

Исследование поляризации

Маслов Артём

Казаков Данила

Б01-104

29.04.2023

Аннотация

В работе исследуются поляризационные свойства света. Определяются разрешенные направления поляроидов. По наблюдению отраженного света под углом Брюстера определяется показатель преломления эбонита. Исследуется качественный характер поляризации света в отраженного и прошедшего стеклянную стопу. Определяется тип пластинки $(\lambda, \frac{\lambda}{2}, \frac{\lambda}{4})$, её главные направления. Для пластинки $\frac{\lambda}{4}$ определяется направление вращения эллиптически поляризованной волны и быстрая и медленная оси. Исследуется интерференция поляризованных лучей.

Теория

В работе изучаются свойства поляризованного света. В линейно поляризованной световой волне пара векторов \vec{E} и \vec{H} не изменяет с течением времени своей ориентации. Плоскость \vec{E} , \vec{S} называется в этом случае плоскостью колебаний. Наиболее общим типом поляризации является *эллиптическая поляризация*. В эллиптически поляризованной световой волне конец вектора \vec{E} (в данной точке пространства) описывает некоторый эллипс.

При теоретическом рассмотрении различных типов поляризации часто бывает удобно проектировать вектор \vec{E} в некоторой точке пространства на два взаимно перпендикулярных направления. В том случае, когда исходная волна была поляризованной, E_x и E_y когерентны между собой и могут быть записаны в виде

$$\begin{cases} E_x = E_{x0} \cos(kz - \omega t), \\ E_y = E_{y0} \cos(kz - \omega t - \varphi), \end{cases} \quad (1)$$

где амплитуды E_{x0} , E_{y0} , волновой вектор k , частота ω и сдвиг фаз φ не зависят от времени. Формулы (1) описывают монохроматический свет. Немонохроматический свет может быть представлен суммой выражений типа (1) с различными значениями частоты ω .

Ориентация эллипса поляризации определяется отношением амплитуд E_{y0}/E_{x0} и разностью фаз φ . В частности, при $\varphi = 0, \pm\pi$ эллипс вырождается в отрезок прямой (линейная поляризация). При $\varphi = \pm\pi/2$ главные оси эллипса совпадают с осями x , y . Если при этом отношение амплитуд $E_{y0}/E_{x0} = 1$, эллипс поляризации вырождается в окружность.

В плоскости $z = z_0$ вектор \vec{E} волны (1) вращается против часовой стрелки (при наблюдении навстречу волне), если $0 < \varphi < \pi$. В этом случае говорят о левой эллиптической поляризации волны. Если же $\pi < \varphi < 2\pi$, вращение вектора \vec{E} происходит по часовой стрелке, и волна имеет правую эллиптическую поляризацию.

В фиксированный момент времени $t = t_0$ концы вектора \vec{E} при различных z лежат на винтовой линии. При этом для левой эллиптической поляризации образуется левый винт, а для правой — правый винт.

Методы получения линейно поляризованного света. Для получения линейно поляризованного света применяются *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:

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

Соотношение (2) носит название закона Малюса. Опишем способы получения плоскополяризованного света, используемые в работе.

Отражение света от диэлектрической пластинки. 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 i . Как следует из формул Френеля, полная поляризация отраженного света достигается при падении под углом Брюстера, который определяется соотношением

$$\operatorname{tgi} = n. \quad (3)$$

В этом случае плоскость колебаний электрического вектора в отраженном свете перпендикулярна плоскости падения.

Преломление света в стеклянной пластинке. Поскольку отраженный от диэлектрической пластинки свет оказывается частично (или даже полностью) поляризованным, проходящий свет также частично поляризуется. Преимущественное направление колебаний электрического вектора в прошедшем свете совпадает с плоскостью преломления луча. Максимальная поляризация проходящего света достигается при падении под углом Брюстера. Для увеличения степени поляризации преломленного света используют стопу стеклянных пластинок, расположенных под углом Брюстера к падающему свету.

Преломление света в двоякопреломляющих кристаллах. Некоторые кристаллы обладают свойством двойного лучепреломления. Это связано с различием поляризуемости молекул в разных направлениях (диэлектрическая проницаемость ε определяет показатель преломления среды n). Двоякопреломляющий кристалл называют одноосным, если в нём суще-

ствуется одно направление с экстремальным значением ε , а в других (перпендикулярных) направлениях значения ε одинаковы. Направления вдоль осей эллипсоида называют главными, одно из них — с экстремальным значением ε — оптической осью. Преломляясь в таких кристаллах, световой луч разделяется на два луча со взаимно перпендикулярными плоскостями колебаний. Отклоняя один из лучей в сторону, можно получить плоскополяризованный свет, — так устроены поляризационные призмы.

