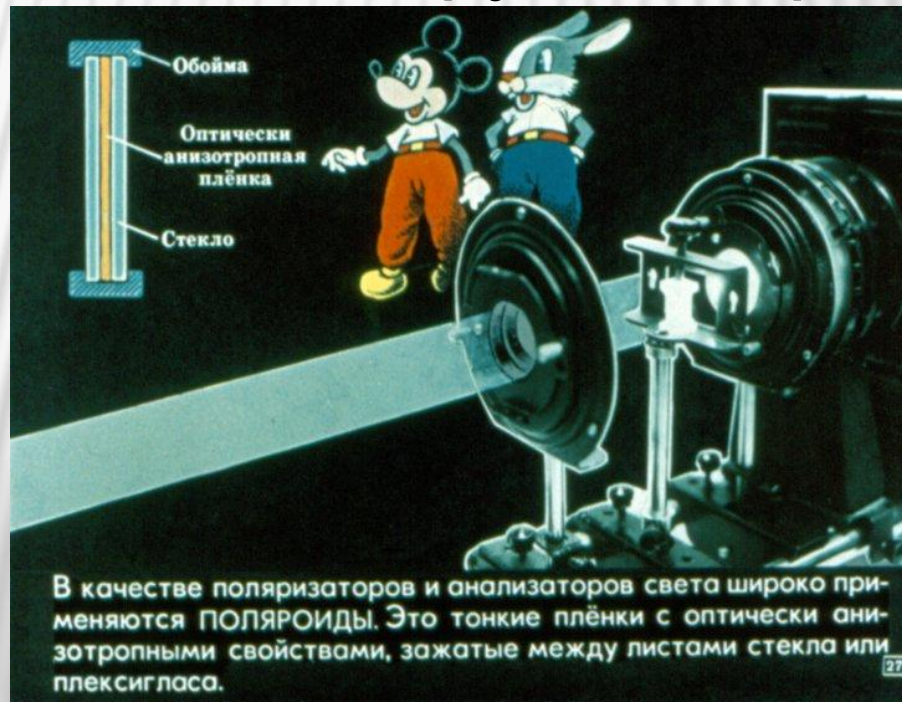
Вывод:

Свет- это поперечная волна.



СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА

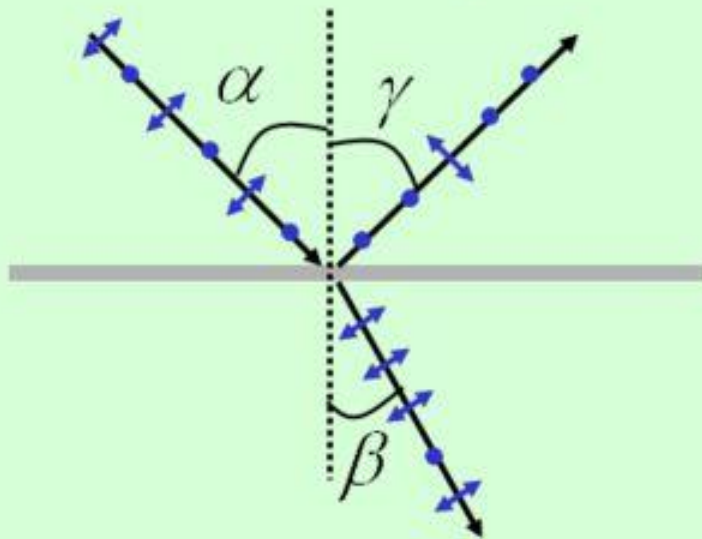
1. Поляризация при помощи поляроидов. Поляроиды представляют собой целлулоидные пленки с нанесенным на них тончайшим слоем кристалликов сульфата йодистого хинина снаружи покрытые стеклом.



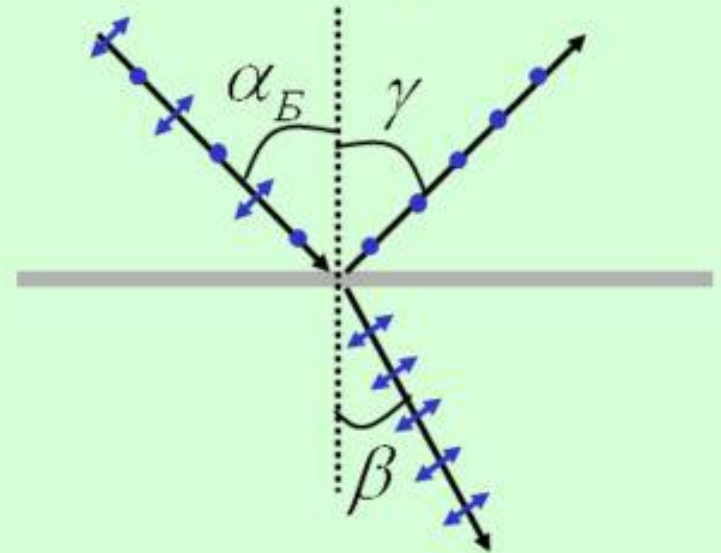
Поляризация света

При отражении и преломлении свет поляризуется.

Частичная поляризация



Полная поляризация



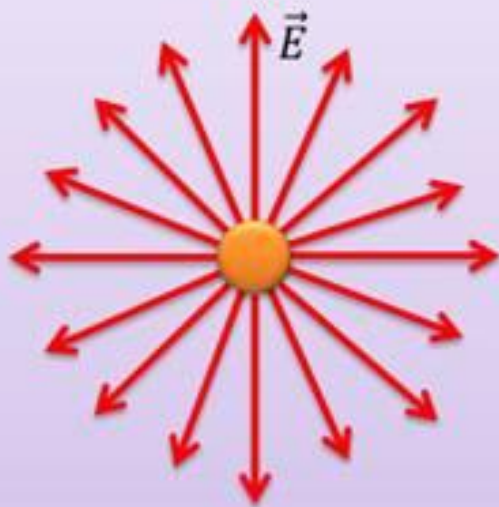
$\alpha = \alpha_B$ - угол Брюстера

$$\operatorname{tg} \alpha_B = 1$$

$$\alpha + \beta = 90^\circ$$

□ Степень поляризации тем больше, чем правильнее выдержан угол падения. Для стекла угол падения, при котором отраженный луч полностью плоско поляризован, равен 57° .

Естественный свет
(неполяризованный)



Свет со всевозможными равновероятными ориентациями вектора \vec{E} относительно оси распространения.

Частично поляризованный свет



Свет, в котором наблюдается преимущественное направление колебаний вектора \vec{E} .
(но не исключительное!)

Плоско-поляризованный свет



Свет, в котором вектор \vec{E} колеблется в определенной плоскости.

□ ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА:

- поляризационная микроскопия;
- поляризационные фильтры;
- плавная регулировка освещенности с помощью двух поляроидов;
- для гашения бликов при фотографировании (блики гасят, поместив между источником света и отражающей поверхностью поляроид);
- для устранения слепящего действия фар встречных машин;
- для получения голографических изображений предметов.

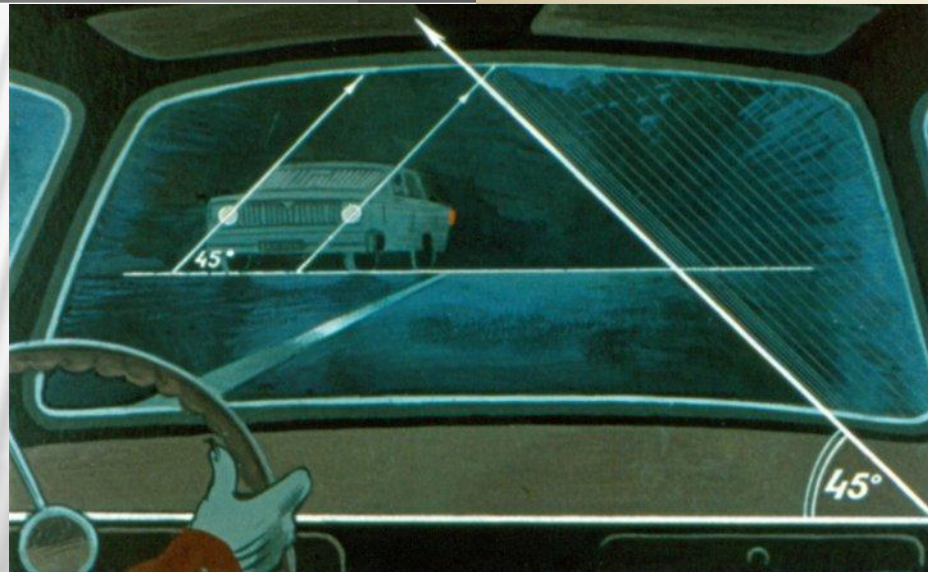
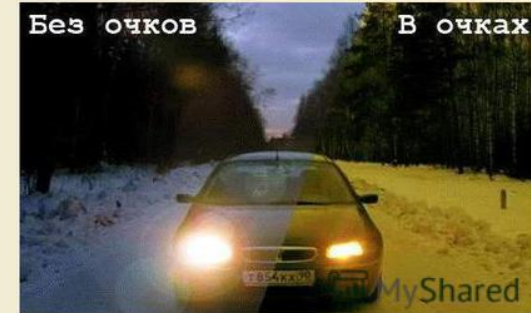




Водительские очки — это крайне необходимая вещь для безопасности любого водителя!

Солнцезащитные поляризационные и антибликовые очки

- Безопасное вождение ночью, днем, в сумерки, туман и зимой. Поляризованные линзы снимают блики от лобового стекла, от мокрой дороги, от снега, защищают от фар встречных машин, снимают усталость, улучшают видимость в любую погоду. Они незаменимы для полярников, которым постоянно приходится смотреть на ослепительное отражение солнечных лучей от заледеневшего снежного поля.

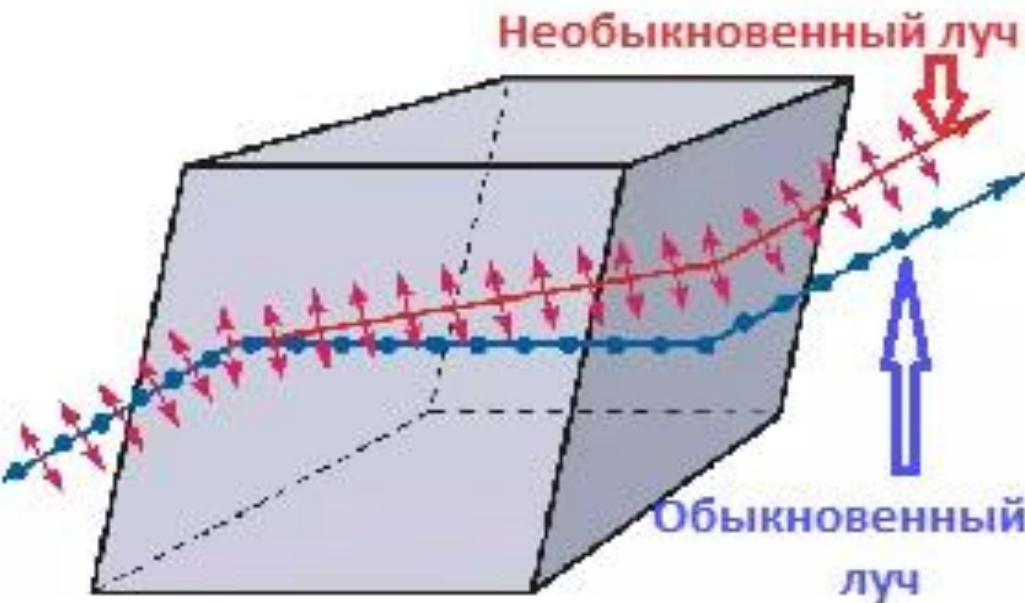


В этом случае водитель не увидит свет фар встречной машины, поскольку плоскость колебаний у встречного света перпендикулярна оптической оси поляроида на ветровом стекле. ³³

Двойное лучепреломление

При прохождении света практически через все прозрачные кристаллы наблюдается явление, получившее название **двойное лучепреломление**.

