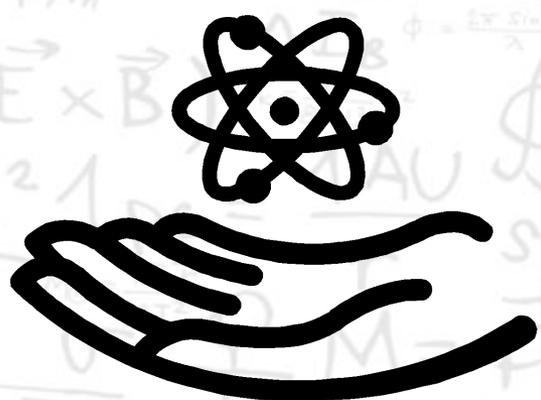


$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$
$$U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$
$$\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{2l}$$
$$k = \frac{p^2}{2m} m_0 = \frac{M_m}{N_A}$$
$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2eUm}}$$
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$
$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{J} d\vec{S}$$
$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN_m}{M_m}}$$
$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} F_h = \frac{Shp}{g}$$
$$\left(\frac{E_t}{E_0}\right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 - \vartheta_2) \sin(\vartheta_1 + \vartheta_2)}$$
$$E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$$
$$S = \frac{1}{A} \frac{d\omega}{dt}$$

$$2 \operatorname{tg} \vartheta_B = \frac{m_2}{m_1} = m_{21}$$
$$\rho V = nRT \quad \Psi = \iint \vec{D} d\vec{S} = AD$$
$$H_{\lambda} = \frac{\Delta M_e}{\Delta \lambda}$$
$$\Phi = NBS$$
$$V = c/\lambda$$
$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$
$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda}$$
$$X_L = \frac{U_m}{I_m} = \omega L = 2\pi f L$$
$$F_g = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$
$$T = \frac{4n_1 n_2}{(n_2 + n_1)^2}$$
$$R_m = \frac{c}{T} k = \pm \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} (E - V_0)}$$
$$E = \frac{E_c}{9} \int \sin(\omega t + \phi) dy$$
$$\omega = 2\pi f$$
$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}}$$
$$\beta = \frac{\Delta I c}{\phi_e} = \frac{\Delta E}{\Delta t} \frac{m_1}{x} + \frac{m_2}{x'}$$
$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} (\vec{E} \times \vec{B})$$
$$\oint \vec{D} d\vec{S} = Q^*$$
$$E = \hbar k$$
$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{CL}}$$
$$S I_m^2 = U_m^2 \left[ \frac{1}{R^2} + \left( \frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} \right)^2 \right]$$
$$\lambda^* T = b$$
$$p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$
$$u = U_m \sin \omega(t - \tau) = U_m \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

# Оптика



## Исторические факты и основные законы геометрической оптики

Синие лучи, падающие на Землю от Солнца, рассеиваются молекулами воздуха примерно в 6 раз сильнее красных, поэтому небо выглядит голубым, а солнце тем краснее, чем оно ближе к горизонту.

Подобным образом объяснил голубой цвет неба в 1871 году знаменитый английский математик и физик **Джон Уильям Страт** (по отцу - лорд Рэлей).



$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$

$$U_{ef} = U_m$$

$$\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{2\pi r}$$

$$k = \rho^2 \frac{e}{2m m_0} = \frac{M}{N}$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2eU}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{e}} \psi(\alpha)$$

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{j} dS$$

$$C(s)$$

$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN}{Mm}}$$

$$\lambda = \frac{h \nu_2}{T} F_h$$

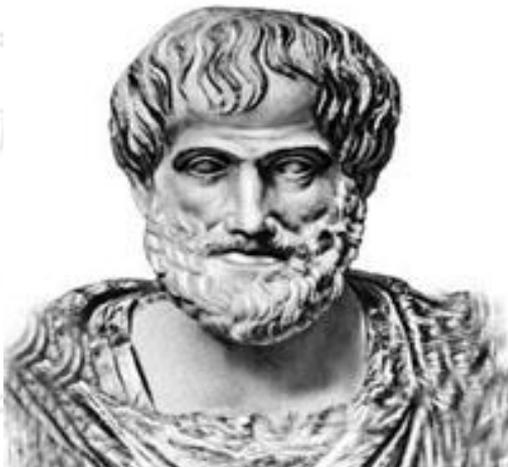
$$\left( \frac{E_t}{E_0} \right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 - \vartheta_2) \sin(\vartheta_1 + \vartheta_2)}$$