Оборудование

1. Оптическая скамья с набором рейтеров и осветителем.
2. Зелёный светофильтр.
3. Два поляроида.
4. Чёрное зеркало.
5. Полированная эбонитовая пластинка.
6. Стопа стеклянных пластинок.
7. Пластины в $1/2$, $1/4$ и 1 длину волны для зелёного света.

Результаты измерений

1. С помощью метода чёрного зеркала было определено разрешённое направление первого поляроида $\varphi_1 = 87^\circ \pm 1^\circ$. Поляроид пропускает свет, плоскость колебаний которого горизонтальная.

С помощью первого поляроида было определено разрешённое направление второго поляроида $\varphi_2 = 115^\circ \pm 1^\circ$. Поляроид пропускает свет, плоскость колебаний которого вертикальная.

2. Определим показатель преломления эбонита по формуле:

$$n = \operatorname{tg} \varphi_B$$

Угол Брюстера без светофильтра $\varphi_{B1} = 52^\circ \pm 3^\circ$.

Угол Брюстера со светофильтром $\varphi_{B2} \in [46^\circ \pm 3^\circ; 54^\circ \pm 3^\circ]$.

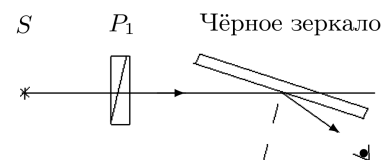
$$n_1 = 1,28 \pm 0,13$$

$$n_2 \in [1,04 \pm 0,10; 1,38 \pm 0,14].$$

Погрешность косвенных измерений оценим по формуле:

$$\sigma_n = \frac{\partial n}{\partial \varphi} \sigma_\varphi = \frac{\sigma_\varphi}{\cos^2 \varphi}$$

Табличное значение показателя преломления эбонита $n_{\text{табл}} = 1,6 \div 1,7$.



Расхождение табличных и экспериментальных значений показателя преломления скорее всего связано с неточностью определения угла Брюстера, так как минимальная интенсивность определялась на глаз.

3. Исследуем поляризационные свойства стопы стеклянных пластин при падении неполяризованного света под углом Брюстера.

Для света, прошедшего стопу стеклянных пластин, интенсивность горизонтальной компоненты больше интенсивности вертикальной.

У света отражённого от стопы стеклянных пластин горизонтальная компонента практически отсутствует, а вертикальная компонента хорошо видна.

Интенсивность вертикальной компоненты отражённого от стопы стеклянных пластин света больше интенсивности вертикальной компоненты прошедшего света.

4. Определим главные направления двойкопреломляющих пластин.

Пластина «2 в кружочке». Направления наименьшей интенсивности:

$$\varphi_{11} = 16^\circ.$$

$$\varphi_{12} = 110^\circ.$$

$$\varphi_{13} = 196^\circ.$$

$$\varphi_{14} = 288^\circ.$$

Пластина «2».

$$\varphi_{11} = 40^\circ.$$

$$\varphi_{12} = 130^\circ.$$

$$\varphi_{13} = 220^\circ.$$

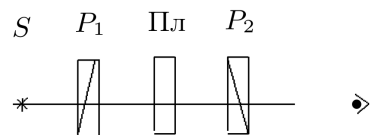
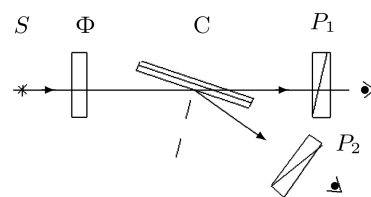
$$\varphi_{14} = 310^\circ.$$

5. Добавим к схеме для определения главных направлений зелёный фильтр и повернём главные направления исследуемых пластин на 45° вокруг главной оптической оси системы, оба поляроида установим в горизонтальное положение пропускания. Если исследуемая пластина $\frac{\lambda}{2}$, то сквозь систему свет проходить не будет.

В результате эксперимента определили, что пластина «2» – пластина $\frac{\lambda}{2}$ – на выходе создаёт линейную поляризацию, пластина «2 в кружочке» – пластина $\frac{\lambda}{4}$ – на выходе создаёт эллиптическую поляризацию.

6. С помощью пластинки чувствительного оттенка в λ определили, что оси $\varphi_0 = 155^\circ$ соответствует большая скорость распространения, так как в этом случае проходящий систему свет приобретает голубую окраску. В перпендикулярном направлении окраска проходящего света – оранжевая.

