

4.7.3

ПОЛЯРИЗАЦИЯ

Богатова Екатерина

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).

1 Теория

При помощи специальных приспособлений (поляризаторов), естественный свет может быть поляризован. Наиболее общим типом поляризации является *эллиптическая поляризация*. В эллиптически поляризованной световой волне конец вектора \mathbf{E} в данной точке пространства описывает некоторый эллипс. Линейно поляризованный свет можно рассматривать как частный случай эллиптически поляризованного света, когда эллипс поляризации вырождается в отрезок прямой линии; другим частным случаем является круговая поляризация (эллипс поляризации является окружностью).

Для получения линейно поляризованного света применяются специальные оптические приспособления — поляризаторы. Направление колебаний электрического вектора в волне, прошедшей через поляризатор, называется разрешенным направлением поляризатора. Всякий поляризатор может быть использован для исследования поляризованного света, т. е. в качестве анализатора. Интенсивность I линейно поляризованного света после прохождения через анализатор зависит от угла, образованного плоскостью колебаний с разрешенным направлением анализатора:

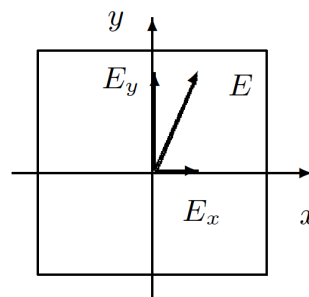


Рис. 1: Разложение эллиптической поляризации на линейные компоненты

$$I = I_0 \cos^2 \alpha. \quad (1)$$

Соотношение (1) носит название *закона Малюса*.

Отраженный от диэлектрика свет всегда частично поляризован. Степень поляризации света, отраженного от диэлектрической пластинки в воздух, зависит от показателя преломления диэлектрика n и от угла падения φ . Как следует из формул Френеля, полная поляризация отраженного света достигается при падении под углом *Брюстера*, который определяется соотношением

$$\tan \varphi = n. \quad (2)$$

В этом случае плоскость колебаний электрического вектора в отраженном свете перпендикулярна плоскости падения. Для увеличения степени поляризации преломленного света используют стопу стеклянных пластинок, расположенных под углом Брюстера к падающему свету.

Определение направления разрешенной плоскости колебаний поляроида.

Луч света, прошедший поляроид и отразившийся от чёрного зеркала, имеет минимальную интенсивность при выполнении двух условий: во-первых, свет падает на отражающую поверхность под углом Брюстера, и во-вторых, в падающем пучке вектор E лежит в плоскости падения.

Вращая поляроид вокруг направления луча и чёрное зеркало вокруг оси, перпендикулярной лучу, методом последовательных приближений можно добиться минимальной яркости луча, отражённого от зеркала, и таким образом определить разрешённое направление поляроида. По углу поворота зеркала можно определить коэффициент преломления материала, из которого изготовлено зеркало

Получение эллиптически поляризованного света и его анализ.

Эллиптически поляризованный свет можно получить из линейно поляризованного с помощью двоякопреломляющих кристаллических пластинок.

Двоякопреломляющая пластинка имеет два взаимно перпендикулярных главных направления, совпадающих с осями эллипсоида диэлектрической проницаемости. Волны, поляризованные вдоль главных направлений, распространяются в пластинке с разными скоростями, не изменяя характера своей поляризации. Обозначим показатели преломления для главных волн через n_x и n_y , где x и y — главные направления кристаллической пластинки. На входе пластинки E_x и E_y находятся в фазе, однако на выходе из-за разности скоростей между ними появляется разность хода $d(n_x - n_y)$, при этом сдвиг фаз определяется соотношением:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{m} = kd(n_x - n_y) \quad (3)$$

Анализ эллиптически поляризованного света сводится к нахождению главных осей эллипса поляризации и к определению направления вращения электрического вектора.

Главные оси эллипса поляризации определяются с помощью анализатора по максимуму и минимуму интенсивности проходящего света. Направление вращения электрического вектора может быть найдено с помощью пластинки в четверть длины волны, для которой известно, какая из главных волн, E_x или E_y , имеет большую скорость распространения.

Пластинка чувствительного оттенка

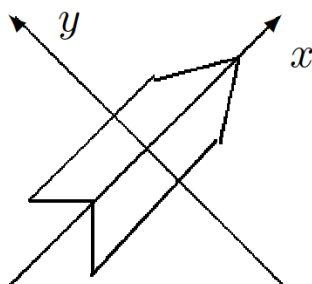


Рис. 2: Пластинка чувствительного оттенка

Установить какому из двух главных направлений пластинки $\lambda/4$ соответствует большая скорость распространения света можно различными способами, например с помощью пластинки чувствительного оттенка.