Двойное лучепреломление заключается в том, что упавший на кристалл луч разделяется внутри кристалла на два луча (**обыкновенный и необыкновенный**), распространяющиеся с разными скоростями и в разных направлениях.





Голография.

Голография — набор технологий для точной записи, воспроизведения и переформирования волновых полей.

Голография-метод получения объёмного изображения объекта, основанный на интерференции волн.



Термин голограмма

Данный метод был предложен в 1947 году Дэнным Габором, он же ввёл термин голограмма и получил «за изобретение и развитие голографического принципа» Нобелевскую премию по физике в 1971 году.

Голограмма - это особый тип трехмерного проецируемого изображения, производимого лучом чистого лазерного света.



Основы голографии

Голография основывается на процессах:

1. Дифракции
2. Интерференции



- Волны должны быть когерентными
- Результирующая сложения двух когерентных волн – стоячая волна
- Использование лазера

Денис Габор предложил разделить пучок когерентного света на два:

Опорный - падает на пластину

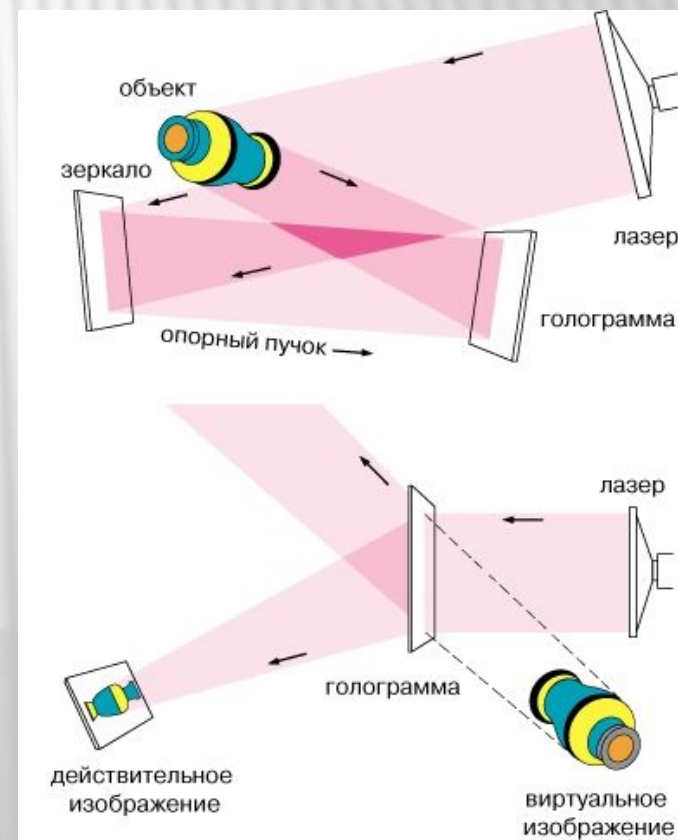
Предметный - отраженный или прошедший через объект

При освещении записанной на пластине картины опорным пучком восстановится изображение объекта, которое зрительно невозможно отличить от реального

ГОЛОГРАФИЯ С ЛАЗЕРНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ.

Вверху: часть света, отражающаяся от объекта, падает на фотографическую пластинку. Остальная часть света, называемая опорным пучком, отбрасывается на ту же пластинку зеркалом.

Два волновых фронта интерферируют; интерференционная картина, зарегистрированная на пластинке, представляет собой голограмму.



□ Внизу: при восстановлении изображения на голограмму направляют лазерный пучок, аналогичный опорному. Часть света (распространяющаяся справа вверх налево) имеет такой же волновой фронт, как и шедший от объекта при записи. Наблюдатель увидит в этом направлении виртуальное (мнимое) изображение - трехмерное изображение исходного объекта. Другая часть света создает действительное трехмерное изображение, которое, если его сфотографировать, будет выглядеть как обычный двумерный фотоснимок.

Виды голограмм

Мультиплексные голограммы - одновременно записано несколько изображений, либо раздельно записаны отдельные части одного изображения



Цветные голограммы - голограммы, способные воспроизводить цветные изображения.

В сущности цветные голограммы — это мультиплексные голограммы, восстанавливающие перекрывающиеся изображения, каждое в своем цвете.

Виды голограмм

Отражательные трехмерные голограммы

Их изготовление сложный технологический процесс

Применение: изобразительная голография (предметы искусства, изготовление голографических портретов или натюрмортов)



Радужные голограммы

Представляют собой изображения, переливающиеся всеми цветами радуги

Применение: оптические защитные технологии



Виды голограмм

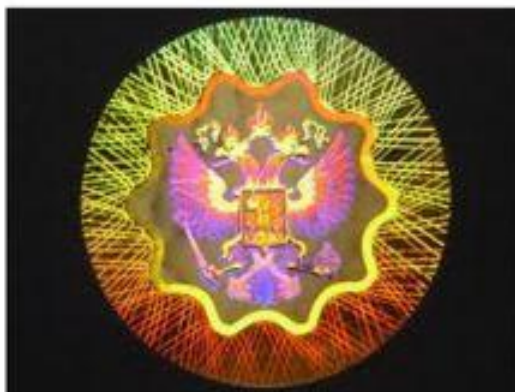
По объемности восстановленного изображения выделяют следующие виды радужных голограмм:



- **3D-голограммы**

Воспроизводят объемное изображение реального объекта

Применение: при комплексной защите и создании имиджа торговых марок



- **2D-3D-голограммы**

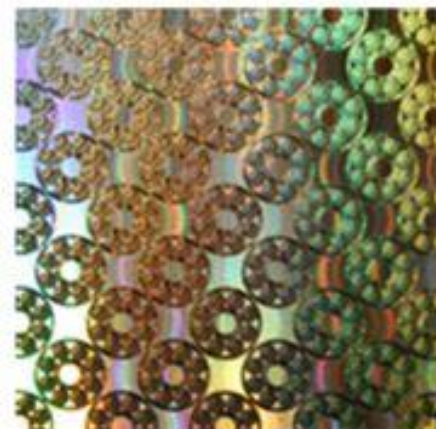
Содержат несколько плоскостей изображения, которые визуально расположены одна за другой и создают эффект трехмерности

Применение: идентификации товаров, документов и ценных бумаг

Виды голограмм

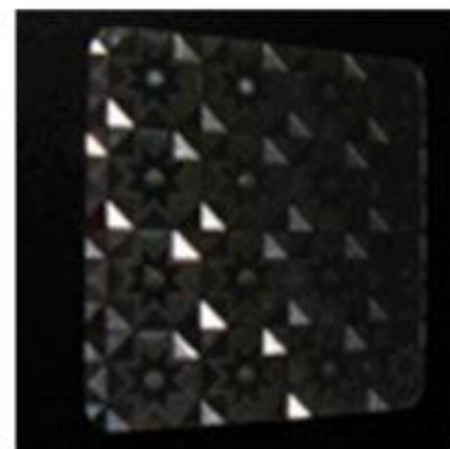
Синтезированные голограммы (Image-matrix голограммы)

Этот тип голограмм базируется на изображениях компьютерной графики, что позволяет создавать яркие контрастные голограммы с кинетическими эффектами



Деметаллизированные голограммы

Технология деметаллизации обеспечивает более надежную защиту документов и товаров, за счет того, что подделать такие голограммы очень сложно, а в «кустарных» условиях невозможно



Виды голограмм

Юниграмма

Новое средство защиты, представляющее собой многослойный материал, который может содержать более десяти степеней защиты и состоящий из голограммы и скрытого изображения, которое можно увидеть только при помощи специального прибора (идентификатора)

Применение:

- Документы строгой отчетности - акцизные марки, контрольные знаки, проездные билеты, векселя, удостоверения личности.
- Потребительские товары - продукты питания, алкоголь, фармацевтика, косметика, одежда, техника.



Виды голограмм

Виды голограмм в зависимости от свойств фольги:



- **неразрушающиеся наклейки**
При попытке переклеить такую наклейку изображение сохранится на ее основе
- **частично разрушающиеся**
При попытке переклеить такую наклейку часть изображения остается на основе, часть на изделии
- **полностью разрушающиеся**
При попытке переклеить такую наклейку изображение остается на объекте, а основа отделяется полностью

Области применения голографии

Художественная голография:

- Голограммы произведений искусства и музейных экспонатов
- Макет архитектурного сооружения
- Портреты
- Синтезированный сюжет



Области применения голографии

Защитная голография:

- **Маркировка**

- самоклеящиеся голографические этикетки
- комбинированные этикетки
(полиграфия + голографический элемент)

Голограммы применяются для маркировки:

- ✓ Аудио/видео кассеты и CD
- ✓ Автозапчасти и автохимия
- ✓ Парфюмерно-косметические товары
- ✓ Алкогольные и безалкогольные напитки
- ✓ Фармацевтическая продукция
- ✓ Продукты питания



Области применения голографии

Защитная голография:

- **Защита**

(впервые использована в 1984г)

- самоклеящейся голографической этикетки
- оттиск фольги горячего тиснения на документе
- голографического холодного ламината, в т.ч. вшитые в книжку листы

Голограммы применяются для защиты от подделки разнообразных документов:

- ✓ ID-карт
- ✓ паспортов
- ✓ акцизных марок
- ✓ нотариальных бланков и т.д.



Голографическая память

Уже разработано несколько схем голографической памяти. В их основу положена фотопластинка, на которой записан ряд голограмм, восстанавливаемых лучом лазера.

1 кв. см - 100 млн. бит

Пластинка брома $2,5 \times 2,5 \times 0,2$ см – 300 тыс. изображений



Голография в зеркалах дальнего вида

- За последние несколько лет дисплеи, не требующие отвлечения внимания водителя от дороги (head-up display, HUD), начали появляться в некоторых моделях высококлассных автомобилей
- Разработаны кэмбриджской компанией Light Blue Optics



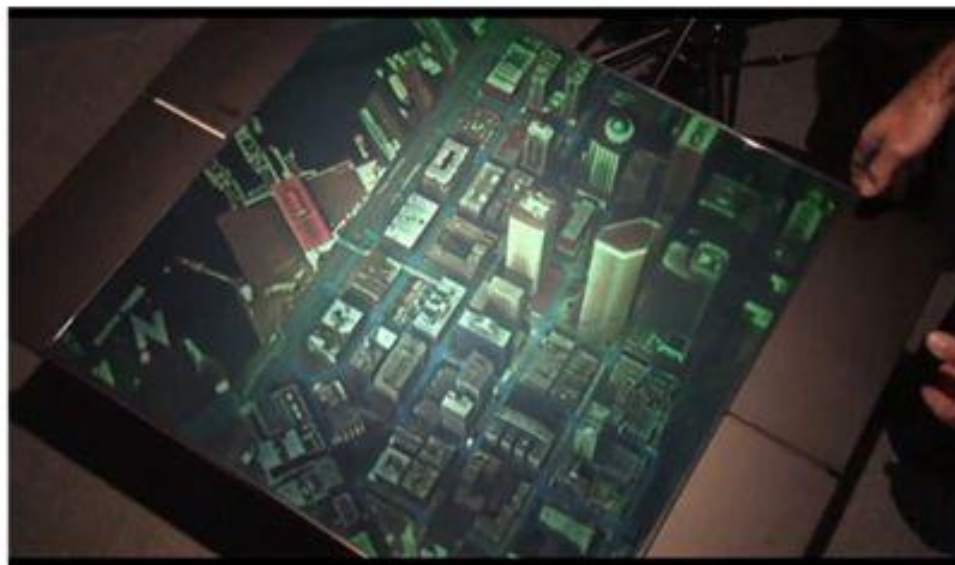
Осязаемая голография

- Исследователи из Токийского университета в 2009 продемонстрировали устройство Airborne Ultrasound Tactile Display ("Воздушный ультразвуковой тактильный дисплей")



