

ИНТЕНЗИТЕТ НА СВЕТЛИНАТА.

1. Интензитет на светлината

Пренасяната от светлината енергия се дава от уравненията на Максвел за електромагнитна вълна (ЕМВ) във вакуум.

$$w_e = \frac{1}{2} \cdot \epsilon_0 \cdot E^2 \text{ - обемна плътност на енергията на ЕП}$$

$$w_m = \frac{1}{2} \cdot \epsilon_0 \cdot c^2 \cdot B^2 \text{ - обемна плътност на енергията на МП}$$

$$E = c \cdot B \Rightarrow w_e = w_m \text{ - обемна плътност на енергията}$$

$$w = w_e + w_m = 2w_e$$

Уравнение за непрекъснатостта на w (аналогично е на уравнението за непрекъснатост на заряда)

$$\frac{dw}{dt} = -\text{div} \vec{S} \text{ - закон за запазване на енергията на ЕМВ}$$

$$\vec{S} = \epsilon_0 \cdot c^2 \cdot [\vec{E} \times \vec{B}] \text{ - вектор на Пойнтинг – плътност на потока на енергията}$$

$$S = \epsilon_0 \cdot c \cdot E^2 = c \cdot w$$

на ЕМВ

$$E^2 = E_0^2 \cos^2(k \cdot r - \omega t) = E_0^2 \left[\frac{1 + \cos 2(k \cdot r - \omega t)}{2} \right]$$

$$S = \frac{c \cdot \epsilon_0 \cdot E_0^2}{2} [1 + \cos 2(k \cdot r - \omega t)]$$

За оптичния диапазон $\omega \approx 10^{15} \text{ s}^{-1}$, потокът на енергията за ЕМВ (S) трепти с честота 2ω и тези трептения са ненаблюдаеми. Физически интерес представлява средната по време стойност на S , наричана интензитет на светлината.

$$I = \langle S \rangle = \text{const} \cdot E_0^2$$

$$\langle S \rangle = \frac{1}{2} c \cdot \epsilon_0 E_0^2 = c \langle w \rangle; \langle \cos \alpha \rangle = 0; \langle E^2 \rangle = \frac{1}{2} E_0^2 .$$

$\langle S \rangle$ - Енергията на светлинната вълна пренасяна за една секунда през площ 1m^2 , перпендикулярна на посоката на разпространение на вълната \vec{k} . За стояща вълна $\langle S_z \rangle = 0$ - няма насочен пренос на енергия (осреднено).

$$S_z = \epsilon_0 \cdot c^2 (E_x \cdot B_y - E_y \cdot B_x) = \epsilon_0 \cdot c^2 E_0^2 \sin(\omega t) \sin(2k \cdot z)$$

2. Поляризация на ЕМВ

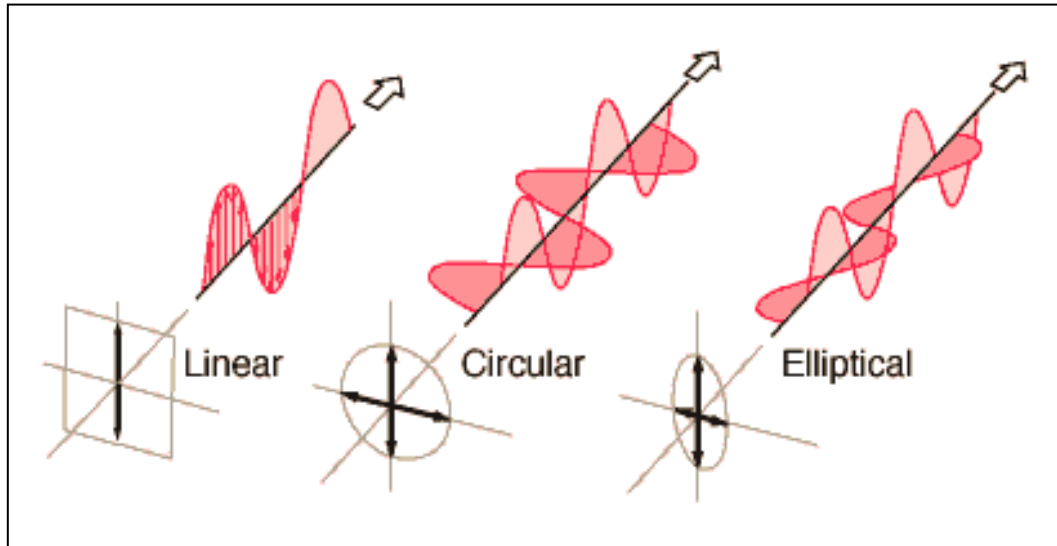
2.1 Естествена светлина (неполяризирана)

Такова е излъчването от обикновените източници. Всеки атом на светещото тяло изпуска вълнов цуг за време 10^{-8}s , който достига за това време дължина 3 метра. Равнината на трептене на всеки цуг е ориентирана случайно. Следователно, в резултатната вълна са представени всички посоки на трептене на \vec{E} в равнина перпендикулярна на \vec{k} .

