

ФИЗИКА, ч. III

**ОПТИКА,
КВАНТОВАЯ И
ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА**

**Оптика – это наука о
природе света.**

**Свет имеет
двойственную
природу – волновую
и корпускулярную.**

Раздел оптики, описывающий явления, в которых свет проявляет волновую природу, называют волновой оптикой.

Если свет проявляет корпускулярную природу, то такие явления описываются с позиций квантовой оптики.

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

ЭЛЕКТРОМАГНИТН ЫЕ ВОЛНЫ

Уравнения Максвелла в интегральной форме

$$1 \quad \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_V \rho \cdot dV$$

$$2 \quad \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

$$3 \quad \oint_L \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = - \int_S \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{S}$$

$$4 \quad \oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{d\vec{D}}{dt} \right) \cdot d\vec{S}$$

**Изменяющееся
магнитное поле
порождает
электрическое поле,
которое порождает
изменяющееся
магнитное поле, которое**

**В результате
образуются сцеплённые
между собой
электрическое и
магнитное поля,
составляющие
электромагнитную**

**Электромагнитная
волна представляет
собой
распространяющиеся
в пространстве
колебания
электрического и**

∇
 E — напряженность электрического
поля

∇
 H — напряженность магнитного
поля

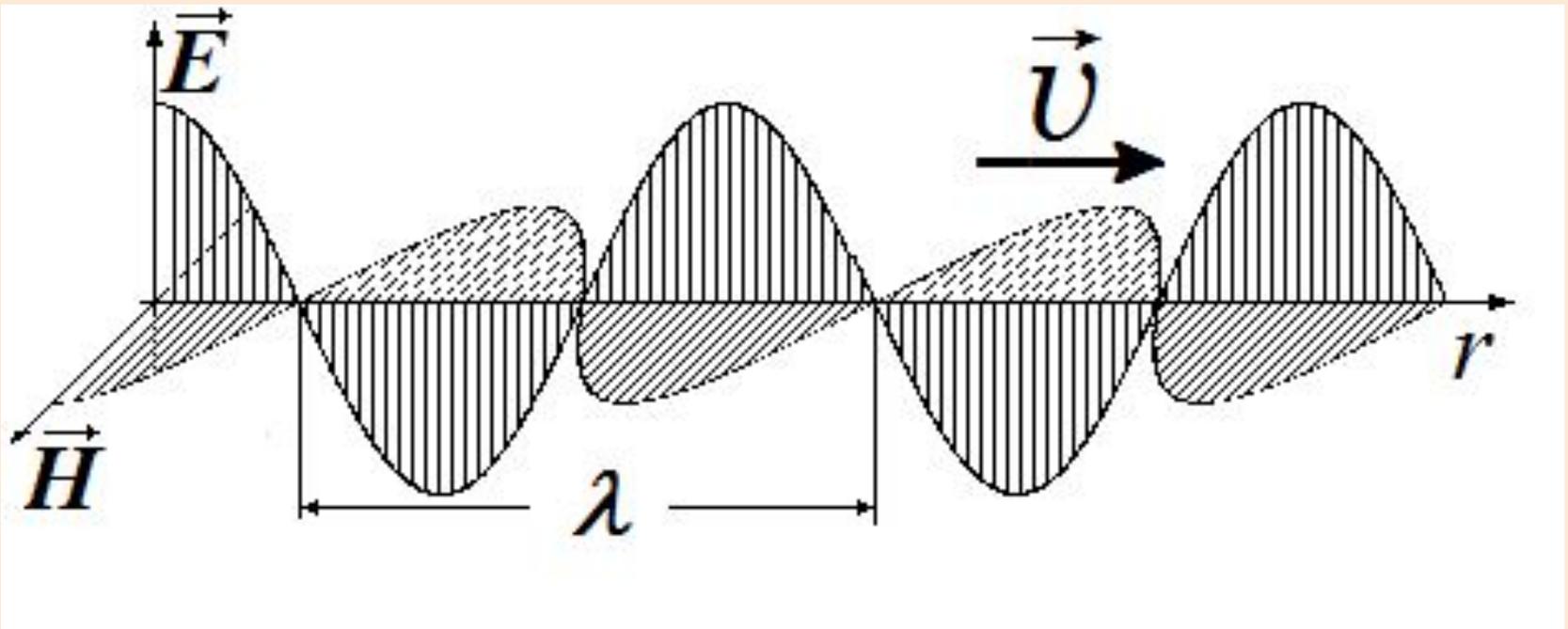
На вещество гораздо
большее влияние
оказывает электрическое