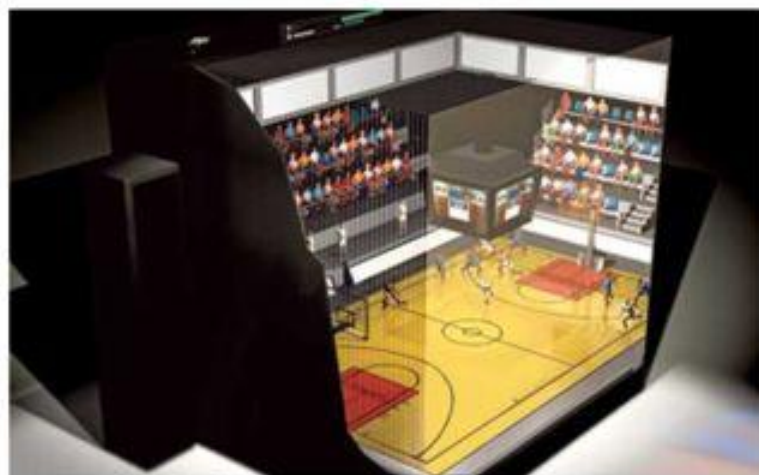
Голографические карты

- Трехмерные карты доступны для просмотра без каких бы то ни было очков
- Возможность рассмотреть даже самые мелкие детали под любым углом из всего 360-градусного диапазона
- Система позволяет создавать многослойные изображения, чтобы пользователь мог увидеть не только фасад здания, но и то, что находится внутри



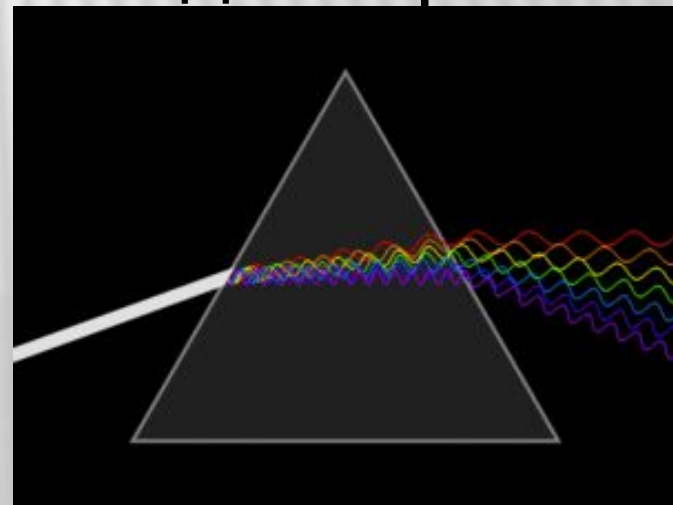
Голографические телевизоры

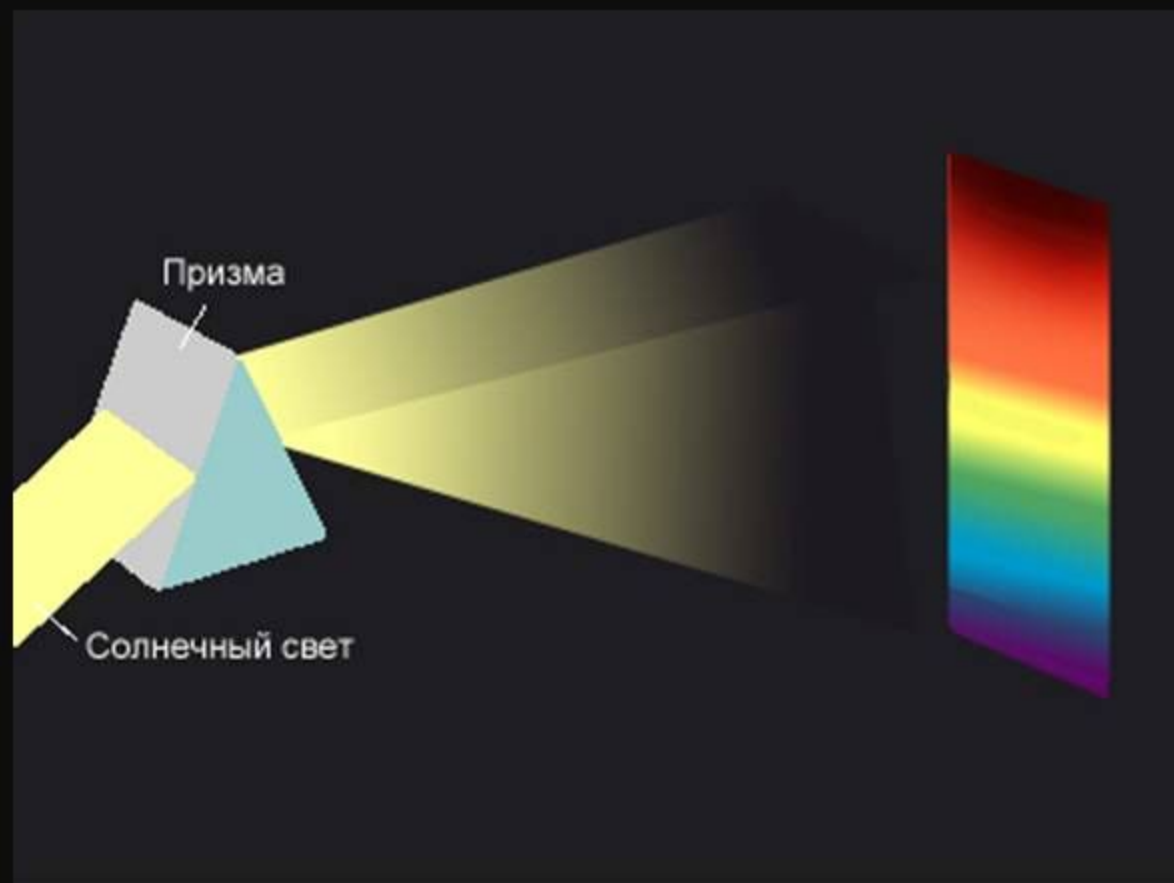
- 2008 г – учеными из Аризоны создан первый голографический телевизор
- 2010г - американские ученые отчитались о прогрессе в разработке обновляемого голографического 3D-дисплея (10' экран)
- 2011г – компания InnoVision Labs представила пирамидообразные голографические телевизоры



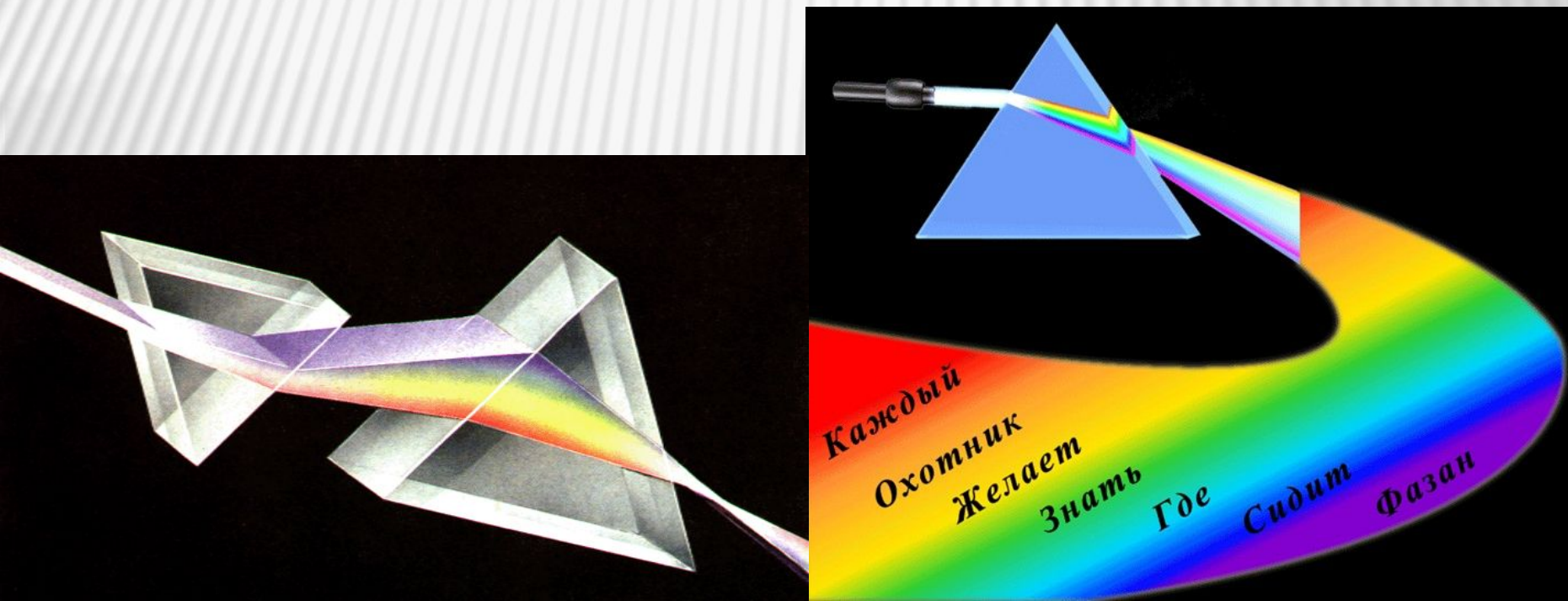
ЗАНЯТИЕ 75
ДИСПЕРСИЯ СВЕТА.
ВИДЫ СПЕКТРОВ.
СПЕКТРЫ ИСПУСКАНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ

- *Дисперсией света* называется зависимость показателя преломления n вещества от частоты ν (длины волн λ) света или зависимость скорости световых волн v от их частоты.
- Следствием дисперсии является разложение в спектр пучка белого света при прохождении его через призму. Первые экспериментальные наблюдения дисперсии света проводил в 1672 г. И. Ньютон. Он объяснил это явление различием масс корпускул.





С помощью призмы, так же как с помощью дифракционной решетки, разлагая свет в спектр, можно определить его спектральный состав.



□ РАЗЛИЧИЯ В ДИФРАКЦИОННОМ И ПРИЗМАТИЧЕСКОМ СПЕКТРАХ

□ 1. В дифракционном спектре меньше отклоняются фиолетовые лучи, а в призматическом – красные.

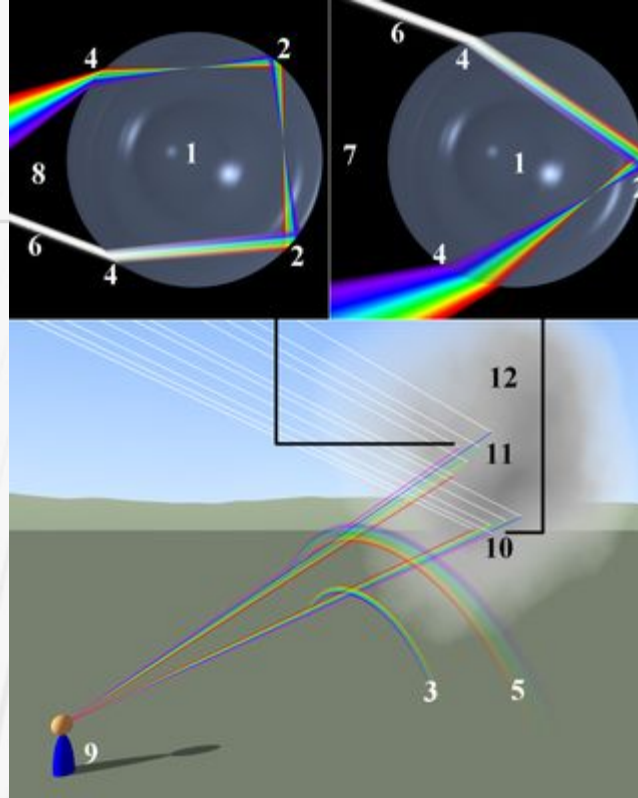
□ 2. Дисперсионный спектр растянут в сине-фиолетовой области и сжат в красной, а дифракционный – равномерно растянут.