$$E_y = E_0 \sin(k_x x - \omega t)$$

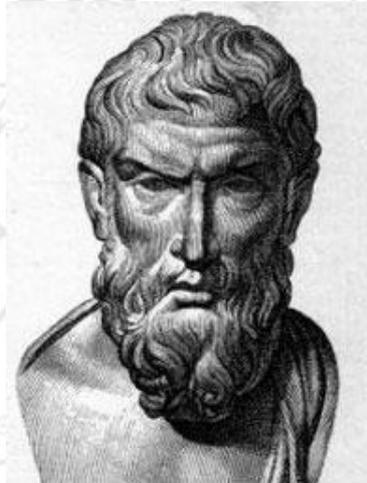
$$S = \frac{1}{A} \frac{d\omega}{dt}$$

Другая точка зрения заключалась в том, что лучи испускаются светящимся телом и, достигая человеческого глаза, несут на себе отпечаток светящегося предмета.

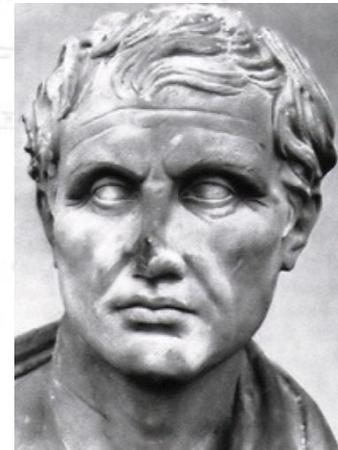
Такой точки зрения придерживались атомисты **Демокрит**, **Эпикур**, **Лукреций**.



Демокрит



Эпикур

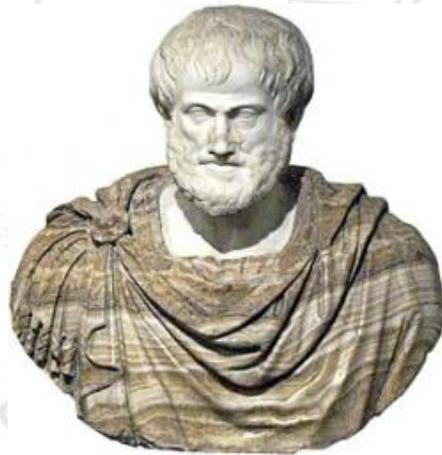


Лукреций

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$
$$U_{ef} = \frac{U_m}{\epsilon}$$
$$\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{2\pi r}$$
$$k = \frac{p^2}{2m} = \frac{m_0 v^2}{2m}$$
$$\lambda = \frac{h}{p}$$
$$V_{2eU} = \sqrt{2eU}$$
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{e}}$$
$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{J} d\vec{S}$$
$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN}{M_m}}$$
$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} F_n$$
$$\left( \frac{E_t}{E_0} \right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 - \vartheta_2) \sin(\vartheta_1 + \vartheta_2)}$$
$$E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$$
$$S = \frac{1}{A} \frac{dW}{dt}$$

**Аристотель** тоже высказал свою точку зрения по поводу природы света. Он рассматривал свет как распространяющееся в пространстве действие или движение. В дальнейшем его взгляды на природу света положили начало волновой теории света.

Огромную роль в развитии оптики сыграло определение скорости света. Впервые скорость света была определена датским астрономом **Олафом Ремером** (1644-1710) в 70-х годах XVII века.



