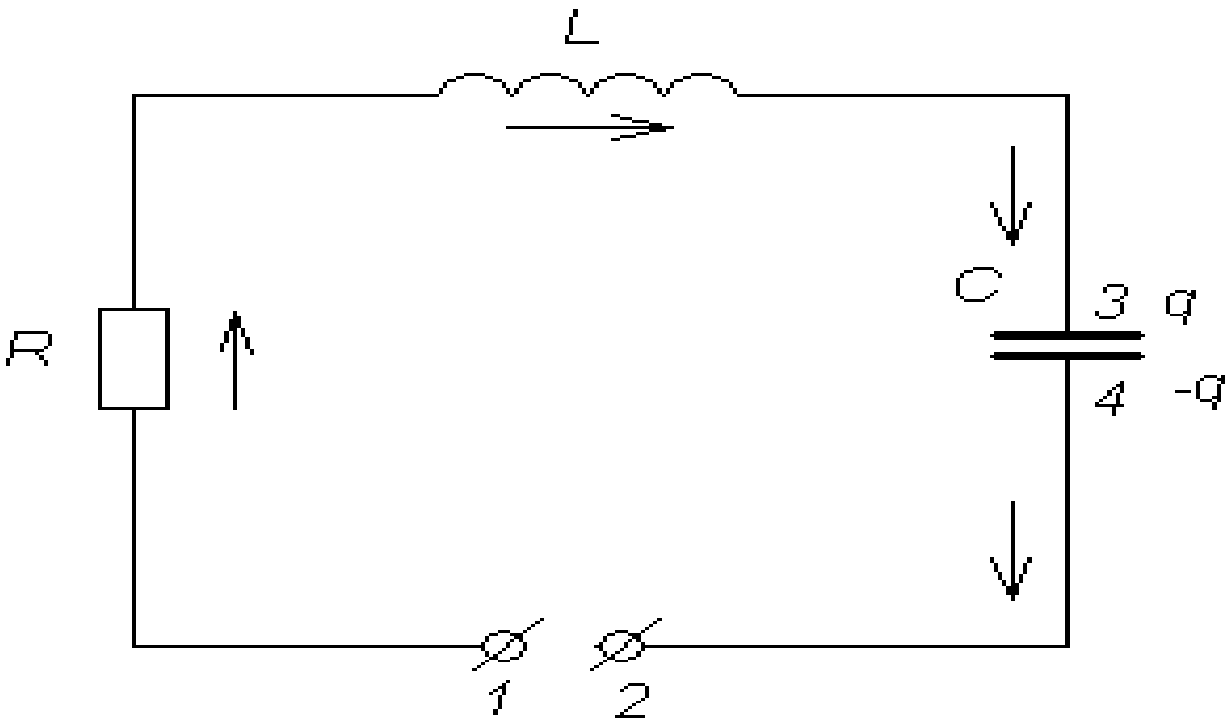
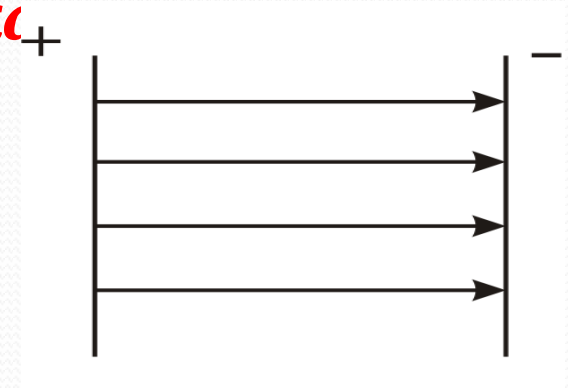
Лекция 5. Электромагнитные колебания и волны. Свойства электромагнитных волн

5.1. Колебательный контур. Характеристики элементов, входящих в колебательный контур

Опр. Колебательный контур – это система, состоящая из последовательно соединенных конденсатора емкости *C*, катушки индуктивности *L* и проводника с сопротивлением *R*



Опр. Конденсатор – два проводника, называемые обкладками, расположенные близко друг к другу. Конструкция такова, что внешние окружающие конденсатор тела не оказывают влияние на электроемкость конденсатора. Это будет выполняться, если ***электростатическое поле будет сосредоточено внутри конденсатора между обкладк***



Опр. Электроемкость - ф.в., характеризующая способность конденсатора накапливать электрический заряд:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U}$$

Емкость плоского конденсатора

$$C = \frac{q}{U} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$$

Энергия заряженного конденсатора

.

$$W_c = \frac{CU^2}{2}$$

Опр. Катушка индуктивности — винтовая, спиральная или винто-спиральная катушка из свёрнутого изолированного проводника, обладающая значительной индуктивностью при относительно малой ёмкости и малом активном сопротивлении.

Опр. Индуктивность (L) – физическая величина, характеризующая магнитные свойства электрической цепи и равная отношению потока Φ магнитной индукции, пересекающего поверхность, ограниченную проводящим контуром, к силе тока в этом контуре, создающем Φ

Единица измерения генри [Гн].

Индуктивность: $$L = \mu\mu_0 \frac{SN^2}{L}$$

Опр. Свободные электромагнитные колебания – это периодически повторяющиеся изменения электромагнитных величин (q – электрический заряд и U – разность потенциалов на обкладках конденсатора, I – сила тока в катушке индуктивности), происходящие без потребления энергии от внешних источников.

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC} \cdot q = 0$$

-дифференциальное уравнение свободных гармонических электромагнитных колебаний

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m} \cdot x = 0$$

- дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний пружинного маятника

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC} \cdot q = 0$$

$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ - собственная частота электромагнитных колебаний

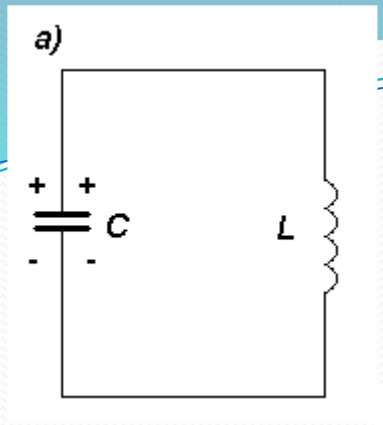
Решение этого уравнения:

$$q = q_{max} cos(\omega_0 + \varphi_0)$$

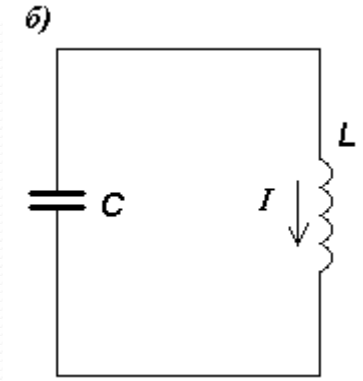
Период электромагнитных колебаний:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

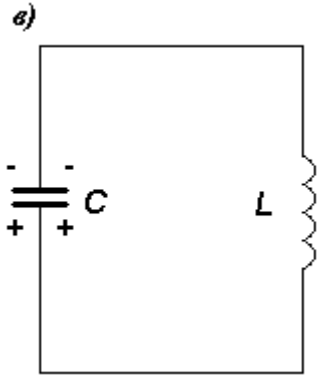
Энергия колебательного контура:



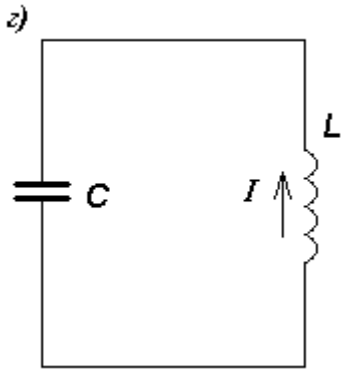
а) $W_p = \frac{q_m^2}{2C}$



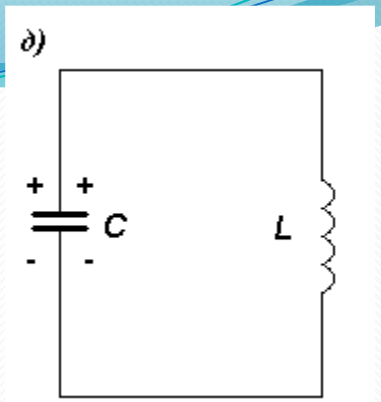
б) $W_м = \frac{LI_m^2}{2}$



в) $W_p = \frac{q_m^2}{2C}$



г) $W_м = \frac{LI_m^2}{2}$

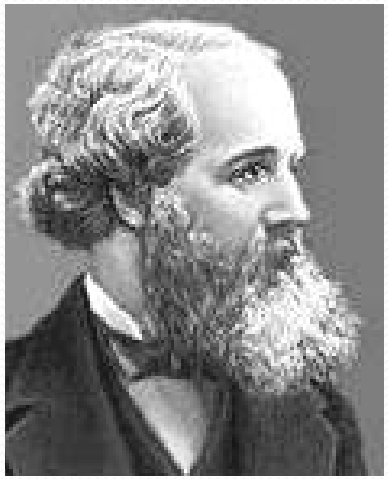


д) $W_p = \frac{q_m^2}{2C}$

Выводы:

1. В колебательном контуре, образованном конденсатором C и катушкой L, электрическое поле сосредоточено в зазоре между обкладками, а магнитное – внутри катушки. В окружающем пространстве конденсатор и катушку поля практически равны нулю.
2. В колебательном контуре создаются переменные электрическое и магнитное поля.
3. Колебательный контур обладает энергией электрического и магнитного полей

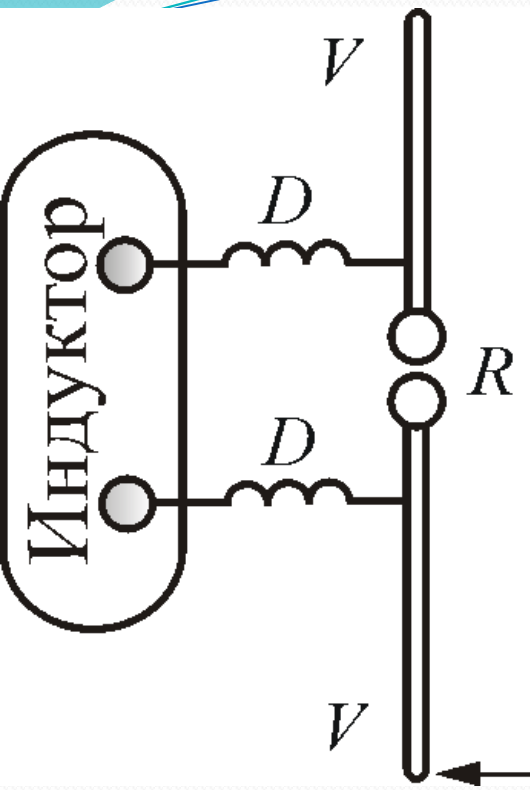
5.2 Генерация ЭМВ



Максвелл Джеймс Клерк (1831 – 1879) – английский физик, член Эдинбургского (1855) и Лондонского (1861) королевских обществ, первый профессор экспериментальной физики в Кембридже. Под его руководством создана известная Кавендишская лаборатория, которую он возглавлял до конца своей жизни.

