

## ТЕМА: Поляризация света

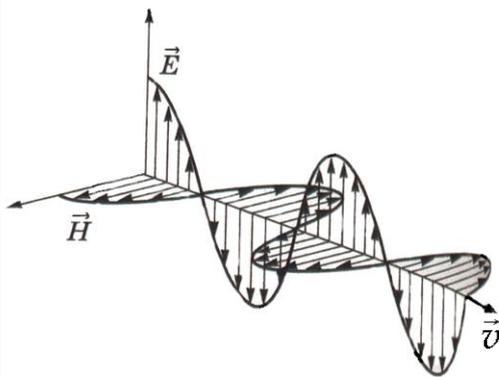
**Поляризацией света** называется физическая характеристика оптического излучения, которая описывает поперечную анизотропию световых волн.

Иногда **поляризацией света** называют процесс получения поляризованного света из естественного или частично поляризованного.

### Свет и его природа

**Светом** называются электромагнитные волны с длиной волны от 380 нм до 760 нм, воспринимаемые органами зрения человека (1 нм (нанометр) =  $10^{-9}$  м).

**Электромагнитной волной** называется распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле.



**Рис. 1** Распределение проекций векторов  $E$  и  $H$  в электромагнитной волне по направлению её распространения

В электромагнитной волне вектора напряжённости электрического поля  $\vec{E}$  и напряжённости магнитного поля  $\vec{H}$  колеблются синфазно (то есть одновременно достигают максимальных и минимальных значений) во взаимно перпендикулярных плоскостях (то есть  $\vec{E} \perp \vec{H}$ ) и одновременно перпендикулярно вектору скорости  $\vec{v}$  распространения волны (то есть

$\vec{E} \perp \vec{v}$  и  $\vec{H} \perp \vec{v}$ ). Причём в любой момент времени выполняется условие

$$\varepsilon \varepsilon_0 E^2 = \mu \mu_0 H^2,$$

где  $\varepsilon$  (эпсилон) - диэлектрическая проницаемость вещества, в котором распространяется электромагнитная волна, безразмерная;

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}} - \text{электрическая постоянная};$$

$$E - \text{напряжённость электрического поля волны, } \frac{\text{В}}{\text{м}};$$

$\mu$  (мю) - магнитная проницаемость вещества, в котором распространяется электромагнитная волна;

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}} - \text{магнитная постоянная};$$

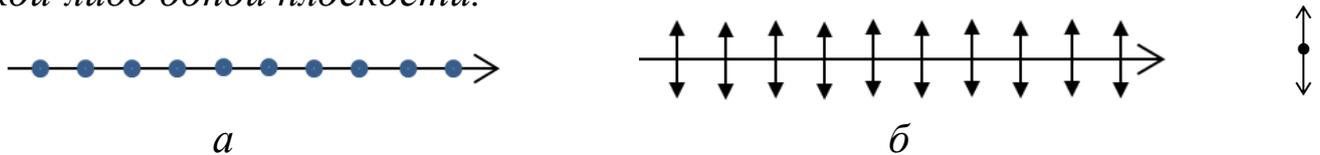
$$H - \text{напряжённость магнитного поля волны, } \frac{\text{А}}{\text{м}}.$$

## Виды поляризованного света

**Поляризованным** называется свет, в котором направления колебаний вектора  $\vec{E}$  каким-либо образом упорядочены.

Различают три вида поляризованного света: плоскополяризованный, эллиптически-поляризованный и циркулярно поляризованный свет.

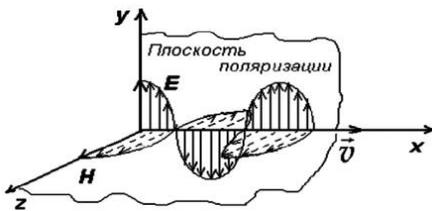
**Плоскополяризованным** или **линейно-поляризованным** называется свет, при распространении которого вектор  $\vec{E}$  колеблется всё время в какой-либо одной плоскости.



**Рис. 2** Изображение **плоскополяризованного** света на чертежах

- Если вектор  $\vec{E}$  плоскополяризованного света колеблется в плоскости перпендикулярной плоскости падения света, то на чертежах он изображается точками •• (см. рис.2 (а)).
- Если вектор  $\vec{E}$  плоскополяризованного света колеблется в плоскости падения света, то на чертежах он изображается чёрточками  $\uparrow\downarrow$  (см. рис.2 (б)).

