



# Поляризация света



- ▶ Закон Малюса:

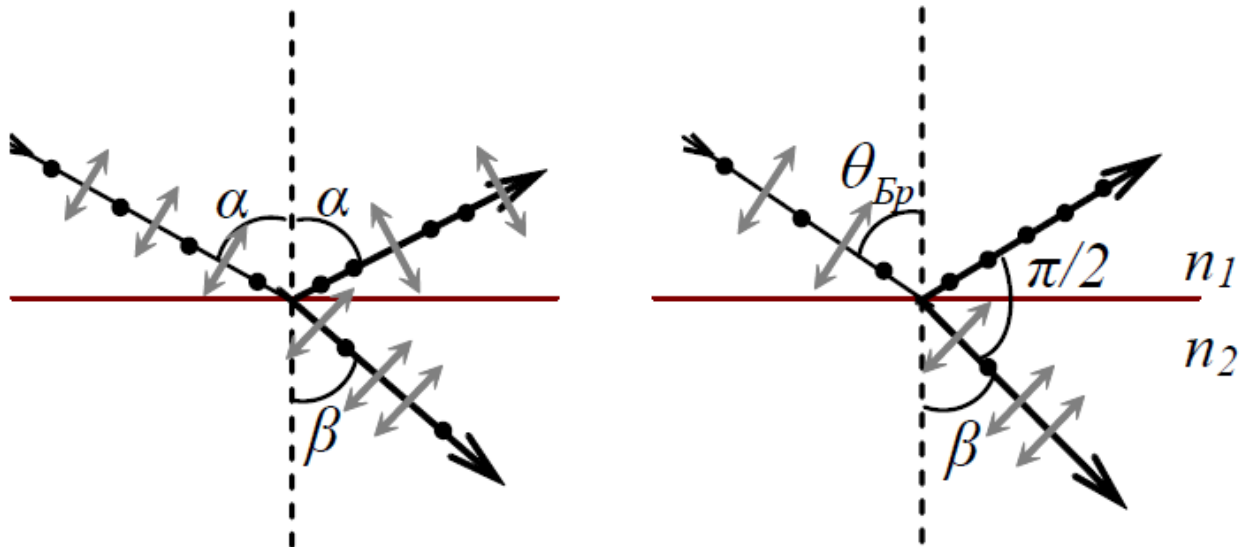
$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

- ▶ Степень поляризации:

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

- ▶ Закон Брюстера:

$$\operatorname{tg} \theta_{\text{Б}} = \frac{n_2}{n_1}$$



**Задача 1.** Степень поляризации  $P$  частично-поляризованного света равна 0,5. Во сколько раз отличается максимальная интенсивность света, пропускаемого через анализатор, от минимальной?

---

► Решение:

$$\text{Степень поляризации: } P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

$$P(I_{\max} + I_{\min}) = I_{\max} - I_{\min}$$

$$I_{\max}(1 - P) = I_{\min}(1 + P)$$

$$\frac{I_{\max}}{I_{\min}} = \frac{1 + P}{1 - P}$$

$$\frac{I_{\max}}{I_{\min}} = \frac{A_{\max}^2}{A_{\min}^2} = \frac{1 + P}{1 - P}$$

$$\frac{A_{\max}}{A_{\min}} = \sqrt{\frac{1 + P}{1 - P}}$$

$$\frac{I_{\max}}{I_{\min}} = \frac{1 + 0.5}{1 - 0.5} = \frac{1.5}{0.5} = 3$$

$$\frac{A_{\max}}{A_{\min}} = \sqrt{\frac{1 + 0.5}{1 - 0.5}} = \sqrt{3} = 1.73$$

---

**Задача 2.** Плоскополяризованный свет интенсивности  $I_0=100$  лм/м<sup>2</sup> проходит последовательно через два совершенных поляризатора, плоскости которых образуют с плоскостью колебаний в исходном луче углы  $\alpha_1=20,0^\circ$  и  $\alpha_2=50,0^\circ$  (углы отсчитываются от плоскости колебаний по часовой стрелке, если смотреть вдоль луча). Определить интенсивность света  $I$  на выходе из второго поляризатора.

► Решение:

По закону Малюса на выходе из первого поляризатора:

$$I_1 = I_0 \cos^2 \alpha_1$$

На выходе из второго поляризатора:

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha'$$

$$\alpha' = \alpha_2 - \alpha_1$$

$$I_2 = I_0 \cos^2 \alpha_1 \cos^2 (\alpha_2 - \alpha_1)$$

►  $I_2 = 100 \cdot 0.883 \cdot 0.75 = 66.225 \text{ лм} / \text{м}^2$

**Задача 3.** Предельный угол  $\varepsilon'$  полного отражения пучка света на границе жидкости с воздухом равен  $43^\circ$ . Определить угол Брюстера  $\varepsilon_B$  для падения луча из воздуха на поверхность этой жидкости.

