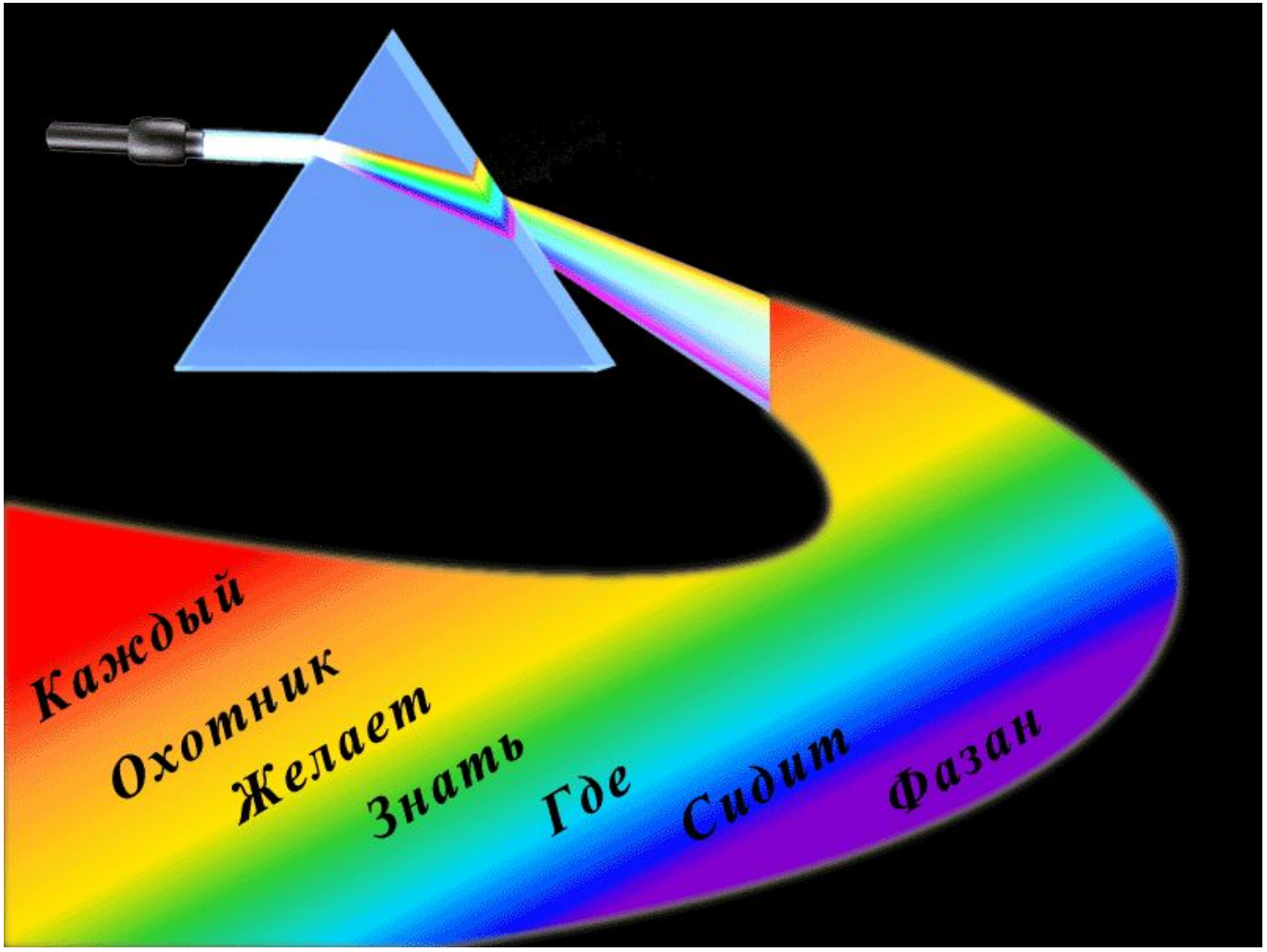
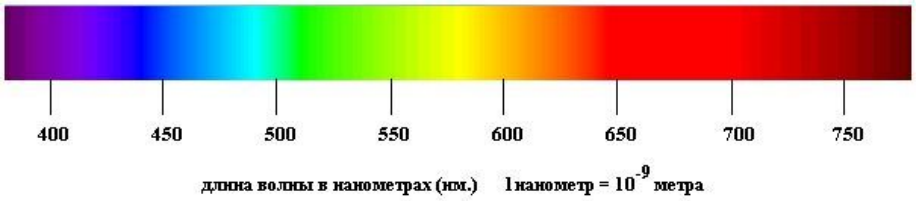
ТЕМА XXIX. СВЕТОВЫЕ ВОЛНЫ



1. ВИДИМЫЙ СВЕТ

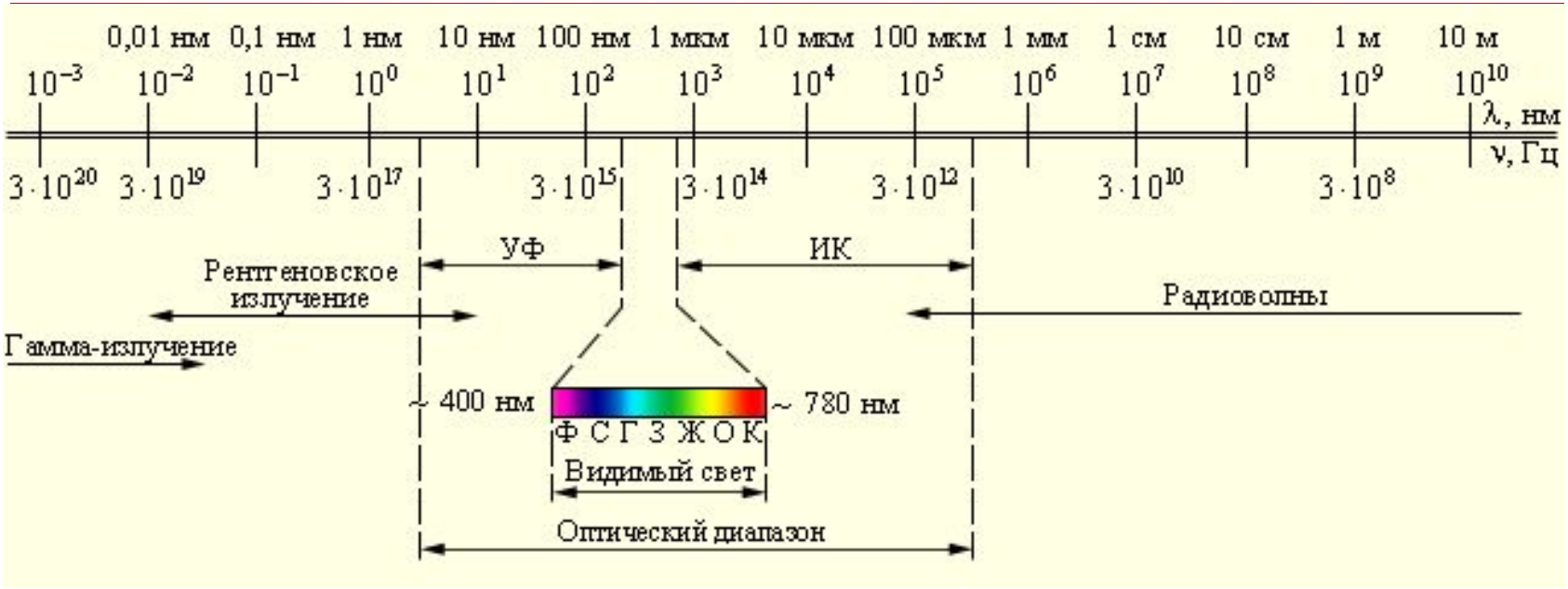
Видимый свет (свет) – это ЭМВ, заключенные в узком спектральном диапазоне длин волн (400 – 760) мкм.



Расположение светового диапазона на шкале ЭМВ обусловлено:

1. Максимум излучения Солнцем ЭМВ приходится на желто-зеленую часть спектра.
2. Существует окно прозрачности в атмосфере для этой части спектра.
3. Длины волн светового диапазона соизмеримы с размером клеток (световых рецепторов) на сетчатке.

2. ОПТИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН (ОПТИКА)

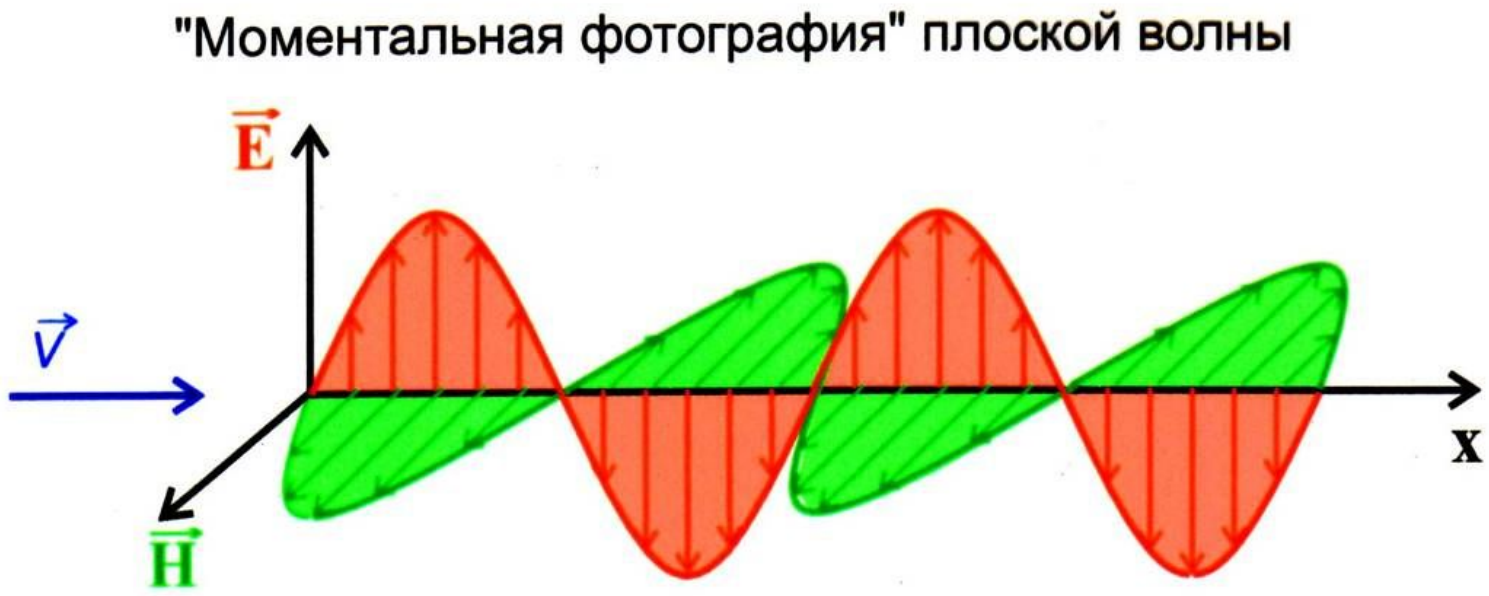


Для физического анализа происходящих процессов выделение столь узкого диапазона видимого света не имеет особого смысла, поэтому вводят понятие «оптический диапазон», включая в него видимый свет, а также инфракрасное и ультрафиолетовое излучение.

Границы оптического диапазона достаточно условны. Они определяются способом получения и регистрации электромагнитных волн.

Для оптического диапазона основным механизмом является излучение электрона в атоме при переходе между энергетическими уровнями.

3. СВЕТОВОЙ ВЕКТОР



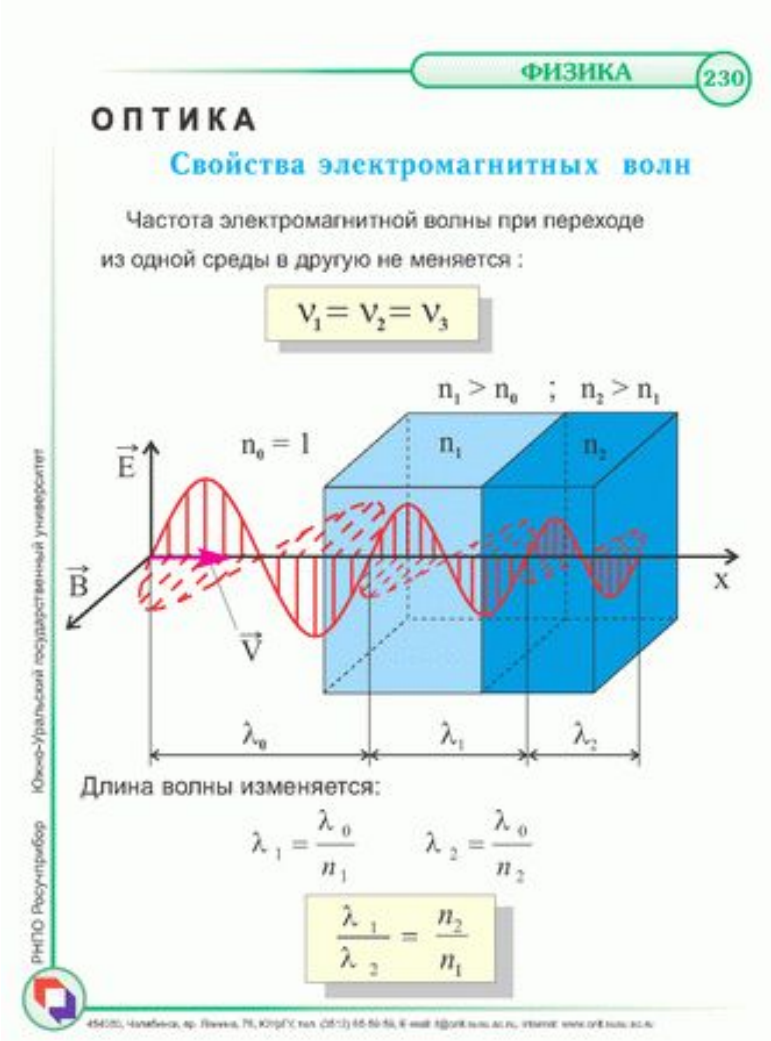
Физиологическое, фотохимическое и другие воздействия света обусловлены колебаниями напряженности электрического поля.

В соответствии с этим введем понятие светового вектора, подразумевая под ним напряженность электрического поля.

Изменение во времени и пространстве проекции светового вектора на направление, вдоль которого он колеблется, будет описываться так:

$E = A\cos(\omega t - kr + \alpha)$; $A = const$ (плоская волна); $A = C/r$ (сф. волна).

4. КОЭФФИЦИЕНТ ПРЕЛОМЛЕНИЯ



Отношение скорости световой волны в вакууме к фазовой скорости в некоторой среде называется абсолютным показателем преломления этой среды

$$n = c/V.$$

Фазовая скорость ЭМВ определяется свойствами среды, а именно

$$V = c/\sqrt{\varepsilon\mu}.$$

Из этих соотношений следует, что

$$n = \sqrt{\varepsilon\mu}.$$

Для подавляющего большинства оптически прозрачных веществ μ практически не отличается от единицы. Поэтому можно считать, что

$$n = \sqrt{\varepsilon}.$$

5. ИНТЕНСИВНОСТЬ СВЕТА (I)

Частоты видимых световых волн лежат в пределах $\nu = (0{,}39 - 0{,}75) \cdot 10^{15}\ Гц.$

Частота изменений плотности потока энергии будет в два раза больше:

$$\vec{S} = w\vec{V} = \left[\vec{E} \times \vec{H}\right] \Rightarrow \quad S = EH = E_m H_m \cos^2(2\pi\nu t - kr + \alpha).$$

Глаз или какой-либо иной приемник световой энергии
не может уследить за столь частыми изменениями потока энергии,
вследствие чего они регистрируют усредненный по времени поток.

Модуль среднего по времени значения плотности потока энергии световой волны носит название интенсивности света в данной точке:

$$I = \left|\left\langle \vec{S} \right\rangle\right| = \left|\left\langle \left[\vec{E} \times \vec{H}\right] \right\rangle\right| = E_m H_m \left\langle \cos^2(\omega t - kr + \alpha) \right\rangle = \frac{E_m H_m}{2}.$$

Усреднение производится за время «срабатывания» регистрирующего прибора, которое много больше чем период колебаний волны $(T \gg 10^{-15} c).$

Измеряется интенсивность света либо в энергетических единицах
(например, в ваттах на квадратный метр),
либо в световых единицах, называемых «люмен на квадратный метр» .

6. ИНТЕНСИВНОСТЬ СВЕТА (II)

Амплитуды векторов $\vec{E}$ и $\vec{H}$
в электромагнитной волне связаны между собой соотношением

$$\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0}E_m = \sqrt{\mu\mu_0}H_m = \sqrt{\mu_0}H_m \Rightarrow \quad H_m = \sqrt{\varepsilon}\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}E_m = n\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}E_m \quad (\mu = 1).$$

Тогда выражение для интенсивности ЭМВ примет вид:

$$I = \frac{1}{2}E_m H_m = \frac{n}{2}\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}E_m^2 = \frac{n}{2}\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}A^2 \Rightarrow \quad I \; nA^2.$$