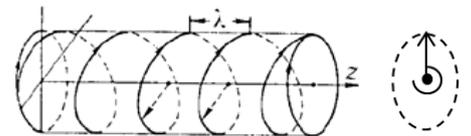
**Плоскостью падения света** называется плоскость, проходящая через падающий луч и перпендикуляр, восстановленный в точку падения к границе раздела двух сред.



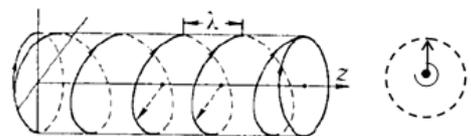
(этот рисунок можете не делать)

**Плоскостью поляризации света** называется плоскость, проходящая через направление колебаний вектора  $\vec{E}$  плоскополяризованного света и направление распространения этой волны.

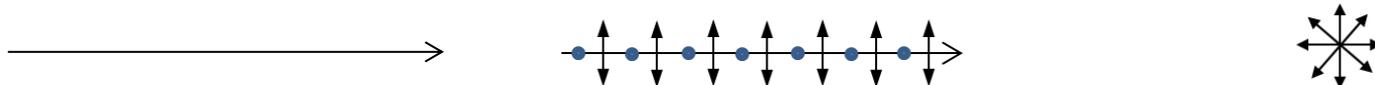
**Эллиптически-поляризованным** называется свет, при распространении которого, конец вектора  $\vec{E}$  описывает эллипс.



**Циркулярно поляризованным** или **поляризованным по кругу** называется свет, при распространении которого, конец вектора  $\vec{E}$  описывает окружность.



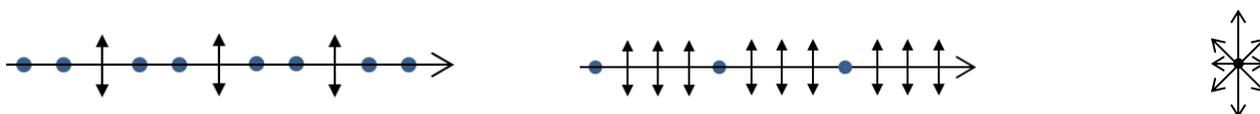
**Естественным** или **неполяризованным** называется свет, при распространении которого в каждый момент времени направление колебаний вектора  $\vec{E}$  непредсказуемо и все направления перпендикулярные распространению световой волны оказываются равновероятными.



**Рис. 3** Изображение *естественного* света на чертежах

Чаще всего имеется какое-либо преимущественное направление колебаний вектора  $\vec{E}$ .

**Частично поляризованным** называется свет, при распространении которого, вектор  $\vec{E}$  колеблется в каком-либо преимущественном направлении.



**Рис. 4** Изображение *частично поляризованного* света на чертежах

Для получения и анализа поляризованного света применяют специальные приборы: **поляризаторы** и **анализаторы**.

**Поляризатором** называется устройство для получения поляризованного света.

Человеческий глаз не отличает естественный свет от поляризованного, поэтому для анализа поляризации света используют устройство, называемое **анализатором**.

**Анализатором** называется устройство для анализа вида и степени поляризации поляризованного света.

**Степенью поляризации света** называется скалярная величина, равная

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}},$$

где  $I_{max}$  и  $I_{min}$  соответственно максимальная и минимальная интенсивности света, пропускаемого анализатором.

- для естественного света  $I_{max} = I_{min}$  и, следовательно,  $P = 0$ ,
- для линейно поляризованного света  $I_{min} = 0$  и, следовательно,  $P = 1$ ,
- для частично поляризованного света  $I_{max} \neq I_{min}$  и, следовательно,  
 $0 < P < 1$ .

**Главной плоскостью поляризатора** (плоскостью пропускания поляризатора) называется плоскость, в которой колеблется вектор  $\vec{E}$ , после прохождения через поляризатор линейно-поляризованного света.

(аналогичное определение для главной плоскости анализатора).

### Способы получения линейно поляризованного света

Для получения полностью или частично поляризованного света обычно используют одно из трёх физических явлений:

- поляризация света при его отражении и преломлении на границе раздела двух диэлектриков,
- явление двойного лучепреломления,
- явление линейного дихроизма.

