

4.7.3 – Поляризация.

Цель работы. Ознакомление с методами получения и анализа поляризованного света.

В работе используются: оптическая скамья с осветителем; зелёный светофильтр; два поляроида; чёрное зеркало; полированная эбонитовая пластинка; стопа стеклянных пластинок; слюдяные пластинки разной толщины; пластинки в $1/4$ и $1/2$ длины волны; пластинка в одну длину волны для зелёного света (пластинка чувствительного оттенка).

Особенность данной работы – качественный, описательный характер.

Теоретическая часть. Электромагнитные волны, как следует из уравнений Максвелла, поперечны; потому волну можно охарактеризовать тремя векторами – волновым вектором (перенос энергии, распространение волны), амплитудным (направление колебаний напряженности поля) и поляризационным – вращение амплитудного вектора в плоскости колебаний. В случае монохроматической волны компоненты вектора напряженности поля меняются в плоскости колебаний по гармоническому закону; отсюда (а la фигуры Лиссажу) следует, что траектория конца амплитудного вектора есть эллипс (*эллиптическая поляризация*). Важные частные случаи, которые нас будут интересовать – круговая и линейная поляризация. В последнем случае волну называют также *плоско-поляризованной*, поскольку амплитудный вектор колеблется в одной плоскости.

Также часто встречаются такие понятия, как *s*-поляризованная и *p*-поляризованная волны. В первом случае вектор напряженности электрического поля перпендикулярен плоскости падения, во втором – лежит в ней. Интерес в такой классификации состоит в том, что, как следует из формул Френеля, при угле падения *Брюстера* $\varphi_B = \arctan n$ отраженный свет является полностью (*s*) поляризованным.

Разрешенное направление поляроида. Определение показателя преломления. Схема установки приведена на рис. 1. Отражённый от чёрного зеркала свет имеет минимальную интенсивность в том случае, если угол падения есть угол Брюстера и в падающем пучке вектор E лежит в плоскости падения – так мы определим разрешенное направления поляроида, и, коль мы знаем при этом и угол Брюстера, и показатель преломления пластины, играющей роль зеркала.

В нашей работы мы измеряем разрешенное направление двух поляроидов P_1 и P_2 и угол Брюстера для эбонитовой пластины (со светофильтром и без):

$$\begin{aligned}\varphi_{P_1} &= 30^\circ, \\ \varphi_{P_2} &= 103^\circ, \\ \varphi_{Br} &= 49^\circ, \\ \varphi_{Br_{filter}} &= 45^\circ.\end{aligned}$$

Со светофильтром получилось хуже. Из выражения для угла Брюстера отсюда получаем оценку показателя преломления эбонита: $n \simeq 1.18$. Табличное – 1.8. Проблема в том, определение интенсивности «на глаз» – не лучшая идея.

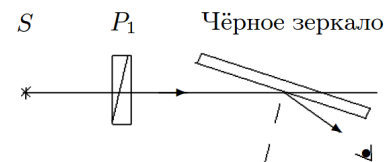


Рис. 1: Определение разрешённого направления поляроида.

Эллиптически поляризованный свет. Эллиптически поляризованный свет можно получить из линейно поляризованного, используя двоякопреломляющие кристаллические пластинки. Показатель преломления в них задаётся тензором диэлектрической проницаемости; он симметричен, потому ему можно поставить в соответствие эллипсоид проницаемости. Его оси называют *главными направлениями* – свет вдоль них распространяется с разной скоростью, не меняя своей поляризации.

Пусть теперь на пластинку падает линейно поляризованная волна. Её можно разложить вдоль главных (перпендикулярных) направлений; поскольку скорость по ним различна, на выходе мы получим суперпозицию двух уже *несинфазных* волн – иными словами, эллиптическую поляризацию. Разность фаз есть $\Delta\varphi = kd(n_x - n_y)$, где d – толщина пластинки. Ясно, что при $d = \lambda$ мы получим сдвиг фаз 2π – ничего не изменится; при $d = \lambda/2$ – сдвиг фаз π , поляризация по-прежнему линейная, но имеет противоположное направление; наконец, при $d = \lambda/4$ мы получаем сдвиг фаз $\pi/2$ и эллиптическую поляризацию.

У нас есть две пластинки. Определим их главные направления – для этого поставим каждую из них (рис. 2) между скрещенными поляроидами и будем крутить до тех пор, пока главное направление не совпадет с разрешенным направлением поляроида P_2 . Получаем:

$$\varphi_1 = 64^\circ,$$

$$\varphi_2 = 80^\circ.$$

Заметим, что направления, очевидно, чередуются каждые $\pi/2$ радиан.

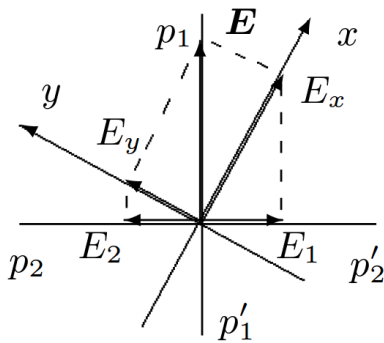


Рис. 3: К объяснению интерференции поляризованных лучей.

В нашей работе одна из пластинок имеет толщину $\lambda/2$, другая – $\lambda/4$. Используя высказанные выше соображения о поляризации света, прошедшего пластинку, мы без труда (исп. также поляризатор) определяем, что первая пластинка имеет линейную поляризацию (соотв. $\lambda/2$), вторая – круговую (соотв. $\lambda/4$).

Пластинкой *чувствительного оттенка* называют пластинку в форме стрелки (вдоль неё – быстрое главное направление) для зелёной спектральной компоненты. С её помощью мы можем определить «быстрое» и «медленное» главные направления пластинки в $\lambda/4$. Если расположить пластинки так, чтобы их главные быстрые направления совпали, то разность хода E_x и E_y составит уже $5\lambda/4$, что соответствует более красному свету; потому при освещении белым пучком погасится красная часть спектра, пластинка будет казаться зеленовато-голубой. Если же названные направления будут перпендикулярны, то цвет будет фиолетово-голубой.

Двоякопреломляющая в скрещенных поляризаторах, как кажется, меняет цвет. Это можно объяснить интерференцией поляризованных лучей. На рис. 3 p_1 соотв. первому поляроиду, p_2 – второму (разрешенные направления), x, y – главные направления пластинки. На выходе из пластинки волны имеют сдвиг фаз, соотв. интерферируют; отношение амплитуд и сдвиг фаз не меняется при повороте пластинки. Дополнительный фазовый сдвиг можно получить, вращая второй поляризатор.

Вывод. В данной работе мы описали кратко способ получения и анализа поляризованного света, а также оговорили отдельные значимые в данном контексте вопросы кристаллооптики.

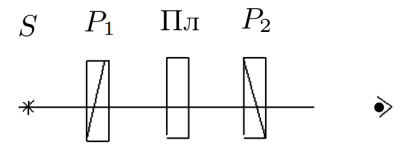


Рис. 2: Исследуем двоякопреломляющую пластинку!