∇
поле.
 E — световой вектор

Уравнение и график электромагнитной волны

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})$$

$$\vec{H} = \vec{H}_0 \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})$$



\vec{E}_0, \vec{H}_0 — амплитуды волны

ω — циклическая
частота колебаний

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

ν — частота колебаний

\vec{k} — волновой вектор

$\vec{k} \uparrow \uparrow \vec{v}$

\vec{v} — фазовая скорость

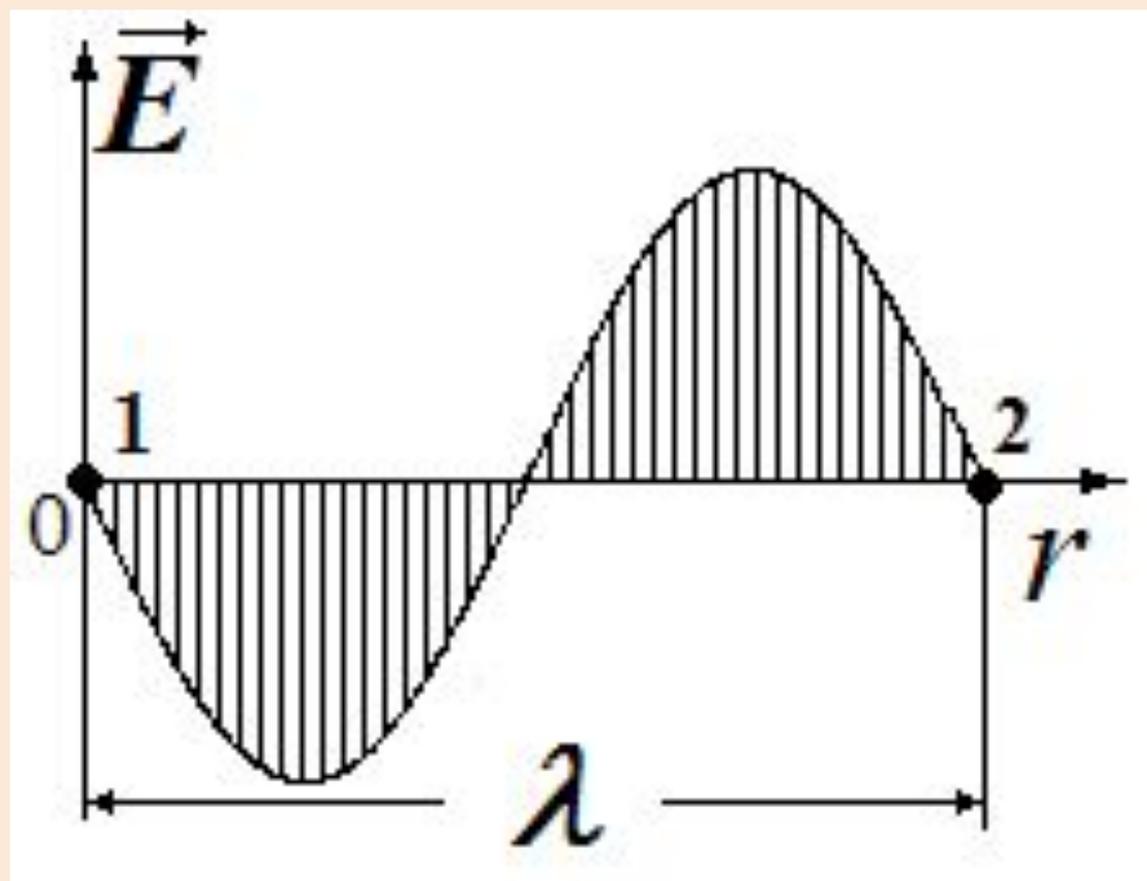
ВОЛНЫ
 k — волновое число

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

Длина волны равна
расстоянию, которое
проходит волна за
период колебаний.

$$\lambda = vT$$

Тогда $v = \frac{\lambda}{T}$



Свойства электромагнитных

ВОЛН

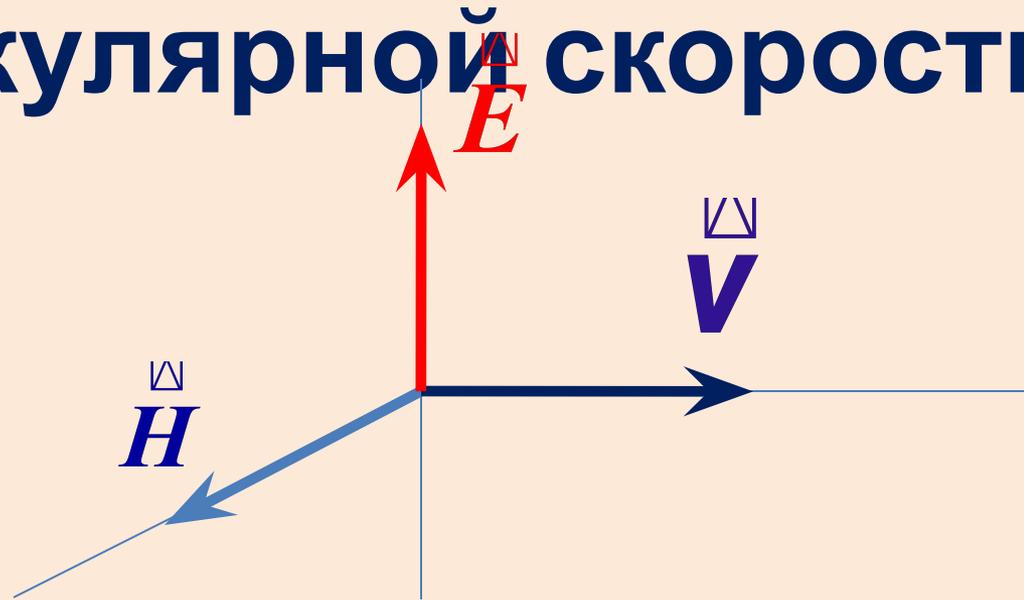
1. Поперечны.