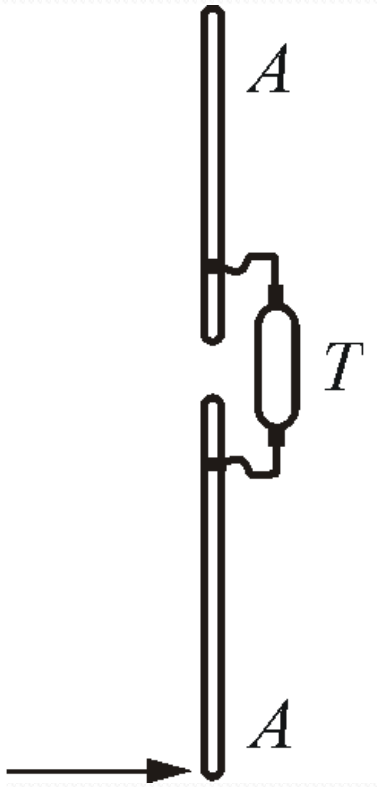
Герц Генрих Рудольф (1857 – 1894) – немецкий физик. Окончил Берлинский университет (1880 г.) и был ассистентом у Г. Гельмгольца. В 1885 – 89 гг. – профессор Высшей технической школы в Карлсруэ.

Вибратор Г.Р.Герца



R – разрядник;
T - газоразрядная трубка;
D – дроссели.

$r \leq \lambda$ – ближняя зона



Вибратор **Резонатор**

Движущийся с ускорением электрический заряд испускает электромагнитные волны.

азовая скорость ЭМВ определяется выражением:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}}$$

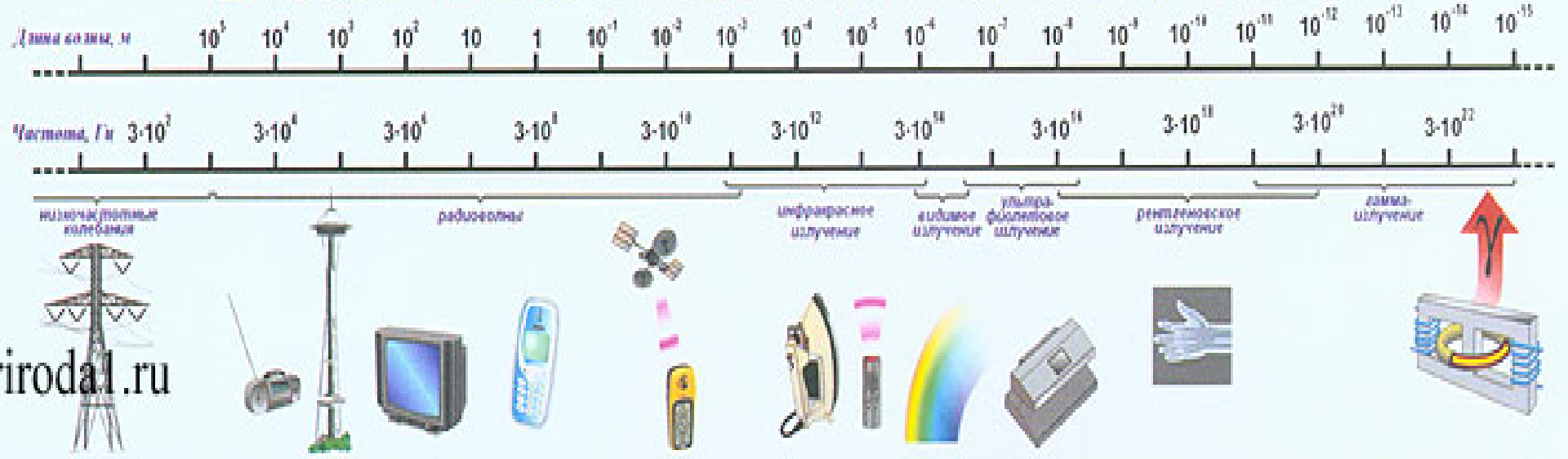
где $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$ – скорость света в вакууме

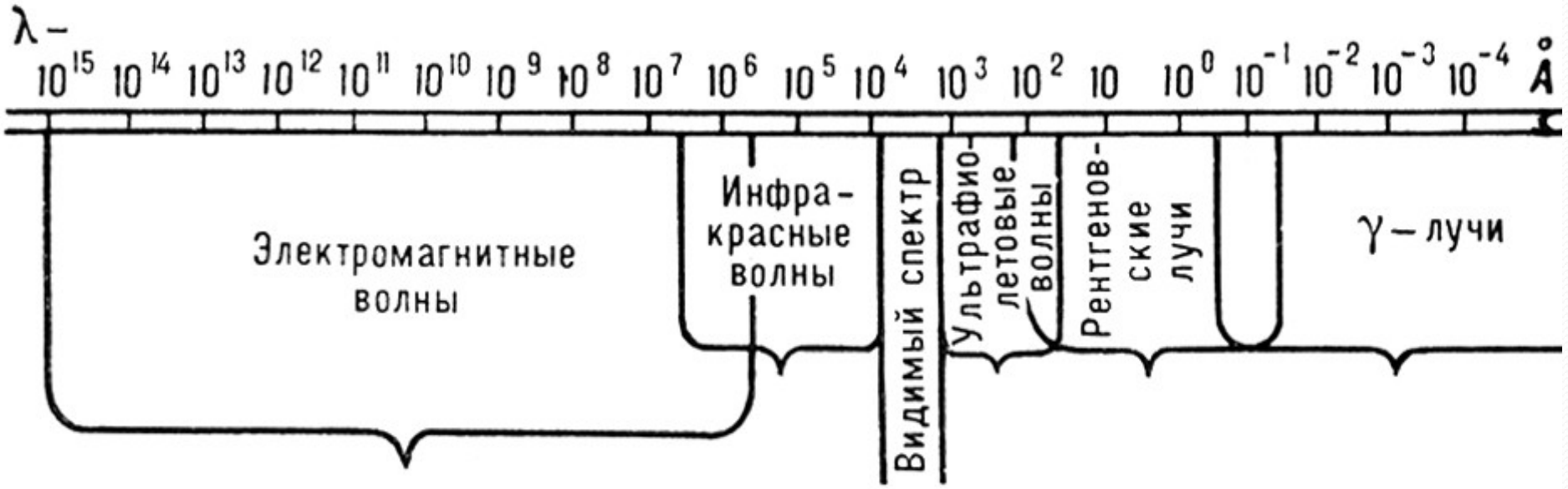
$$\varepsilon_0 = 8{,}85418782 \cdot 10^{-12}\ \mathbf{Ф} \cdot \text{м}^{-1}$$

$$\mu_0 = 1{,}256637061 \cdot 10^{-6}\ \mathbf{Гн} \cdot \text{м}^{-1}$$

$$\text{с} = \mathbf{2{,}99792458 \cdot 10^{8}}\ \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$$

ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ





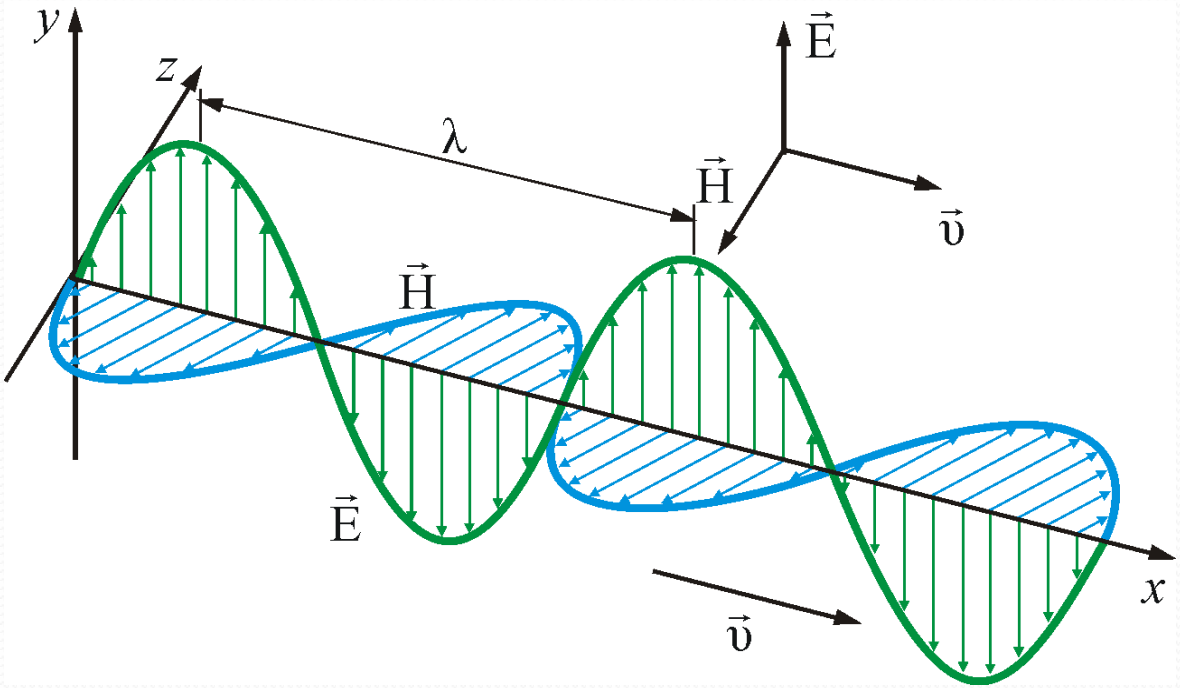
Длина	Название	Частота
более 100 км	Низкочастотные электрические колебания	0 – 3 кГц
100 км – 1 мм	Радиоволны	3 кГц – 3 ТГц
100 – 10 км	*сверх низкие частоты*	3 – 3-кГц
10 – 1 км	*километровые (низкие частоты)*	30 -– 300 кГц
1 км – 100 м	*гектометровые (средние частоты)*	300 кГц – 3 МГц
100 – 10 м	*декаметровые (высокие частоты)*	3 – 30 МГц
10 – 1 м	*метровые (очень высокие частоты)*	30 – 300МГц
1 м – 10 см	*дециметровые (ультравысокие)*	300 МГц – 3 ГГц
10 – 1 см	*сантиметровые (сверхвысокие)*	3 – 30 ГГц
1 см – 1 мм	*миллиметровые (крайне высокие)*	30 – 300 ГГц
1 – 0.1 мм	*децимиллиметровые (гипервысокие)*	300 ГГц – 3 ТГц
2 мм – 760 нм	Инфракрасное излучение	150 ГГц – 400 ТГц
760 – 380 нм	Видимое излучение (оптический спектр)	400 - 800 ТГц
380 – 3 нм	Ультрафиолетовое излучение	800 ТГц – 100 ПГц
10 нм – 1пм	Рентгеновское излучение	30 ПГц – 300 ЭГц
<10 пм	Гамма-излучение	>30 ЭГц

5.3. Свойства электромагнитных волн

Свойство электромагнитных волн 1.

Электромагнитные волны представляют собой поперечные волны и, в этом, аналогичны другим типам волн. В ЭМВ происходят колебания полей, а не вещества, как в случае распространения волн на воде или в натянутом шнуре.