Аристотель

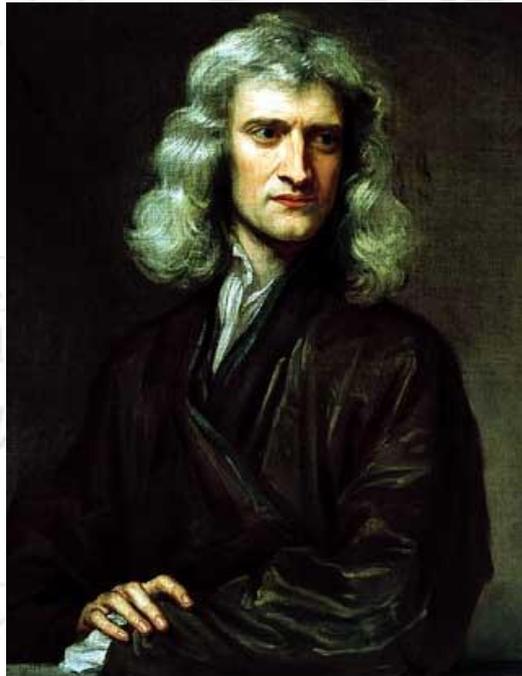


Олаф Ремер

В XVII веке происходит окончательное формирование двух противоположных теорий света

Корпускулярная теория

Волновая теория



НЬЮТОН



Гюйгенс

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$

$$U_{ef} = \frac{U_m}{2}$$

$$\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{2\pi r}$$

$$k = \frac{p^2}{2m} = \frac{m_0 v^2}{2}$$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{j} dS$$

$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN}{M_m}}$$

$$\lambda = \frac{h \ln 2}{T}$$

$$\left( \frac{E_t}{E_0} \right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 - \vartheta_2) \sin(\vartheta_1 + \vartheta_2)}$$

$$E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

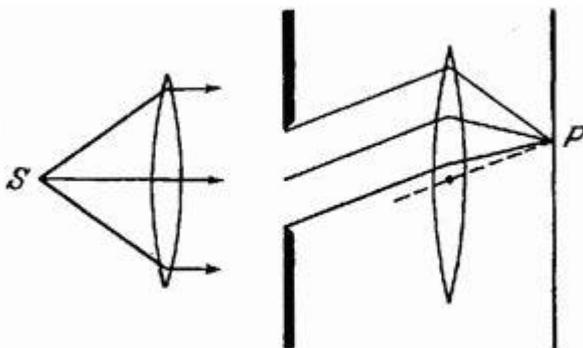
$$S = \frac{1}{A} \frac{dW}{dt}$$

Первое открытие, свидетельствующее о волновой природе света, было сделано итальянским ученым **Франческо Гримальди** (1618-1663). Открытое им явление ученый назвал **дифракцией**.

**Дифракцией света** называется явление огибания световыми волнами малых препятствий, встречающихся на пути их распространения.



Ф. Гримальди



$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$
$$U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$
$$\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{2\pi r}$$
$$k = \frac{p^2}{2m} = \frac{m_0 v^2}{2m}$$
$$\lambda = \frac{h}{p}$$
$$\sqrt{2eU_m}$$
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$
$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{J} d\vec{S}$$
$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN}{M_m}}$$
$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} F_h$$
$$\left( \frac{E_t}{E_0} \right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 - \vartheta_2) \sin(\vartheta_1 + \vartheta_2)}$$
$$E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$$
$$S = \frac{1}{A} \frac{dW}{dt}$$

Очень важным открытием, относящимся к физической оптике, было также открытие **интерференции света**. Важная роль в исследовании интерференции принадлежит английскому физику **Роберту Гуку** (1635-1703).

**Интерференция волн** – это явление, возникающее в результате процесса наложения нескольких когерентных волны и заключающееся в усилении колебаний в одних участках пространства и ослаблении – в других.

