

9. Определить доплеровское смещение $\Delta\lambda$ для спектральной линии атомарного водорода ($\lambda = 486,1$ нм), если ее наблюдать под прямым углом к пучку атомов водорода с кинетической энергией $E_{\text{кин}} = 100$ кэВ.

Ответ: $\Delta\lambda = 51,7$ нм.

10. Плоская монохроматическая световая волна распространяется в некоторой среде. Коэффициент поглощения для данной длины волны $a = 1,2 \text{ м}^{-1}$. Определить, на сколько процентов уменьшится интенсивность света при прохождении данной волной пути: 1) 10 мм, 2) 1 м.

Ответ: 1) 1,2 %, 2) 70 %.

Занятие № 5

Тема: Поляризация света

Краткая теория

Естественный свет – это свет со всевозможными равновероятными направлениями колебаний вектора \vec{E} (и следовательно, \vec{H}).

Поляризованный свет – это свет, в котором направления колебаний светового вектора \vec{E} каким-то образом упорядочены.

Плоскополяризованный свет – свет, в котором вектор \vec{E} (и \vec{H}) колеблется только в одном направлении, перпендикулярном лучу.

Плоскополяризованный свет получают, пропуская естественный свет через поляризаторы, в качестве которых используются среды, анизотропные в отношении колебаний вектора \vec{E} (например, кристаллы турмалина). Поляризаторы можно использовать и для анализа поляризованного света, тогда их называют *анализаторами*.

Поляризаторы (анализаторы) пропускают колебания, параллельные его главной плоскости и полностью или частично задерживают колебания, перпендикулярные ей.

Если поляризатор и анализатор ориентированы произвольно, то интенсивность последовательно прошедшего через них света будет зависеть от угла α между главными плоскостями анализатора (A) и поляризатора (P).

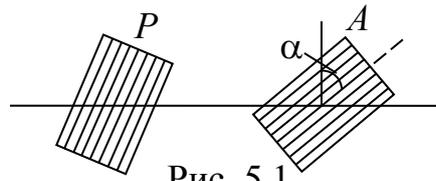


Рис. 5.1

Закон Малюса: интенсивность света, прошедшего последовательно через поляризатор и анализатор, пропорциональна квадрату косинуса угла между их главными плоскостями.

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

где I_0 – интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор, I – интенсивность плоскополяризованного света, вышедшего из анализатора.

В случае падения на поляризатор естественного света с интенсивностью I , на выходе получится плоскополяризованный свет с интенсивностью

$$I_0 = \frac{1}{2} I .$$

Степень поляризации света

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

где I_{\max} и I_{\min} – соответственно максимальная и минимальная интенсивности частично поляризованного света, пропускаемого анализатором.

Явление поляризации света – это выделение световых волн с определенными направлениями колебаний электрического (светового) вектора \vec{E} . Наблюдается при отражении и преломлении света на границе прозрачных изотропных диэлектриков. Если угол падения света на границу раздела отличен от нуля, то отраженный и преломленный лучи частично поляризованы. В отраженном луче преобладают колебания, перпендикулярные плоскости падения (точки на рис. 5.1), а в преломленном луче преобладают колебания, параллельные плоскости падения (стрелки на рис. 5.1). Степень поляризации зависит от угла падения.

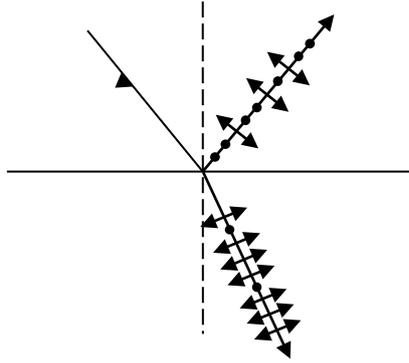


Рис. 5.2

Закон Брюстера. При угле падения естественного света на границу прозрачных изотропных диэлектриков, равном углу Брюстера i_B , определяемому соотношением $\operatorname{tg} i_B = n_{21}$, отраженный луч полностью поляризован, преломленный же луч поляризован максимально, но не полностью.

При падении естественного света под углом Брюстера i_B отраженный и преломленный лучи взаимно перпендикулярны

$$\operatorname{tg} i_B = \frac{\sin i_B}{\cos i_B}, \quad n_{21} = \frac{\sin i_B}{\sin i_2}, \quad \cos i_B = \sin i_2,$$

Следовательно

$$i_B + i_2 = \frac{\pi}{2}, \quad \text{но } i'_B = i_B \text{ (закон отражения),}$$

поэтому

$$i'_B + i_2 = \frac{\pi}{2},$$

где n_{21} – показатель преломления второй среды относительно первой, i_2 – угол преломления.