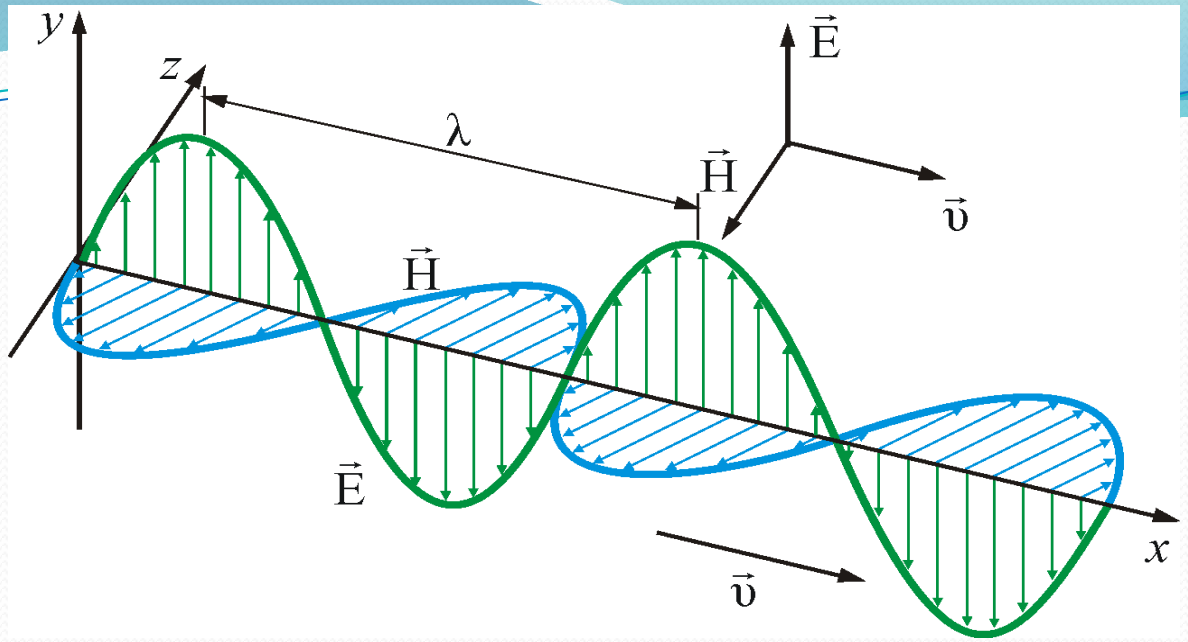
ЭМВ распространяются в пространстве, удаляясь от источника волн во все стороны.



В любой точке вектор напряженности электрического поля $\vec{E}$

ектор напряженности магнитного поля $\vec{H}$

взаимно перпендикулярны и перпендикулярны направлению распространения скорости $\vec{\upsilon}$

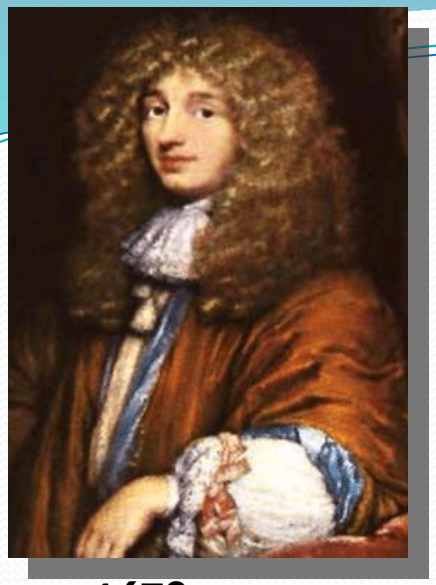


Поля изменяют свое направление в пространстве: в одних точках вектор $\vec{H}$ направлен к плоскости страницы, в других – от нее; аналогично ведет себя и вектор $\vec{E}$. Электрическое и магнитное поля находятся в фазе, т.е. они достигают максимума и обращаются в нуль в одних и тех же точках.

Свойство электромагнитных волн 2.

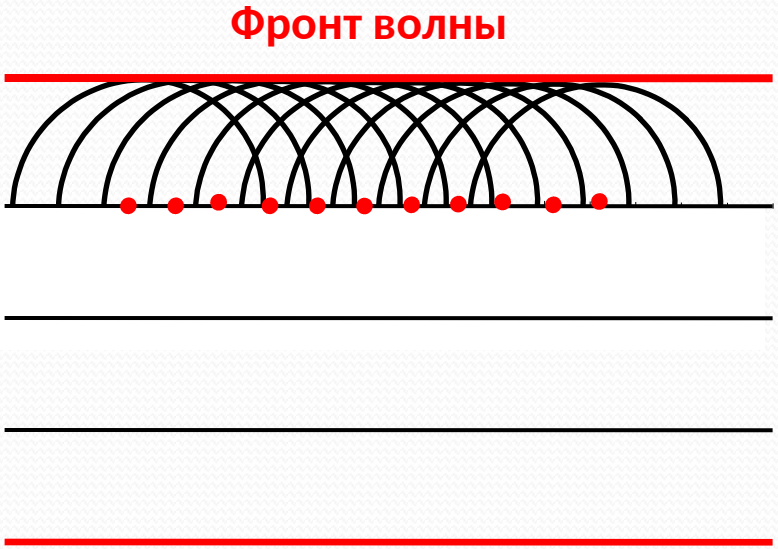
Электромагнитные волны отражаются и преломляются на границе раздела двух диэлектриков

Принцип Гюйгенса

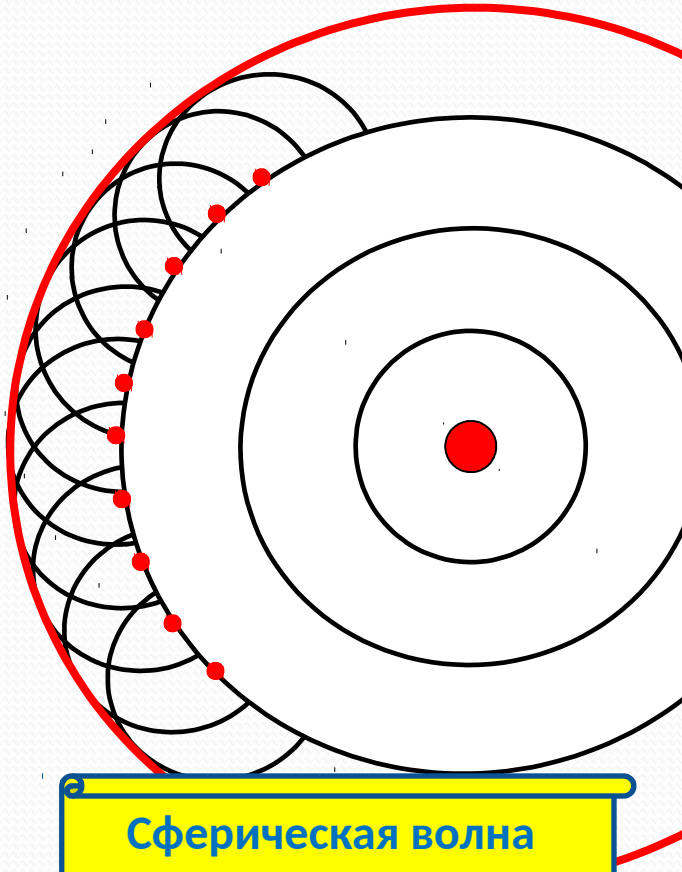


1678 г.

Каждая точка фронта волны является источником вторичных волн. Поверхность, огибающая вторичные волн, определяет положение фронта волны в данный момент времени



Плоская волна



Сферическая волна

Основные понятия

Опр. **Границей раздела двух сред** - это поверхность, разделяющую две однородные, изотропные среды (I и II).

Опр. **Световой луч** – нормаль восстановленная к волновым поверхностям электромагнитной волны в направлении ее распространения.

Опр. **Падающий луч** - луч света, идущий от источника света, к границе в среде I .

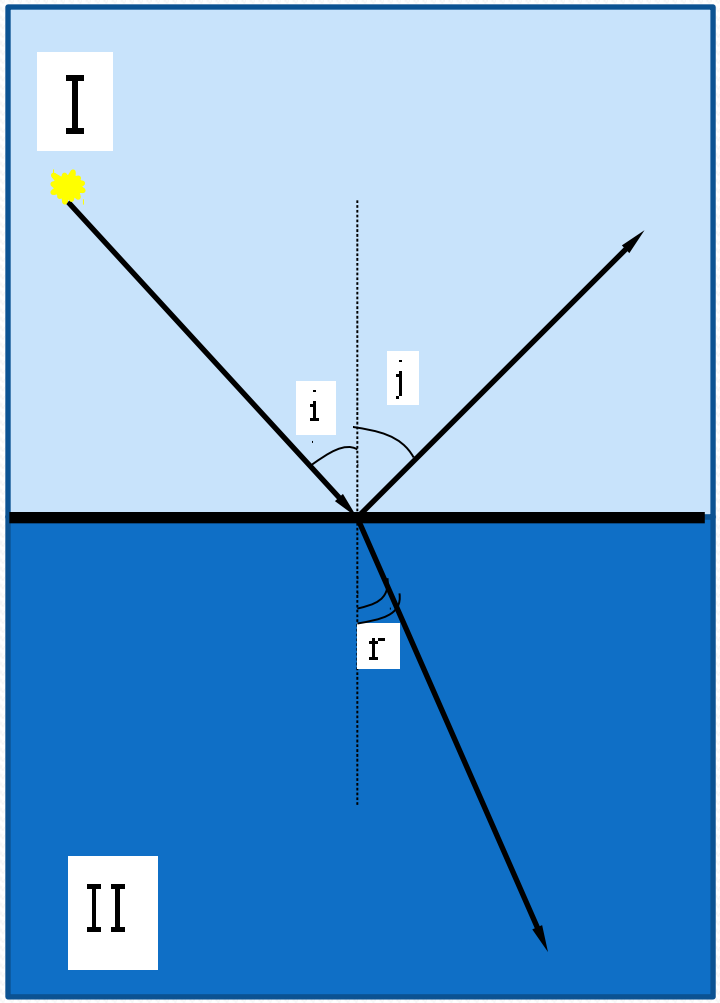
Опр. **Отраженный луч** - луч, остающийся в среде I после взаимодействия с границей в точке падения.

Опр. **Преломленный луч** – луч, проходящий во II среду после взаимодействия с границей в точке падения.

Опр. **Угол падения** – это угол между лучом падающим и перпендикуляром, восстановленным к границе двух сред в точке падения.

Опр. **Угол отражения** – это угол между лучом отраженным и перпендикуляром к границе двух сред в точке падения.

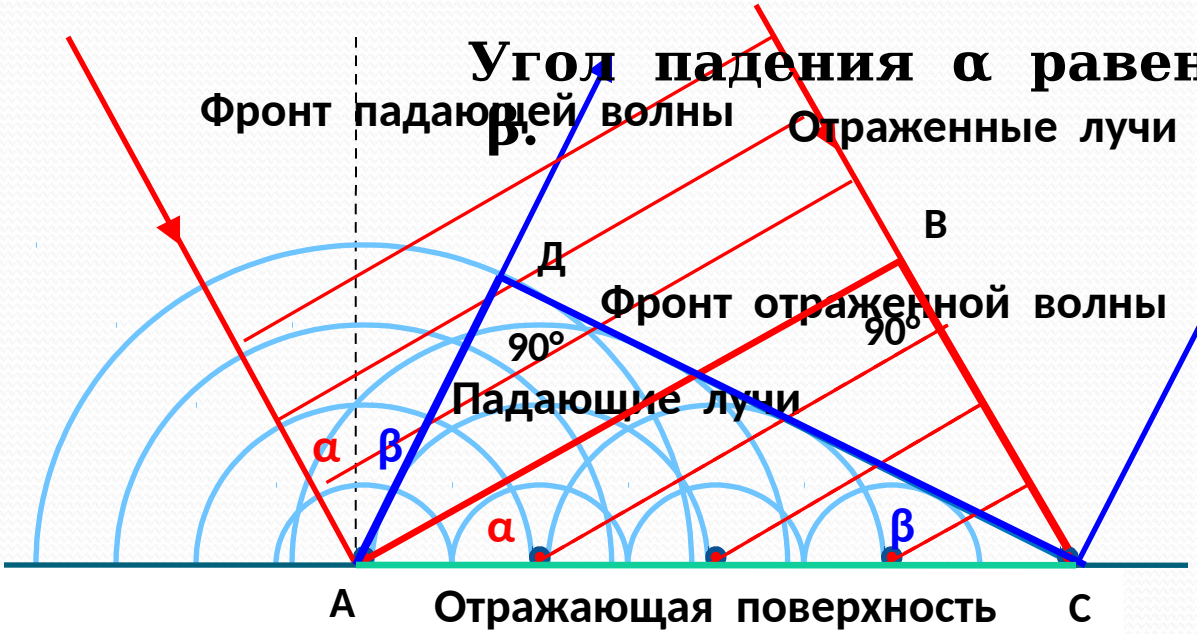
Опр. **Угол преломления** – угол между лучом преломленным и перпендикуляром к границе двух сред в точке падения.



Закон отражения волн

Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, восставленный в точке падения к отражающей поверхности, лежат в одной плоскости.

Угол падения α равен углу отражения β.



К моменту времени, когда точка В фронта волны попадает в точку С, вторичная волна из точки А распространяется на расстояние АД, при этом

ВС = АД

Рассмотрим треугольники АВС и АДС.

Эти треугольники прямоугольные и имеют углы, соответственно равные α и β

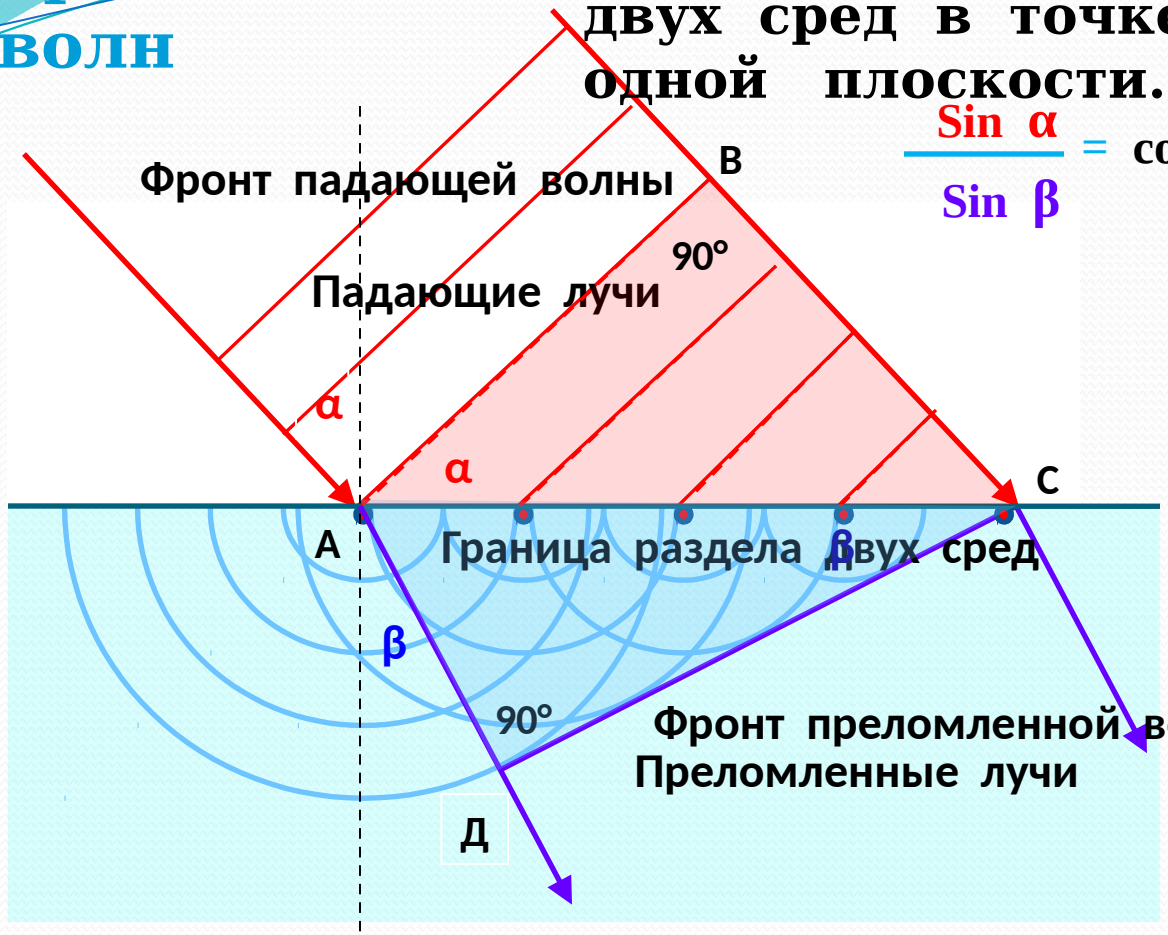
Треугольники равны по трем признакам.

Следовательно углы α и β равны

Закон преломления волн

Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр к границе раздела двух сред в точке падения лежат в одной плоскости.

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \text{const}$$, для данных двух сред.



К моменту времени, когда точка В фронта волны попадает в точку С, вторичная волна из точки А распространяется на расстояние АД
При этом $BC = V_1 \cdot t$ $АД = V_2 \cdot t$

Рассмотрим треугольники
АВС и АСД.

Эти треугольники прямоугольные, с общей стороной и имеют соответственно углы α и β.

$$\sin\alpha = \frac{BC}{AC}$$

$$\sin\beta = \frac{АД}{AC}$$

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{V_1}{V_2} = \text{const}$$

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}$$, где n_1 и n_2 абсолютные показатели преломления данных сред.

Опр. Абсолютный показатель преломления – физическая величина, характеризующая изменение скорости электромагнитной волны в среде относительно вакуума:

$$n_1 = \frac{c}{V_1}; n_2 = \frac{c}{V_2}$$

Опр. Относительный показатель преломления - физическая величина, характеризующая изменение скорости электромагнитной волны в во второй среде по отношению скорости волны в первой среде:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\boldsymbol{V_1}}{\boldsymbol{V_2}}$$

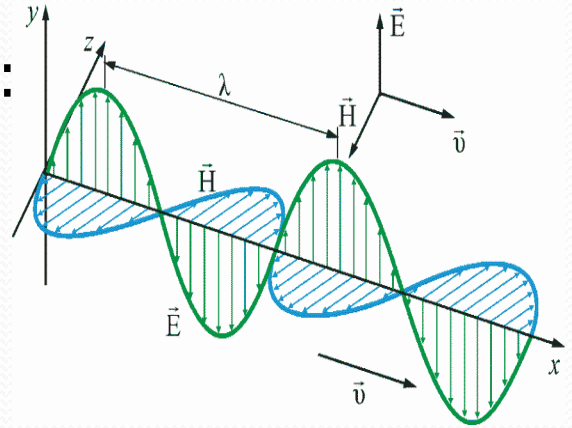
Свойство электромагнитных волн 3.

Электромагнитные волны способны интерферировать

Уравнение электромагнитной волны:

$$E_y(x,t) = E_0 cos(\omega t - kx + \varphi_0)$$

$$H_z(x,t) = H_0 cos(\omega t - kx + \varphi_0)$$



Опр. **Когерентные волны** – волны, разность фаз которых остается постоянное во времени.

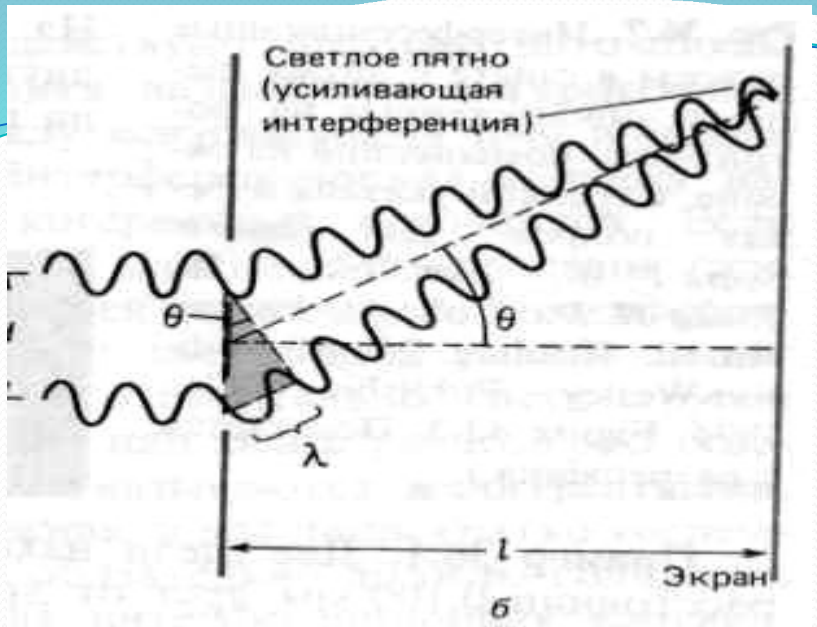
Опр. **Интерференция** – физическое явление, при котором наблюдается усиление или ослабление результирующей волны при сложение двух и более когерентных волн.

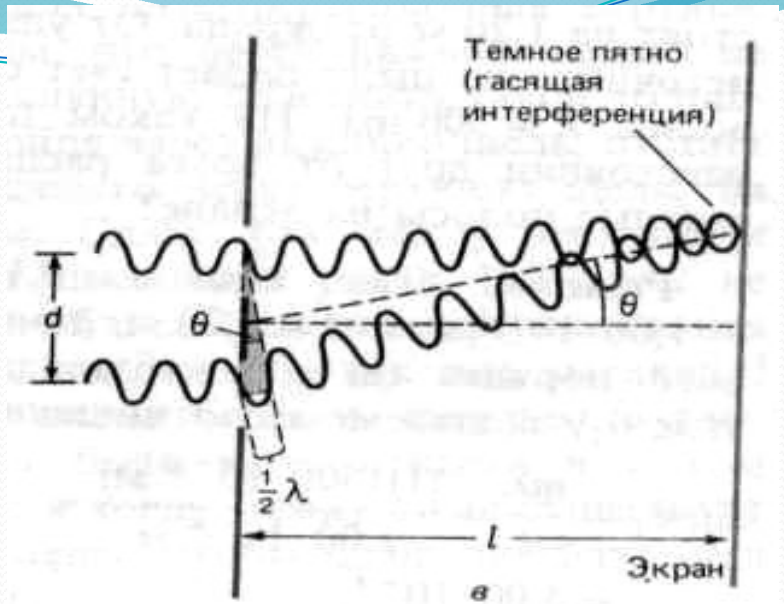
Условия наблюдения интерференционного минимума

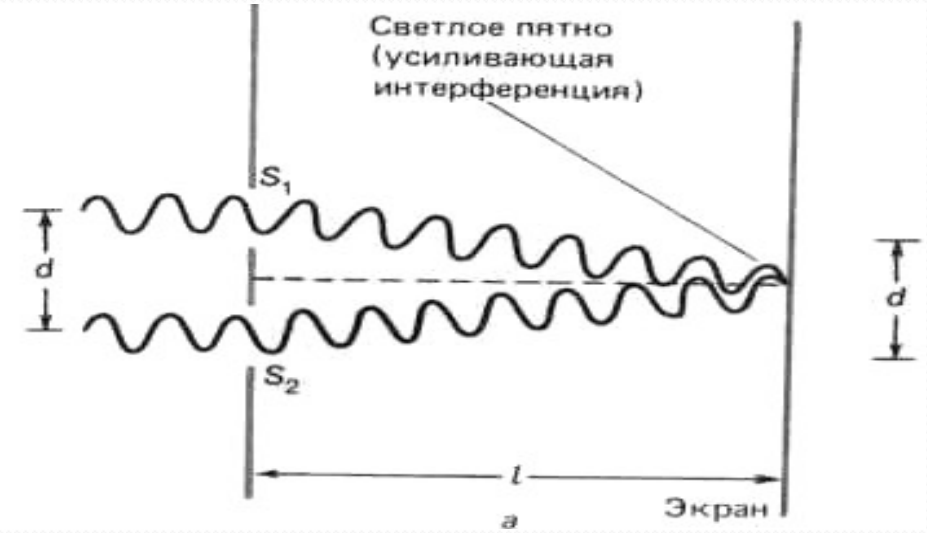
$$\Delta = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{2}$$

