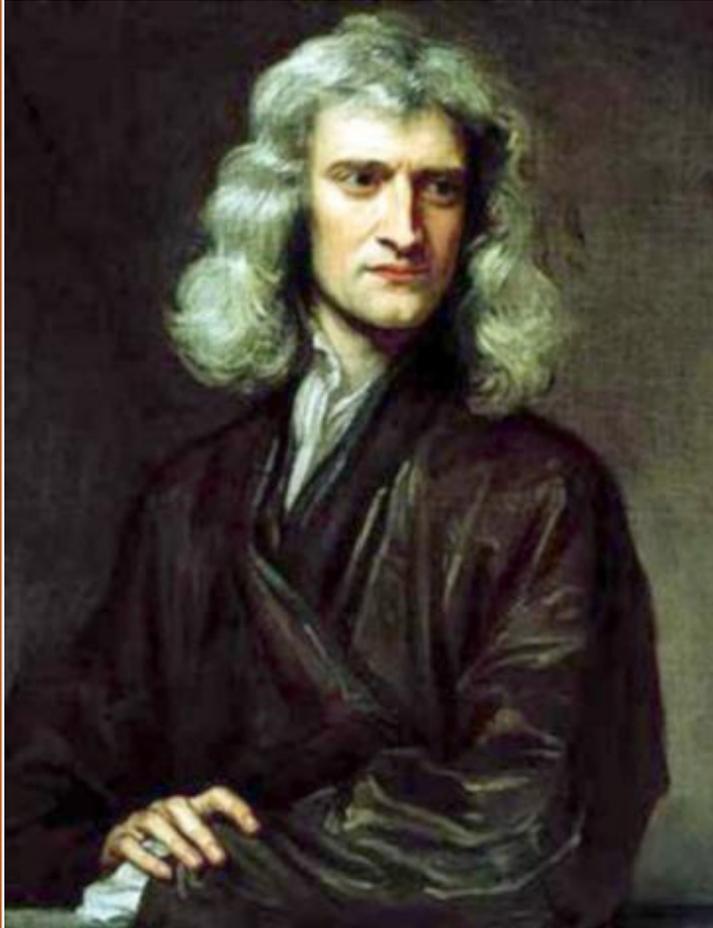


Урок физики в 11 классе

Волновая оптика

Интерференция, дифракция, поляризация, дисперсия

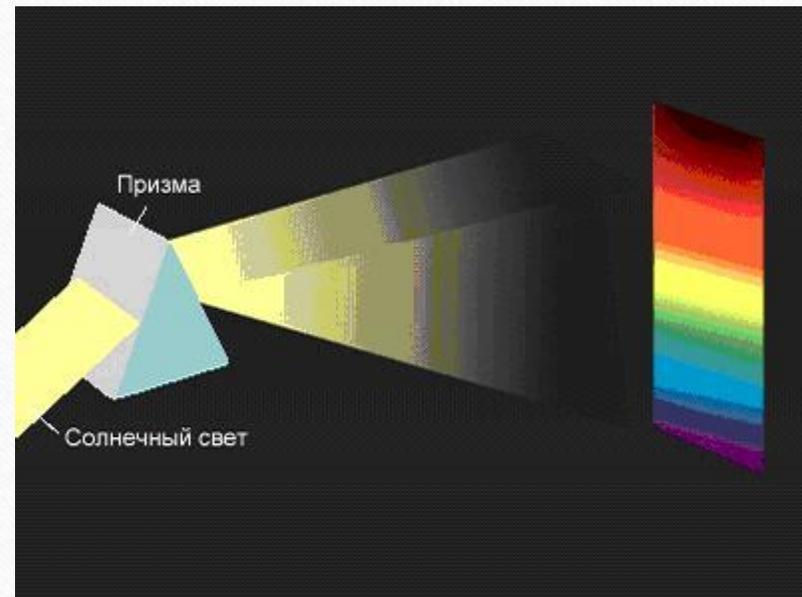


-
- НЬЮТОН. Исаак (1643-1727) - английский математик, механик, астроном и физик, создатель классической механики. Открыл дисперсию света, исследовал интерференцию и дифракцию, развивал корпускулярную теорию света. Построил зеркальный телескоп. Сформулировал основные законы классической механики. Открыл закон всемирного тяготения, дал теорию движения небесных тел, создал основы небесной механики.