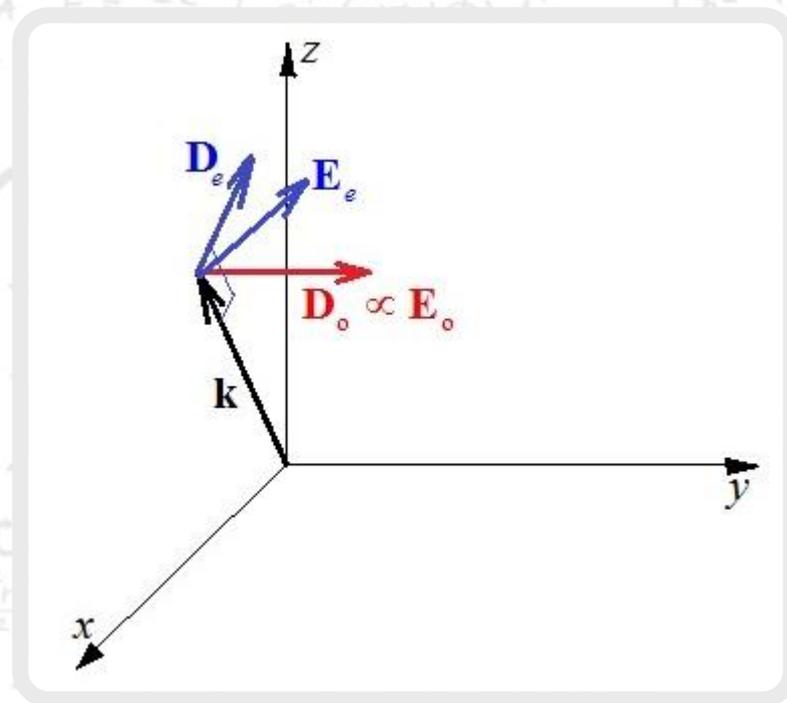


Р. Гук

Бартолин же открыл явление двойного лучепреломления в кристалле исландского шпата. Он обнаружил, что если смотреть на какой-либо предмет через кристалл исландского шпата, то видно не одно, а два изображения, смещенные друг относительно друга.



Э. Бартолин



$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$

$$U_{ef} = \frac{U_m}{\dots}$$

$$\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{2\pi r}$$

$$k = \frac{p^2}{2m} = \frac{h^2}{2m \lambda^2}$$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$

$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN}{M_m}}$$

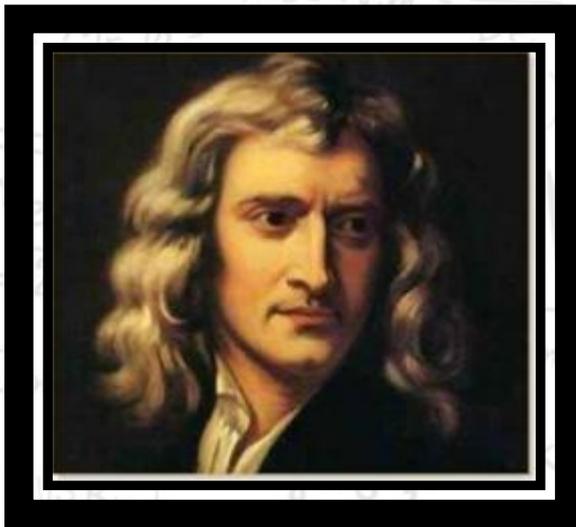
$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} F_h$$

$$\left( \frac{E_t}{E_0} \right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 - \vartheta_2) \sin(\vartheta_1 + \vartheta_2)}$$