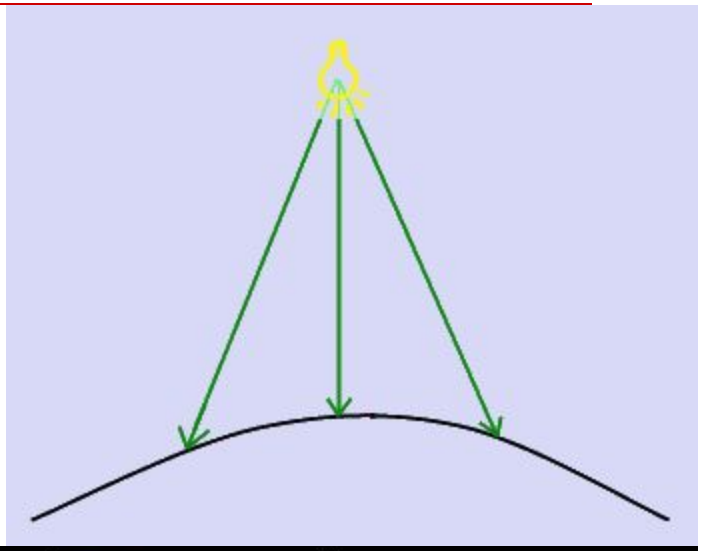
Следовательно, интенсивность света пропорциональна показателю преломления среды и квадрату амплитуды светового вектора.

При рассмотрении распространения света в однородной среде интенсивность пропорциональна квадрату светового вектора $(I \; A^2)$.

Однако в случае прохождения света через границу раздела сред выражение для интенсивности без множителя n приводит к не сохранению светового потока.

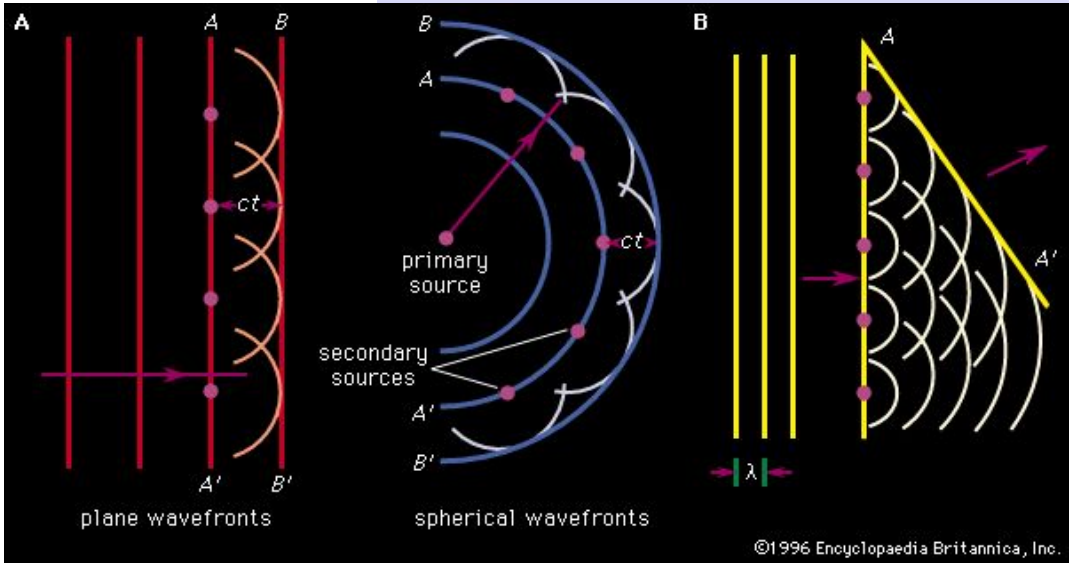
7. СВЕТОВОЙ ЛУЧ

Линии, вдоль которых распространяется световая энергия, называются лучами. Вектор Пойнтинга (плотности потока энергии) направлен в каждой точке по касательной к лучу.

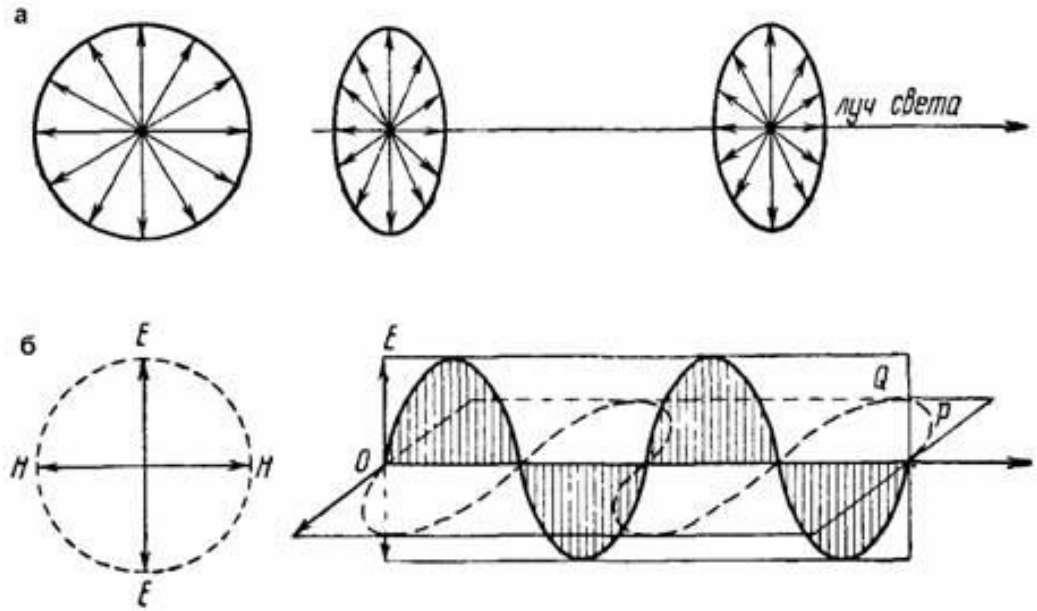


В изотропных средах направление вектора Пойнтинга совпадает с нормалью к волновой поверхности, т. е. с направлением волнового вектора. Следовательно, лучи перпендикулярны к волновым поверхностям.

В анизотропных средах нормаль к волновой поверхности в общем случае не совпадает с с направлением вектора Пойнтинга , так что световые лучи не всегда ортогональны волновым поверхностям.



