

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.

Понятие «поляризация света» ввёл в физику английский учёный И. Ньютон в 1704 г.

Поляризация света нашла своё объяснение в электромагнитной теории света английского физика Дж. Максвелла. Из этой теории следует, что электромагнитная волна является поперечной (см. рис 1).

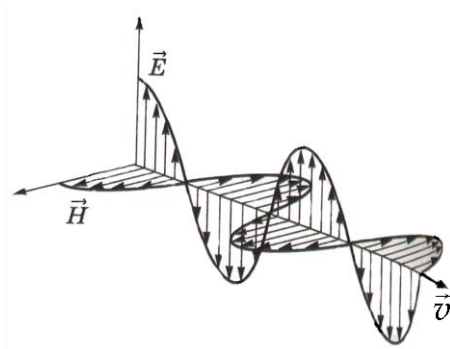


Рис. 1 Распределение проекций векторов E и H в электромагнитной волне по направлению её распространения

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.

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

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

выполняется условие

где ϵ - диэлектрическая проницаемость вещества, в котором распространяется электромагнитная волна;

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}} - \text{электрическая постоянная; } E - \text{напряжённость электрического поля волны, } \frac{B}{\text{м}};$$

μ - магнитная проницаемость вещества, в котором распространяется электромагнитная волна;

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}; H - \text{напряжённость магнитного поля волны, } \frac{A}{\text{м}}.$$

Поскольку $\vec{E} \perp \vec{H}$, то при рассмотрении поляризации света достаточно исследовать поведение лишь одного из них.

Наблюдения показывают, что физиологические, фотохимические, фотоэлектрические и другие свойства света обусловлены колебаниями электрического вектора $\vec{E}$ в световой волне. Поэтому вектор $\vec{E}$ называют обычно **световым вектором** и исследуют только его.

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.

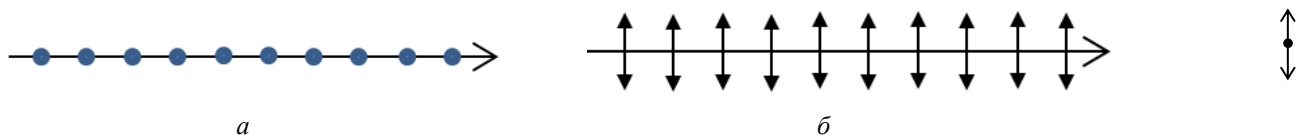


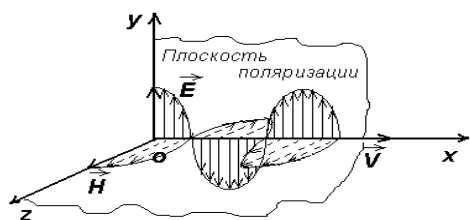
Рис. 2 Изображение **плоскополяризованного** света на чертежах

- 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

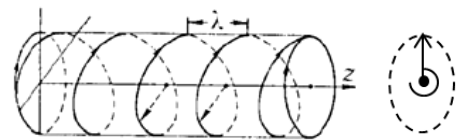
изображается черточками $\updownarrow \updownarrow$ (см. рис.2 (б)).

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

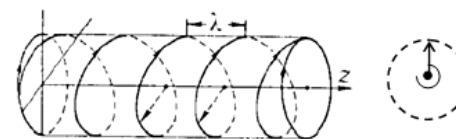


Плоскостью поляризации света называется плоскость, проходящая через направление колебаний вектора $\vec{E}$ плоскополяризованного света и направление распространения этой волны.

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 (круговую поляризацию обнаружил в 1815 г. Био).



Квант света, испускаемый атомом, представляет собой ограниченную в пространстве электромагнитную волну длиной приблизительно 3 метра (так, называемый **цуг** электромагнитного поля) и является линейно поляризованным.

В реальных источниках света одновременно излучают множество атомов, причём каждый атом излучает квант света с произвольной ориентацией вектора $\vec{E}$ и независимо друг от друга. Поэтому в результирующей световой волне направление колебаний вектора $\vec{E}$ в каждый момент времени непредсказуемо и все направления перпендикулярные распространению световой волны оказываются равновероятными.

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.

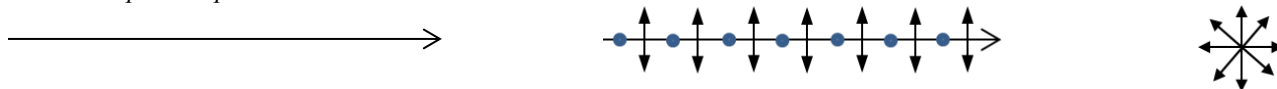


Рис. 3 Изображение **естественного** света на чертежах

Таким образом, естественный или неполяризованный свет можно рассматривать как наложение многих электромагнитных волн, распространяющихся в одном и том же направлении, но со всевозможными ориентациями плоскостей колебаний вектора $\vec{E}$. Для неполяризованного света нельзя указать плоскость преимущественного расположения вектора напряженности электрического поля $\vec{E}$. Все ориентации этого вектора равновероятны.

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.

В этом случае говорят, что свет является в плоскости, проходящей через это направление.

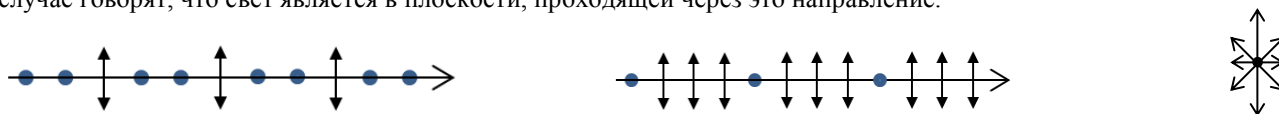


Рис. 4 Изображение **частично поляризованного** света на чертежах

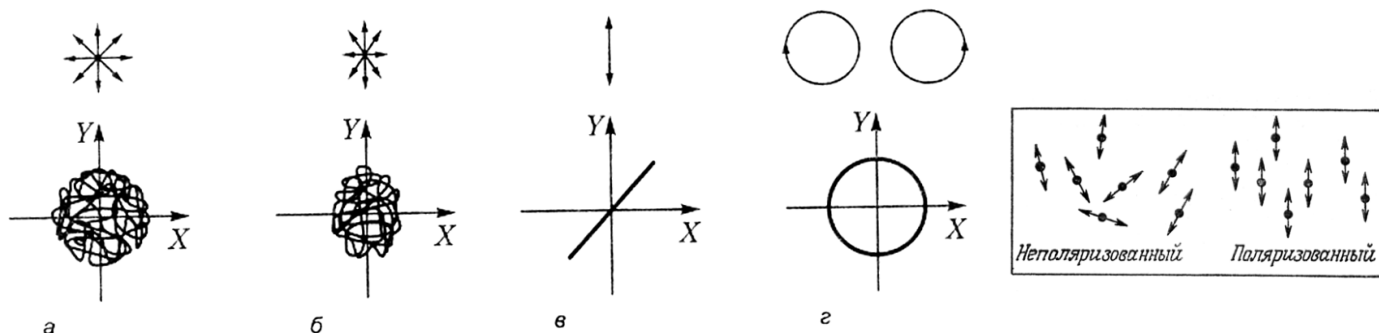


Рис. 5 Движение вектора $\vec{E}$ при распространении в пространстве естественного (а), частично поляризованного (б), плоско поляризованного (в) и циркулярно поляризованного (г) света

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, $0 < P < 1$.

Поляризатором и анализатором может служить один и тот же прибор в зависимости от того, для каких целей его используют: для получения поляризованного света или для его анализа.