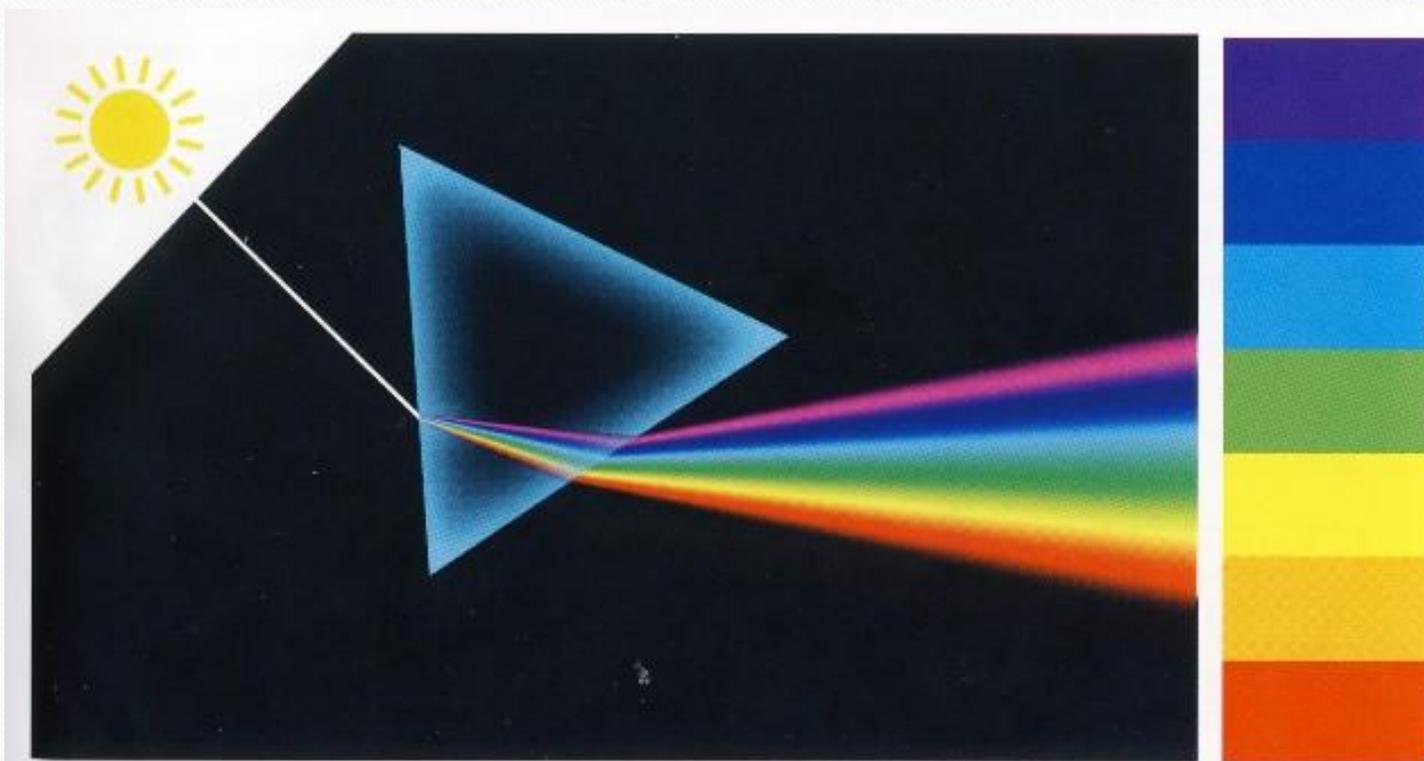
Дисперсия света

- **Дисперсия света** – зависимость показателя преломления (скорости света) в среде от длины волны
- **Дисперсия** – причина разложения в спектр белого света, который состоит из 7 цветов:
- Свет одного цвета имеет определенную длину волны λ и называется монохроматическим.



СПЕКТР

сpectrum (лат.) - видение



Соотношение частот и длин волн.

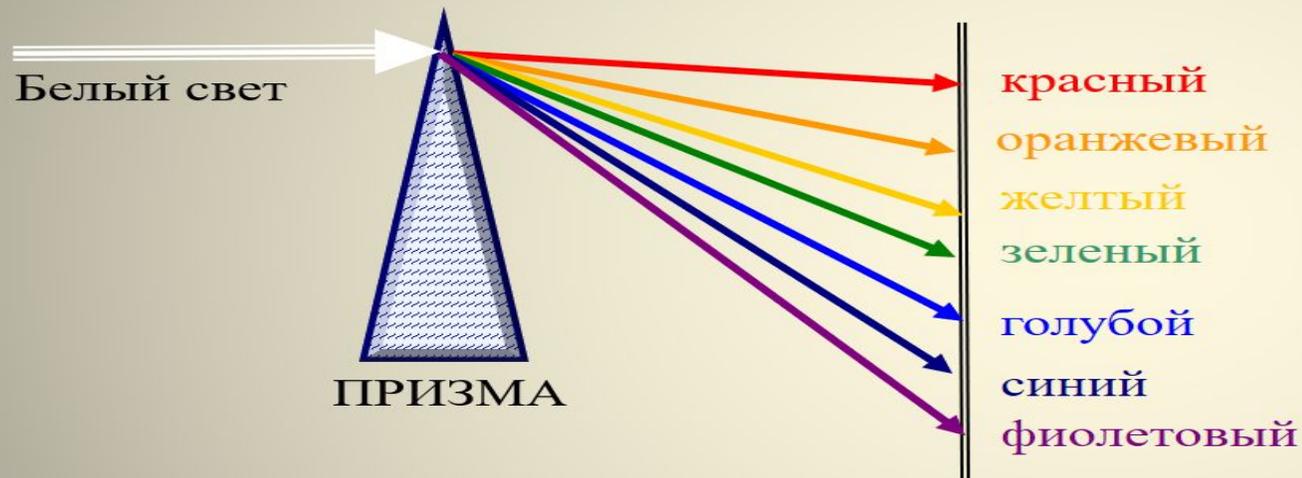
В любой среде **скорость света и длина его волны уменьшаются**,
при этом, **частота света не меняется**.