Векторы \vec{E} и \vec{H} лежат в

плоскости,

перпендикулярной скорости

волны .



2. В вакууме ЭМ волны распро-
страняются со скоростью

света $c = 3 \cdot 10^8$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

ϵ_0 – электрическая постоянная

μ_0 – магнитная постоянная

В средах ЭМ волны
распространяются с
меньшей скоростью

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

n – абсолютный показатель
преломления среды

n характеризует
оптическую плотность
среды.

$$n = \sqrt{\epsilon\mu}$$

ε и ***μ*** – диэлектрическая и магнитная
проницаемости среды

Прозрачные среды

обычно $\mu = 1$

немагнитны ($n = \sqrt{\varepsilon}$),

тогда .

**В вакууме и в
воздухе $n=1$.**

Длина волны в среде в n
раз меньше, чем в
вакууме:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

λ_0 — длина волны в
вакууме

Энергия ЭМ волн

Плотность энергии электрического

поля:

$$w_E = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2}$$

Плотность энергии магнитного

поля:

$$w_H = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}$$

Эти энергии равны:

$$\mathcal{W}_H = \mathcal{W}$$

$$\epsilon\epsilon_0 E^2 = \mu\mu_0 H^2$$

Плотность энергии ЭМ поля:

$$w = w_E + w_H = 2w_E = \epsilon\epsilon_0 E^2$$

Плотность потока энергии -

это энергия, переносимая

волной в 1 с через

единичную площадку,

перпендикулярную

СКОРОСТИ ВОЛНЫ.

**Плотность потока энергии
выражается вектором**

Пойтинга

$$\mathbf{S} = \omega \mathbf{V}$$

$$\mathbf{S} = \left[\mathbf{E}, \mathbf{H} \right]$$

Так как

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}),$$

**то плотность потока
энергии изменяется со
временем.**

$$S = wV = \\ = \epsilon\epsilon_0 E_0^2 \cos^2(\omega t - kr).$$

Среднее по времени значение S – это ИНТЕНСИВНОСТЬ ВОЛНЫ.

$$I = \langle S \rangle$$

$$\langle \cos^2(\dots) \rangle = \frac{1}{2}$$

$$I = \frac{\epsilon \epsilon_0 E_0^2}{2} \mathbf{v}$$

**Интенсивность волны
пропорциональна квадрату**

амплитуды:

$$I \propto E_0^2$$

Излучение ЭМ волн

Простейший излучатель ЭМ волн – это электрический

\vec{p} – электрический дипольный момент $\vec{p} = p_0 \cos \omega t$

дипольный момент

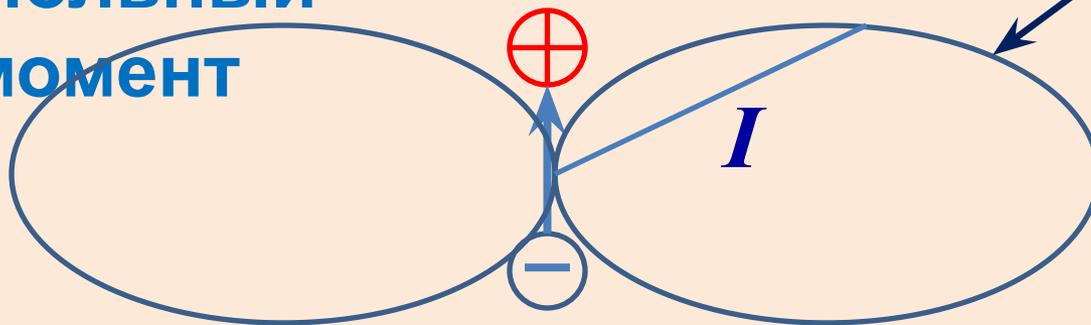


диаграмма направленности

В направлении своей оси диполь не излучает.