### Поляризация света при его отражении и преломлении на границе раздела двух диэлектриков

При падении естественного света на границу двух диэлектриков (например, воздух и стекло), отражённый и преломлённый лучи оказываются частично поляризованными во взаимно перпендикулярных направлениях, причём, в отражённом луче вектор  $\vec{E}$  совершает колебания преимущественно в плоскости перпендикулярной плоскости падения света, а в преломлённом луче, преимущественно в плоскости падения света.

**Плоскостью падения света** называется плоскость, проходящая через падающий луч и перпендикуляр, восстановленный в точку падения к границе раздела двух сред.

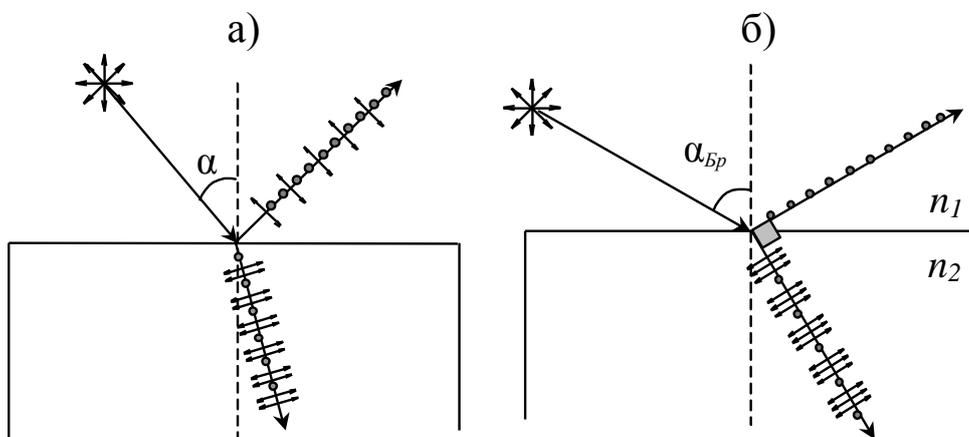


Рис. 6

Степень поляризации  $P$  этих лучей зависит от их угла падения  $\alpha$  на диэлектрик.

Сначала степень поляризации  $P$  монотонно возрастает с увеличением угла падения  $\alpha$  (см. случай а) на рис. 6 и достигает своего максимального значения  $P_{max}$  при угле  $\alpha_{Br}$ , называемом **углом Брюстера** (см. случай б) на рис. 6), а затем монотонно убывает.

При падении естественного света под углом Брюстера  $\alpha_{Br}$  отражённый луч оказывается линейно поляризованным (то есть  $P = 1$ ), а преломлённый луч достигает своей максимальной степени поляризации (то есть  $P_{max}$ ) и оказывается перпендикулярным к отражённому лучу (см. рис. 6 случай б)).

Угол Брюстера  $\alpha_{Br}$ , при котором наблюдается линейная поляризация отражённого от границы раздела двух диэлектриков света, определяется по **закону Брюстера**:

Тангенс угла Брюстера  $tg \alpha_{Br}$  равен относительному показателю преломления  $n_{21}$  второй среды относительно первой:

$$tg \alpha_{Br} = n_{21},$$

где  $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$  — относительный показатель преломления второй среды

относительно первой,

а  $n_1$  и  $n_2$  — абсолютные показатели преломления первой и второй среды соответственно.

### Явление двойного лучепреломления

**Двойным лучепреломлением** называется явление раздвоения падающего на анизотропную среду (например, на прозрачный кристалл) светового луча, обусловленное зависимостью скорости распространения света в этой среде (т.е. показателя преломления среды  $n$ ) от направления колебания вектора  $\vec{E}$  в световой волне.

У кристаллов, обладающих двойным лучепреломлением, существует одно (**одноосные кристаллы**) или два (**двуосные кристаллы**) направления, в которых раздвоения луча не происходит. Это направление называется **оптической осью кристалла**.