Пластинка имеет форму стрелы (рис. 2), вдоль оси которой расположено главное направление, соответствующее большей скорости распространения.

Если пластинка чувствительного оттенка помещена между скрещенными поляроидами и главные направления пластинки не параллельны направлениям разрешённых колебаний поляроидов, то при освещении белым светом пластинка кажется окрашенной в лилово-красный цвет.

Если между скрещенными поляроидами поместить пластинку чувствительного оттенка и пластинку в $\lambda/4$ так, чтобы их главные направления совпадали, то проходящий свет будет казаться зеленовато-голубым. Если же главные направления, соответствующие большей скорости распространения, у пластинки чувствительного оттенка и у пластинки в $\lambda/4$ окажутся перпендикулярными, то проходящий свет приобретёт оранжево-желтую окраску.

Изменение цвета позволяет, таким образом, определить, какое из главных направлений пластинки в $\lambda/4$ соответствует большей скорости распространения.

Интерференция поляризованных лучей.

Тонкие двоякопреломляющие пластинки, помещённые между поляроидами, кажутся окрашенными. Эта окраска может быть истолкована как результат интерференции поляризованных лучей. На рис. 3 представлена схема для случая скрещенных поляроидов.

Здесь $p_1 p'_1$ — разрешённое направление колебаний поляризатора (первого поляроида); x, y — координатная система, связанная с главными направлениями двоякопреломляющей пластинки; $p_2 p'_2$ — разрешённое направление колебаний анализатора (второго поляроида). Волны E_x и E_y на выходе из пластинки когерентны, но не могут интерферировать, так как $E_x \perp E_y$. Волны E_1 и E_2 на выходе второго поляроида также являются когерентными и к тому же поляризованы в одной плоскости. Эти волны интерферируют между собой. Результат интерференции определяется зависящим от длины волны сдвигом фаз между E_1 и E_2 . В результате интерференции поляризованных лучей пластинка, освещаемая белым светом, кажется окрашенной.

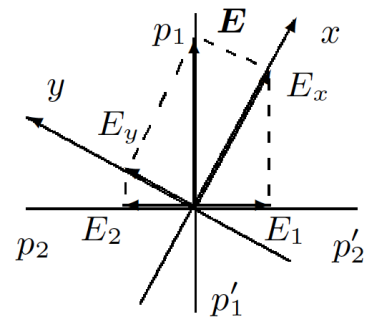


Рис. 3: К объяснению интерференции поляризованных лучей

2 Ход работы

2.1 Определение разрешенных направлений поляроида

Поворачивая поляроид вокруг направления луча, а чёрное зеркало вокруг вертикальной оси, методом последовательных приближений добьемся наименьшей яркости отражённого пятна. Определим разрешённое направление поляроида. По лимбу оно равно $x = 45$.

Поставим вместо чёрного зеркала второй поляроид и определим его разрешённое направление, скрестив поляроиды. Получаем $x = 15$.

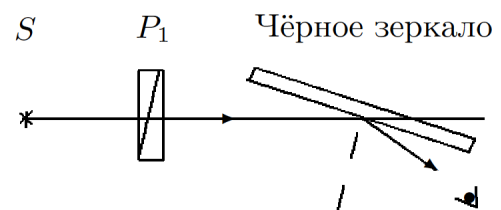


Рис. 4: Определение разрешенных направлений поляроида

2.2 Определение показателя преломления эбонита

Поставим на скамью вместо чёрного зеркала (рис. 4) эбонитовую пластину и определим по лимбу угол Брюстера. Получаем $\theta = (57 \pm 2)^\circ$.

Отсюда получаем, что $n = \operatorname{tg} \theta \approx 1.53 \pm 0.06$. Табличное значение показателя преломления эбонита $n = 1.6 - 1.7$.

2.3 Исследование стопы

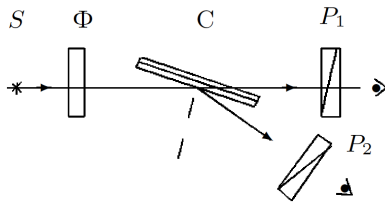


Рис. 5: Исследование стопы

Исследуем характер поляризации света в преломлённом и отражённом от стопы лучах. Для этого поставим вместо эбонитового зеркала (рис. 5) стопу стеклянных пластинок под углом Брюстера. Осветим стопу неполяризованным светом и, рассматривая через поляризаторы (рис. 6) отражённый от стопы и преломлённый лучи, определим в них ориентацию вектора **Е**. Получаем, что в отраженном свете присутствует преимущественно вертикальная линейная поляризация вектора **Е**, а в преломленном свете преобладает перпендикулярная ей горизонтальная поляризация.