Условия наблюдения интерференционного максимума

$$\Delta = \pm m\lambda$$

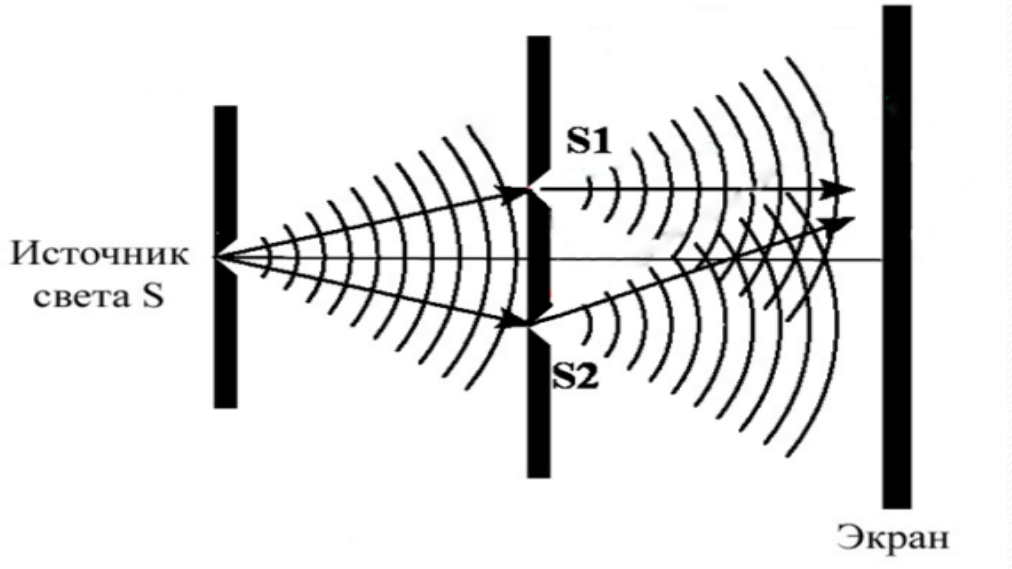

Светлое пятно
(усиливающая
интерференция)
θ
θ
λ
l
Экран
б


Темное пятно
(гасящая
интерференция)
d
θ
θ
½λ
l
Экран
в

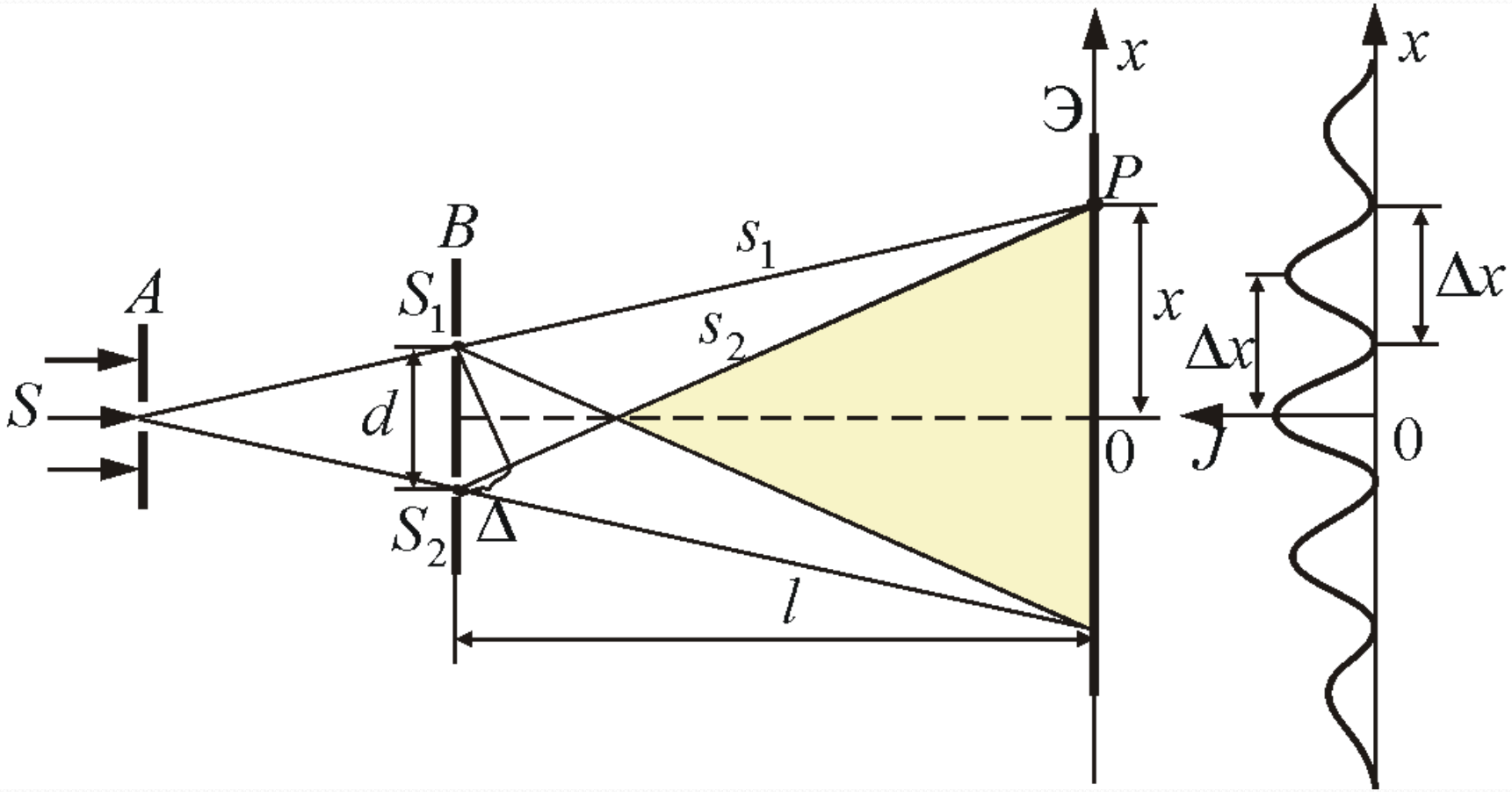

Светлое пятно
(усиливающая
интерференция)
S1
S2
d
d
l
Экран
а

Гипотеза Юнга

Так как явление интерференции не может наблюдаться при сложении световых волн от двух независимых источников, то возможно будет иметь место явление интерференции при сложении двух световых волн, полученных в результате разделения волны одного источника све



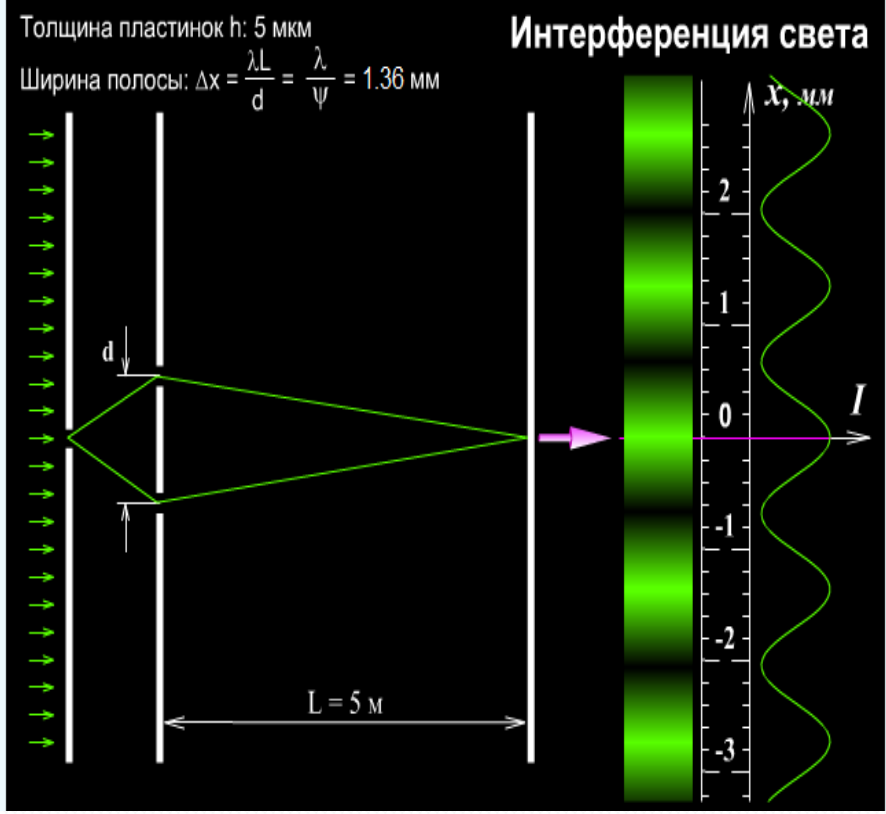
Интерференция в Опыте Юнга



асстояние *l* от щелей, причем $l >> d$

Выводы:

1. Явление интерференции может наблюдаться при сложении двух световых волн, полученных в результате разделения волны, идущей от одного источника света



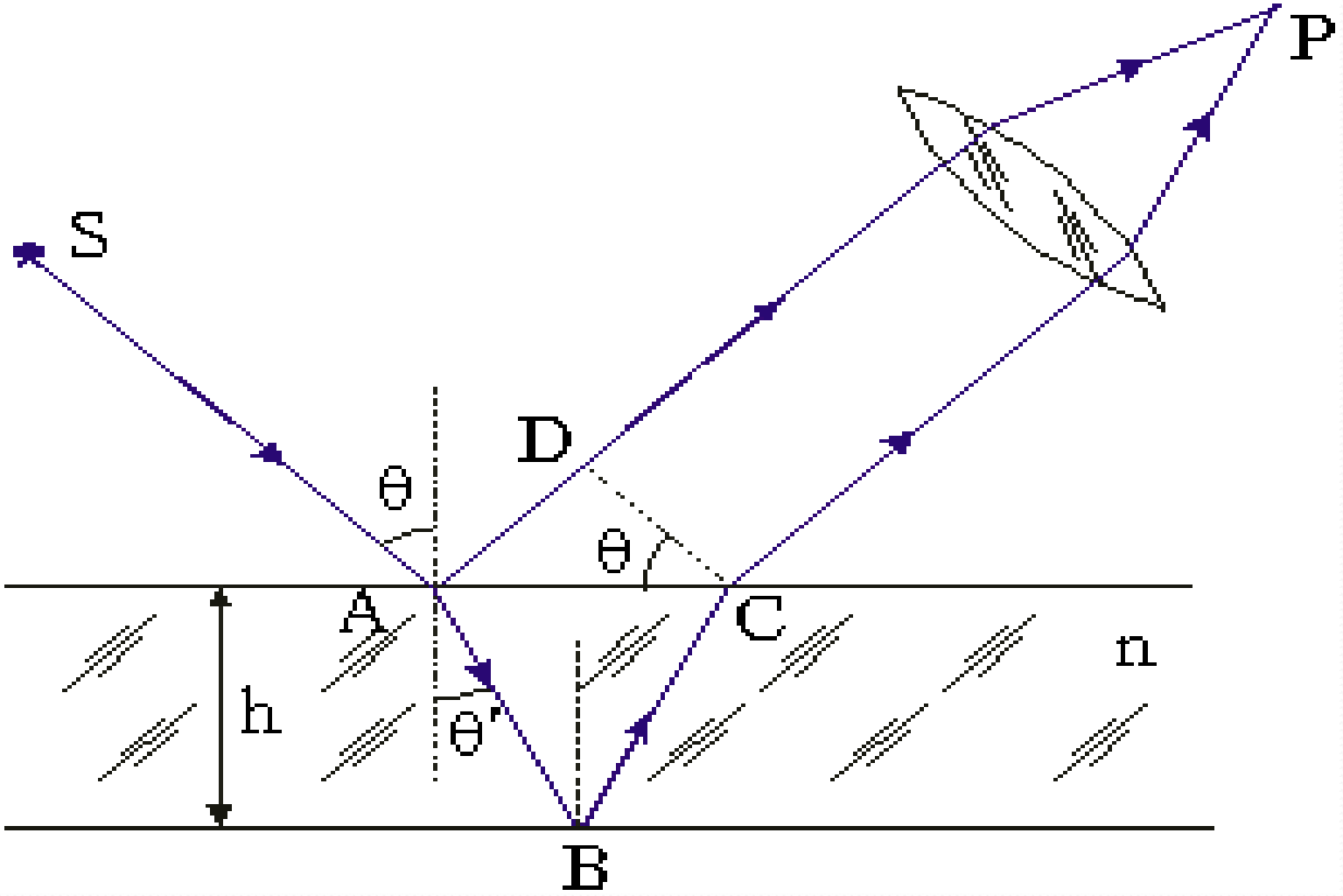
2. Интерференционная картина зависит от расстояния между экраном и источниками когерентных волн (щелями)

$$\Delta x = \frac{l}{d} \cdot \lambda$$

Гипотеза

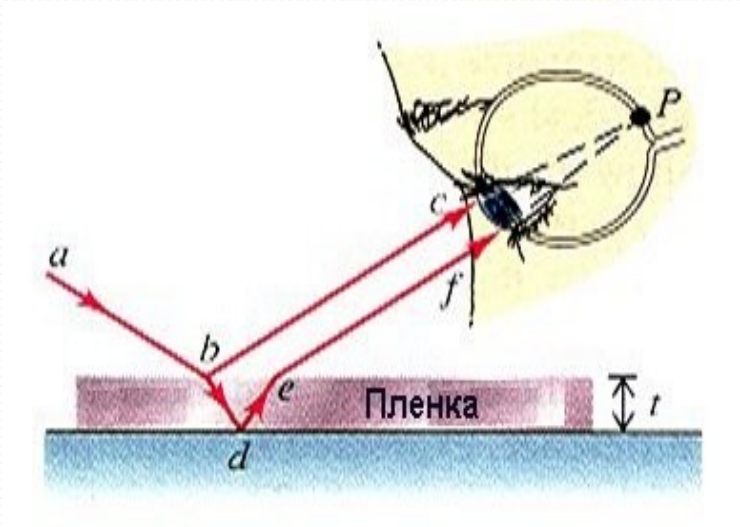
Так как явление интерференции не может наблюдаться при сложении световых волн от двух независимых источников, то возможно будет иметь место явление интерференции при сложении волн отраженных от пластики равной толщины с показателем преломления, отличающимся от показателя преломления среды распространения световой волны

Интерференция в тонких пленках равной толщины



Выводы:

1. При отражении световой волны от тонкой плоскопараллельной пластинки может наблюдаться явление интерференции



4. Условия наблюдения интерференционного максимума:

$$2d\sqrt{n^2 - sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = \pm m\lambda$$

5. Условия наблюдения интерференционного минимума:

$$2d\sqrt{n^2 - sin^2 i} = \pm(2m + 1)\frac{\lambda}{2}$$

Области применения явления интерференции

1.Контроль ровности поверхности:

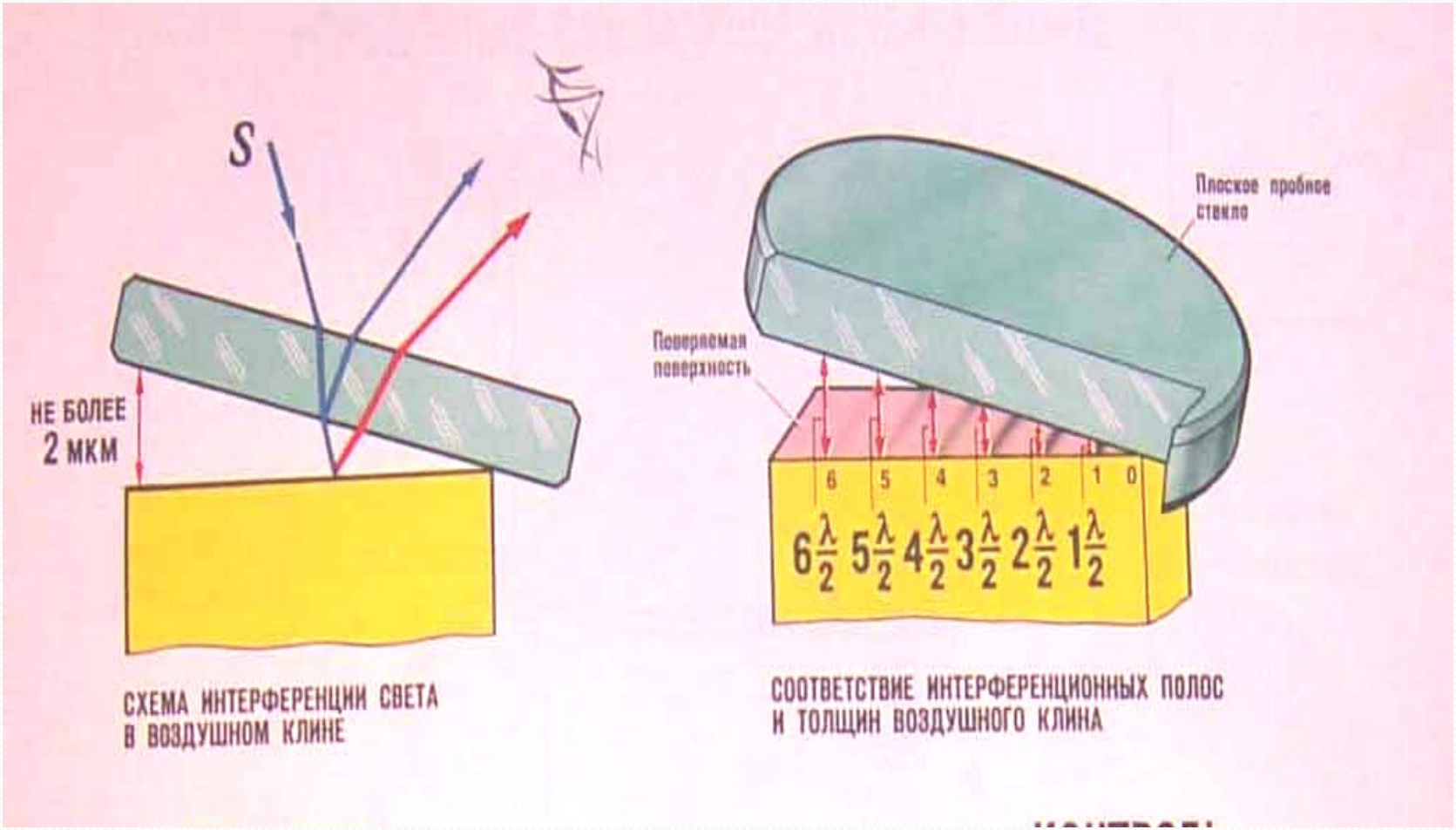
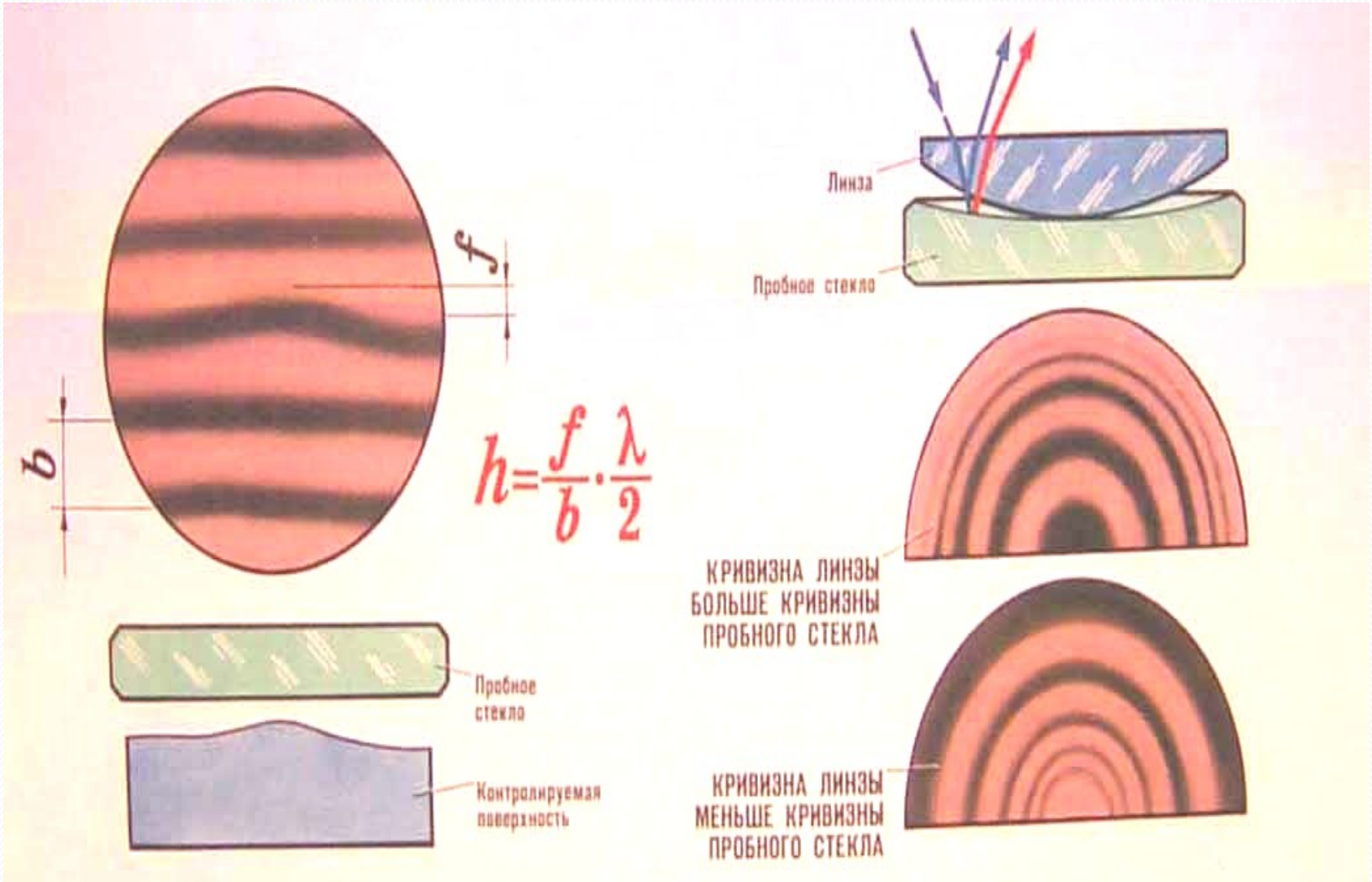