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

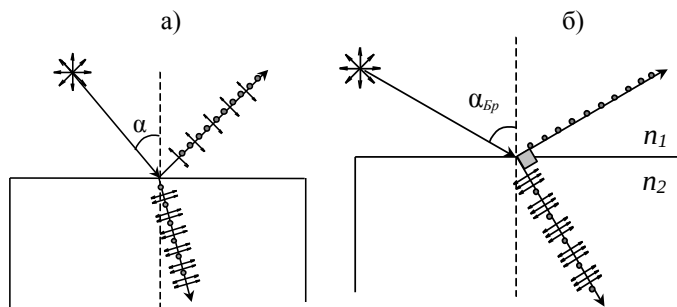


Рис. 6

Степень поляризации P этих лучей зависит от их угла падения α на диэлектрик.

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

При падении естественного света под углом Брюстера α_{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 α_{Br} , при котором наблюдается линейная поляризация отражённого от границы раздела двух диэлектриков света, определяется по **закону Брюстера**:

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

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

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**.

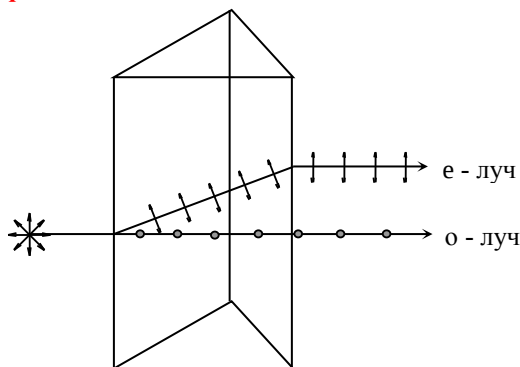


Рис. 7

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 **о – лучом**), а другой луч имеет плоскость поляризации параллельную главному сечению кристалла и не подчиняется законам геометрической оптики (поэтому этот луч называют **необыкновенным** и обозначают **е – 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.

Скорость распространения **о-луча** а, следовательно, и его показатель преломления n_o не зависят от направления распространения этого луча в кристалле, (т.е. $n_o = \text{const}$), а скорость **е-луча** и, следовательно, n_e зависят от его направления распространения в кристалле (т.е. $n_e \neq \text{const}$).

При распространении света вдоль оптической оси кристалла $n_o = n_e$, поэтому явление двойного лучепреломления не наблюдается.

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.

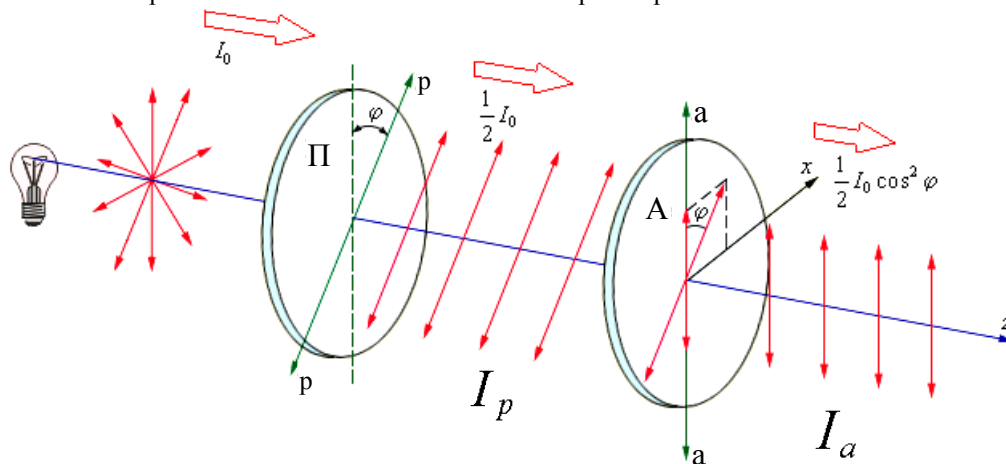


Рис. 8

На рис. 8 поляризатор Π преобразует падающий на него естественный свет интенсивностью I_0 в плоскополяризованный, интенсивность которого при прохождении через поляризатор уменьшается в два раза, то есть,

$$I_p = \frac{1}{2} I_0, \text{ а затем этот свет проходит через анализатор } A, \text{ который, в свою очередь ослабляет свет ещё в } \cos^2 \varphi,$$

где φ - 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:

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