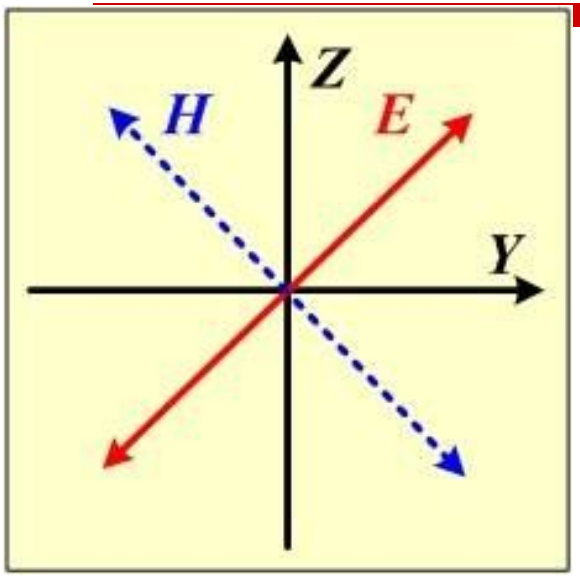
8. ЕСТЕСТВЕННЫЙ СВЕТ



- Несмотря на то что световые волны поперечны, они обычно не обнаруживают Асимметрии относительно луча
Причина в том, что в естественном свете имеются колебания светового вектора, совершаемые в самых различных направлениях, перпендикулярных св. лучу.

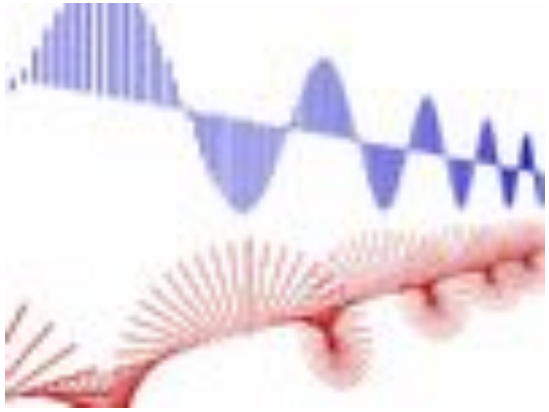
Излучение светящегося тела слагается из волн, испускаемых его атомами.
Процесс излучения отдельного атома продолжается около 10 нс.
За это время успевает образоваться последовательность горбов и впадин (цуг волн) протяженностью примерно 3 м.
«Погаснув», атом через некоторое время «вспыхивает» вновь.
Одновременно «вспыхивает» много атомов.
Возбужденные ими цуги волн, налагаясь друг на друга, и образуют волну.
Плоскость колебаний для каждого цуга ориентирована случайно.
Поэтому в волне нет выделенного направления колебаний.

9. ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ СВЕТ



В естественном свете колебания различных направлений беспорядочно сменяют друг друга. Свет, в котором направления колебаний упорядочены каким-либо образом, называется поляризованным.

Если колебания светового вектора происходят только в одной проходящей через луч плоскости, то свет называется плоскополяризованным или линейнополяризованным.



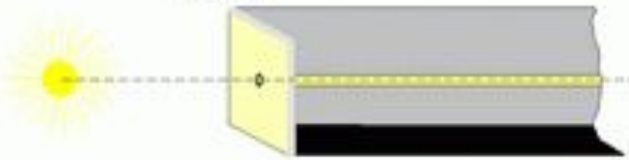
Упорядоченность может заключаться в том, что световой вектор поворачивается вокруг луча, одновременно пульсируя по модулю.
При этом световой вектор описывает эллипс.
Это эллиптически-поляризованнымй свет.
Если амплитуда светового вектора постоянна, то его любая точка описывает окружность, а свет называется поляризованным по кругу.

10. РАСПРОСТРА-НЕНИЕ СВЕТА

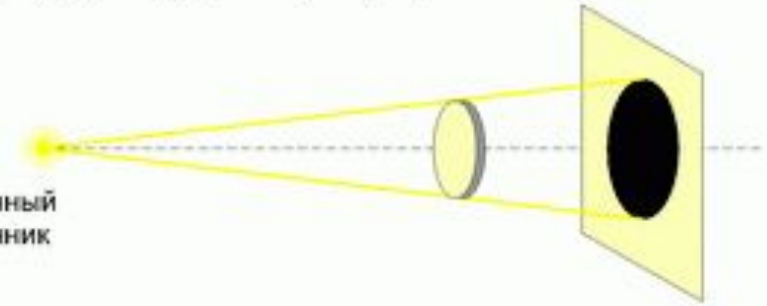
ОПТИКА

Прямолинейное распространение света

СВЕТОВОЙ ЛУЧ — это направление, вдоль которого переносится энергия электромагнитной волны