► Решение: 
$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_{ж}}{n_{в}}$$

При полном внутреннем отражении  $\alpha_2 = \pi / 2, \alpha_1 = \varepsilon'$

$$\frac{n_{ж}}{n_{в}} = \sin \varepsilon'$$

Т.к. нужно определить угол Брюстера при падении света из воздуха на поверхность жидкости, то по определению:

$$\operatorname{tg} \theta_B = \frac{n_{в}}{n_{ж}} \quad \Rightarrow \quad \operatorname{tg} \theta_B = \frac{1}{\sin \varepsilon'}$$

$$\theta_B = \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{\sin \varepsilon'} \right) \quad \theta_B = \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{0.68} \right) \approx 55.8^\circ$$

**Задача 4.** На пути частично-поляризованного света, степень поляризации  $P$  которого равна  $0,6$ , поставили анализатор так, что интенсивность света, прошедшего через него, стала максимальной. Во сколько раз уменьшится интенсивность света, если плоскость пропускания анализатора повернуть на угол  $\alpha=30^\circ$ ?

► Решение:

При первоначальном положении анализатора интенсивность света, прошедшего через него, максимальна. Следовательно, анализатор полностью пропускает линейно-поляризованный свет и половину интенсивности естественного света.

Общая интенсивность пропущенного света:

$$I_1 = I_n + \frac{1}{2} I_e$$

При втором положении анализатора интенсивность пропущенного поляризованного света определяется по закону Малюса, а интенсивность пропущенного естественного света будет равна половине интенсивности естественного света, падающего на анализатор:

$$I_2 = I_n \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} I_e$$

**Задача 4.** На пути частично-поляризованного света, степень поляризации  $P$  которого равна 0,6, поставили анализатор так, что интенсивность света, прошедшего через него, стала максимальной. Во сколько раз уменьшится интенсивность света, если плоскость пропускания анализатора повернуть на угол  $\alpha=30^\circ$ ?

Степень поляризации частично поляризованного света:

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

Максимальная интенсивность в соответствии с условием задачи:

$$I_{\max} = I_1 = I_n + \frac{1}{2} I_e$$

Минимальная интенсивность соответствует такому положению анализатора, при котором поляризованный свет будет полностью погашен и пройдет только половина интенсивности естественного света:

$$I_{\min} = \frac{1}{2} I_e$$

**Задача 4.** На пути частично-поляризованного света, степень поляризации  $P$  которого равна 0,6, поставили анализатор так, что интенсивность света, прошедшего через него, стала максимальной. Во сколько раз уменьшится интенсивность света, если плоскость пропускания анализатора повернуть на угол  $\alpha=30^\circ$ ?

Для степени поляризации получим:

$$P = \frac{I_n + \frac{1}{2}I_e - \frac{1}{2}I_e}{I_n + \frac{1}{2}I_e + \frac{1}{2}I_e} = \frac{I_n}{I_n + I_e} \quad I_n = P(I_n + I_e)$$

$$I_e = \frac{I_n(1-P)}{P}$$

Найдем отношение:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{I_n + \frac{1}{2}I_e}{I_n \cos^2 \alpha + \frac{1}{2}I_e} = \frac{I_n + \frac{1}{2}I_n \frac{(1-P)}{P}}{I_n \cos^2 \alpha + \frac{1}{2}I_n \frac{(1-P)}{P}}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{P+1}{2P \cos^2 \alpha + 1 - P} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{0.6+1}{2 \cdot 0.6 \cdot 0.75 + 1 - 0.6} = 1.23$$



**Задача 5.** Плоскополяризованный свет, длина волны которого в вакууме  $\lambda = 589$  нм, падает на пластинку исландского шпата перпендикулярно его оптической оси. Принимая показатели преломления исландского шпата для обыкновенного и необыкновенного лучей соответственно  $n_o = 1,66$  и  $n_e = 1,49$ , определите длины волн этих лучей в кристалле.

► Решение:

Длина волны:  $\lambda = \nu_{\phi} T = \frac{\nu_{\phi}}{\nu}$

Частота подающей волны:  $\nu = \frac{c}{\lambda}$

Показатель преломления среды:  $n = \frac{c}{\nu_{\phi}}$

Тогда:  $\lambda_o = \frac{\nu_{\phi}}{\nu} = \frac{\nu_{\phi}}{c} \lambda = \frac{\lambda}{n_o}$

$$\lambda_o = \frac{589 \cdot 10^{-9}}{1.66} = 355 \text{ нм}$$

По аналогии:  $\lambda_e = \frac{\lambda}{n_e}$

$$\lambda_o = \frac{589 \cdot 10^{-9}}{1.49} = 395 \text{ нм}$$

**Задача 6.** Если между двумя скрещёнными поляроидами поместить третий, оптическая ось которого составляет угол  $\alpha$  с оптической осью анализатора, то поле зрения посветлеет. Найти интенсивность прошедшего света. Потерями света при отражении и поглощении пренебречь. При каком угле  $\alpha$  просветление максимальное?