□ ВОЗНИКНОВЕНИЕ РАДУГИ

□ Радуга возникает из-за того, что солнечный свет испытывает преломление в капельках воды дождя или тумана, парящих в атмосфере. Эти капельки по-разному отклоняют свет разных цветов (показатель преломления воды для более длинноволнового (красного) света меньше, чем для коротковолнового (фиолетового), поэтому красный свет меньше отклоняется при преломлении — красный на $137^{\circ}30'$, фиолетовый на $139^{\circ}20'$ и т. д.), в результате чего белый свет разлагается в спектр.

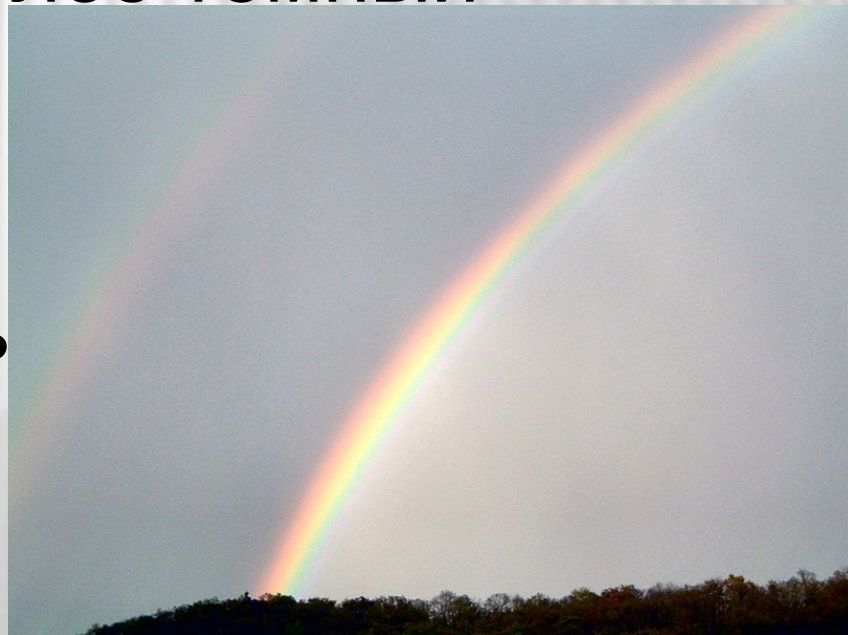
Данное явление вызвано дисперсией. Наблюдателю кажется, что из пространства по concentрическим кругам (дугам) исходит разноцветное свечение (при этом источник яркого света всегда должен находиться за спиной наблюдателя).

Чаще всего наблюдается первичная радуга, при которой свет претерпевает одно внутреннее отражение. Ход лучей показан на рисунке справа вверху. В первичной радуге красный цвет находится снаружи дуги, её угловой радиус составляет $40\text{—}42^\circ$.



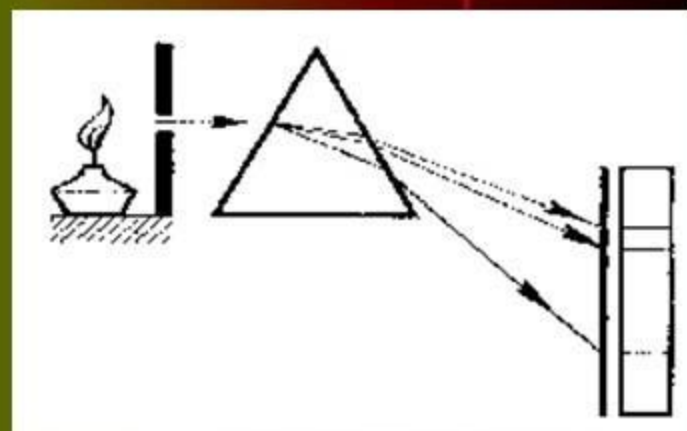
□ Схема образования радуги 1) сферическая капля, 2) внутреннее отражение, 3) первичная радуга, 4) преломление, 5) вторичная радуга, 6) входящий луч света, 7) ход лучей при формировании первичной радуги, 8) ход лучей при формировании вторичной радуги, 9) наблюдатель, 10-12) область формирования радуги.

Иногда можно увидеть ещё одну, менее яркую радугу вокруг первой. Это вторичная радуга, в которой свет отражается в капле два раза. Во вторичной радуге «перевернутый» порядок цветов — снаружи находится фиолетовый, а внутри красный. Угловой радиус вторичной радуги $50\text{—}53^\circ$. Небо между двумя радугами обычно имеет заметно более темный оттенок. В горах и других местах, где очень чистый воздух, можно наблюдать третью радугу (угловой радиус порядка 60°).



Спектры испускания

- Совокупность частот (или длин волн), которые содержатся в излучении какого-либо вещества, называют *спектром испускания*.



Три вида: *сплошной, линейчатый, полосатый*.



Сплошной спектр

- - это спектр, содержащий все длины волн определенного диапазона от красного с $\lambda = 7,6 \cdot 10^{-7}$ м до фиолетового с $\lambda = 4 \cdot 10^{-7}$ м. Сплошной спектр излучают нагретые твердые и жидкие вещества, газы, нагретые под большим давлением.



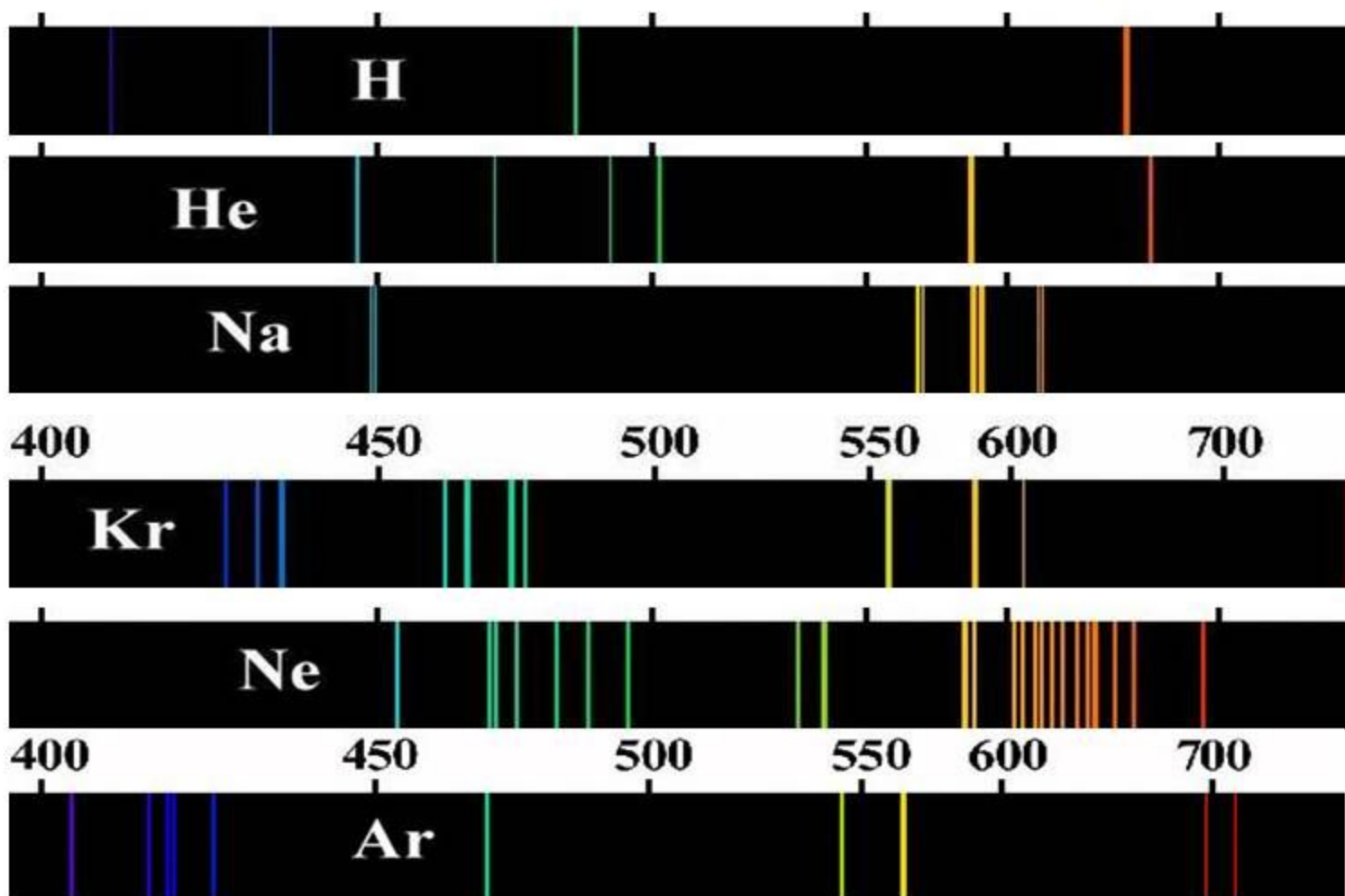


Линейчатый спектр

- это спектр, испускаемый газами, парами малой плотности в атомарном состоянии. Состоит из отдельных линий разного цвета (длины волны, частоты), имеющих разные расположения. Каждый атом излучает набор электромагнитных волн определенных частот. Поэтому каждый химический элемент имеет



Примеры линейчатых спектров



Спектры испускания

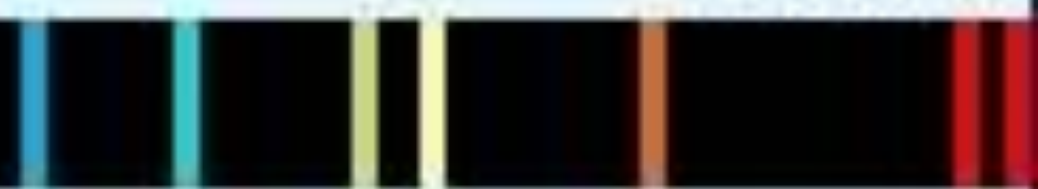
Натрий



Водород



Гелий



Полосатый

- — это спектр, который испускается газом в молекулярном состоянии.



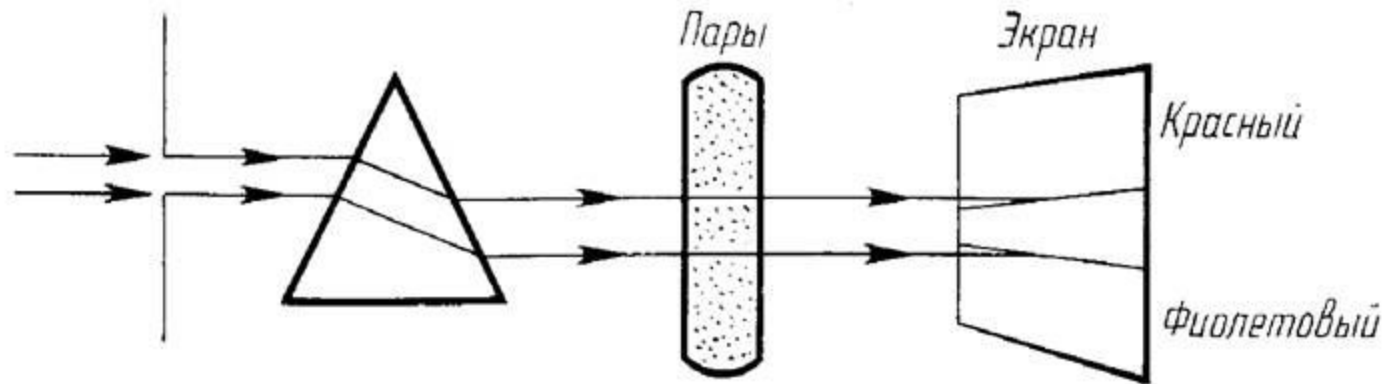
Спектр угольной дуги (полосы молекул CN и C₂)



Спектр испускания паров молекулы иода.

Линейчатые и полосатые спектры можно получить путем нагрева вещества или пропускания электрического тока.