СХЕМА ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА В ВОЗДУШНОМ КЛИНЕ

СООТВЕТСТВИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ПОЛОС И ТОЛЩИН ВОЗДУШНОГО КЛИНА

2. Контроль кривизны поверхности

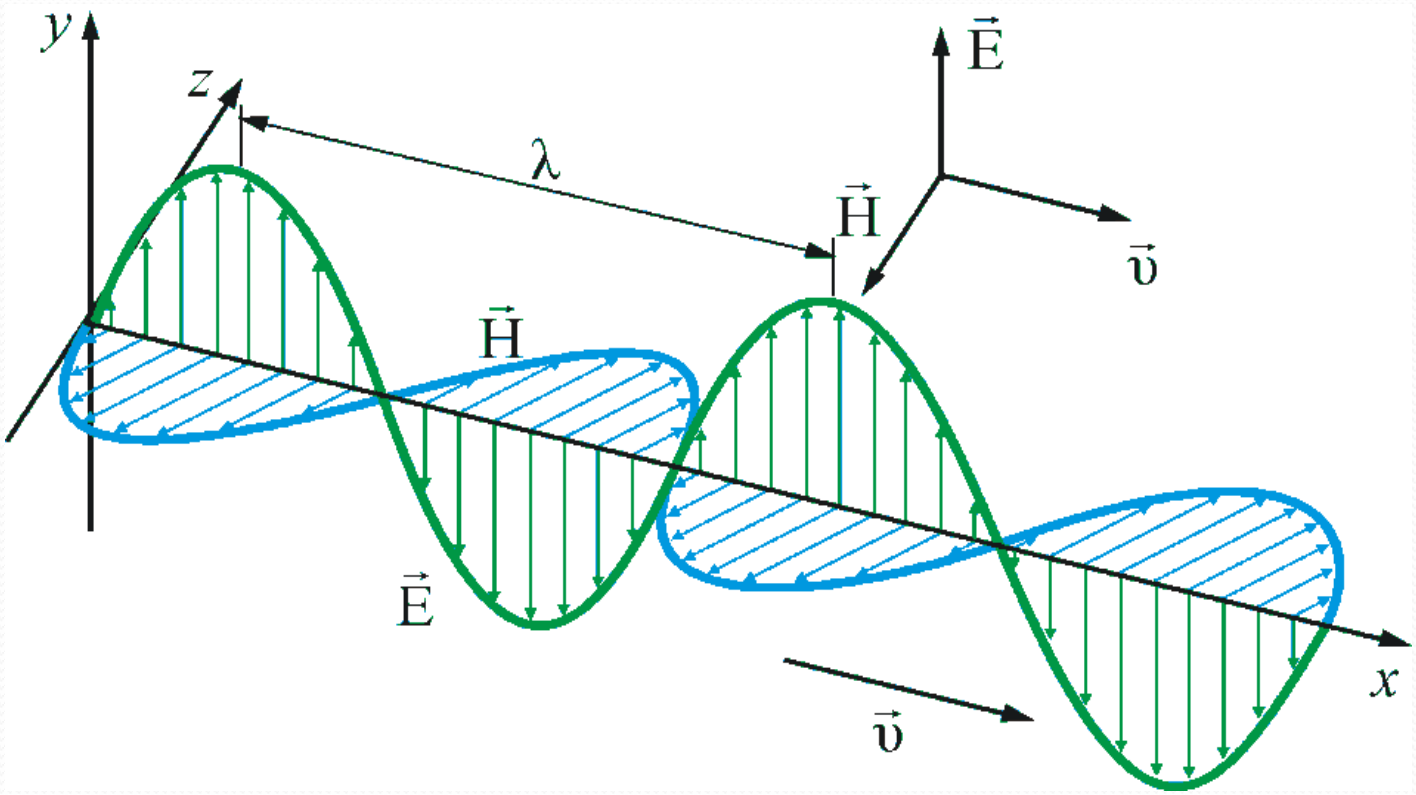


3. Просветляющие поверхности, светофильтры

Свойство электромагнитных волн 4 : поляризация

В электромагнитной волне вектора и перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны .

Во всех процессах взаимодействия света с веществом основную роль играет электрический вектор поэтому его называют *световым вектором*.



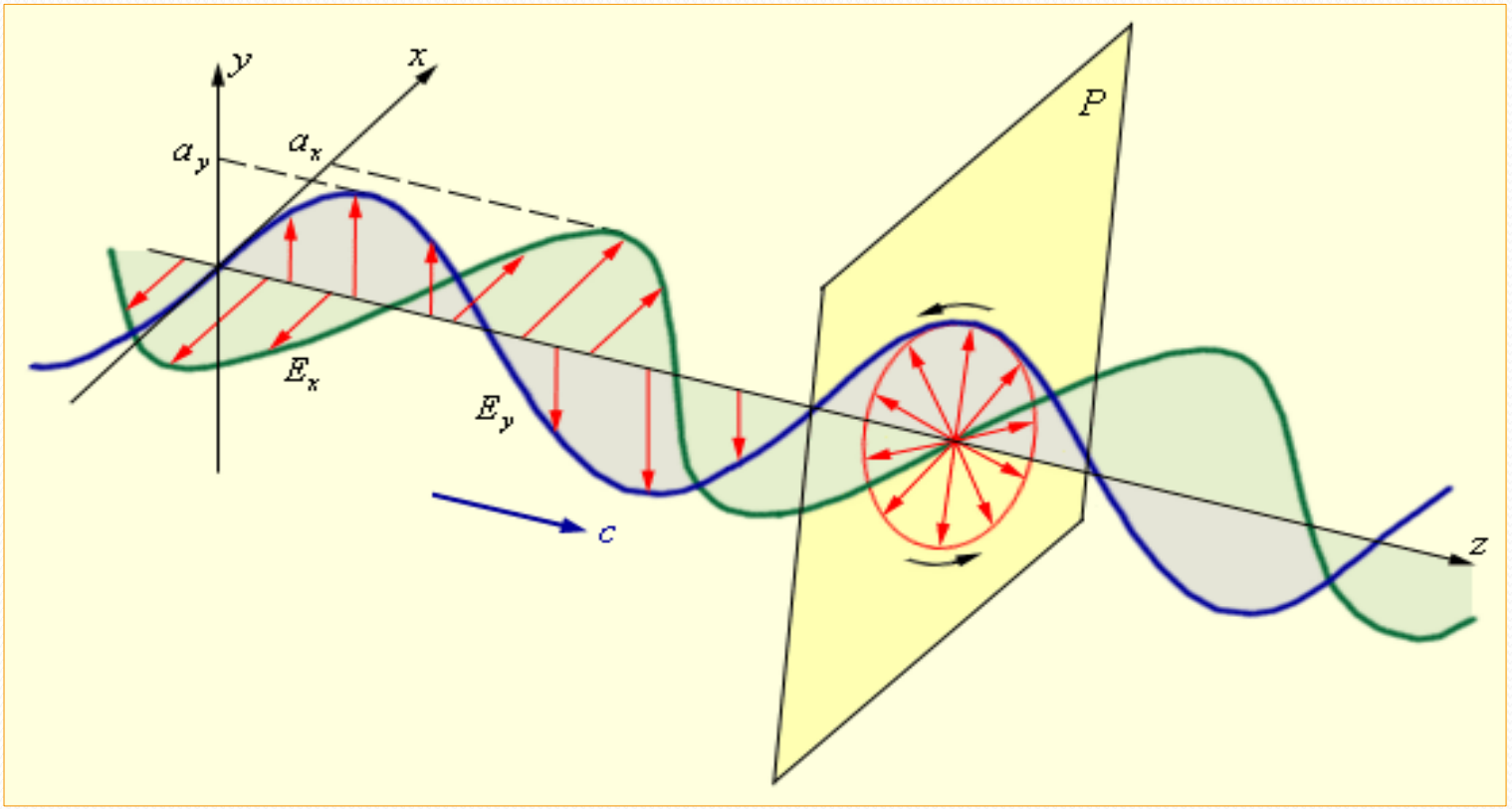
ет источника – излучение огромного числа его атомов и молекул

Световая волна является суперпозицией волн, излучаемых каждым атомом в отдельности

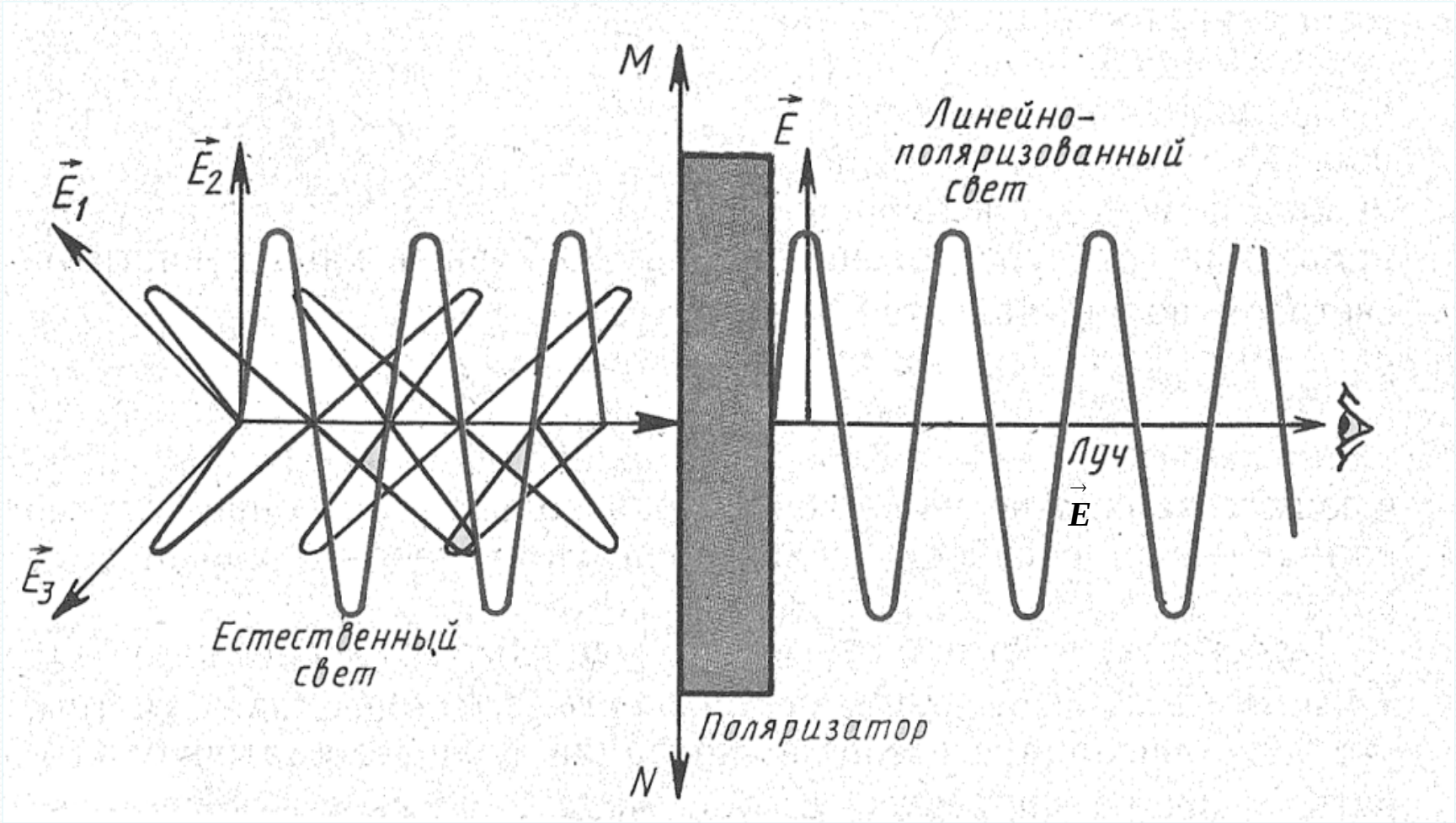
$\vec{E}$ колеблется перпендикулярно световому лучу в любых направлениях