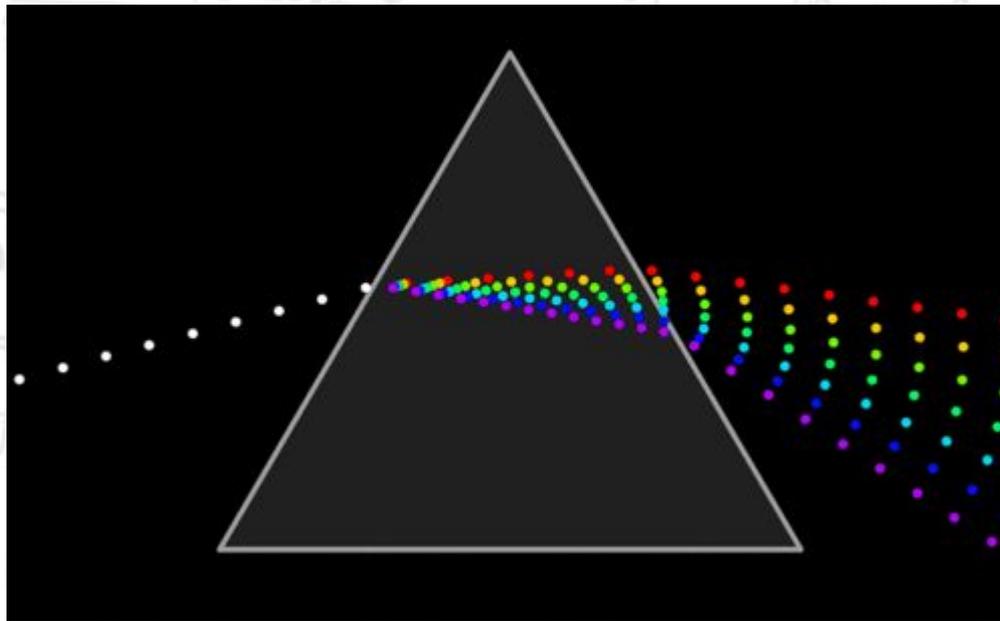
$$E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

$$S = \frac{1}{A} \frac{dW}{dt}$$

Первым, кто смог разобраться в явлении разложения белого света призмой в спектр, был **Исаак Ньютон**. В 60-е годы XVII века он открыл явление **дисперсии света** и **простых цветов**.



**Дисперсия света** — это явление, обусловленное зависимостью абсолютного показателя преломления вещества от частоты (или длины волны) света (частотная дисперсия), или, то же самое, зависимость фазовой скорости света в веществе от длины волны (или частоты).



$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$
$$U_{ef} = U_m$$
$$\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{r}$$
$$k = \rho^2 / 2m m_0 = \frac{M}{N}$$
$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2eU}}$$
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{e}} \psi_\alpha$$
$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{C}(s) ds$$
$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN}{M_m}}$$
$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} F_h$$
$$\left( \frac{E_\tau}{E_0} \right)_\parallel = \frac{2 \cos \varphi_1}{\cos(\varphi_1)}$$
$$E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$$
$$S = \frac{1}{A} \frac{d\omega}{dt}$$

Для того чтобы запомнить чередование цветов в спектре, обычно предлагают запомнить следующую фразу: «**Каждый Охотник Желает Знать Где Скрывается Фазан**», где заглавные буквы каждого слова являются первыми буквами в названии соответствующего цвета.



**Каждый Охотник Желает Знать Где сидит Фазан**

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$

$$U_{ef} = \frac{U_m}{\dots}$$

$$\vec{B} = \mu \frac{NI \sqrt{2}}{\dots}$$

$$k = \frac{p^2}{2m} m_0 = \frac{M_r}{N_r \cdot 10^{-3}}$$

$$\lambda = \frac{h}{\dots}$$

$$\sqrt{2eU_m}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{e}} \psi(\alpha)$$

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu \int_S \dots$$

$$C(s)$$

$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN}{M_m}}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} F_h = \frac{Shp}{g}$$

$$\left( \frac{E_t}{E_0} \right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 - \vartheta_2) \sin(\vartheta_1 + \vartheta_2)}$$

$$E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

$$S = \frac{1}{A} \frac{d\omega}{\dots}$$

# Оптика

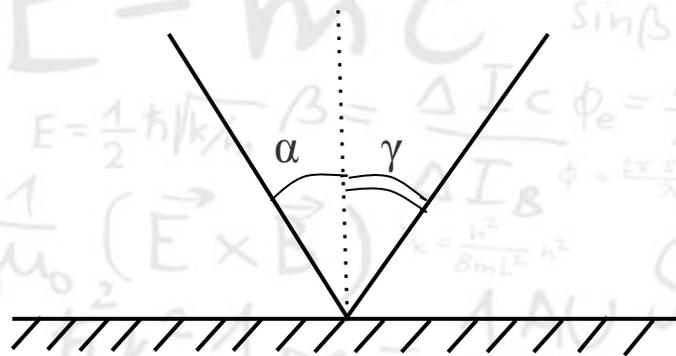
**Оптика** - раздел физики, в котором изучаются закономерности световых (оптических) явлений, природа света и его взаимодействие с веществом.