Обозначим λ, c — длина волны и скорость света в вакууме,
 λ_1, v_1 — длина волны и скорость света в оптической среде $\Rightarrow \frac{\lambda v = c}{\lambda_1 v_1 = v_1} \Rightarrow \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{c}{v} = n$
 $\Rightarrow \underline{\lambda = n\lambda_1, \lambda_1 = \lambda / n}$ — в оптической среде длина световой волны уменьшается.

Дисперсия света

это зависимость скорости v
распространения световой волны
в среде *от частоты света ν* .

Опыт показывает, что с увеличением
частоты скорость света в среде
уменьшается и, следовательно,
показатель преломления возрастает
(нормальная дисперсия).



**Поэтому световые волны различных частот
преломляются стеклянной призмой под разными углами.**

Белый свет, содержащий волны с частотами от красного
до фиолетового цвета, проходя сквозь призму, разлагается в спектр.

**Дисперсия света используется в *спектральном анализе*
для получения спектров атомов и молекул.**

Цвета непрозрачных тел объясняются избирательным характером отражения

света

Если предмет, например лист бумаги, отражает все падающие на него лучи различных цветов, то он будет казаться белым.

Покрывая бумагу слоем красной краски, мы не создаем при этом света нового цвета, но задерживаем на листе некоторую часть имеющегося. Отражаться теперь будут только красные лучи, остальные же поглотятся слоем краски. Трава и листья деревьев кажутся нам зелеными потому, что из всех падающих на них солнечных лучей они отражают лишь зеленые, поглощая остальные.



Зависимость цвета от частоты электромагнитной волны

Бумагу разного цвета освещаем белым светом, но видим различные цвета.

Пучок света	Бумага	Видимый цвет	Причина
белый	красный	красный	красный <i>отражается</i> , остальные поглощаются
белый	зеленый	зеленый	Зеленый <i>отражается</i> , Остальные поглощаются

**Цвета прозрачных тел объясняются
избирательным характером пропускания
света.**

Смотрим через

зеленое стекло

красное стекло



Вывод: «Световые пучки, отличающиеся по цвету, отличаются по степени преломляемости» (для них стекло имеет различные показатели преломления).

Показатель преломления зависит от скорости света v в веществе.

Луч красного цвета преломляется меньше из-за того, что красный свет имеет в веществе наибольшую скорость, а луч фиолетового цвета больше, так как скорость фиолетового света наименьшая. Именно поэтому призма и разлагает свет. В пустоте скорости света разного цвета одинаковы.

Впоследствии была выяснена зависимость цвета от физических характеристик световой волны: частоты колебаний или длины волны.

Дисперсией называется зависимость показателя преломления света от частоты колебаний (или длины волны).

n – абсолютный показатель преломления

c – скорость света в вакууме

v – скорость света в веществе

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

Дисперсия в природе



Как неожиданно и ярко
На влажной неба синеве,
Воздушная воздвиглась арка
В своем минутном торжестве!
Один конец в леса вонзила,
Другим за облака ушла-
Она полнеба обхватила
И в высоте занемогла.

Ф.И. Тютчев

Свет — это электромагнитная волна.

В качестве световой волны будем рассматривать плоскую электромагнитную волну, в которой напряженность электрического поля меняется во времени и пространстве по гармоническому закону:

$$E(r, t) = E_0 \sin(\omega t - kr) \quad \text{или} \quad E(x, t) = E_0 \sin 2\pi(\nu t - r / \lambda), \quad \text{где}$$