Естественный (неполяризованный) свет

<u>Опр.</u> Естественная световая волна - волна с колебаниями по всем направлениям, перпендикулярным направлению распространения

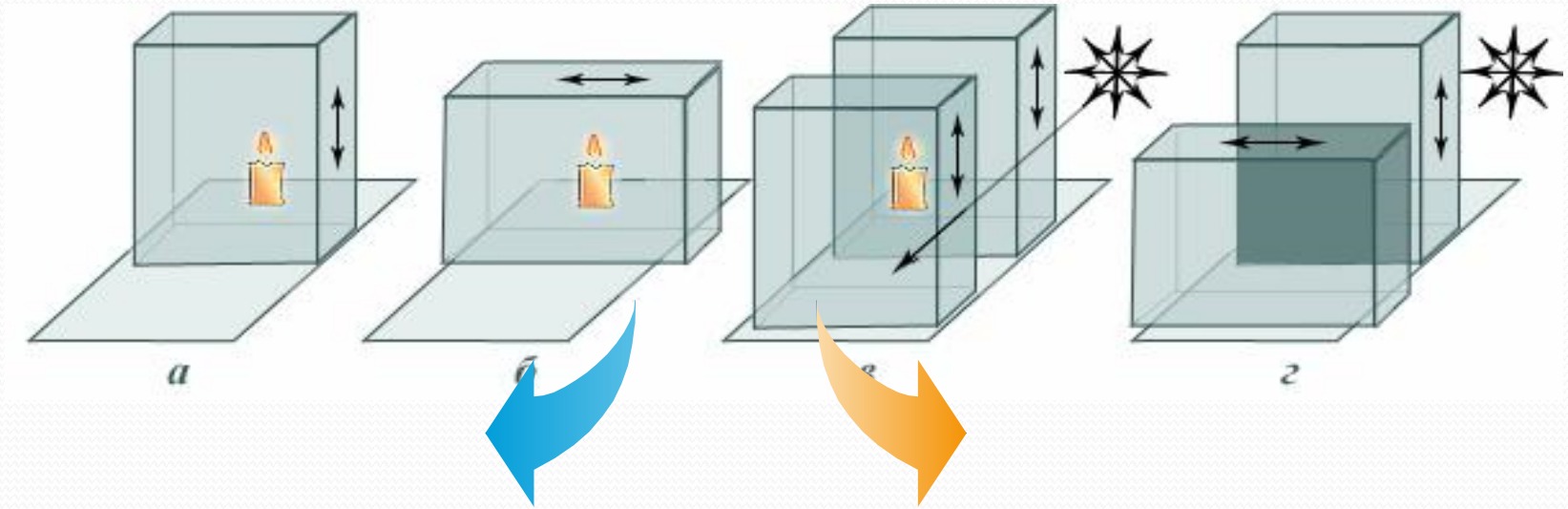


Опр. Поляризация – физическое явление, при котором наблюдается упорядочивание направления колебаний светового вектора



Опр. Поляризатор – устройство, выделяющее одно из всех направлений колебаний вектора

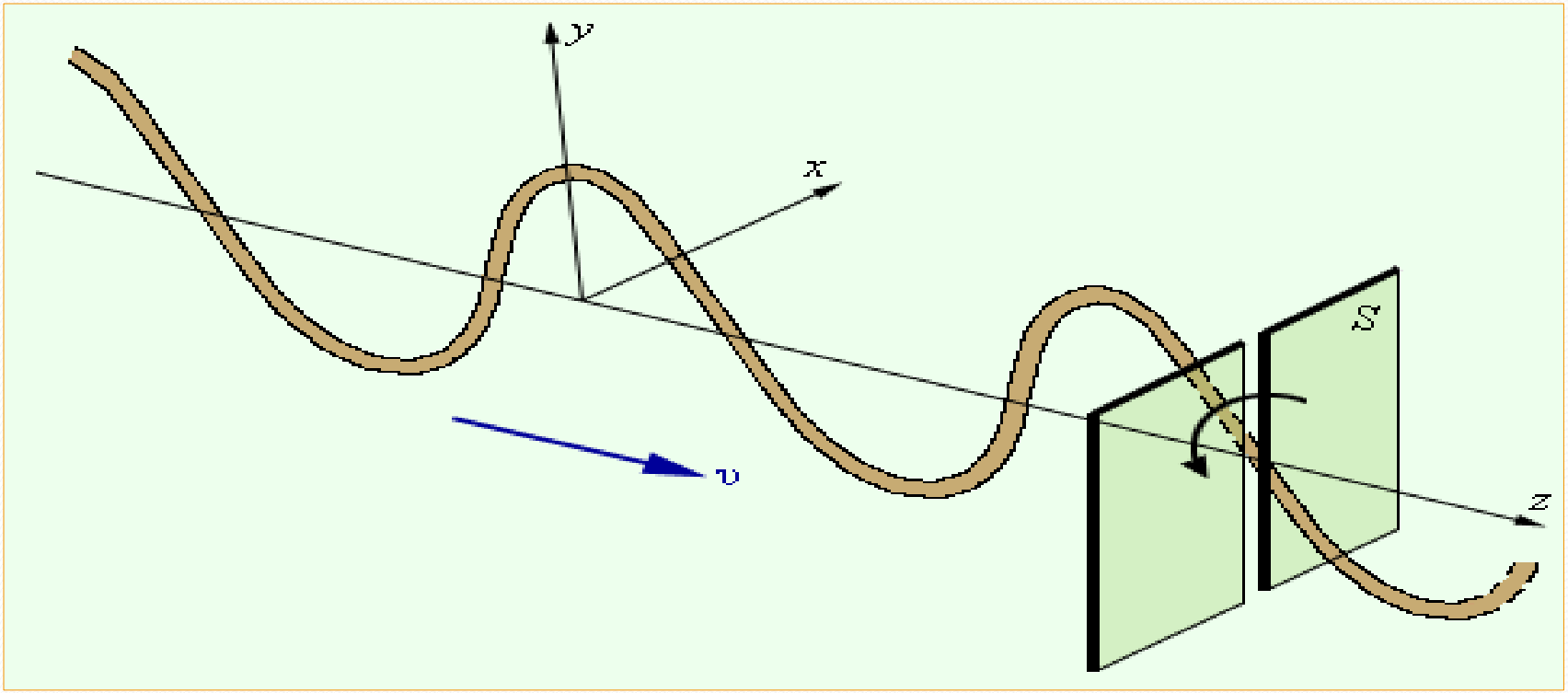
Опыты с кристаллами турмалина

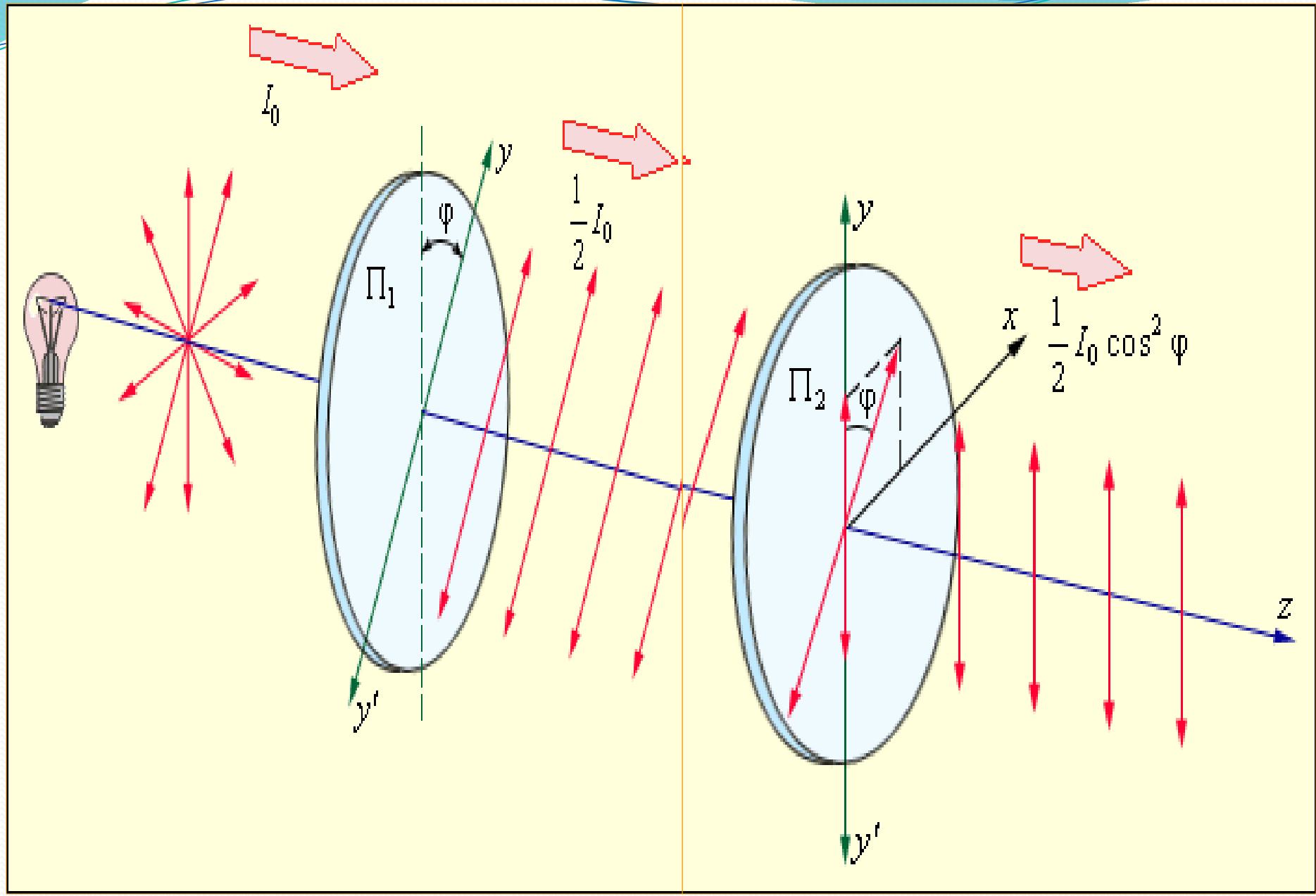


Кристалл турмалина преобразует естественный свет в плоскополяризованный

Опыт обнаруживает поперечность световых волн

Вывод. Поляризатор (кристалл турмалина) обладает способностью пропускать световые волны с колебаниями, лежащими в одной определенной плоскости (поляризованный свет), следовательно он преобразует естественный свет в плоскополяризованный




I_0
y
φ
Π_1
$\frac{1}{2} I_0$
y'
y
x
$\frac{1}{2} I_0 \cos^2 \varphi$
Π_2
φ
z
y'

Опр. Дихроизм - физическое явление, при котором наблюдается зависимость поглощения света от направления электрического вектора в световой волне (турмалин).

Опр. Разрешенным направлением пластинки называется направление колебаний электрического вектора в прошедшей волне называется.

Опр. Анализатор - пластинка турмалина, применяемая для анализа характера поляризации света.

Опр. Поляроиды - искусственные дихроичные пленки, которые почти полностью пропускают волну разрешенной поляризации и не пропускают волну, поляризованную в перпендикулярном направлении.

Свойство электромагнитных волн 5: дифракция **разобрать самостоятельно !**