Шкала электромагнитных волн

ν , Гц	λ	Вид	Источник
$10^3 - 10^{12}$	От 1 мм до 10000 км	Радиоволны	Переменные токи, генераторы
$10^{12} - 4 \cdot 10^{14}$	От 1 мкм до 1 мм	ИК	Тепловое излучение
$(4 - 8) \cdot 10^{14}$	400 – 700 нм	Видимый свет	Тепловое излучение, лампы, лазеры
до $3 \cdot 10^{17}$	От 1 до 400 нм	УФ	Солнце
до $5 \cdot 10^{19}$	От 6 пм до 1 нм	Рентген	Рентгеновские трубки

**Четких границ между
диапазонами нет.**

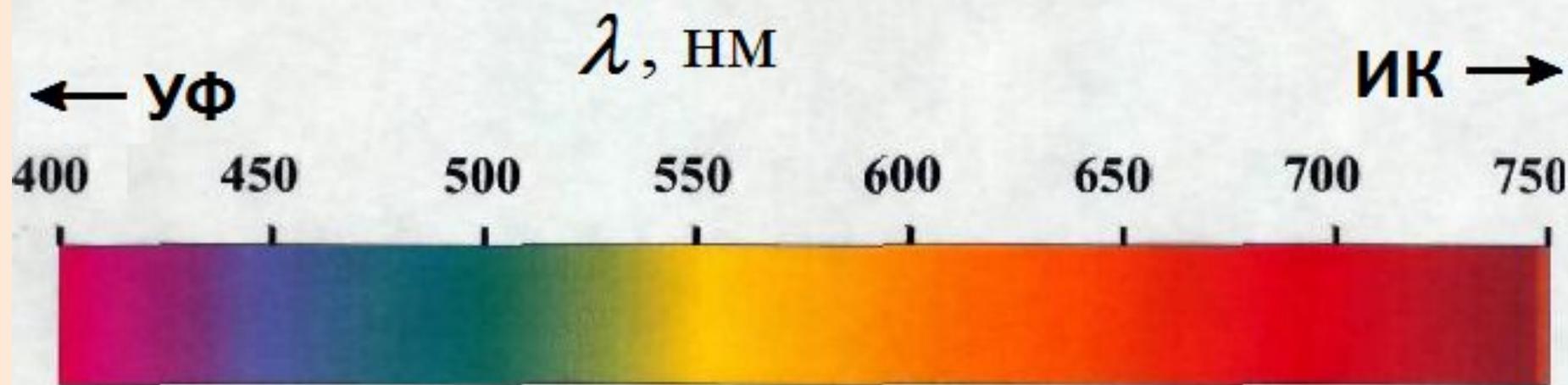
**Видимый свет занимает
узкую область:**

$$\lambda = 0,4 \div 0,76$$

$$\lambda = 400 \div 760$$



Часть спектра, заключенная в пределах кривой, кажется наблюдателю наиболее яркой



Непрерывный спектр белого света.

Законы геометрической ОПТИКИ

Световым лучом называют направление, вдоль которого распространяется энергия световой волны.

1. Закон независимости световых лучей: лучи при пересечении не возмущают друг друга

(при больших интенсивностях не соблюдается).

2. Закон прямолинейного распространения:

**в однородной среде свет
распространяется
прямолинейно.**

**Если среда
неоднородна, т.е.
показатель
преломления n
изменяется от точки к
точке, то свет может
отклоняться от
прямого пути**

*Плотность атмосферы возрастает
с увеличением высоты*

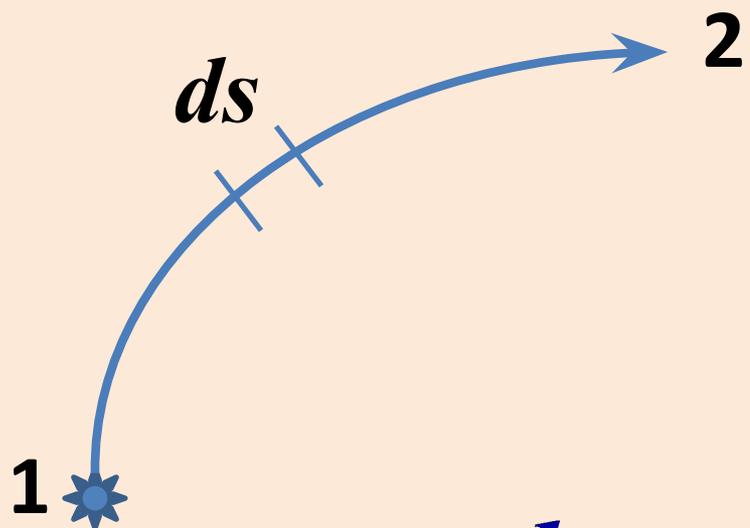


**Так возникают
миражи.**

*Плотность атмосферы уменьшается
с увеличением высоты*



**3. Принцип Ферма:
в неоднородной среде
свет распространяется
по такому пути, для
прохождения которого
ему требуется
наименьшее время.**



На
прохождение
участка ds свет
тратит время

$$d\tau = \frac{ds}{v} = \frac{ds \cdot n}{c}$$

Полное время:

$$\tau = \frac{1}{c} \int_1^2 ds \cdot n = \frac{L}{c}$$

Величину $L = \int ds \cdot n$

называют

оптическим путем

света.