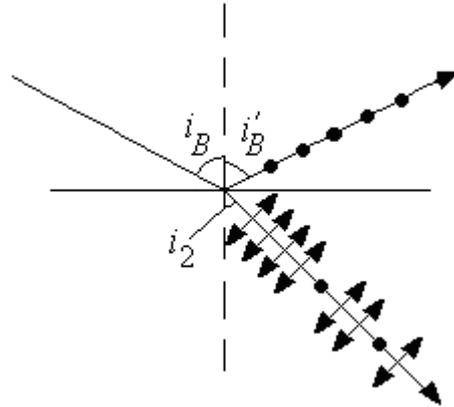


Рис. 5.3

Формула Френеля. При отражении естественного света от диэлектрического зеркала интенсивности световых колебаний в отраженном луче, совершающихся в направлениях, перпендикулярном к плоскости падения света I_{\perp} и параллельном плоскости падения света I_{\parallel} соответственно равны

$$I_{\perp} = 0,5 I_0 \left(\frac{\sin(i - \beta)}{\sin(i + \beta)} \right)^2,$$

$$I_{\parallel} = 0,5 I_0 \left(\frac{\operatorname{tg}(i - \beta)}{\operatorname{tg}(i + \beta)} \right)^2,$$

где I_0 – интенсивность падающего естественного света, i – угол падения света, β – угол преломления света.

Поляризация при двойном лучепреломлении. Двойное лучепреломление – способность анизотропных веществ расщеплять падающий световой луч на два луча, распространяющихся в разных направлениях с различной фазовой скоростью и поляризованных во взаимно перпендикулярных направлениях. При падении узкого светового пучка на достаточно толстый кристалл из него выходят два пространственно разделенных луча, параллельных друг другу, – обыкновенный (o) и необыкновенный (e) (рис. 5.4).

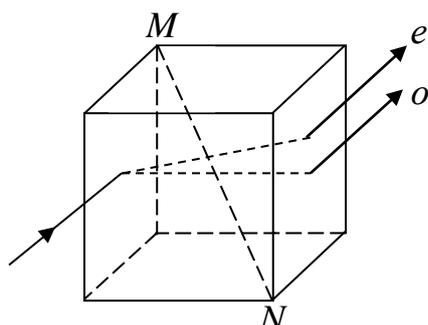


Рис. 5.4

На рис. 5.4 MN – *оптическая ось кристалла* (направление в оптически анизотропном кристалле, по которому распространяется луч света, не испытывая двойного лучепреломления).

Скорости распространения обыкновенного и необыкновенного лучей в двоякопреломляющем кристалле соответственно равны

$$v_o = \frac{c}{n_o}, \quad v_e = \frac{c}{n_e}.$$

Пластинка в четверть или в полволны – одноосного, двоякопреломляющего кристалла, вырезанная параллельно оптической оси, создает сдвиг по фазе между обыкновенным и необыкновенным лучами, проходящими перпендикулярно пластинке, на $\pm \pi/4$ или на $\pm \pi/2$ соответственно.

Толщина d таких пластинок удовлетворяет условию:

$$d = \left[\left(m \pm \frac{1}{4} \right) \lambda_0 \right] (|n_o - n_e|)$$

или

$$d = \left[\left(m \pm \frac{1}{2} \right) \lambda_0 \right] (|n_o - n_e|),$$

где $m = 0, 1, 2, \dots$; λ_0 – длина световой волны в вакууме.

Угол поворота φ плоскости поляризации монохроматического света при прохождении через оптически активное вещество:

- а) для твердых тел $\varphi = \varphi_0 l$;
- б) для чистых жидкостей $\varphi = \varphi_0 l \rho$;
- в) для растворов $\varphi = \varphi_0 l C$,

где φ_0 – удельное вращение, l – толщина оптически активного вещества, ρ – плотность жидкости, C – концентрация оптически активного вещества в растворе.

Примеры решения задач

Задача 5.1. Определите во сколько раз ослабится интенсивность света, прошедшего через поляризатор и анализатор, расположенный так, что угол между их главными плоскостями $\alpha = 30^\circ$ и в каждом из них теряется 8 % падающего света.