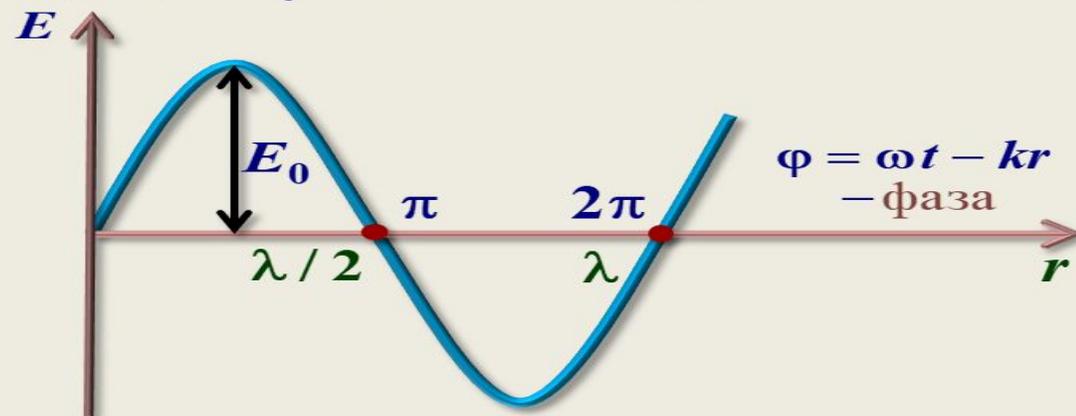
E_0 — амплитуда напряженности электрического поля волны;

$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ — циклическая частота;

T, ν — период и частота;

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ — волновое число;

λ — длина волны.



Скорость распространения волны v связана с частотой ν и длиной волны λ :

$$\lambda \cdot \nu = v.$$

Световые волны занимают диапазон

(фиолетовый) $0,4 (400) < \lambda < 0,76 (760)$ (красный) мкм (нм).

Скорость света в вакууме

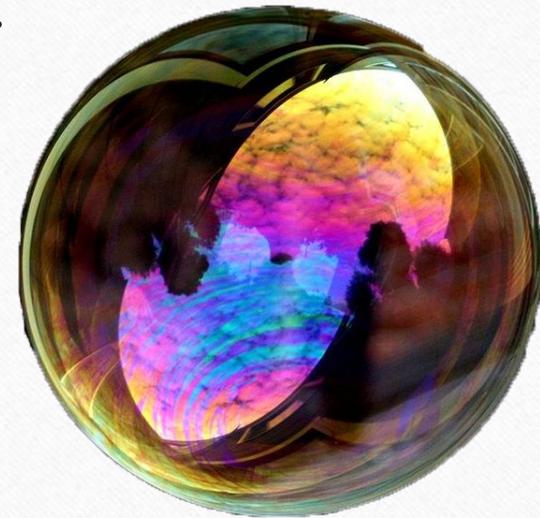
для всех частот одинакова и равна максимальной скорости передачи сигнала:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

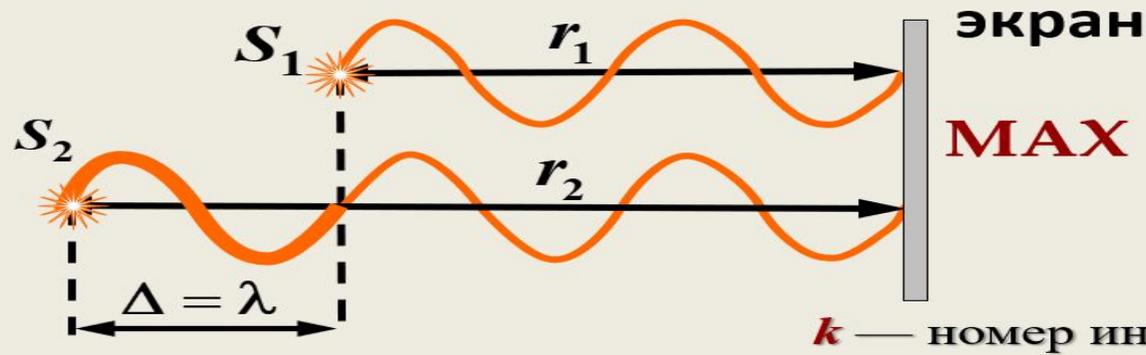
В любой среде скорость света и длина его волны уменьшается, при этом, **частота света не меняется.**

Интерференция

- **Интерференция света** – это сложение двух и более волн, вследствие которого наблюдается устойчивая картина усиления и ослабления световых колебаний в разных точках пространства.
- **Принцип суперпозиции** - если в среде одновременно распространяются несколько волн, то они распространяются независимо друг от друга
- Интерферировать могут лишь **когерентные** (имеющие одинаковую частоту и постоянную во времени разность фаз) волны



Условие максимума интерференции

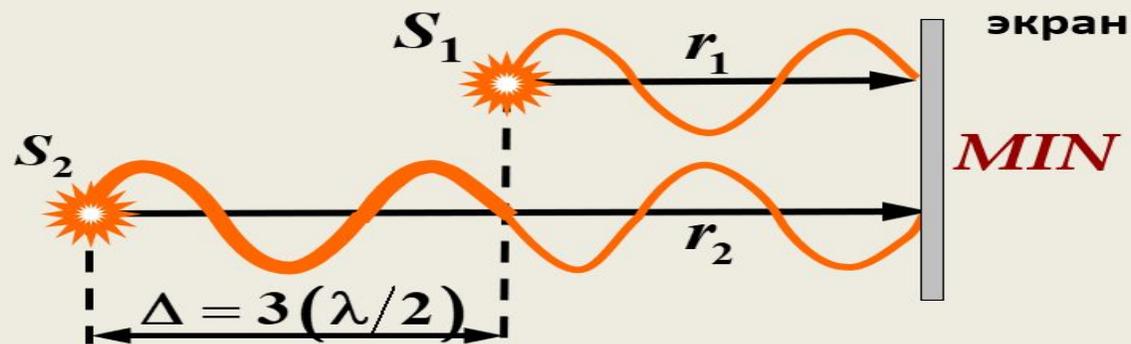


Если в разности хода помещается целое число длин волн, наблюдается тах интерференции

$$\Delta_{\max} = k\lambda, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

k — номер интерференционного максимума.

Условие минимума интерференции

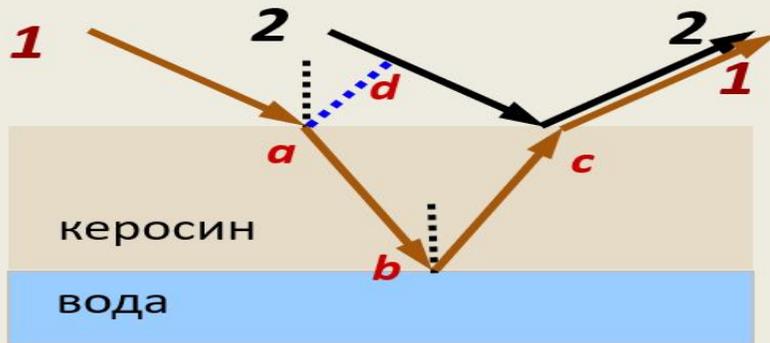


Если в разности хода помещается нечетное число полудлин волн, наблюдается тiп интерференции

$$\delta_{\min} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$
$$k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

k — номер интерференционного минимума.

Тонкие пленки. Оптический ход волны.



Рассмотрим случай распространения волны в двух средах, например, воздух и тонкий слой ($\sim \lambda$) керосина на поверхности воды.

Длина световой волны в керосине λ меньше, чем в воздухе λ_0 :

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0 v}{\lambda v} = \frac{\lambda_0}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

Чтобы всегда измерять ход волны в λ_0 вводят **оптический ход волны l** это произведение геометрической длины r пути световой волны в данной среде на абсолютный показатель преломления n этой среды (для воздуха $n = 1$):

$$l = n \cdot r.$$

Оптическая разность хода

двух лучей, отразившихся от верхней (2 луч) и нижней (1 луч) поверхности керосина:

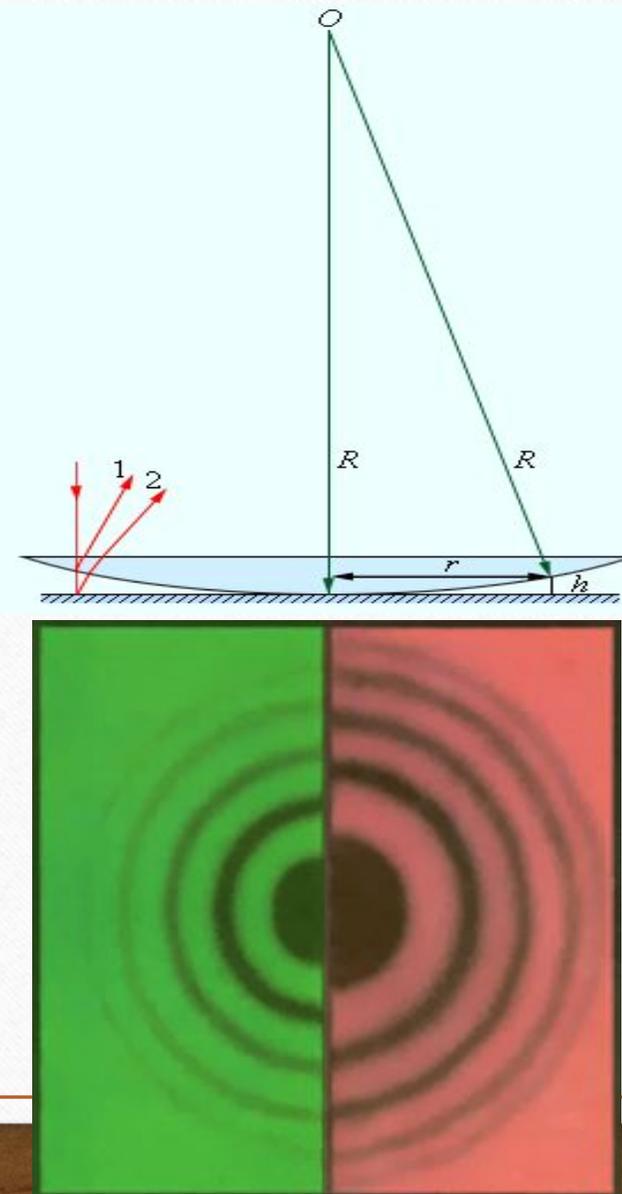
$$\delta = (ab + bc)n - dc.$$

Если $\delta = \pm k\lambda_0$, то наблюдается максимум для этой длины волны λ_0 .

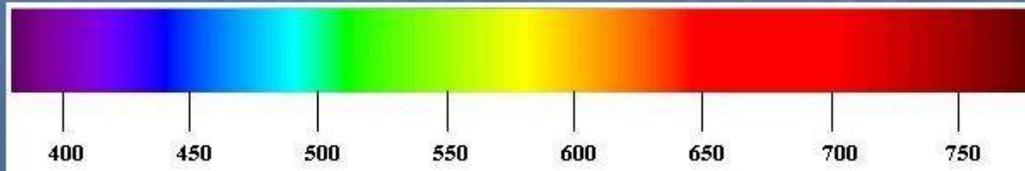
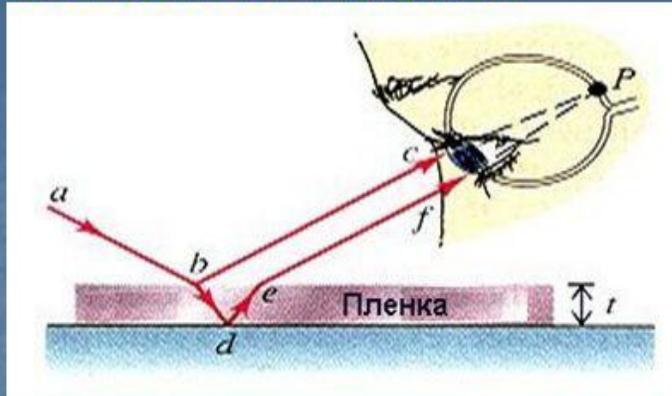
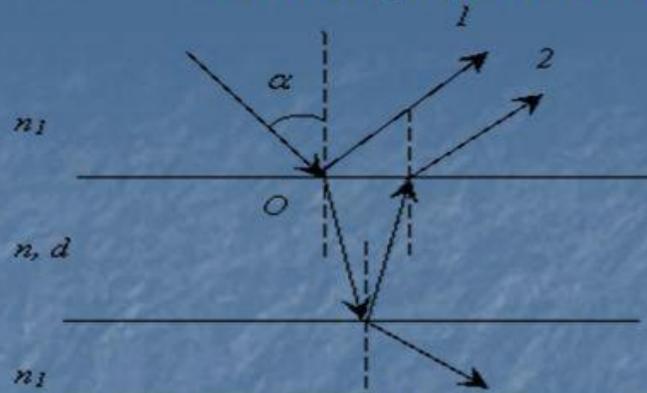
Замечание: при отражении от более плотной среды ход волны уменьшается на $\lambda_0/2$.

Интерференция – одно из ярких проявлений волновой природы света.

- Первым интерференцию света в лабораторных условиях наблюдал И. Ньютон.
- Интерференционная картина возникала при отражении света в тонкой воздушной прослойке между плоской стеклянной пластиной и плосковыпуклой линзой большого радиуса кривизны.
- Интерференционная картина - концентрические кольца (*кольца Ньютона*)



Интерференция света в тонких плёнках



длина волны в нанометрах (нм.) 1 нанометр = 10^{-9} метра

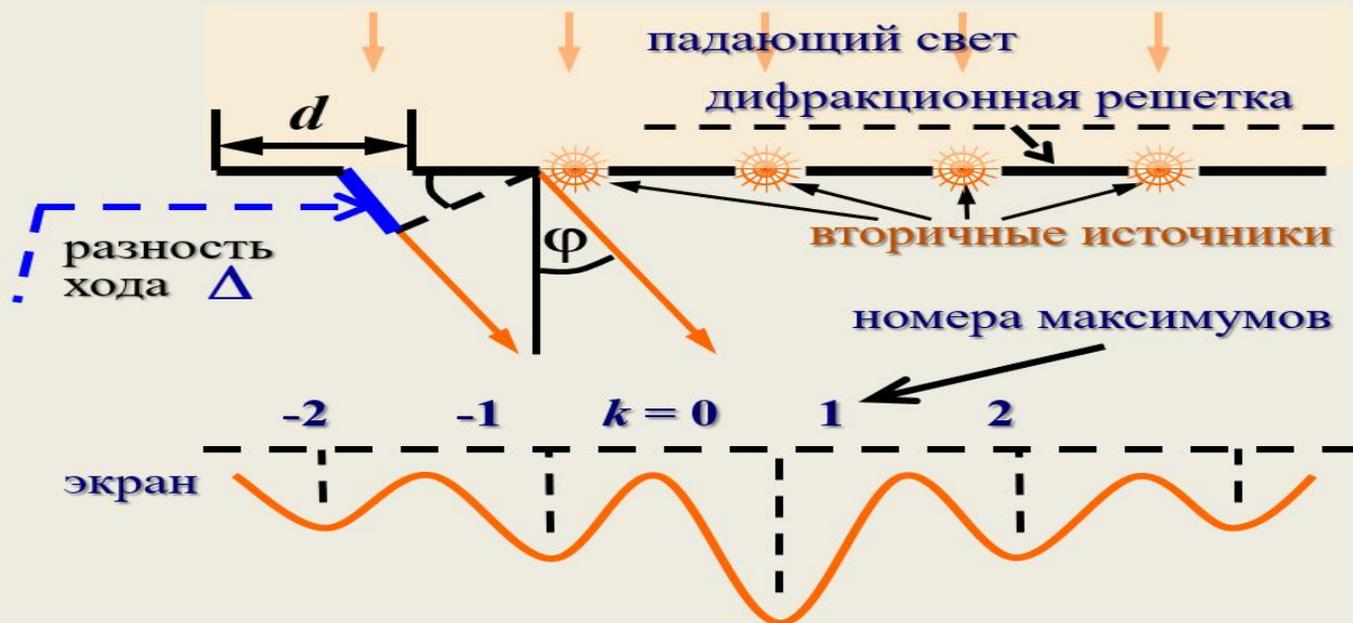
Дифракция

- **Дифракция** – это способность волн огибать встречающиеся на их пути препятствия
- **Дифракционная решетка** представляет собой систему параллельных равноотстоящих друг от друга щелей равной ширины, отклоняться от прямолинейного распространения



Дифракционная решетка

Устройство для создания системы когерентных источников света.



Состоит из одинаковых параллельных щелей на пластине, разделенных равными по ширине непрозрачными промежутками.

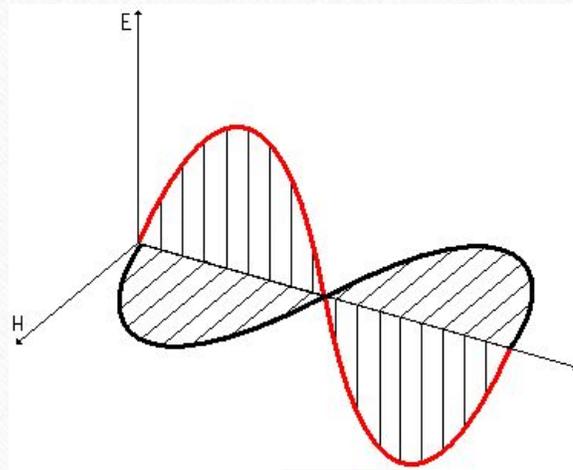
$d \sim 10^{-2}, 10^{-3}$ мм — постоянная (период) решетки;

φ — угол, определяющий направление наблюдения;

$\Delta = d \sin \varphi$ — разность хода соседних лучей.

Поляризация света

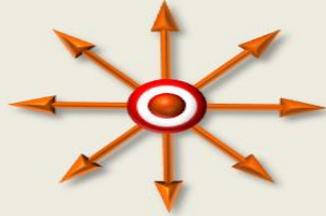
- **Поляризация света** - Возникает, когда свет под определенным углом падает на поверхность, отражается и становится поляризованным (распространяется преимущественно в 2 направлениях: горизонтальном и вертикальном)



Поляризация света

Естественным называется свет,

в котором колебания вектора напряженности E осуществляются вдоль всевозможных направлений, перпендикулярных скорости распространения луча.

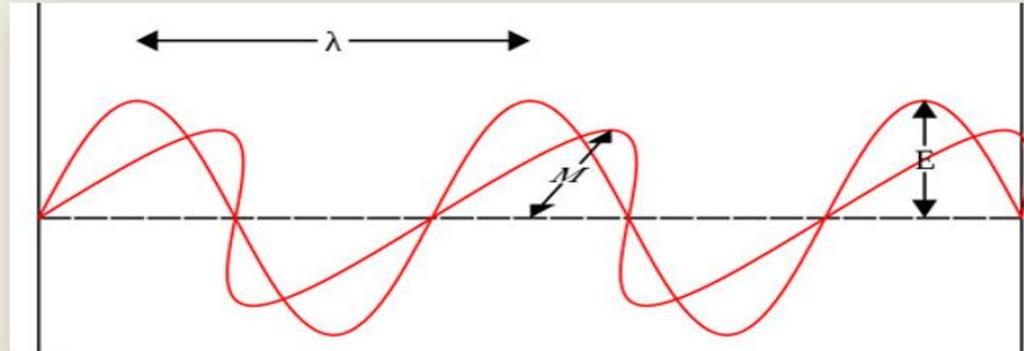


Плоскость поляризации.

Луч света перпендикулярен плоскости рисунка.

Плоско поляризованным называется свет,

вектор напряженности которого совершает колебания в одной плоскости

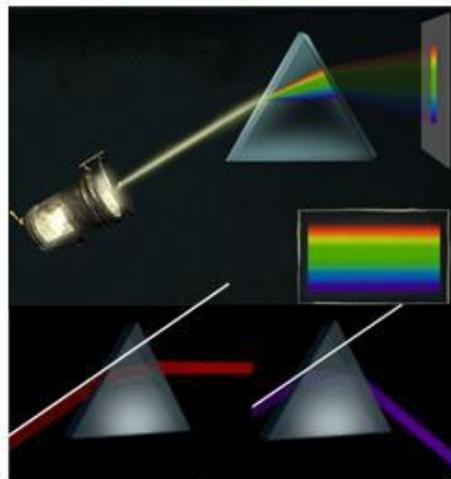


Поляризаторы — устройства, преобразующие естественный свет в поляризованный.

Идеальный поляризатор пропускает половину интенсивности естественного света.

Волновая оптика

Дисперсия



$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

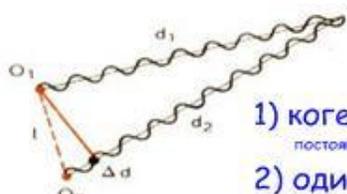
- явление разложения света в спектр при прохождении оптически более плотной среды
- зависимость показателя преломления среды от длины волны (частоты) света

Интерференция

• сложение двух когерентных волн, при котором наблюдается устойчивая картина распределения амплитуд результирующих колебаний в различных точках пространства

Условия:

- 1) когерентные волны (одинаковая частота и постоянная разность фаз)
- 2) одинаковая начальная фаза



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

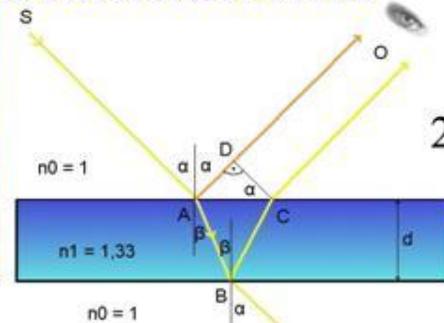
-условие минимума

$$\Delta d = k\lambda$$

-условие максимума

k - целое число

В тонких пленках

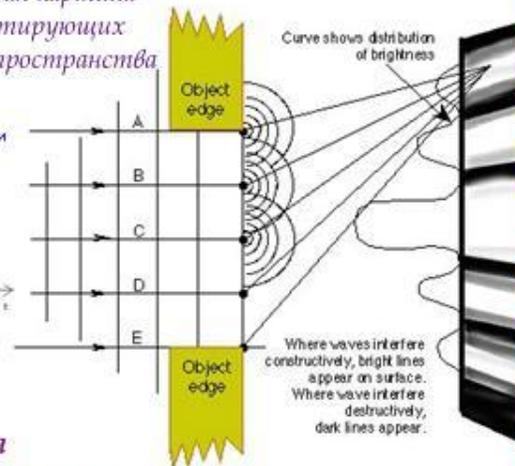


$$\lambda_{\text{п}} = \frac{\lambda}{n_{\text{п}}}$$

$$2d = \frac{\lambda_n}{2} = \frac{\lambda}{2n_n}$$

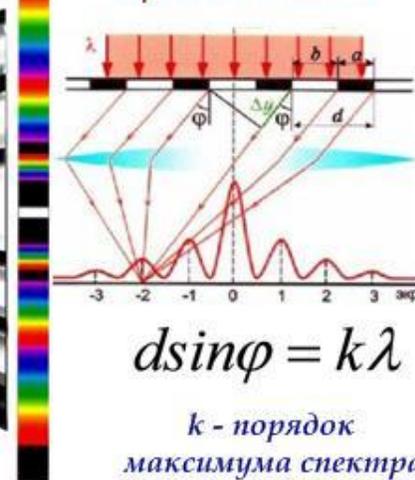
Дифракция

Diffraction Pattern



Where waves interfere constructively, bright lines appear on surface. Where waves interfere destructively, dark lines appear.

• огибание светом препятствий



$$d \sin \varphi = k \lambda$$

k - порядок максимума спектра

$$\sin \varphi \approx \text{tg} \varphi = \frac{x}{L}$$

$$d = \frac{10^{-3}}{N} \text{ м}$$

число штрихов на мм - N