Если $n = \text{const.}$, то $L = n \int ds = ns$,

и оптический путь равен

произведению

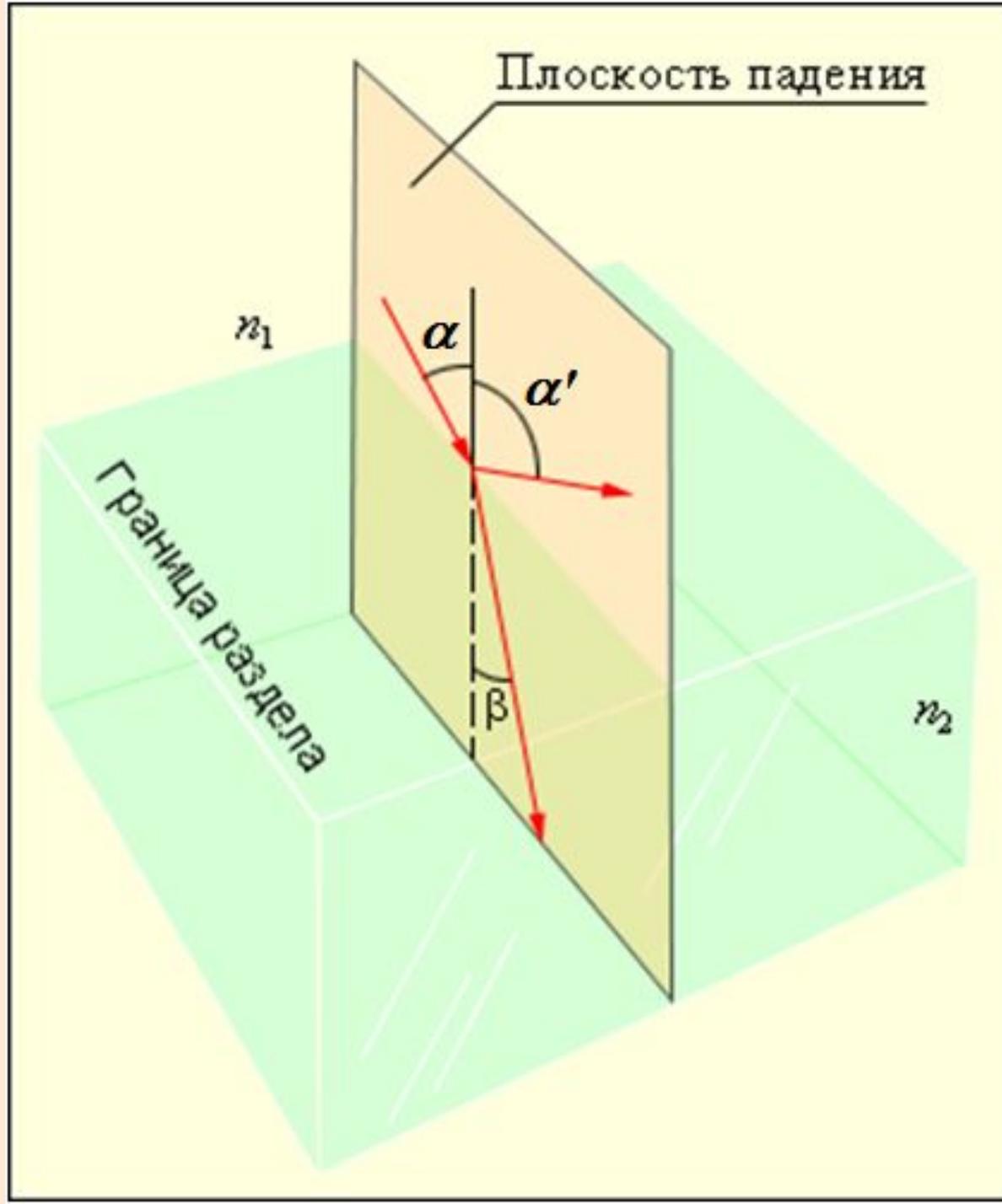
геометрического пути на

показатель преломления

$$L^{\text{среды.}} = ns$$

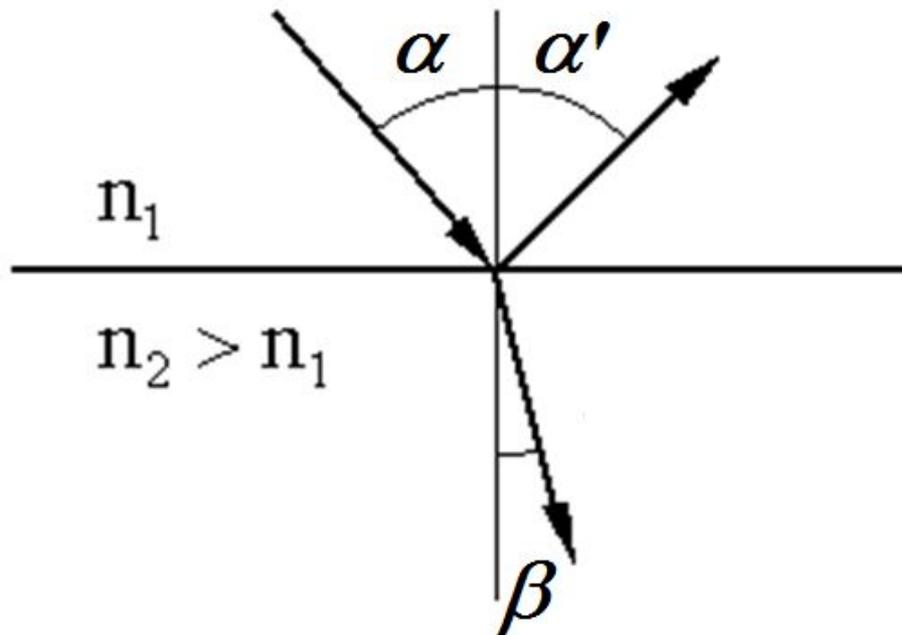
4. Законы отражения и преломления

- на границе раздела двух сред происходит отражение и преломление светового луча. Отраженный и преломленный лучи лежат в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, восстановленным к границе раздела в точке падения.
- Угол падения равен углу



Закон Снеллиуса: отношение синуса угла падения к синусу угла преломления равно отношению показателя преломления второй среды к показателю преломления

п



$$\alpha = \alpha'$$

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

Чем больше n , тем сильнее луч
“жметя” к нормали, опущенной
на границу раздела сред.