Решение

$$\begin{array}{l} \alpha = 30^\circ \\ k = 0,08 \\ I_0 / I_2 = ? \end{array}$$

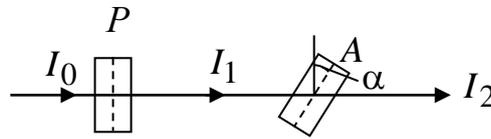


Рис. 5.2

Естественный свет, проходя через поляризатор P превращается в плоскополяризованный и его интенсивность на выходе из поляризатора (с учетом потери интенсивности)

$$I_1 = \frac{1}{2}(1 - k)I_0. \quad (1)$$

По закону Малюса интенсивность света на выходе из анализатора в данном случае

$$I_2 = I_1(1 - k)\cos^2 \alpha.$$

Подставив в данное выражение (1), получим

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

Тогда искомое ослабление интенсивности при прохождении света через поляризатор и анализатор

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{2}{(1 - k)^2 \cos^2 \alpha} \approx 3.$$

Ответ: в 3 раза.

Задача 5.2. Найти угол i_B полной поляризации при отражении света от стекла ($n = 1,57$).

Решение

| | |
|---|---|
| $n_1 = 1,$ $n_2 = 1,57$ <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/> $i_B - ?$ | При отражении света от диэлектрика с относительным показателем преломления $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$ |
|---|---|

получается световая волна, полностью поляризованная в плоскости падения (электрический вектор колеблется в направлении, перпендикулярном плоскости падения), если угол падения i удовлетворяет условию (закон Брюстера):

$$\operatorname{tg}(i_B) = n_{21},$$

$$i_B = \operatorname{arctg}(n_{21}) = \operatorname{arctg}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = 57^\circ.$$

Ответ: 57° .

Задача 5.3. Пучок плоскополяризованного света ($\lambda = 589$ нм) падает на пластинку исландского шпата перпендикулярно к его оптической оси. Найти длины волн λ_o и λ_e обыкновенного и необыкновенного лучей в кристалле, если показатели преломления исландского шпата для обыкновенного и необыкновенного лучей равны $n_o = 1,66$ и $n_e = 1,49$.

Решение

| | |
|--|--|
| $\lambda = 589 \text{ нм} = 589 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ $n_o = 1,66$ $n_e = 1,49$ <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/> $\lambda_o, \lambda_e - ?$ | Скорости распространения обыкновенного и необыкновенного лучей в двоякопреломляющем кристалле соответственно будут равны |
|--|--|

$$v_o = \frac{c}{n_o} \text{ и } v_e = \frac{c}{n_e}.$$

Длины волн соответственно равны

$$\lambda_o = v_o T = v_o \frac{\lambda}{c} = \frac{\lambda}{n_o} = 355 \text{ нм},$$

$$\lambda_e = \frac{\lambda}{n_e} = 395 \text{ нм.}$$

Ответ: $\lambda_o = 355 \text{ нм}$, $\lambda_e = 395 \text{ нм}$.

Задачи для самостоятельного решения

1. Угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора равен 45° . Во сколько раз уменьшится интенсивность света, выходящего из анализатора, если угол увеличить до 60° ?

Ответ: в 2 раза

2. При прохождении света через слой 5 %-го сахарного раствора толщиной 15 см плоскость поляризации света повернулась на угол $6,5^\circ$. На сколько повернется плоскость поляризации в 13 %-ом растворе с толщиной слоя в 12 см?

Ответ: на $13,5^\circ$.

3. Луч света последовательно проходит через три николя (николь – это призма, используемая в качестве поляризатора, в котором используется явление двойного лучепреломления), плоскости пропускания которых образуют между собой углы $\alpha_{12} = 45^\circ$ и $\alpha_{23} = 30^\circ$. Полагая, что коэффициент поглощения каждого николя $k = 0,15$, найти, во сколько раз луч, выходящий из третьего николя, ослаблен по сравнению с лучом, падающим на первый николь.

Ответ: в 8,3 раза.

4. Луч света проходит через жидкость, налитую в стеклянный сосуд, и отражается от дна. Отраженный луч полностью поляризован при падении его на дно сосуда под углом $i_B = 42^\circ 37'$. Найти показатель преломления n жидкости. Под каким углом i должен падать на дно сосуда луч света, идущий в этой жидкости, чтобы наступило полное внутреннее отражение?

Ответ: $n = 1,63$, $i = 66,9^\circ$.

5. Пучок естественного света падает на полированную поверхность стеклянной пластины, погруженной в жидкость. Отраженный от пластины пучок света составляет угол $\varphi = 97^\circ$ с падающим пучком. Определить показатель преломления n_1 жидкости, если отраженный свет полностью поляризован. Какая это жидкость?

Ответ: $n = 1,33$, жидкость – вода.

6. Определить степень поляризации частично поляризованного света, если амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной