

*Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования*
**«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

Лабораторная работа № 4.7.3

по курсу общей физики

на тему:

«Поляризация»

*Работу выполнил:
Баринов Леонид
(группа Б02-827)*

Долгопрудный
2020

1 Аннотация

В работе будут исследованы методы получения анализа поляризованного света.

2 Теоретические сведения

Получение эллиптически поляризованного света

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. Эти волны называются главными. Мы будем обозначать показатели преломления для главных волн через n_x и n_y , где x и y — главные направления кристаллической пластинки *рис. 1*.

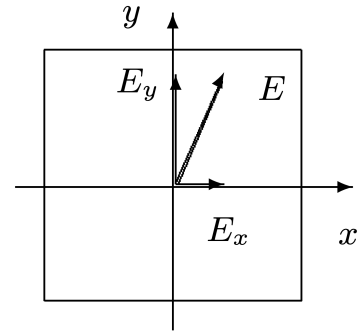


Рис. 1. Разложение линейно поляризованного света по главным направлениям двоякопреломляющей пластинки

Пусть на пластинку падает линейно поляризованная волна, электрический вектор которой ориентирован под некоторым углом α к оси x . Разложим вектор \vec{E} на составляющие E_x и E_y . На входе пластинки E_x и E_y находятся в фазе. На выходе из-за разности скоростей между ними появляется разность хода $d(n_x - n_y)$, при этом сдвиг фаз определяется соотношением:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{m} = kd(n_x - n_y) \quad (1)$$

где k — волновое число (в пустоте), d — толщина кристаллической пластинки.

Рассмотрим практически важные частные случаи

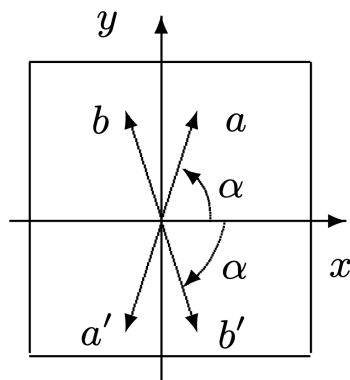


Рис. 2. Поворот направления колебаний с помощью пластинки в $\lambda/2$

Пластинка дает сдвиг фаз 2π (пластинка в длину волны λ). В результате сложения волн на выходе пластинки образуется линейно поляризованная волна с тем же направлением колебаний, что и в падающей волне.

Пластинка дает сдвиг фаз π (пластинка в полдлины волны $\lambda/2$). На выходе пластинки снова образуется линейно поляризованная волна. Направление bb' колебаний этой волны повернуто относительно направления aa' колебаний падающей волны (*рис. 2*). Направление bb' является зеркальным отображением направления aa' относительно одного из главных направлений пластинки. Такую пластинку используют для поворота направления колебаний линейно поляризованного света.

Пластинка создает между колебаниями сдвиг фаз $\pi/2$ (пластинка в четверть длины волны). При сложении двух взаимно перпендикулярных колебаний, имеющих разность фаз $\pi/2$, образуется эллипс, главные оси которого совпадают с координатными осями x и y . При равенстве амплитуд $E_x^{\max} = E_y^{\max}$ возникает круговая поляризация.

Пластинка чувствительного оттенка

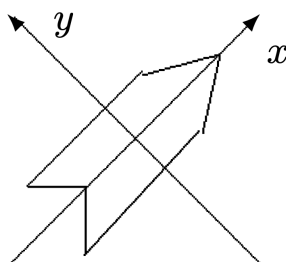


Рис. 3. Пластина чувствительного оттенка

Пластинка имеет форму стрелы (рис. 3), вдоль оси которой расположено главное направление, соответствующее большей скорости распространения.

Если между скрещенными поляроидами поместить пластинку чувствительного оттенка (λ) и пластинку $\lambda/4$ так, чтобы их главные направления совпадали, цвет пластинки изменится. Если у пластинки чувствительного оттенка и пластинки в $\lambda/4$ совпадут главные направления, соответствующие большей скорости распространения, то разность хода между E_x и E_y для зеленого света составит уже $5\lambda/4$. Это соответствует разности хода в λ для света с большей длиной волны. При освещении этих пластинок белым светом теперь погасится не зеленая, а красная часть спектра, и 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 приобретет оранжево-желтую окраску.

Интерференция поляризованных лучей

На рис. 4 представлена схема для случая скрещенных поляроидов.

Здесь $p_1 p'_1$ — разрешенное направление колебаний поляризатора (первого поляроида); x, y — координатная система, связанная с главными направлениями двоякопреломляющей пластинки; $p_2 p'_2$ — разрешенное направление колебаний анализатора (второго поляроида). Волны E_x и E_y на выходе из пластинки когерентны, но не могут интерферировать, так как $\vec{E}_x \perp \vec{E}_y$. 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.

Если поворачивать двоякопреломляющую пластинку, расположенную между скрещенными поляроидами, то соотношение амплитуд волн E_1 и E_2 и разность

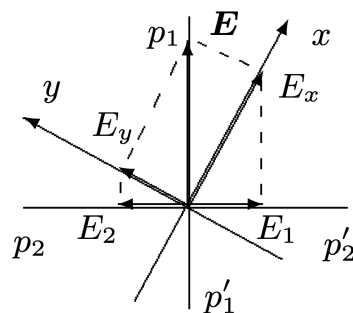


Рис. 4. К объяснению интерференции поляризованных лучей

фаз между ними не изменяются. Это означает, что цвет пластинки при ее поворотах не меняется, а меняется только интенсивность света. За один оборот пластинки интенсивность четыре раза обращается в нуль — это происходит при совпадении главных направлений x и y с разрешенными направлениями колебаний поляроидов.

Если же двоякопреломляющую пластинку оставить неподвижной, а второй поляроид повернуть так, чтобы разрешенные направления $p_1p'_1$ и $p_2p'_2$ совпали, то волны E_1 и E_2 приобретают дополнительный фазовый сдвиг на π для всех спектральных компонент; при этом их амплитуды изменятся так, что цвет пластинки изменится на дополнительный.

3 Оборудование

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

4 Результаты измерений и обработка результатов

Показатель преломления эбонита

Определим разрешенные направления поляроидов. Для этого разместим на оптической скамье осветитель S , поляроид P_1 и черное зеркало (рис. 5). Поворачивая поляроид вокруг направления луча, а черное зеркало вокруг вертикальной оси, методом последовательных приближений добьемся наименьшей яркости отраженного пятна.

Определим показатель преломления эбонита. Для этого поставим на скамью вместо черного зеркала эбонитовую пластину и определим по лимбу угол Брюстера для эбонита:

$$\theta = (53 \pm 2)^\circ$$

Рассчитаем показатель преломления по формуле $n = \operatorname{tg} \theta$:

$$n = 1,33 \pm 0,10$$

Табличное значение показателя преломления эбонита:

$$n^T = 1,6 - 1,7$$

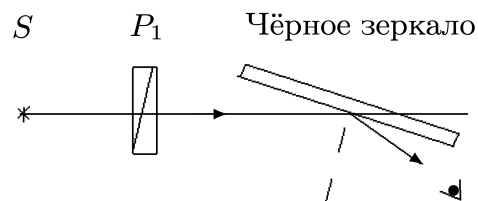


Рис. 5. Определение разрешенного направления поляроида

Характер поляризации света в преломленном и отраженном от стопы лучах

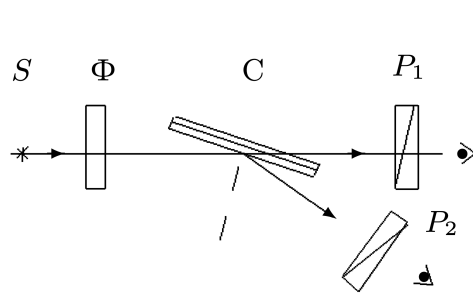


Рис. 6. Исследование стопы

Поставим вместо эбонитового зеркала (рис. 5) стопу стеклянных пластинок под углом Брюстера.

Осветим стопу неполяризованным светом и, рассматривая через поляроиды (рис. 6) отраженный от стопы и преломленные лучи, определим в них ориентацию \vec{E}

Получаем, что он отклоняется от направления распространения света на угол $\pi/2$.

Двоякопреломляющие пластины

Поставим кристаллическую пластинку между скрещенными поляроидами (рис. 7). Вращая пластинку вокруг направления луча и наблюдая за интенсивностью света, проходящего сквозь второй поляроид, определим, при каком условии главные направления пластинки совпадают с разрешенными направлениями поляроидов.

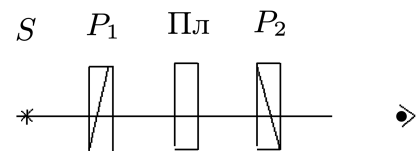


Рис. 7. Определение главных направлений в пластинках

Собственные направления выделены тем, что световые волны, линейно поляризованные в этих направлениях, распространяются в кристалле, сохраняя свое состояние поляризации. То есть вращением пластинки мы ищем два положения, где в скрещенных поляроидах происходит полное затемнение. Это означает, что линейно поляризованная волна (после прохождения поляроида P_1) никак не изменяет своей поляризации, соответственно такая волна не пройдет через поляроид P_2 , а направлении главной оси совпадает с ориентацией поляроида P_1 .

Повторим опыт для второй пластинки.

Пластинки $\lambda/2$, $\lambda/4$

Добавим к схеме, изображенной на рис. 7, зеленый фильтр. Установим разрешенное направление первого поляроида горизонтально, а главные направления исследуемой пластинки — под углом 45° к горизонтали.

С помощью второго поляроида установим, какую поляризацию имеет свет, прошедший пластинку: круговую или линейную с переходом в другой квадрант.