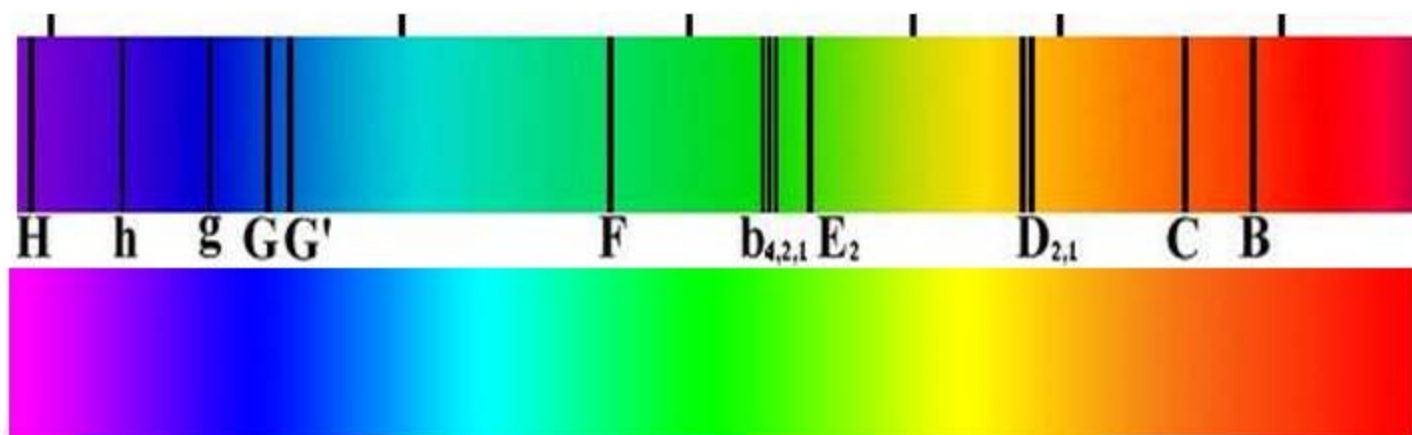
Спектры поглощения



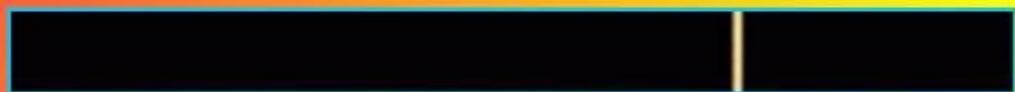
- Спектры поглощения получают, пропуская свет от источника, дающего сплошной спектр, через вещество, атомы которого находятся в невозбужденном, состоянии.
- **Спектр поглощения** — это совокупность частот, поглощаемых данным веществом.

Примеры спектров поглощения

ЛИНИИ
Фраунгофера



ФРАУНГОФЕР (Fraunhofer) Йозеф (1787–1826), немецкий физик. Усовершенствовал изготовление линз, дифракционных решеток. Подробно описал (1814) линии поглощения в спектре Солнца, названные его именем. Изобрел гелиометр-рефрактор. Фраунгофера справедливо считают отцом астрофизики за его работы в астрономии.



Натрий



Водород

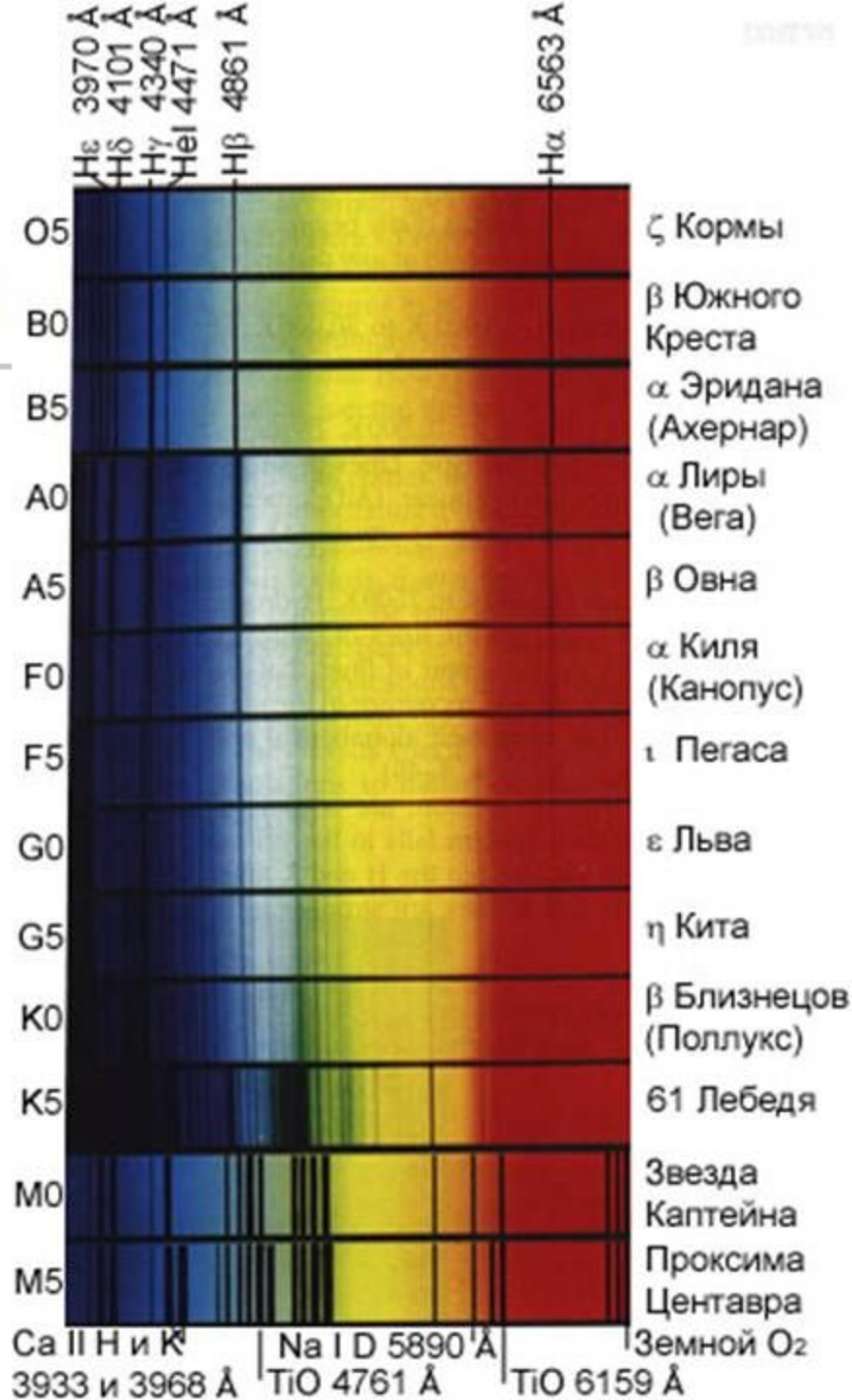


Гелий



Спектры звезд

- Почти все звезды имеют линии поглощения в спектре.





Открытие гелия

- В 1868 году в спектре Солнца были обнаружены линии неизвестного элемента, названного гелием (греч. helios «Солнце»). Через 27 лет небольшое количество этого газа обнаружилось и в земной атмосфере. Сегодня известно, что гелий – второй по распространенности элемент во Вселенной.



Спектральный анализ

- Исследование спектров испускания и поглощения позволяет установить качественный состав вещества. Количественное содержание элемента в соединении определяется путем измерения яркости спектральных линий.
- **Метод определения качественного и количественного состава вещества по его спектру называется спектральным анализом.**
- Зная длины волн, испускаемых различными парами, можно установить наличие тех или иных элементов в веществе.
- Благодаря спектральному анализу открыто 25 элементов.

Спектральный анализ в астрофизике

- Спектры звезд – это их паспорта с описанием всех звездных особенностей. Звезды состоят из тех же химических элементов, которые известны на Земле, но в процентном отношении в них преобладают легкие элементы: водород и гелий. По спектру звезды можно узнать ее светимость, расстояние до звезды, температуру, размер, химический состав ее атмосферы, скорость вращения вокруг оси, особенности движения вокруг общего центра тяжести. Спектральный аппарат, устанавливаемый на телескопе, раскладывает свет звезды по длинам волн в полосу спектра. По спектру можно узнать, какая энергия приходит от звезды на различных длинах волн и оценить очень точно ее температуру.
- Цвет и спектр звезд связан с их температурой. В холодных звездах с температурой фотосферы 3 000 К преобладает излучение в красной области спектра. В спектрах таких звезд много линий металлов и молекул. В горячих голубых звездах с температурой свыше 10 000–15 000 К большая часть атомов ионизована. Полностью ионизованные атомы не дают спектральных линий, поэтому в спектрах таких звезд линий мало.



Эмиссионный спектрометр



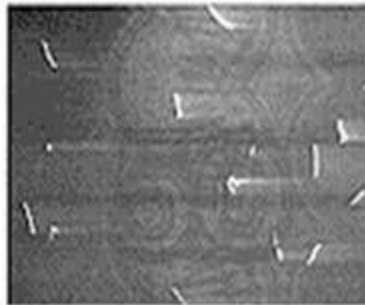
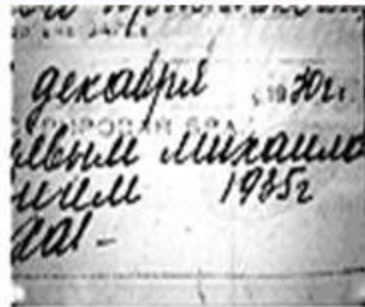
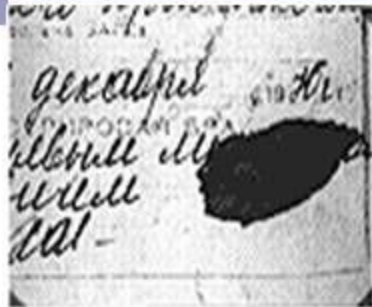
Лабораторная электролизная установка для анализа металлов «ЭЛАМ»

Спектральный анализ основан на методе определения химического состава вещества по его спектру.

Благодаря универсальности спектральный анализ является основным методом контроля состава вещества в металлургии, машиностроении, атомной промышленности.

Лаборатория спектрального анализа





- В настоящее время в **криминалистике** широко используются телевизионные спектральные системы (ТСС).
- - обнаружение различного рода подделок документов: - выявление залитых, зачеркнутых или выцветших (угасших) текстов, записей, образованных вдавленными штрихами или выполненными на копировальной бумаге, и т. п.;
- - выявление структуры ткани;
- - выявление загрязнений на тканях (сажа и остатки минеральных масел) при огнестрельных повреждениях и транспортных происшествиях;
- - выявление замытых, а также расположенных на пестрых, темных и загрязненных предметах следов крови.

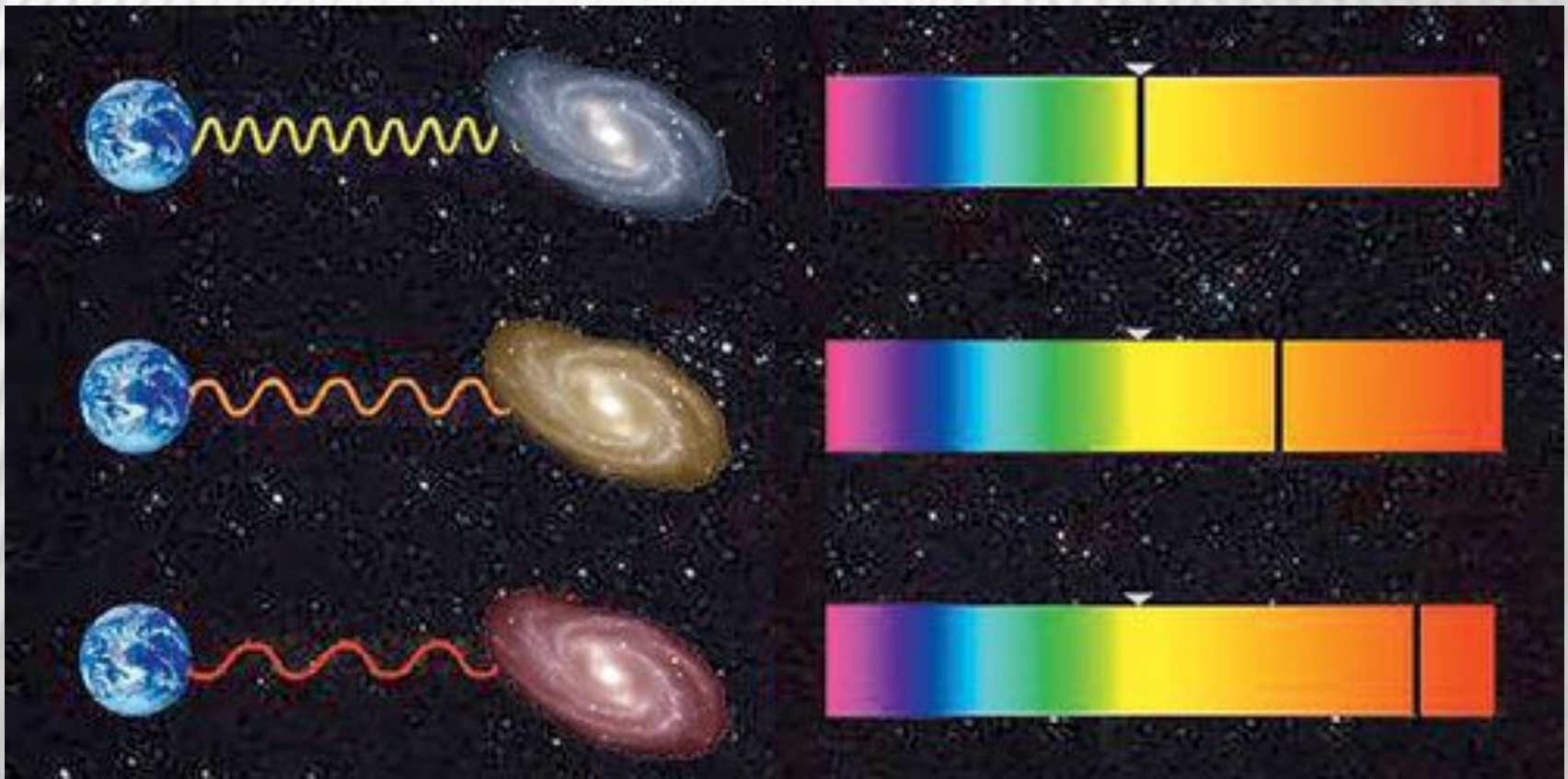
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

1. В металлургии
2. В машиностроении
3. В атомной индустрии
4. В криминалистике
5. В химической промышленности
6. В астрофизике
7. В горном деле

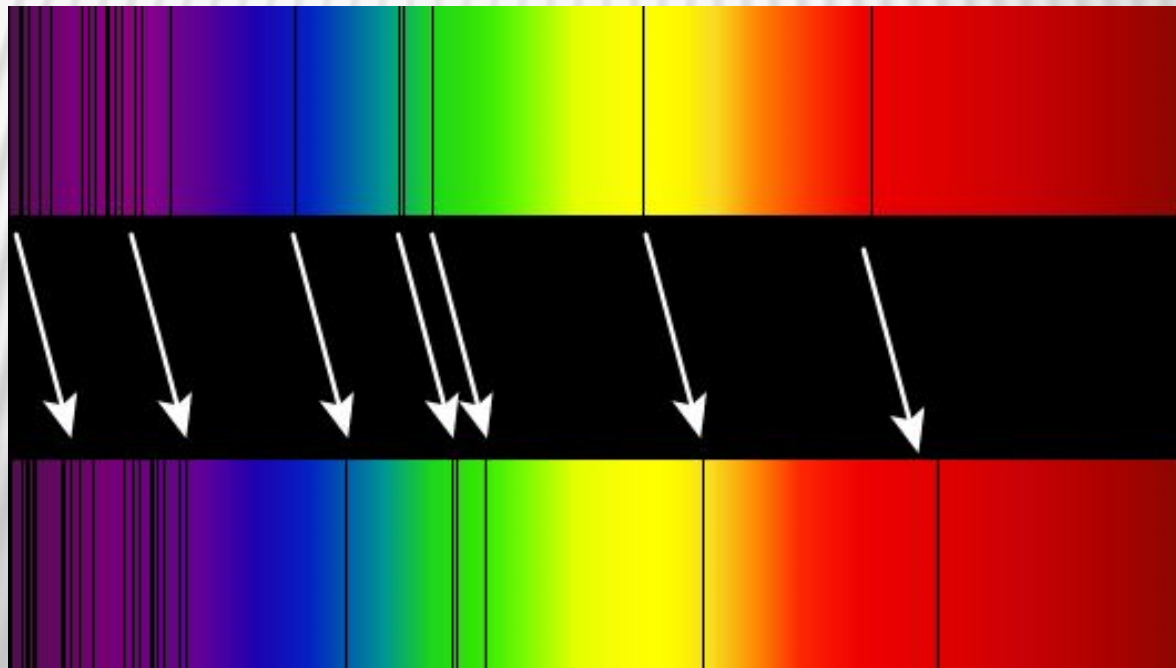


ЭФФЕКТ ДОПЛЕРА

- Эффект Доплера - изменение частоты (длины волны) излучения, связанное со скоростью относительного движения источника и приёмника излучения.




Красное смещение в спектрах далёких галактик. Чем дальше от нас находится галактика, тем быстрее она удаляется. За счёт эффекта Доплера длина волны принятого на Земле её излучения становится тем больше, чем выше её скорость.



ЗАНЯТИЕ 76

**ИНФРАКРАСНОЕ И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ
ИЗЛУЧЕНИЯ.**

**РЕНТГЕНОВСКИЕ ЛУЧИ.
ИХ ПРИРОДА И СВОЙСТВА**

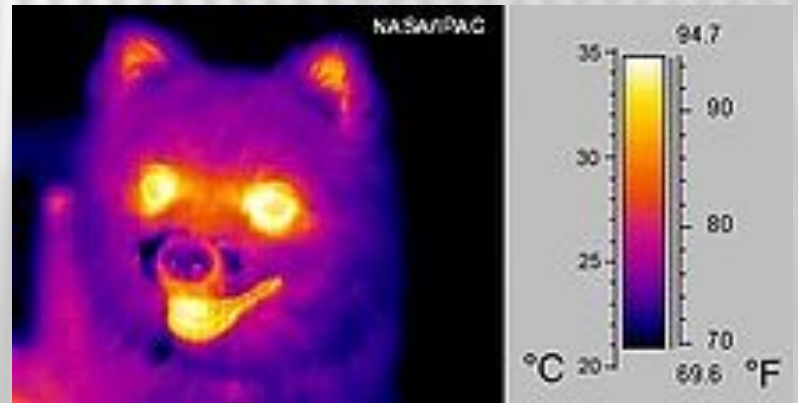


Инфракрасное (ИК) излучение



ИНФРАКРАСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.

Электромагнитное излучение с частотами в диапазоне от $3 \cdot 10^{11}$ до $3,75 \cdot 10^{14}$ Гц называется *инфракрасным излучением*. Его испускает любое нагретое тело даже в том случае, когда оно не светится. Например, батареи отопления в квартире испускают инфракрасные волны, вызывающие заметное нагревание окружающих тел. Поэтому инфракрасные волны часто называют тепловыми.



Источники ИК излучения

ИК волны излучают нагретые тела, молекулы которых движутся интенсивно. Это излучение называют тепловым.



Основная часть излучения лампы накаливания лежит в невидимом инфракрасном диапазоне и **50 % энергии Солнца** излучается в инфракрасном диапазоне и **видна в виде тепла**. КПД этих ламп только **15 %**.

- Не воспринимаемые глазом инфракрасные волны имеют длины волн, превышающие длину волны красного света (длина волны $\lambda = 780 \text{ нм} — 1 \text{ мм}$).
- Существуют тепловые и фотоэлектрические приёмники ИК излучения: термоэлементы, фотоэлементы, фоторезисторы. Специальные фотоплёнки и пластинки — инфрапластинки (сенсibilизированные фотопластинки) — также чувствительны к ИК излучению (до $\lambda = 1,2 \text{ мкм}$), потому могут быть получены фотографии.

□ Поверхность Земли и облака поглощают видимое и невидимое излучение от солнца и переизлучают большую часть энергии в виде инфракрасного излучения обратно в атмосферу. Некоторые вещества в атмосфере, главным образом капли воды и водяной пар, а также диоксид углерода, метан, азот, гексафторид серы и хлорфторуглерод поглощают это инфракрасное излучение и вновь излучают его во всех направлениях, включая обратно на Землю.

- Таким образом, парниковый эффект удерживает атмосферу и поверхность в более нагретом состоянии, чем если бы инфракрасные поглотители отсутствовали в атмосфере.
- ИК излучение обладает ярко выраженным *тепловым действием*.
- ИК излучение проходит через стекло, но задерживается облаками.
- Очень сильное инфракрасное излучение в местах высокого нагрева может высушивать слизистую оболочку глаз. В таких ситуациях необходимо надевать специальные защитные очки для глаз.

Применение ИК излучения

В приборах ночного видения:

- биноклях,
- очках,
- прицелах для стрелкового оружия,
- ночных фото- и видеокамеры.



Здесь невидимое глазом инфракрасное изображение объекта преобразуется в видимое.

Применение ИК излучения

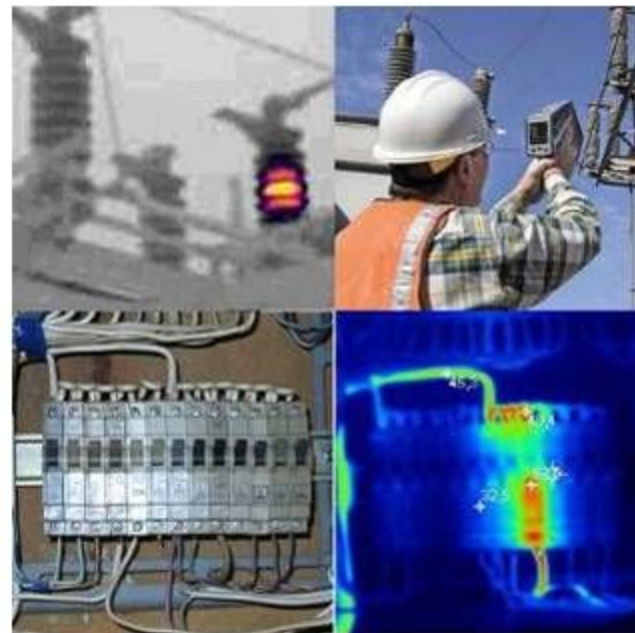
Тепловизор — устройство для наблюдения за распределением температуры исследуемой поверхности. Распределение температуры отображается на дисплее как цветное поле, где определённой температуре соответствует определённый цвет.

Термограмма — изображения в инфракрасных лучах, показывающего картину распределения температурных полей.



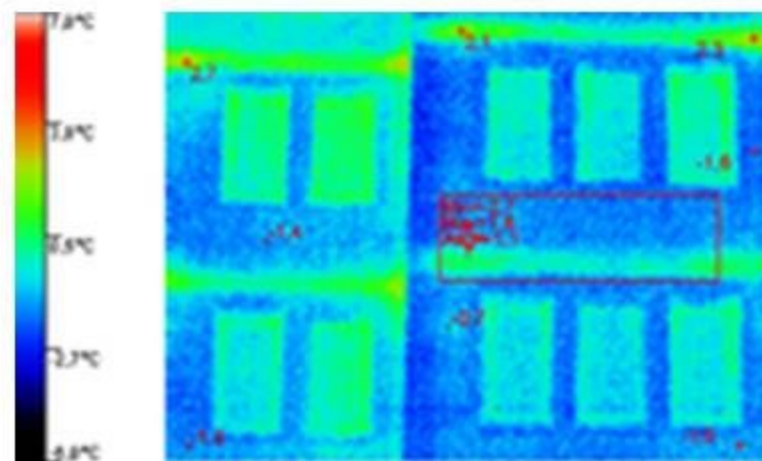
Применение ИК излучения

Тепловизоры применяют на предприятиях, где необходим контроль за тепловым состоянием объектов, и в организациях, занимающихся поиском неисправностей сетей различного назначения. Так, сканирование тепловизором может показать место отхода контактов в системах электропроводки.