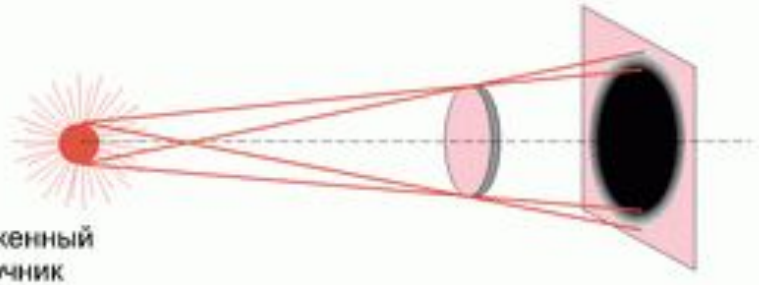


В однородной среде свет распространяется прямолинейно



точечный источник

Световые лучи не возмущают друг друга при пересечении

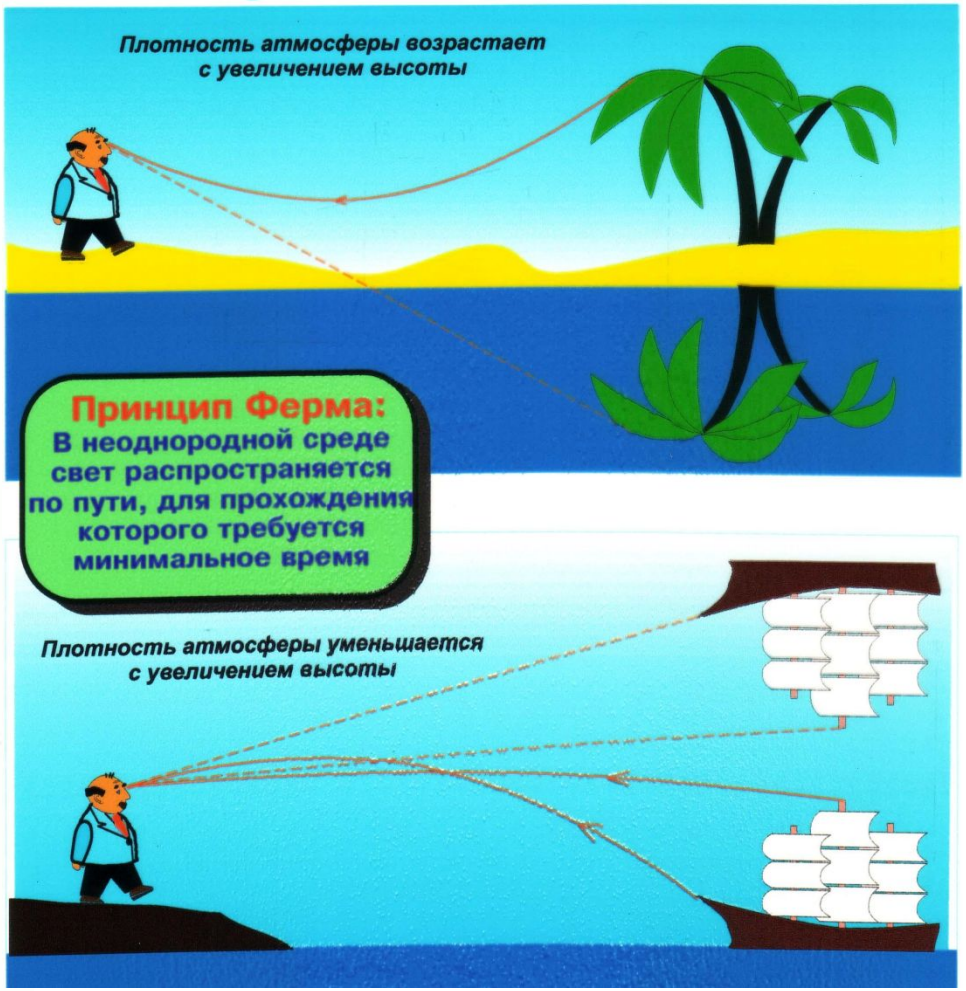


протяженный источник

РИПО Росучприбор Южно-Уральский государственный университет

454080, Челябинск, пр. Ленина, 76, ЮУрГУ, тел. (351) 65-59-59, E-mail: it@prit.susu.ac.ru, Internet: www.prit.susu.ac.ru

Принцип Ферма. Миражи



11. ОТРАЖЕНИЕ И ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА

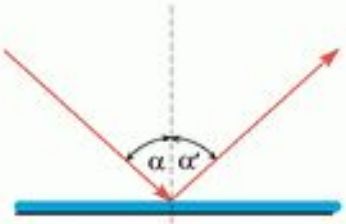
Отражение света

Диффузное отражение

Зеркальное отражение

При зеркальном отражении угол падения равен углу отражения

$$\alpha = \alpha'$$

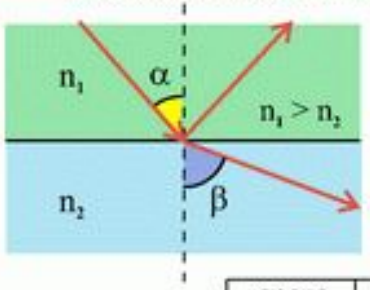


Падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром к отражающей поверхности в точке падения

РнПО Росучприбор Южно-Уральский государственный университет

Закон преломления света

Падающий и преломленный лучи лежат в одной плоскости с нормалью к границе раздела в точке падения



$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}$$

$n_1 = \frac{c}{v_1}$ $n_2 = \frac{c}{v_2}$

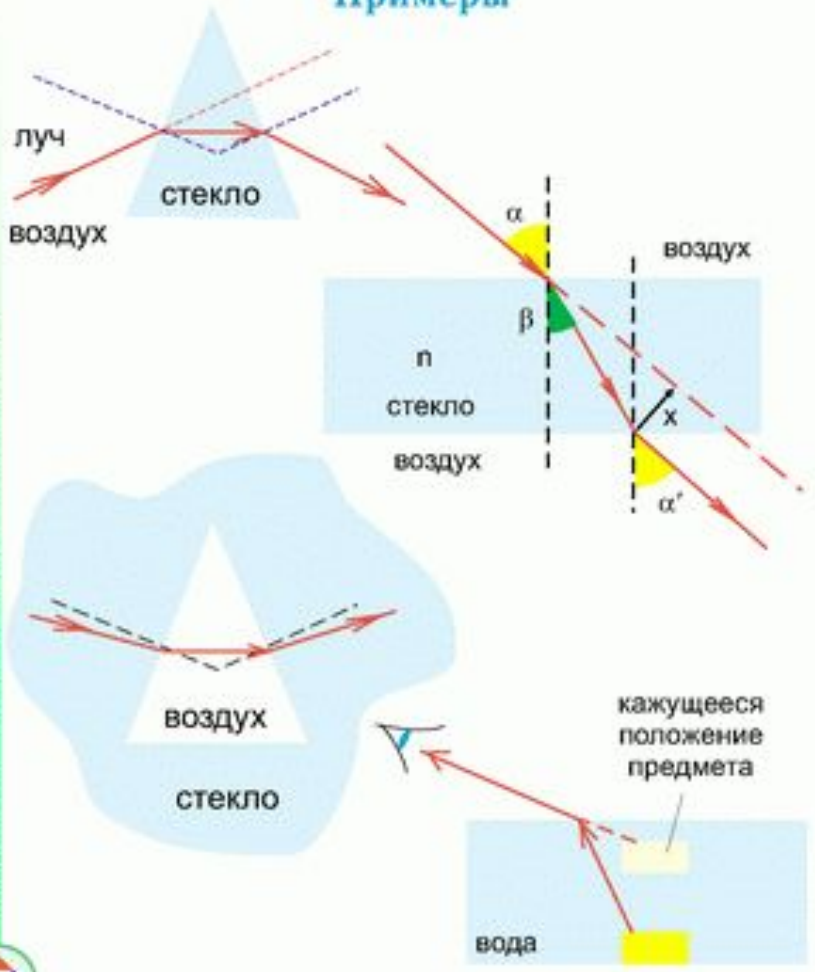
среда	n
воздух	1,0003
вода	1,33
стекло	1,4 - 1,6
алмаз	2,42