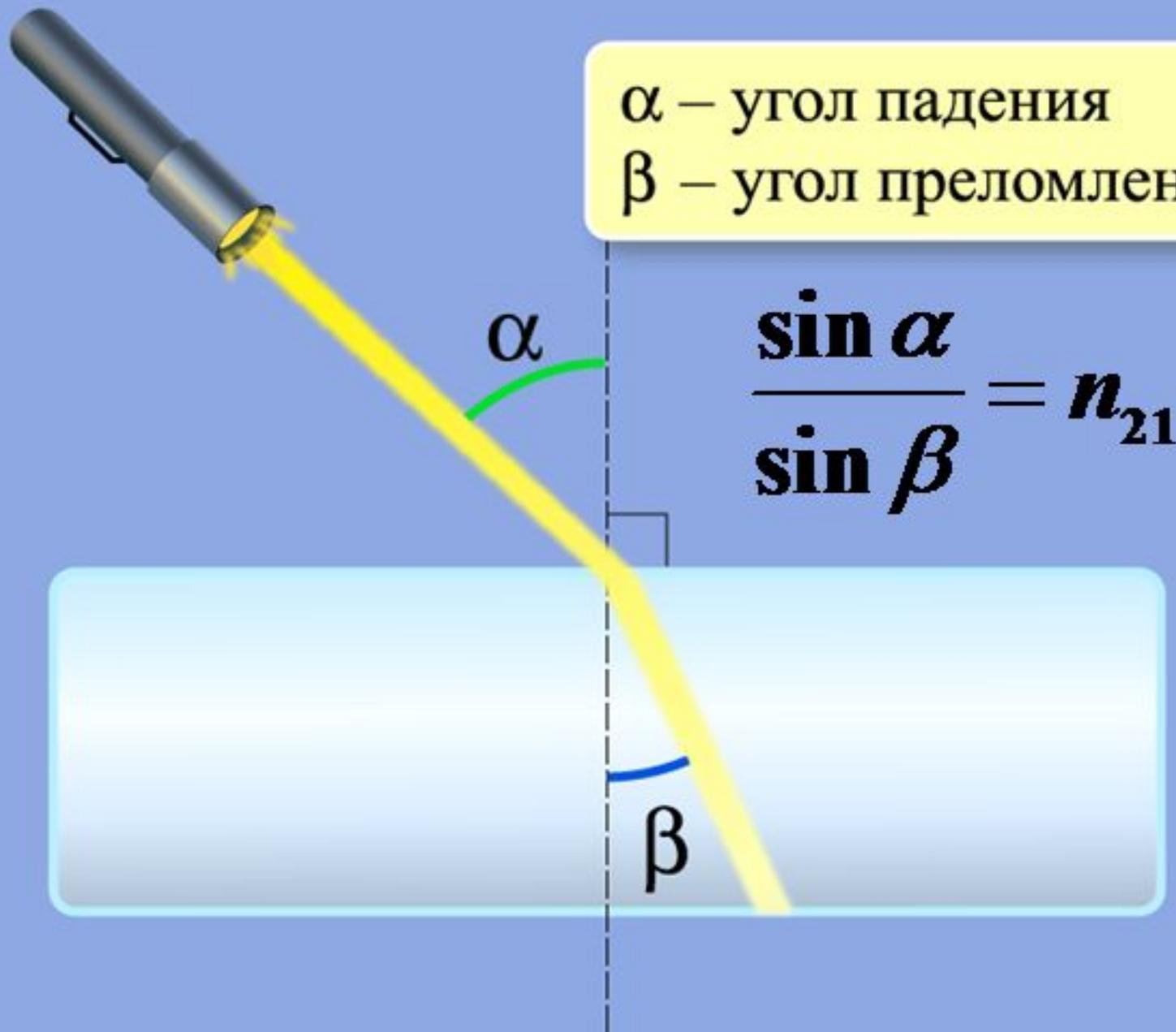
Величину n_{21}

называют относительным