2.4 Двоякопреломляющие пластины, выделение пластин $\lambda/2$, $\lambda/4$

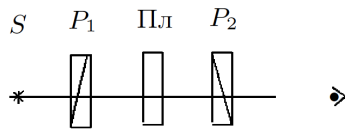


Рис. 6: Определение главных направлений в пластинках

Поставим кристаллическую пластинку между скрещенными поляризаторами P_1 и P_2 . Вращая пластинку вокруг направления луча и наблюдая за интенсивностью света, проходящего сквозь второй поляризатор, определим, при каком условии главные направления пластинки совпадают с разрешёнными направлениями поляризаторов. Повторим опыт для второй пластинки.

Пластина 1	Пластина 2
$\min : 30^\circ, 120^\circ$	$\min : 10^\circ, 105^\circ$
$\max : 72^\circ$	$\max : 70^\circ, 154^\circ$

Минимумы и максимумы интенсивности чередуются через 45° , главные плоскости пластин совпадают с разрешёнными направлениями поляризаторов при максимальной интенсивности.

Добавим к схеме зелёный фильтр; установим разрешённое направление поляризатора горизонтально, а главные направления исследуемой пластинки — под углом 45° к горизонтали.

Пластина $\lambda/2$ не меняет характер поляризации, при её повороте *меняется интенсивность*, а поляризация остаётся линейной.

Пластина $\lambda/4$ создаёт сдвиг фаз $\pi/2$ между колебаниями - эллиптическая поляризация. Эта пластинка *не меняет интенсивность* при повороте.

2.5 Быстрая и медленная оси $\lambda/4$

Для определения «быстрой» и «медленной» оси в пластинке $\lambda/4$ оставим между скрещенными поляроидами пластинку чувствительного оттенка, имеющую вид стрелки, и убедимся, что эта пластинка не меняет поляризацию зелёного света. Уберем зелёный фильтр и убедимся, что стрелка имеет пурпурный цвет. Это объясняется тем, что зелёная компонента линейно поляризованного света при прохождении пластинки не меняет поляризации и задерживается вторым поляроидом.

Добавим к схеме пластинку $\lambda/4$ (рис. 7), главные направления которой совпадают с главными направлениями пластины λ и ориентированы под углом 45° к разрешённым направлениям скрещенных поляроидов. При повороте рейтера со стрелкой на 180° вокруг вертикальной оси цвет стрелки меняется от зелёно-голубого до оранжево-жёлтого. В первом случае у нас «быстрая» ось (они совпадают), во втором — медленная.

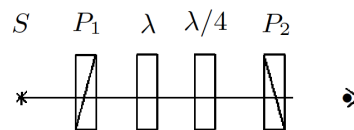


Рис. 7: Определение направлений большей и меньшей скорости

2.6 Интерференция поляризованных лучей

Исследуем интерференцию поляризованных лучей. Для этого расположим между скрещенными поляроидами мозаичную слюдяную пластинку. Она собрана из 4-х узких полосок слюды, лежащих по сторонам квадрата (две полоски «толщиной» $\lambda/4$ и по одной — $\lambda/2$ и $3\lambda/4$). В центральном квадратике слюды нет. Главные направления всех пластинок ориентированы параллельно сторонам квадрата.

Вращая пластинку, наблюдаем за изменениями в отдельном квадратике. У нас изменяется интенсивность.

Не трогая пластинки, поворачиваем второй поляризатор. Отличие в том, что теперь изменяется (инверсируется) цвет пластинок также с периодичностью $\pi/4$.

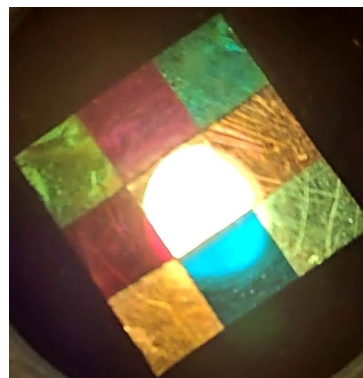


Рис. 8: Интерференция поляризованных лучей

3 Вывод

Изучили явления связанные с поляризацией света: определили разрешённые направления поляризаторов и с помощью них проводили следующие опыты. Рассмотрели угол Брюстера, с помощью него определили показатель преломления эбонита. Для двоякопреломляющих пластин определили главные направления, а так же тип пластинок — $\lambda/4$ и $\lambda/2$. Также исследовали пластинку чувствительного оттенка, определили быструю и медленную оси и рассмотрели эффекты, происходящие при прохождении света через комбинацию пластинок. Получили эллиптически поляризованную волну, рассмотрели интерференцию поляризованных лучей в мозаичной слюдяной пластинке.