РнПО Росучприбор Южно-Уральский государственный университет

12. ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ

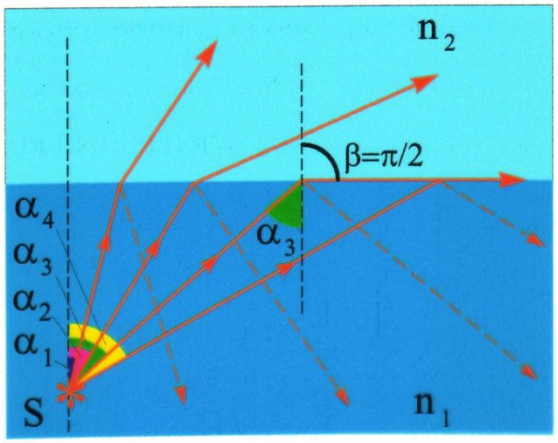
ОПТИКА

Преломление света
Примеры



РИПО Росучприбор Южно-Уральский государственный университет

Полное внутреннее отражение



Из закона Снеллиуса:

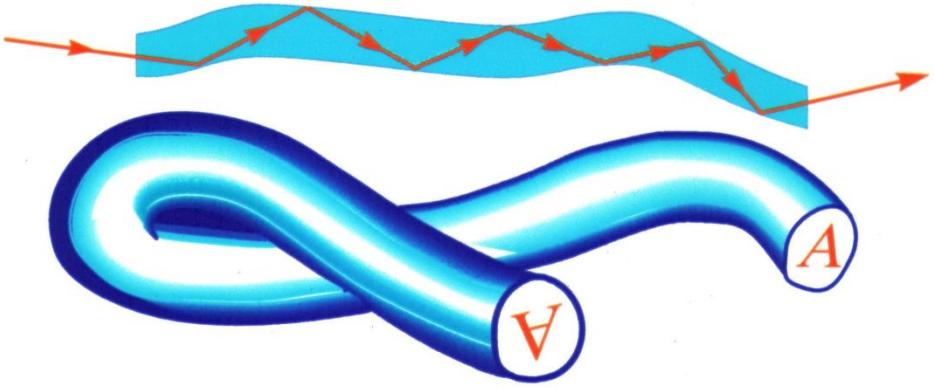
$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}$$ так как при $\alpha=\alpha_{пр}$, $\beta=\pi/2$