7. Исследуем интерференцию поляризованных лучей. Разместим между скрещенными поляроидами мозаичную слюдяную пластинку, собранную из 4 узких полосок слюды, лежащих по сторонам квадрата (две полоски $\frac{\lambda}{4}$, одна $\frac{\lambda}{2}$ и ещё одна $\frac{3\lambda}{4}$). В центре слюды нет, главные



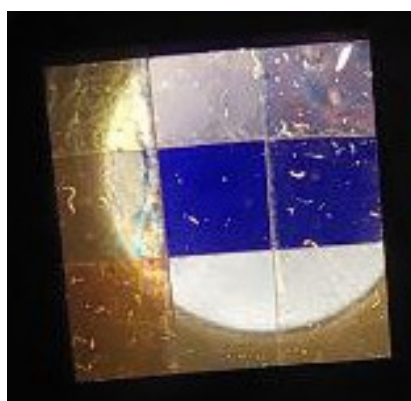


Рис. 1: На фотографии квадраты видны, как окрашены в синий, при наблюдении глаз воспринимал этот цвет как чёрный.

направления пластинок ориентированы параллельно сторонам квадрата.

Наблюдаемые картины при вращении поляроида $P1$ при неизменном $P2$.

Наблюдаемые картины при вращении поляроида $P2$ при неизменном $P1$.

8. В работе было определено направление вращения эллиптически поляризованной волны – правая поляризация.

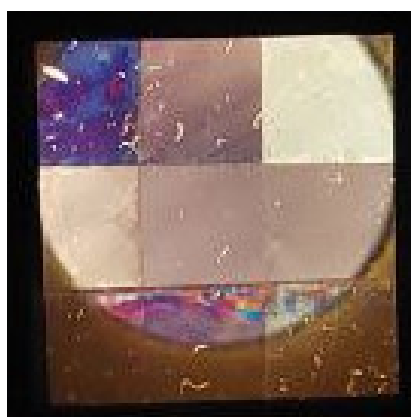


Рис. 2: На фотографии квадраты видны, как окрашены в синий, при наблюдении глаз воспринимал этот цвет как чёрный.

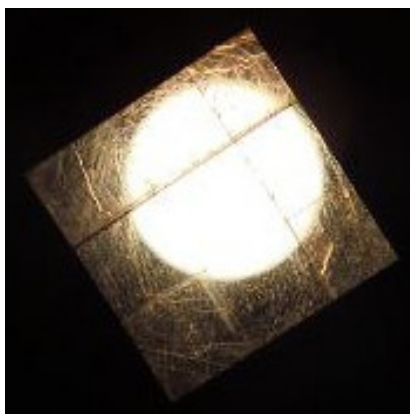


Рис. 3: Глаз зелёный верхний квадрат и оранжевый правый видел как прозрачные.

Обсуждение результатов и выводы

С помощью метода чёрного зеркала было определено направление первого поляроида $\varphi_1 = 87^\circ \pm 1^\circ$, когда он пропускает горизонтальную волну.

С помощью первого поляроида было определено разрешённое направление второго поляроида $\varphi_2 = 115^\circ \pm 1^\circ$, когда он пропускает вертикальную волну.

Был определён показатель преломления эбонита:

$$n = 1,28 \pm 0,13.$$

$$n_{\text{табл}} = 1,6 \div 1,7.$$

Расхождение результатов связано с неточностью определения минимальной интенсивности глазом экспериментатора.

В работе были исследованы поляризационные свойства стопы стеклянных пластин.

Для света, прошедшего стопу стеклянных пластин, интенсивность горизонтальной компоненты больше интенсивности вертикальной.

У света отражённого от стопы стеклянных пластин горизонтальная компонента практически отсутствует, а вертикальная компонента хорошо видна.

Интенсивность вертикальной компоненты отражённого от стопы стеклянных пластин света больше интенсивности вертикальной компоненты прошедшего света.

Были определены разрешённые направления двоякопреломляющих пластин:

Пластина «2 в кружочке». Направления наименьшей интенсивности:

$$\varphi_{11} = 16^\circ.$$

$$\varphi_{12} = 110^\circ.$$

$$\varphi_{13} = 196^\circ.$$

$$\varphi_{14} = 288^\circ.$$

Пластина «2».

$$\varphi_{11} = 40^\circ.$$

$$\varphi_{12} = 130^\circ.$$

$$\varphi_{13} = 220^\circ.$$

$$\varphi_{14} = 310^\circ.$$

Было установлено, что пластина «2 в кружочке» – пластина длины $\frac{\lambda}{4}$, а пластина «2» – пластина $\frac{\lambda}{2}$.

Для пластины $\frac{\lambda}{4}$ было определено, что быстрой оси соответствует угол $\varphi = 155^\circ$ и направление эллиптической поляризации – правое.