2.2 Поляризирана светлина

Трептенията на светлинния вектор \mathbf{E} стават по определен закон:

- Плоско или линейно поляризирана светлина – крайт на \mathbf{E} трепти по права линия;
- Елиптично поляризирана - крайт на \mathbf{E} описва елипса. Векторът \mathbf{E} се завърта около лъча \mathbf{k} , като едновременно пулсира по големина.
- Кръгово поляризирана - крайт на \mathbf{E} описва кръг.



в) Аналитично пресмятане

Разглеждаме две монохроматични вълни с еднакви честоти, поляризирани в две взаимно перпендикулярни равнини, разпространяващи се по X, с фазова разлика равна на δ

При $t=0$, $\alpha=0$

$$E_1 = E_y(x,t) = E_{0y} \cos(\omega t)$$

$$E_2 = E_z(x,t) = E_{0z} \cos(\omega t + \delta)$$

$$\frac{E_y}{E_{0y}} = \cos \omega t ; \quad \frac{E_z}{E_{0z}} = \cos(\omega t + \delta) = \cos(\omega t) \cdot \cos \delta - \sin(\omega t) \cdot \sin \delta$$

$$\frac{E_z}{E_{0z}} = \frac{E_y}{E_{0y}} \cdot \cos \delta - \sqrt{1 - \frac{E_y^2}{E_{0y}^2}} \cdot \sin \delta$$

$$\frac{E_z}{E_{0z}} - \frac{E_y}{E_{0y}} \cdot \cos \delta = -\sqrt{1 - \frac{E_y^2}{E_{0y}^2}} \cdot \sin \delta$$

$$\frac{E_z^2}{E_{0z}^2} - 2 \frac{E_z}{E_{0z}} \cdot \frac{E_y}{E_{0y}} \cdot \cos \delta + \frac{E_y^2}{E_{0y}^2} \cdot \cos^2 \delta = \left(1 - \frac{E_y^2}{E_{0y}^2}\right) \cdot \sin^2 \delta \quad - \text{уравнение на}$$

елипса. Гледайки по посока на X елипсата е различно ориентирана в зависимост от δ .

в₁) Линейно поляризирана светлина:

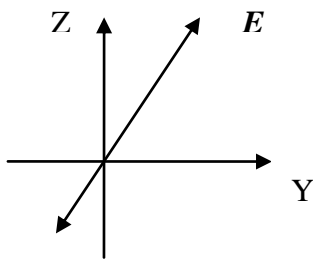
- δ е четно число π

-

$$\delta = 2m\pi, m=0,1,2,\dots$$

$$\left(\frac{E_z}{E_{0z}} - \frac{E_y}{E_{0y}} \right)^2 = 0$$

$$\boxed{E_z = \frac{E_{0z}}{E_{0y}} \cdot E_y} \text{ - уравнение на права}$$



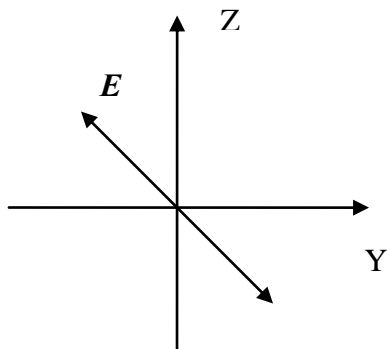
- δ е нечетно число π

-

$$\delta = (2m+1)\pi, m=0,1,2,\dots$$

$$\left(\frac{E_z}{E_{0z}} + \frac{E_y}{E_{0y}} \right)^2 = 0$$

$$\boxed{E_z = -\frac{E_{0z}}{E_{0y}} \cdot E_y} \text{ - уравнение на права}$$



в₂) Елиптично поляризирана светлина

δ е нечетно число $\pi/2$

δ

$$\delta = (2m + 1) \cdot \pi/2, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

$$\left[\left(\frac{E_z}{E_{0z}} \right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}} \right)^2 = 1 \right] - \text{уравнение на елипса с полуоси } E_{0y} \text{ и } E_{0z} \text{ върху ос } Y \text{ и } Z.$$

Кръгово поляризирана светлина - $E_{0x} = E_{0y} = E_0$

$$\left[E_z^2 + E_y^2 = E_0^2 \right] - \text{уравнение на окръжност.}$$

Ляво поляризирана светлина - \mathbf{E} се завърта по посока на часовниковата стрелка. Дясно поляризирана светлина - \mathbf{E} се завърта по посока обратна на часовниковата стрелка.

Естествена светлина (неполяризирана) – посоката на \mathbf{E} претърпява хаотични изменения. Представя се като наслагвания на две некохерентни ЕМВ линейно поляризирани във взаимно перпендикулярни равнини и имащи еднакъв интензитет.

$$E_1 = E_y(x, t) = E_{0y} \cdot \cos \omega t$$

$$E_2 = E_z(x, t) = E_{0z} \cdot \cos(\omega t + \delta(t))$$

Частично поляризирана светлина – смес от естествена и линейно поляризирана светлина. Представя се като наслагвания на две некохерентни ЕМВ, линейно поляризирани във взаимно перпендикулярни равнини, с различен интензитет.