показателем преломления

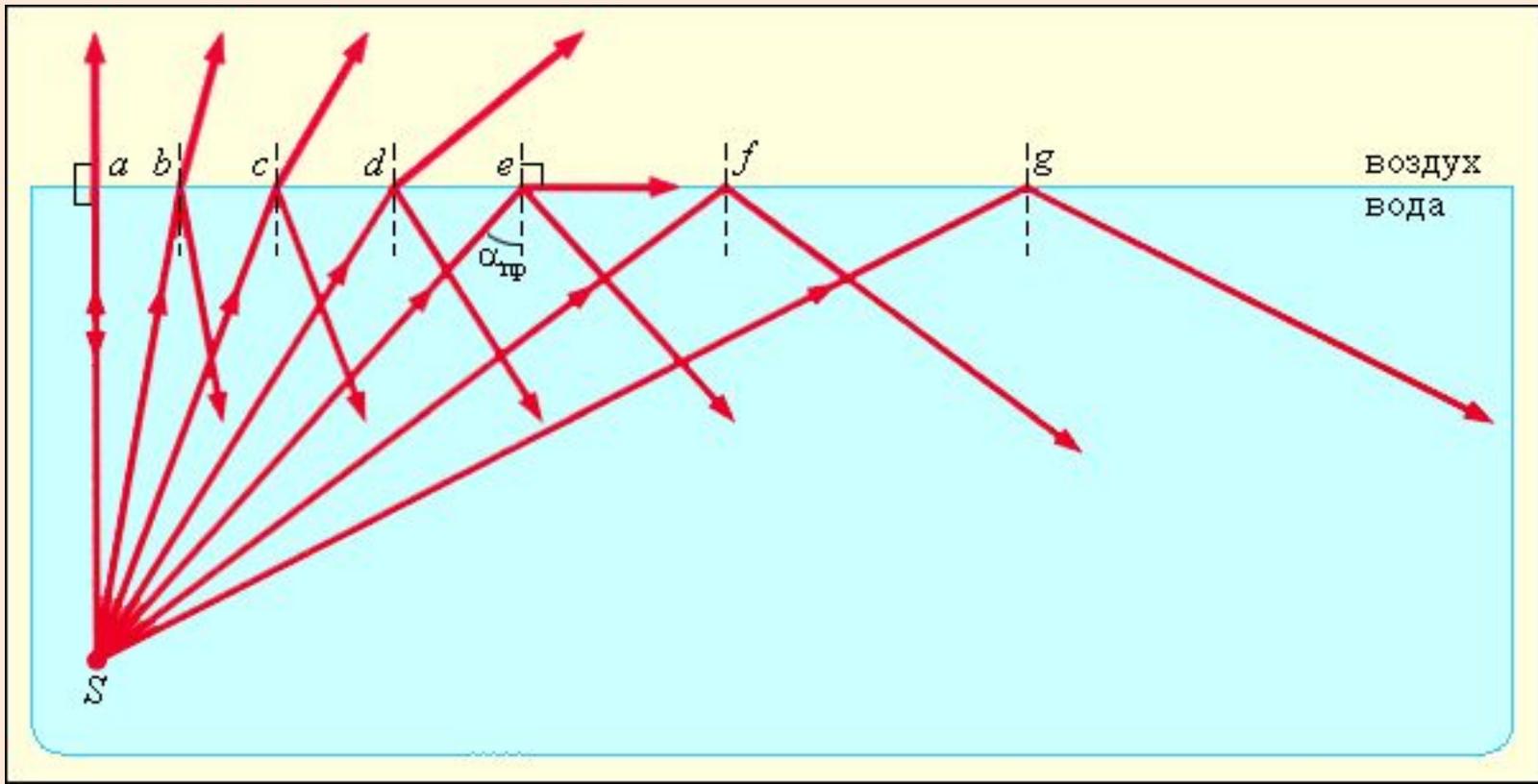
второй среды

относительно первой.



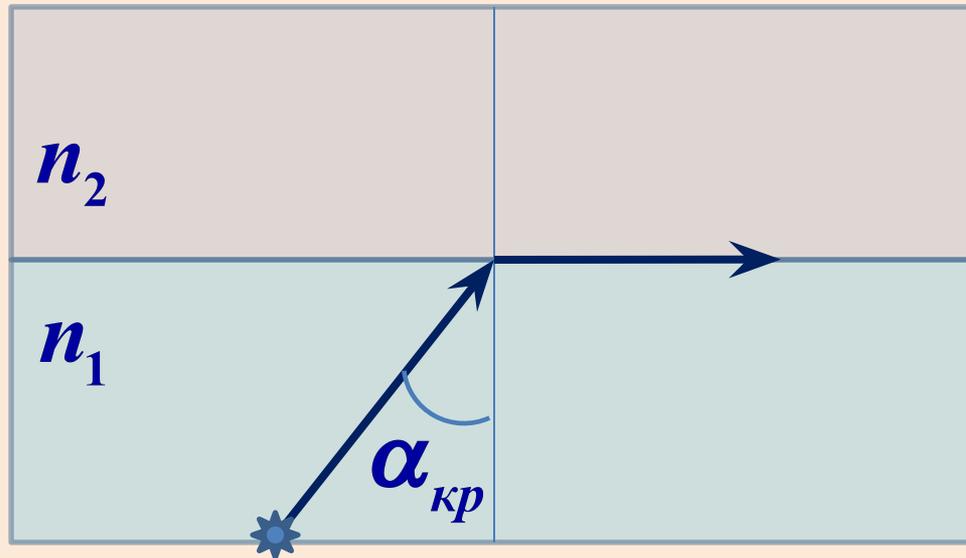
Полное внутреннее отражение может наблюдаться при переходе света из среды с большим n в среду с меньшим

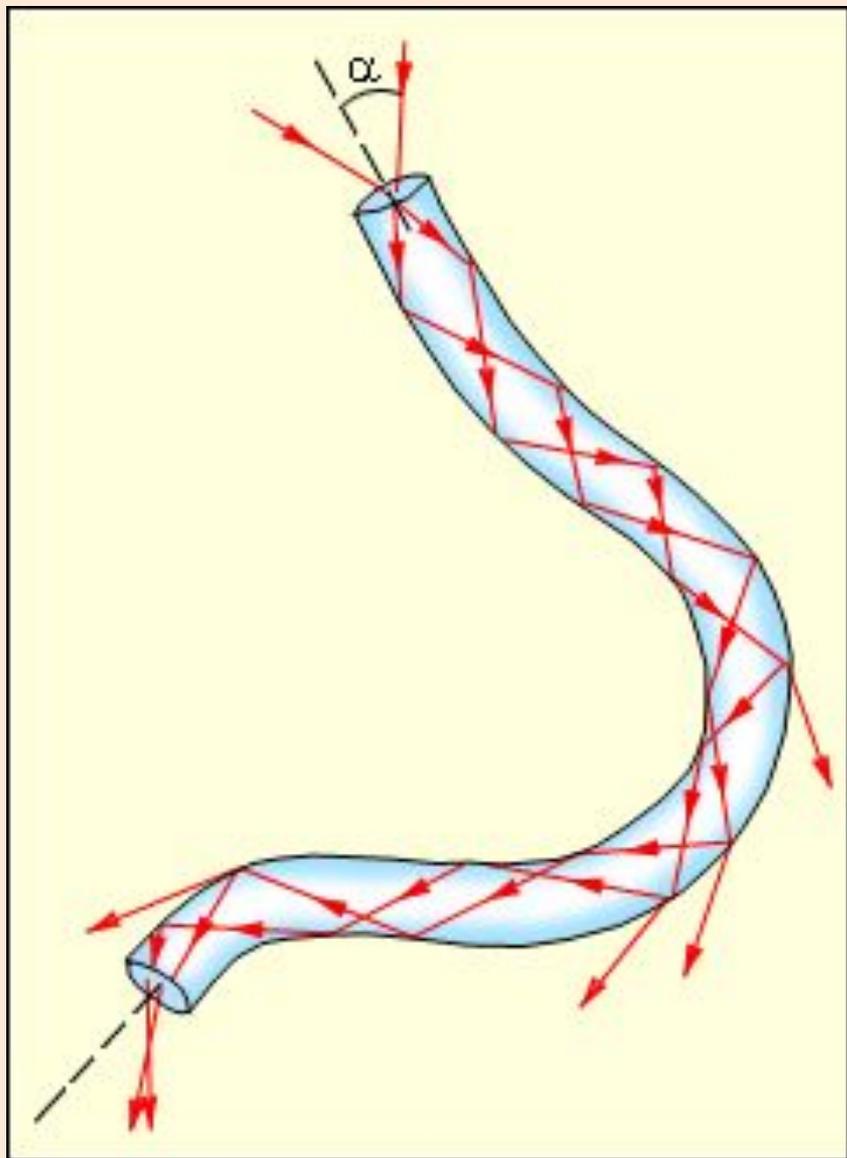
n .





Закон полного
внутреннего
отражения:
 $\sin \alpha_{кр} = n_{21}$





**Распространение
света в
волоконном
световоде.
При сильном
изгибе волокна
закон полного
внутреннего
отражения
нарушается, и свет
частично выходит
из волокна через
боковую**