Если при всех положениях второго поляроида P_2 мы не наблюдаем полного затемнения, то в оптической схеме находится пластинка $\lambda/4$, так как она создает круговую поляризацию. Если же при определённом положении второго поляроида P_2 , свет не проходит через поляроид, то перед нами пластинка $\lambda/2$, которая просто поворачивает линейную поляризацию на 90° .

Определение направлений большей и меньшей скорости в пластинке

Поставим между скрещенными поляроидами пластинку чувствительного оттенка (λ для зеленого света), имеющую вид стрелки. Световой вектор, ориентированный вдоль направления стрелки, проходит с большей скоростью, перпендикулярный с меньшей.

Установим разрешенное направление первого поляроида горизонтально и убедимся с помощью второго поляроида, что эта пластинка не меняет поляризацию зеленого света в условиях предыдущего опыта. Это связано с тем, что пластинка толщиной λ создает разность фаз между волнами $\Delta\varphi = 2\pi$, то есть поляризация не изменяется.

Уберем зеленый фильтр и поставим между скрещенными поляроидами пластинку λ (стрелка под углом 45° к разрешенным направлениям поляроидов). Глядя сквозь второй поляроид на стрелку, убеждаемся, что она имеет пурпурный цвет (зеленый свет задерживается вторым поляроидом, а красная и синяя компоненты проходят).

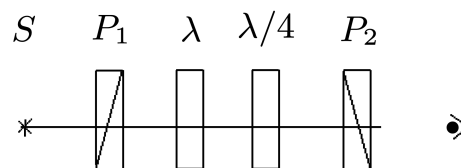


Рис. 8. Определение направлений большей и меньшей скорости

Добавим к схеме пластинку $\lambda/4$ (рис. 8), главные направления которой совпадают с главными направлениями пластины λ и ориентированы под углом 45° к разрешенным направлениям скрещенных поляроидов.

При повороте рейтера со стрелкой на 180° вокруг вертикальной оси цвет стрелки меняется от зелено-голубого до оранжево-желтого.

Это соответствует разности хода в λ для света с большей длиной волны. При освещении этих пластинок белым светом теперь погасится не зеленая, а красная часть спектра, и 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 приобретет оранжево-желтую окраску. Следовательно, в первом случае у нас «быстрая» ось (они совпадают), во втором — медленная.

Интерференция поляризованных лучей

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 квадрате слюды нет. Главные направления всех пластинок ориентированы параллельно сторонам квадрата.

Итого получают квадратики с толщиной: $0, \frac{\lambda}{4}, \frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{4}, \lambda$.

- При вращении пластинки цвет квадратиков не изменяется, так как амплитуды и разности фаз не изменяются. Меняется только интенсивность квадратиков.

Когда главное направление пластин совпадает с направлением поляризации задаваемым поляроидом P_1 , все квадратики становятся темными (за один оборот это случается 4 раза), то есть интенсивность минимальна, так как при этом ни одна пластинка не меняет поляризацию света.

- б) При повороте на 45° цвета исчезают. Это связано с тем что угол поворота главных направлений пластинок совпадает с углом поворота поляроида P_2 . Поворачивая поляроид P_2 на 90° окраска пластинок меняется на дополнительную (красный на голубой, зеленый на фиолетовый, синий на желтый и т.д.)



Рис. 9. Поляроиды скрещены, пластинка находится под углом 45°



Рис. 10. Второй поляроид P_2 как и пластинка наклонены под углом 45° относительно первого поляроида P_1

5 Обсуждение результатов и выводы

В работе был измерен угол Брюстера для эбонита:

$$\theta = (53 \pm 2)^\circ$$

По значению угла Брюстера был рассчитан показатель преломления эбонита.

$$n = 1,33 \pm 0,10$$

Табличное значение:

$$n_{\text{т}} = 1,6 - 1,7$$

Измеренное значение отличается от табличного. Несовпадение связано с тем, что наблюдения проводились с помощью глаза, положение которого мы не можем зафиксировать, соответственно не соблюдаем схему опыта на *рис. 5*

В работе был исследован метод разделения монохроматического света на s и p -поляризованный. Стопа стеклянных пластинок (*рис. 6*) выделяет s -компоненту, что видно по второму поляриду P_2 , и пропускает p -компоненту, что видно по первому поляриду P_1 . Угол между поляроидами равен $\pi/2$.

Были рассмотрены двоякопреломляющие пластинки, позволяющие изменять поляризацию света. С помощью скрещенных поляроидов можно определить тип

поляризации после прохождения пластинки, а также главные направления пластин. Пластика $\lambda/4$ преобразует линейную поляризацию в круговую, а $\lambda/2$ поворачивает линейную поляризацию на $\pi/2$.

При исследовании естественного света с помощью пластинки чувствительного оттенка были определены быстрая и медленная оси пластинки.

При использовании пластинок разной длины волны в скрещенных поляроидах можно наблюдать явление интерференции, которое проявляется в окраске изначально прозрачных пластин.