Поляризатор – прибор, свободно пропускащ трептенията в равнината на поляризатора и напълно или частично задържащ трептенията в перпендикулярната равнина.

Степен на поляризация :

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

При въртене на поляризатора около \mathbf{k} , интензитетът на преминалата светлина се променя от I_{\min} до I_{\max} :

- За плоско поляризирана светлина $I_{\min} = 0, P = 1$;

- За частично поляризирана: $I_{\min} \neq I_{\max} \quad P = 0 \div 1$;

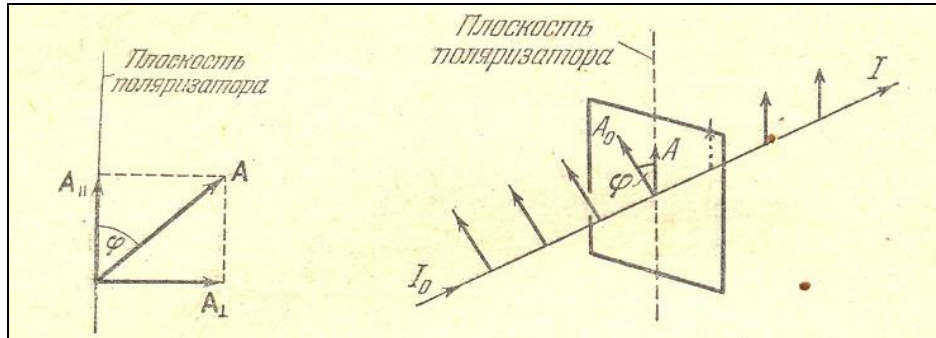
- За естествена светлина: $I_{\min} = I_{\max} \quad P = 0$;

- За елиптично поляризирана светлина: P не се дефинира.

При въртене на поляризатора:

- Интензитетът се мени от I_{min} до I_{max} за елиптично и за частично поляризирана светлина, т.е те не могат да се различат чрез поляризатор.
- Интензитетът на светлината преминала през поляризатора не се променя за естествената и кръгово поляризираната светлина, т.е те не могат да се различат чрез поляризатор.

3. Закон на Малюс



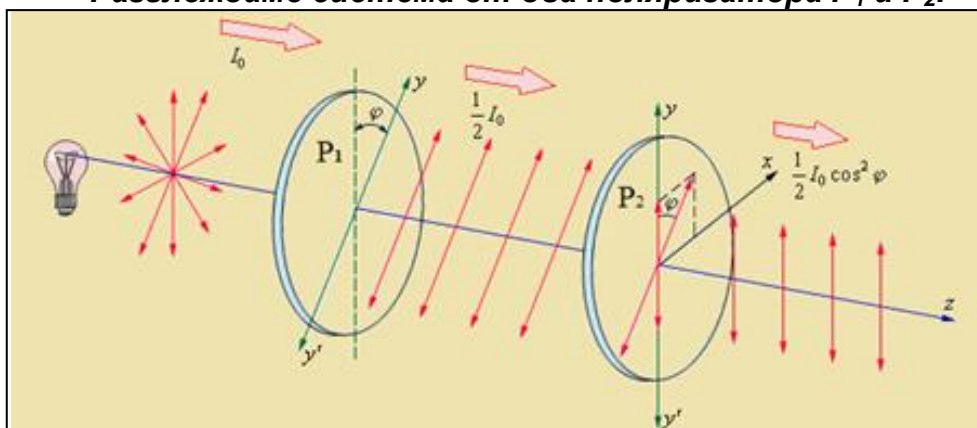
$$E = E_0 \cdot \cos \varphi$$

$$E^2 = E_0^2 \cdot \cos^2 \varphi$$

$$I = I_0 \cdot \cos^2 \varphi$$

I – интензитет на преминалата светлина през идеален поляризатор.

Разглеждаме система от два поляризатора P_1 и P_2 .



P_1 : Върху поляризатор P_1 пада естествена светлина с интензитет I_0 и преминава светлина с интензитет:

$$I_1 = I_0 \cdot \langle \cos^2 \varphi \rangle = \frac{1}{2} I_0 - \text{всички ъгли са равновероятни}$$

P_2 : След втория поляризатор P_2 ще премине светлина с интензитет:

$$I_2 = I_1 \cdot \cos^2 \varphi = \frac{I_0}{2} \cos^2 \varphi$$

а) Ако двата поляризатора са успоредни: $P_1 \parallel P_2 \Rightarrow \varphi=0$. Тогава:

$$I_2 = \frac{I_0}{2}$$

б) Ако двата поляризатора са кръстосани: $P_1 \perp P_2 \Rightarrow \varphi=90^\circ$. Тогава:

$$I_2 = 0$$