Применение ИК излучения

Тепловизоры используют в строительстве при оценке теплоизоляционных свойств конструкций. С их помощью можно определить области наибольших теплопотерь в строящемся доме и сделать вывод о качестве применяемых строительных материалов и утеплителей.



Тепловизионный снимок кирпичного фасада для оценки потерь тепла

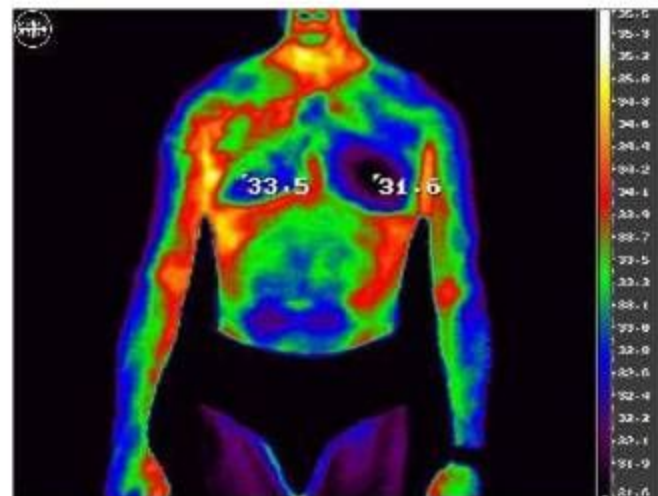
Применение ИК излучения

Инфракрасное излучение применяется в медицине, т.к. оказывает болеутоляющее, антиспазматическое, противовоспалительное, циркуляторное, стимулирующее и отвлекающее действие.



Применение ИК излучения

Термограммы используют в медицине для диагностики заболеваний. Так, инфракрасные снимки вен позволяют обнаруживать места закупорки сосудов, места локализации тромбов или злокачественных опухолей, даже если их температура превышает окружающую температуру на сотые доли градуса.



Термограмма
тела
человека

Применение ИК излучения

Для сушки лакокрасочных покрытий, овощей, фруктов

Преимущества:

- Быстрый нагрев изделий и материалов до заданной температуры,
- Небольшая длительность ИК-сушки для ряда лакокрасочных материалов по сравнению с конвективным способом сушки;
- Возможность нагрева части изделия (зонный нагрев)



Применение ИК излучения

Дистанционное управление телевизором или видеомэагнитофоном осуществляется с помощью ИК излучения. В пультах дистанционного управления пучок инфракрасного излучения испускает светодиод.



ПРИМЕНЕНИЕ

1. Приборы ночного видения.
2. Тепловизоры.
3. В медицине.
4. Для сушки лакокрасочных покрытий, овощей, фруктов.
5. Инфракрасное наведение на цель снарядов и ракет.
6. Инфракрасный обогреватель.
7. Инфракрасная астрономия.
8. Инфракрасная спектроскопия (получение важных сведений о строении атомов и молекул).
9. Передача данных (волоконно-оптические системы связи).
10. В пультах дистанционного управления.

УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Электромагнитное излучение с частотами в диапазоне от $8 \cdot 10^{14}$ до $3 \cdot 10^{16}$ Гц называется *ультрафиолетовым излучением* (длина волны $\lambda = 10\text{—}380$ нм). УФ лучи создают тела с температурой выше 3000°C , они входят в состав Солнечного света, света электрической дуги с угольными электродами, газоразрядными лампами (водородными, кварцевыми, ксеноновыми, бактерицидными).



Обнаружить ультрафиолетовое излучение можно с помощью фотоэлементов, фотоумножителей, экрана, покрытого люминесцирующим веществом.

Экран начинает светиться в той части, на которую падают лучи, лежащие за фиолетовой областью спектра.

Ультрафиолетовое излучение отличается высокой *химической активностью*.

Повышенную чувствительность к ультрафиолетовому излучению имеет фотоэмульсия.

В этом можно убедиться, спроецировав спектр в затемненном помещении на фотобумагу. После проявления бумага почернеет за фиолетовым концом спектра сильнее, чем в области видимого спектра. Ультрафиолетовые лучи не вызывают зрительных образов: они невидимы, не проходят сквозь стекло (проходят через кварцевое стекло), но легко проникают через облака.

В малых дозах УФ лучи оказывают целебное действие.



- Умеренное пребывание на солнце полезно, особенно в юном возрасте:
 - ультрафиолетовые лучи способствуют росту и укреплению организма. Кроме прямого действия на ткани кожи (образование защитного пигмента — загара, витамина D₂), ультрафиолетовые лучи оказывают влияние на центральную нервную систему, стимулируя ряд важных жизненных функций в организме.
 - Ультрафиолетовые лучи
 - оказывают также
 - бактерицидное действие.



□ Они убивают болезнетворные бактерии и используются с этой целью в медицине.

Действие УФ излучения на сетчатку глаза и кожу велико и разрушительно.

Ультрафиолетовое излучение Солнца недостаточно поглощается верхними слоями атмосферы. Поэтому высоко в горах нельзя оставаться длительное время без одежды и без темных очков. Стеклянные очки, прозрачные для видимого спектра, защищают глаза от ультрафиолетового излучения, так как стекло сильно поглощает ультрафиолетовые лучи.

Особенности УФ излучения



До 90 % этого излучения поглощается озоном атмосферы. С каждым увеличением высоты на 1000 м уровень УФ возрастает на 12 %

Биологическое действие УФ излучения

Разрушает сетчатку глаза,
вызывает ожоги кожи и рак кожи.

Способы защиты



Стекланные очки
защищают глаза



Крем от загара

Полезные свойства УФ излучения

- Попадая на кожу вызывает образование защитного пигмента – загара.
- Способствует образованию витаминов группы Д
- Вызывает гибель болезнетворных бактерий

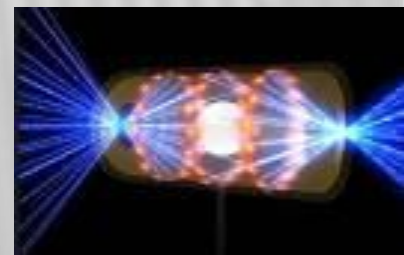


ПРИМЕНЕНИЕ

1. В фотографии.
2. Для обнаружения скрытых надписей и стертого текста. В криминалистике. Для защиты документов от подделки их часто снабжают особыми метками, которые видны только при ультрафиолетовом освещении. Большинство паспортов, банковских карт, а также банкноты различных стран содержат защитные элементы в виде краски или нитей, люминесцирующих в ультрафиолете.



4. Для изучения строения наружных электронных оболочек атомов.
5. В медицине и косметологии (для лечения некоторых заболеваний и дезинфекции).
6. Ультрафиолетовое излучение используется и в развлекательных целях: для создания световых эффектов на сцене театра, в баре, на дискотеке.
7. Используется при экспертизе картин и других художественных произведений.
8. Широко используется на предприятиях пищевой промышленности.
9. В полиграфии.





Рентгеновское излучение



Рентгеновское излучение

Частотный диапазон
рентгеновского излучения

это излучение с частотами

$3 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{20}$ Гц

в диапазоне от

$3 \cdot 10^{16}$ до $3 \cdot 10^{20}$ Гц.

Рентген Вильгельм

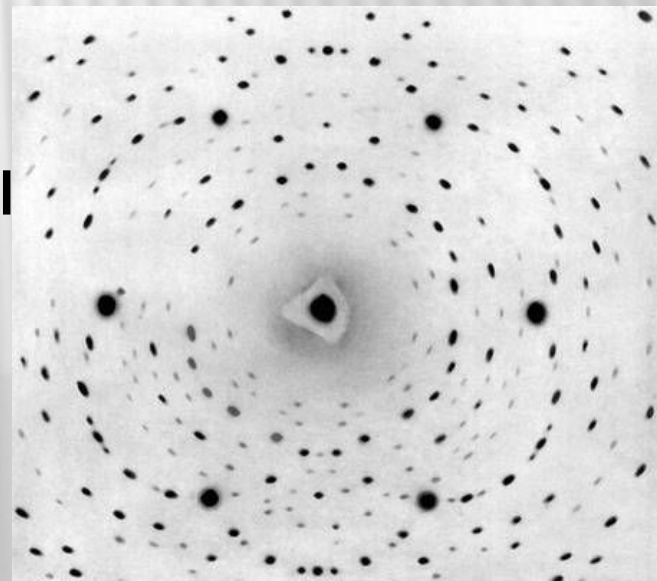
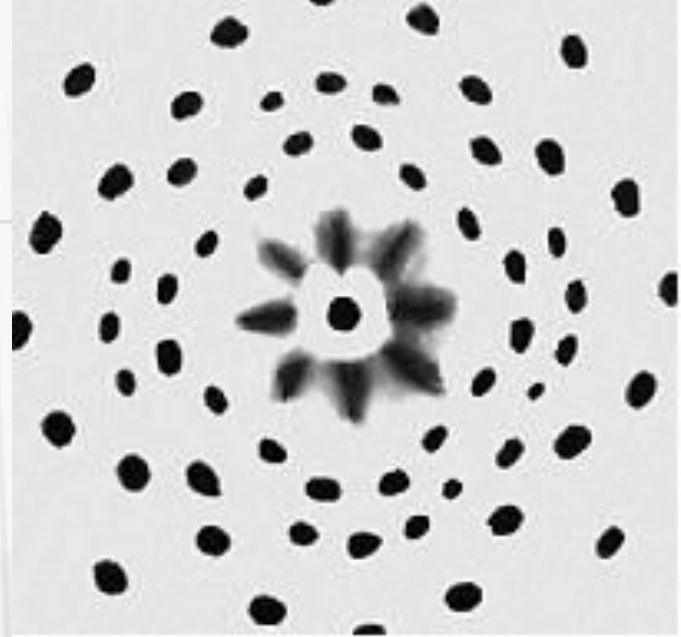
(1845—1923)— немецкий физик, обнаруживший в 1895 г. коротковолновое электромагнитное излучение — рентгеновские лучи. Лучи, открытые Рентгеном, действовали на фотопластинку, вызывали ионизацию воздуха, но заметным образом не отражались от каких-либо веществ и не испытывали преломления.



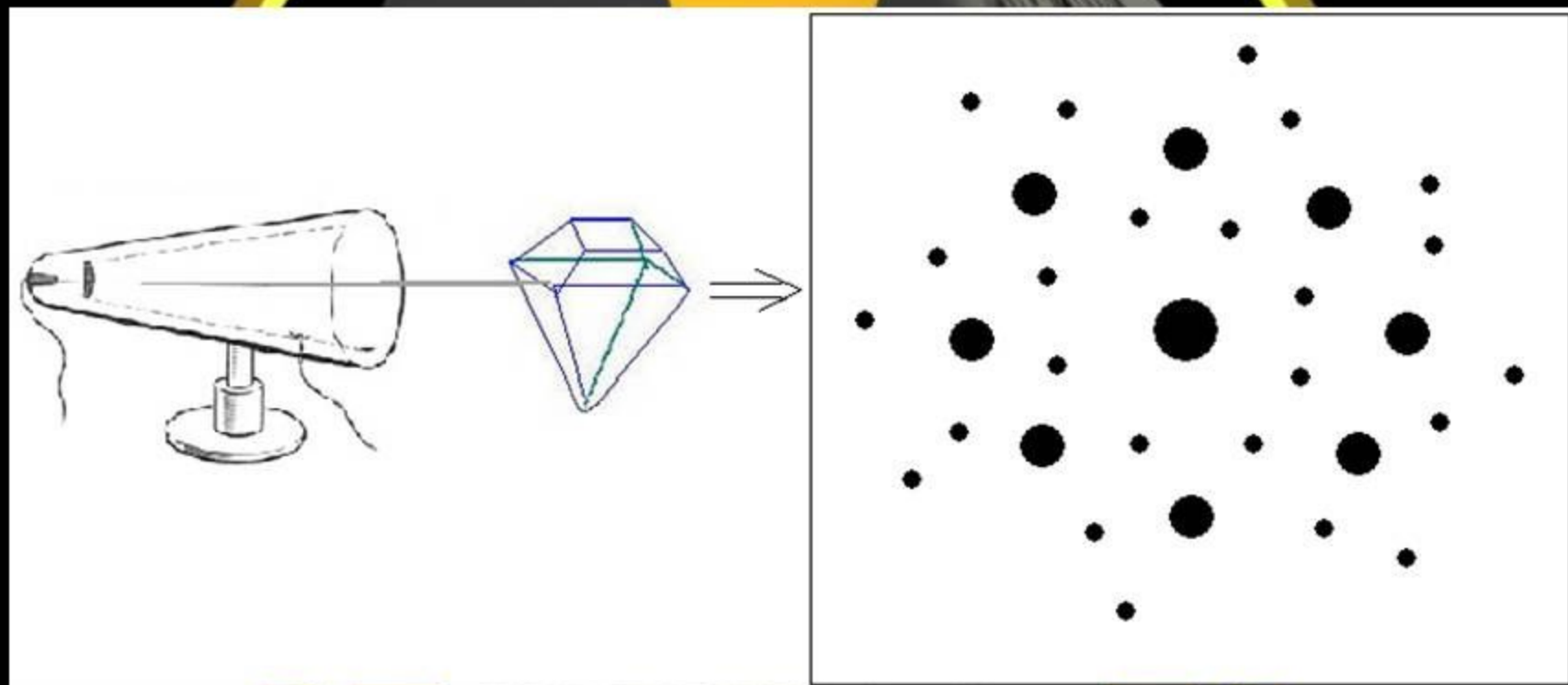
- Электромагнитное поле не оказывало никакого влияния на направление их распространения.
- Сразу же возникло предположение, что рентгеновские лучи — это электромагнитные волны, которые излучаются при резком торможении электронов. Такой спектр называется тормозным и имеет сплошной спектр. Большая проникающая способность рентгеновских лучей и прочие их особенности связывались с малой длиной волны. Чем меньше длина волны, тем жестче излучение.

Но эта гипотеза нуждалась в доказательствах, и доказательства были получены в 1912 году (получена дифракция рентгеновских лучей на природном кристалле цинковой обманки).

На рисунках - лауэграммы NaCl и берилла. Длина волны рентгеновского излучения от 10 до 0,001 нм.



Дифракция рентгеновских лучей



- Некоторые электроны, разогнанные до больших скоростей, могут проникнуть внутрь атома анода и выбить электрон из внутреннего слоя, тогда на его место переходит электрон с более удаленного слоя с излучением кванта большой энергии (возникает характеристическое излучение, имеющее определенные длины волн, характерные для данного химического элемента, которое накладывается на сплошной спектр).
- Рентгеновское излучение сильно поглощают атомы тяжелых элементов (свинец).

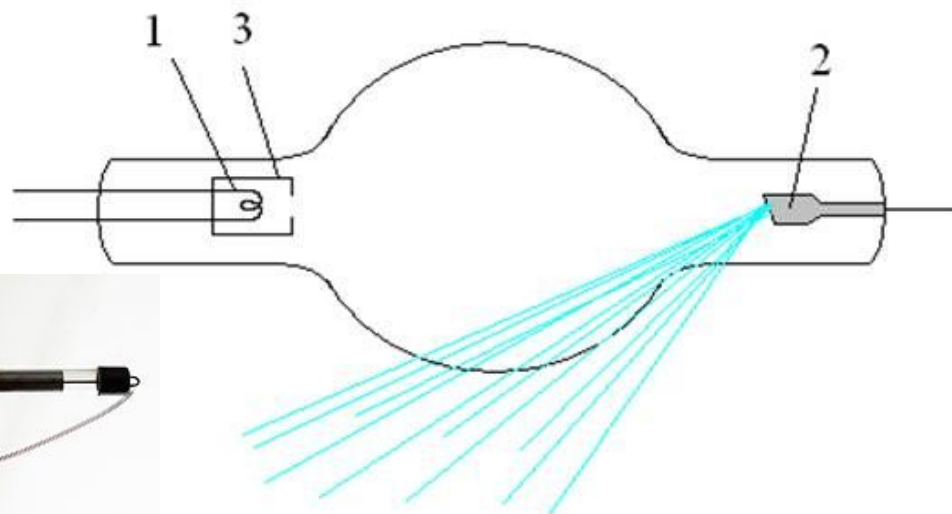
Источники рентгеновского излучения

- Свободные электроны движущиеся с большим ускорением.
- Электроны внутренних оболочек атомов, изменяющие свои состояния.



Рентгеновская звезда, и другие, ускорители заряженных частиц, радиоактивный распад ядер

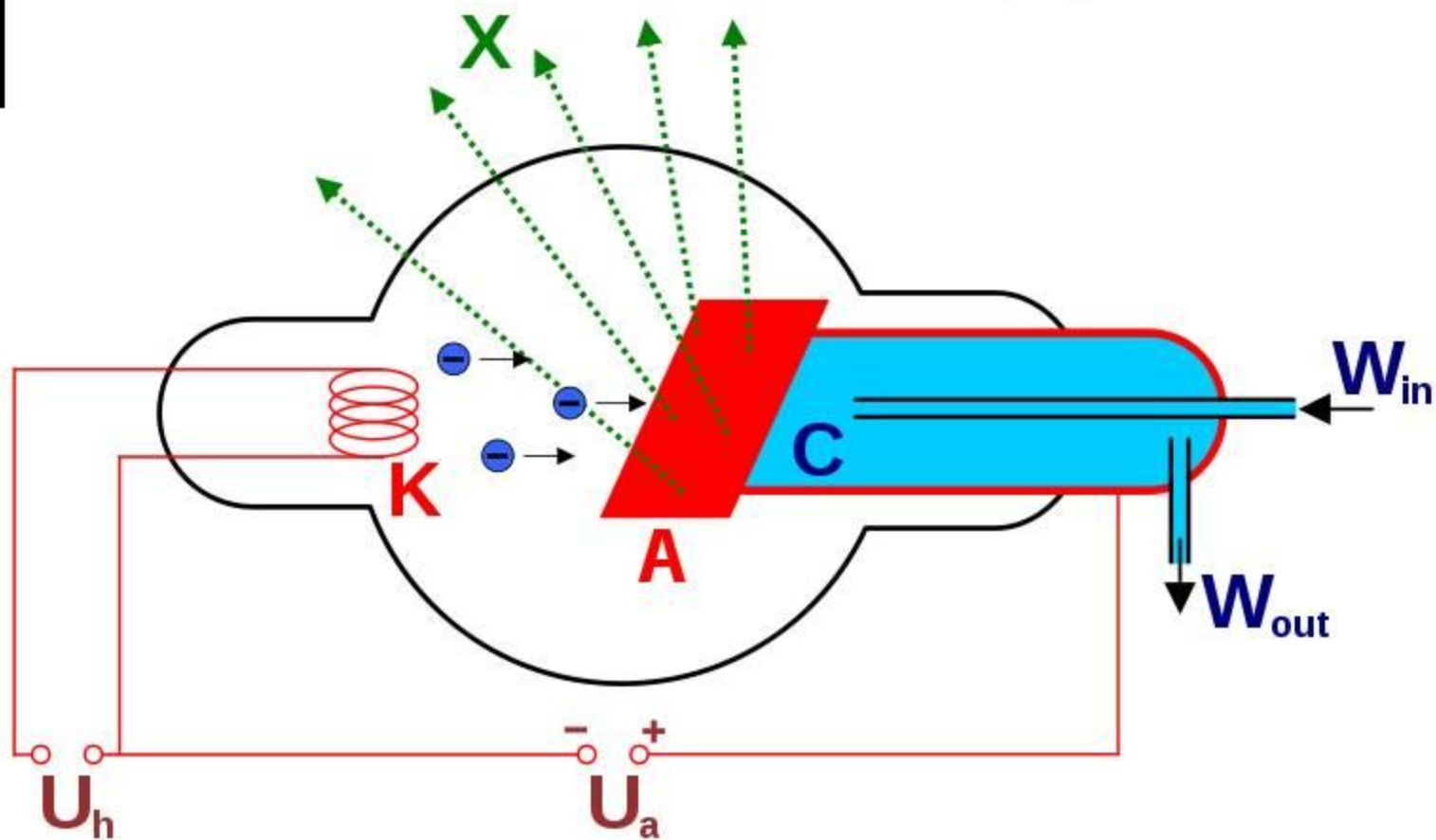
Устройство рентгеновской трубки.



1. Вольфрамовая спираль (Катод) – Испускает электроны за счёт термоэлектронной эмиссии
2. Металлический электрод (Анод) – с ним соударяется поток электронов
3. Цилиндр – фиксирует поток электронов

Напряжение на лампе от 50 до 200 кВ

Рентгеновская трубка



C — теплоотвод,
 W_{in} — впуск водяного охлаждения,
 W_{out} — выпуск водяного охлаждения.



Свойства рентгеновского излучения

- Большая проникающая способность
- Высокая химическая активность
- Является ионизирующим, вызывает лучевую болезнь, лучевой ожог и злокачественные опухоли.
- Вызывает у некоторых веществ свечение (флюоресценцию)

Применение рентгеновского излучения

В медицине

Диагностика

флюорография

рентгенография

Рентгенотерапия

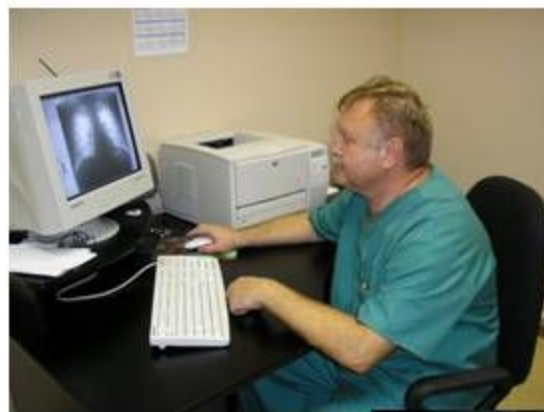


Рентгенография - исследование внутренней структуры объектов, которые проецируются при помощи рентгеновских лучей на специальную плёнку или бумагу.



● ● ●

Флюорография - исследование, заключающееся в фотографировании флюоресцентного экрана, на который спроецировано рентгенологическое изображение.





Применение рентгеновского излучения

- Дефектоскопия - выявление дефектов в изделиях (рельсах, сварочных швах и т. д.) с помощью рентгеновского излучения
- Рентгеноструктурный анализ – исследование внутренней структуры кристаллов и сложных молекул

Опасное излучение

Безопасное излучение

Частота

2450 МГц

Длина волны

0,01 мм

1 мм

0,12 м

0,3 м

1 м

100 м

ГАММА-ЛУЧИ

РЕНТГЕНОВСКИЕ ЛУЧИ

УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЕ ЛУЧИ

ВИДИМОЕ

ИНФРАКРАСНЫЕ ЛУЧИ

МИКРОВОЛНЫ

РАДИО ВОЛНЫ



РЕНТГЕН



ЛАМПА ДЛЯ ЗАГАРА



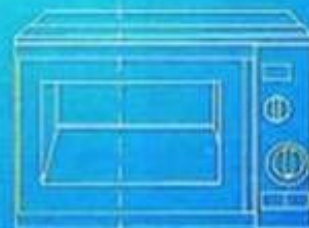
ОСВЕЩЕНИЕ



ОТОПЛЕНИЕ ГОТОВКА



РАДАР



МИКРОВОЛНОВАЯ ПЕЧЬ



РАДИОТЕЛЕВИДЕНИЕ