**Геометрическая оптика** — раздел оптики, изучающий законы распространения света в прозрачных средах и принципы построения изображений при прохождении света в оптических системах.



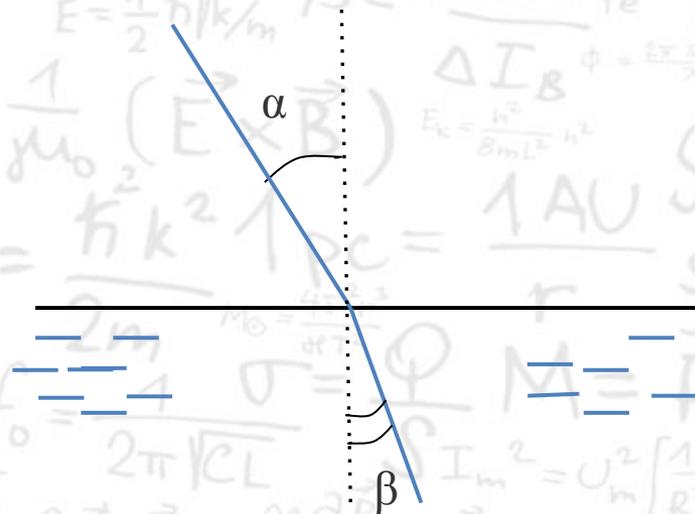
# Закон отражения света

Закон отражения света определяет взаимное расположение падающего луча, отраженного луча и перпендикуляра к поверхности, восстановленного в точке падения.



# Закон преломления света

Луч, распространяющийся в первой среде и достигающий границы, называется *падающим лучом*. Он составляет с перпендикуляром к границе, проведенным через точку падения, угол  $\alpha$ , называемый **углом падения**. Луч, прошедший во вторую среду, называют *преломленным лучом*. Угол  $\beta$ , который этот луч образует с тем же перпендикуляром, называют **углом преломления**.



# Показатель преломления

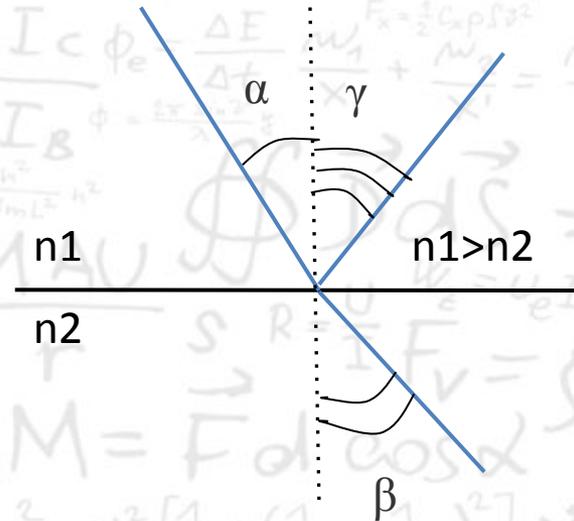
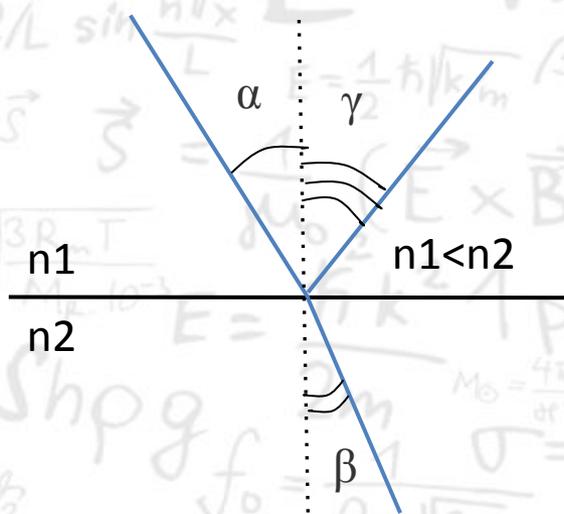
Показатель преломления среды относительно вакуума называют абсолютным показателем преломления этой среды. Он равен отношению синуса угла падения к синусу угла преломления при переходе светового луча из вакуума в данную среду. Относительный показатель преломления  $n$  связан с абсолютными показателями  $n_2$  и  $n_1$  первой среды соотношением:

$$n = \frac{n_2}{n_1}$$

# Преломление света

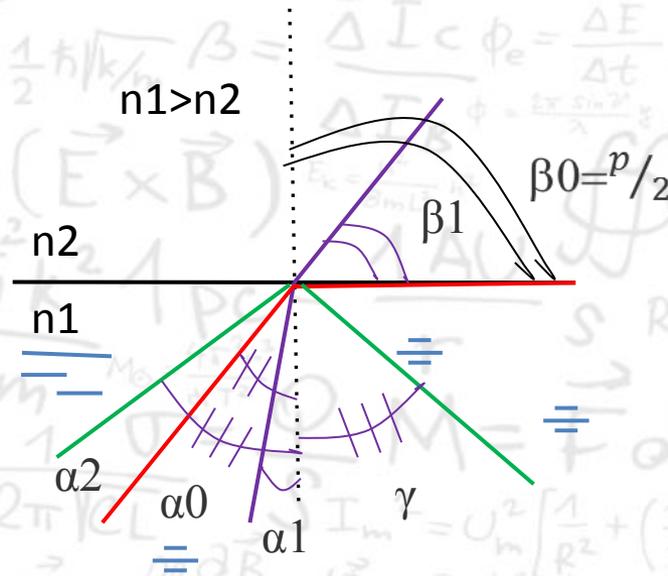
Поэтому закон преломления может быть записан следующим образом:

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



# Полное внутреннее отражение света

При угле падения  $\alpha > \alpha_0$  преломленный пучок исчезнет, и весь свет отражается от границы раздела, т.е. происходит **полное отражение света**.



$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$

$$U_{ef} = \frac{U_m}{2}$$

$$\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{2\pi r}$$

$$k = \frac{p^2}{2m} m_0 = \frac{M_0}{N_0}$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2eU}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{C}(s) \cdot \vec{n} \, ds$$

$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN}{M_m}}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} F_h = \frac{Shp}{g}$$

$$\left( \frac{E_t}{E_0} \right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \theta_1 \cos \theta_2}{\cos(\theta_1 - \theta_2) \sin(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

$$S = \frac{1}{A} \frac{d\omega}{dt}$$

$$2 \tan \theta_B = \frac{m_2}{m_1} = m_{21}$$

$$pV = nRT \quad \vec{\Psi} = \iint \vec{D} \cdot d\vec{S} = AD$$

$$H_\lambda = \frac{\Delta M_e}{\Delta \lambda}$$

$$\Phi = NBS$$

$$V = c/\lambda$$

$$\frac{\Delta \varphi}{2\pi} = \frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{x_2 - x_1}{\lambda}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$v = \sqrt{\frac{M_0}{\rho_0}}$$

$$\vec{F}_m = \vec{B} I l = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}$$

$$X_L = \frac{U_m}{\omega} = \frac{1}{\omega L}$$

$$T = \frac{4n_1 n_2}{(n_1 + n_2)^2}$$

$$g = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dz}$$

$$R_m = \frac{C}{T} k = \pm \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} (E - V_0)}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$v_1 = \frac{v_2}{n_1} \quad v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$$

$$\frac{E}{t} = \frac{m_1}{x} + \frac{m_2}{x'} = \frac{m_2 - m_1}{v}$$



$$E = \frac{h c}{\lambda}$$

$$M_0 = \frac{4\pi^2 r^3}{3 \sigma T^2}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{CL}}$$

$$\sigma = \frac{Q}{S I_m^2}$$

$$\int \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \iint \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$

$$R = R_0 \sqrt[3]{A}$$

$$u = U_m \sin \omega(t - \tau) = U_m \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$