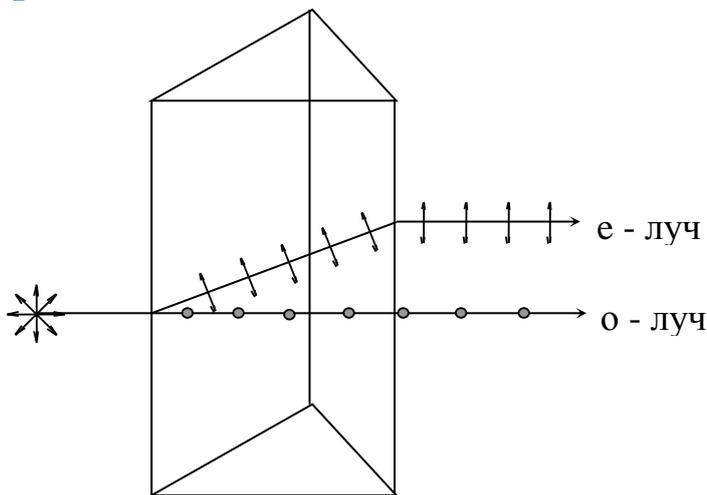


Рис. 7

При падении неполяризованной световой волны на одноосный кристалл она расщепляется на два луча со взаимно перпендикулярными плоскостями поляризации.

Один из лучей имеет плоскость поляризации перпендикулярную главному сечению кристалла и подчиняется законам геометрической оптики (этот луч называют **обыкновенным** и обозначают **o - лучом**), а другой луч имеет плоскость поляризации параллельную главному

сечению кристалла и не подчиняется законам геометрической оптики (поэтому этот луч называют **необыкновенным** и обозначают **e - лучом**).

Таким образом, при выходе из кристалла оба луча оказываются линейно поляризованными во взаимно перпендикулярных плоскостях.

**Главным сечением кристалла** называется плоскость, проходящая через направление падающего светового луча и оптическую ось кристалла.

## Явление линейного дихроизма

**Линейным дихроизмом** называется явление, при котором среды, обладающие двойным лучепреломлением, неодинаково поглощают лучи с разными плоскостями поляризации.

Например, пластинка из кристалла **турмалина** толщиной всего в 1 мм пропускает свет уже только одного направления колебаний вектора  $\vec{E}$  и полностью поглощает свет всех других направлений.

Поэтому такие пластинки раньше использовали в качестве поляризаторов.

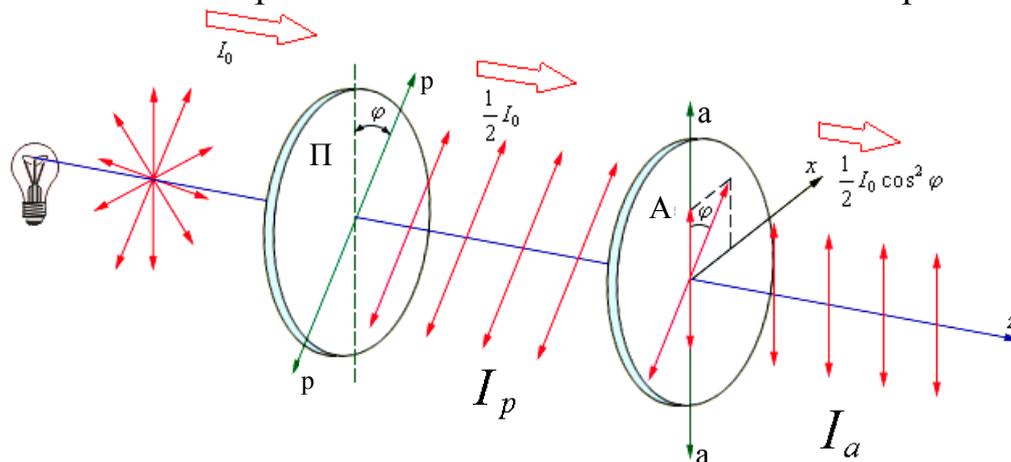


Рис. 8

На рис. 8 поляризатор  $\Pi$  преобразует падающий на него естественный свет интенсивностью  $I_0$  в плоскополяризованный, интенсивность которого при прохождении через поляризатор уменьшается в два раза, то есть,  $I_p = \frac{1}{2} I_0$ , а затем этот свет проходит через анализатор  $A$ , который, в свою очередь ослабляет свет ещё в  $\cos^2 \varphi$ , где  $\varphi$  (фи) - это угол между главными плоскостями поляризатора  $p - p$  и анализатора  $a - a$ .

Интенсивность света, прошедшего через анализатор  $I_a$ , можно определить по **закону Малюса**:

*Интенсивность света, прошедшего через анализатор  $I_a$ , равна интенсивности линейно поляризованного света, падающего на анализатор  $I_p$ , умноженной на квадрат косинуса угла  $\cos^2 \varphi$  между плоскостью поляризации падающего на анализатор света и плоскостью пропускания анализатора:*

$$I_a = I_p \cos^2 \varphi .$$