► Решение:

Пусть исходная интенсивность естественного света равна  $I_0$ . Естественный свет можно рассматривать как сумму световых волн равной интенсивности, поляризованных в перпендикулярных плоскостях, поэтому первый поляризатор уменьшает интенсивность света в 2 раза:

$$I_1 = \frac{1}{2} I_0$$

При прохождении светом второго поляризатора воспользуемся законом Малюса:

$$I_2 = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \alpha'$$



**Задача 6.** Если между двумя скрещёнными поляроидами поместить третий, оптическая ось которого составляет угол  $\alpha$  с оптической осью анализатора, то поле зрения посветлеет. Найти интенсивность прошедшего света. Потерями света при отражении и поглощении пренебречь. При каком угле  $\alpha$  просветление максимальное?

Отметим, что оптическая ось второго поляризатора составляет угол  $\alpha$  с третьим поляризатором (анализатором), следовательно угол между оптическими осями первого и второго поляризаторов составляет:

$$\alpha' = \pi / 2 - \alpha$$

Следовательно:

$$I_2 = \frac{1}{2} I_0 \cos^2(\pi / 2 - \alpha) = \frac{1}{2} I_0 \sin^2 \alpha$$

Аналогично применим закон Малюса для третьего поляризатора:

$$I_3 = \frac{1}{2} I_0 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha = \frac{1}{8} I_0 \sin^2 2\alpha$$

Максимальное просветление, когда

$$\sin^2 2\alpha = 1, \alpha = \frac{\pi}{4} \quad I_3 = \frac{1}{8} I_0$$

**Задача 7.** Определите степень поляризации частично поляризованного света, если амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, в 3 раза больше амплитуды, соответствующей его минимальной интенсивности.

► Решение:

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

$$I \sim A^2$$

$$P = \frac{A_{\max}^2 - A_{\min}^2}{A_{\max}^2 + A_{\min}^2} = \frac{A_{\max}^2 / A_{\min}^2 - 1}{A_{\max}^2 / A_{\min}^2 + 1}$$

$$P = \frac{9 - 1}{9 + 1} = 0.8$$



**Задача 8.** Определите степень поляризации  $P$  света, который представляет собой смесь естественного света с плоскополяризованным, если интенсивность поляризованного света равна интенсивности естественного.

► Решение:

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

$$I_{\max} = I_n + \frac{1}{2} I_e = \frac{3}{2} I_n$$

$$I_{\min} = \frac{1}{2} I_e = \frac{1}{2} I_n$$

$$P = \frac{\frac{3}{2} I_n - \frac{1}{2} I_n}{\frac{3}{2} I_n + \frac{1}{2} I_n} = \frac{I_n}{2I_n} = \frac{1}{2}$$



**Задача 9.** Определите, во сколько раз ослабится интенсивность света, прошедшего через два николя, расположенные так, что угол между их главными плоскостями  $\alpha = 60^\circ$ , а в каждом из николей теряется 8% интенсивности падающего на него света.

► Решение:

Интенсивность света, прошедшего через первый николь:

$$I_1 = \frac{1}{2} I_0 (1 - k) \quad k = 8\% = 0.08$$

Интенсивность света, прошедшего через второй николь:

$$I_2 = I_1 (1 - k) \cos^2 \alpha = \frac{1}{2} I_0 (1 - k)^2 \cos^2 \alpha$$

Отношение интенсивностей:

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{I_0}{\frac{1}{2} I_0 (1 - k)^2 \cos^2 \alpha} = \frac{2}{(1 - k)^2 \cos^2 \alpha}$$

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{2}{(1 - 0.08)^2 \cdot 0.25} = 9.45$$



**Задача 10.** Пучок естественного света падает на стеклянную призму с углом  $\alpha = 30^\circ$ . Определите показатель преломления стекла, если отраженный луч является плоскополяризованным.

► Решение:

Т.к. отраженный свет является плоскополяризованным, то угол падения света на призму равен углу Брюстера:

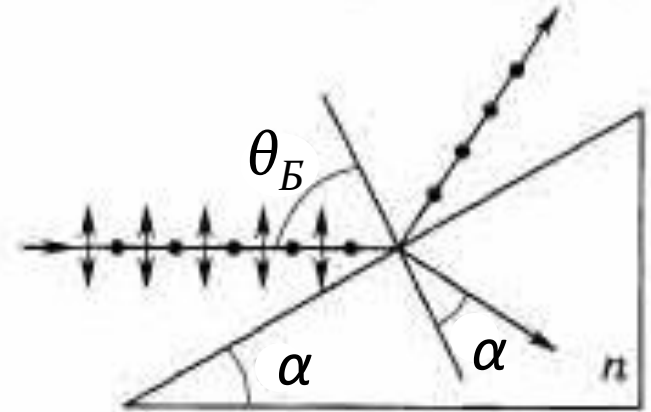
$$\operatorname{tg} \theta_B = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} = n$$

$$\theta_B = \pi / 2 - \alpha$$

т.к. отраженный и преломленные лучи взаимоперпендикулярны.

$$n = \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} - \alpha \right) = \operatorname{ctg} \alpha$$

$$n = \operatorname{ctg} 30^\circ = 1.73$$



---

---