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

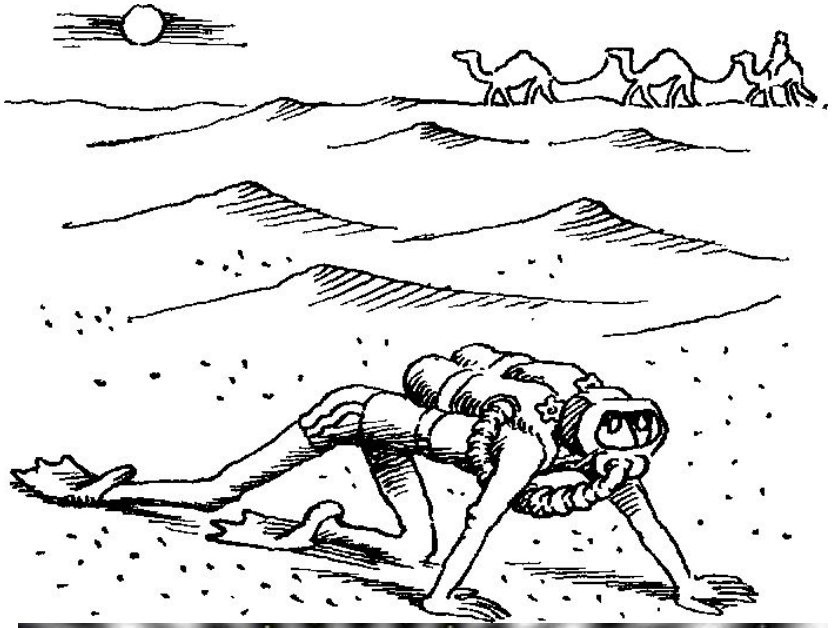
Условия полного внутреннего отражения

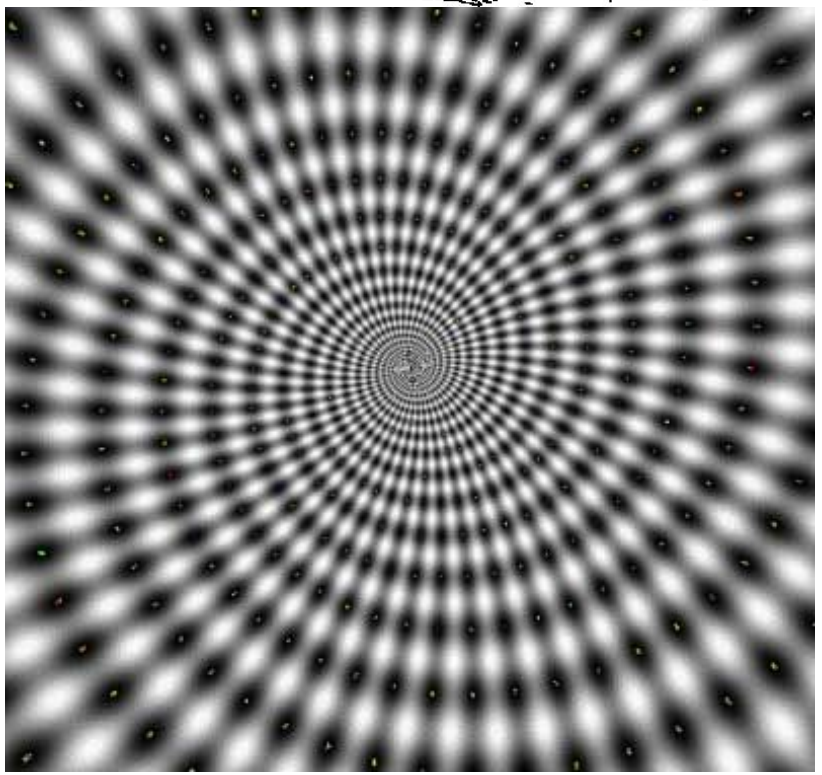
$$n_2 < n_1, \quad \alpha \geq \alpha_{пр}$$

Ход лучей в световоде

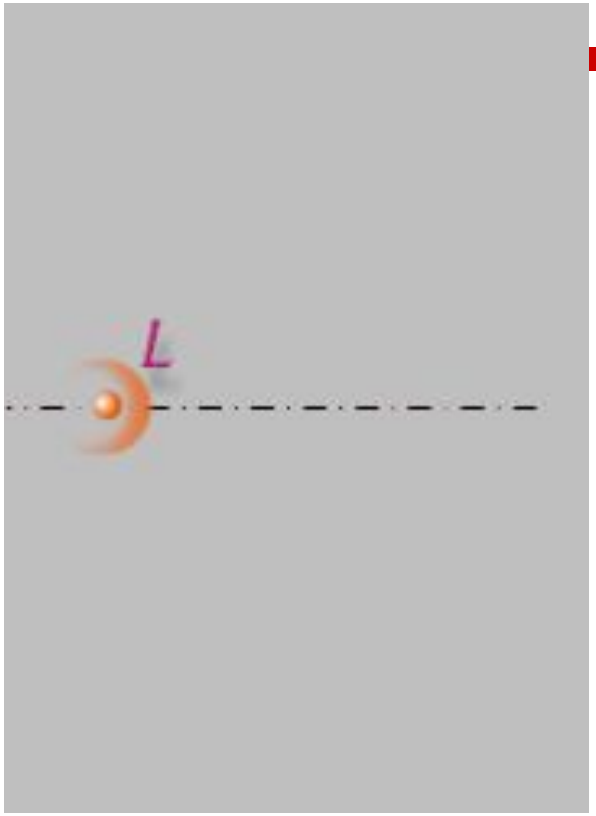


13. ОПТИЧЕСКИЕ ИЛЛЮЗИИ

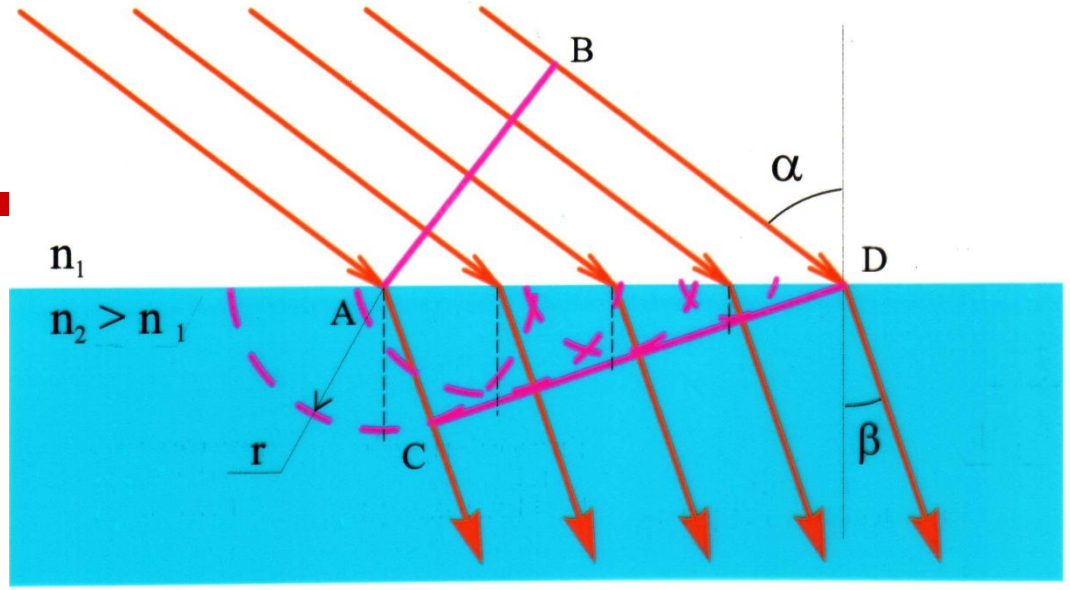




14. ПРИНЦИП ГЮЙГЕНСА



Принцип Гюйгенса. Преломление света



$n_1 = c / V_1, n_2 = c / V_2$ - абсолютные показатели преломления сред,

AB - фронт падающей волны в момент времени t,

CD - фронт преломленной волны в момент времени $t + \Delta t$,

r - радиус фронта вторичной волны (исходящей из точки A) в момент времени $t + \Delta t$

Закон Снеллиуса как следствие принципа Гюйгенса:

$$\left.\begin{aligned} AD &= \frac{BD}{\sin\alpha} = \frac{AC}{\sin\beta} \\ BD &= V_1\Delta t, AC = V_2\Delta t \end{aligned}\right\} \Rightarrow \boxed{\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}}$$

n_{21} - относительный показатель преломления (второй среды относительно первой)

Каждая точка волнового фронта служит источником вторичных сферических волн;
Огибающая этих волн дает фронт волны в следующие моменты времени.