

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Поляризация

выполнили студент 653 группы ФФКЭ

Давыдов Валентин

Долгопрудный, 2018 г.

1 Цель работы:

Ознакомление с методами получения и анализа поляризованного света

2 В работе используются:

- оптическая скамья с осветителем
- зелёный светофильтр
- два поляроида
- чёрное зеркало
- полированная эбонитовая пластинка
- стопа стеклянных пластинок
- пластинки в $1/4$ и $1/2$ длины волны
- пластинка в одну длину волны для зелёного света (пластинка чувствительного оттенка)

3 Теоретические положения

При помощи специальных приспособлений (поляризаторов), естественный свет может быть превращен в линейно поляризованный (или, как иногда говорят, в плоскополяризованный). В линейно поляризованной световой волне пара векторов **E** и **H** не изменяет с течением времени своей ориентации. Плоскость **E**, **S** называется в этом случае *плоскостью колебаний*.

Наиболее общим типом поляризации является *эллиптическая поляризация*. В эллиптически поляризованной световой волне конец вектора **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:

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

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

$$\operatorname{tg} i = n. \quad (2)$$

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. При падении свет а на отражающую поверхность под углом Брюстера свет в отраженном луче полностью поляризован, а вектор **E** параллелен отражающей поверхности («правило иголки»). Луч света, прошедший поляризатор 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 поляризатор вокруг направления луча и чёрное зеркало вокруг оси, перпендикулярной лучу, методом последовательных приближений можно добиться минимальной яркости луча, отраженного от зеркала, и таким образом определить разрешенное направление поляроида. Измеряя угол поворота зеркала (угол Брюстера), нетрудно определить коэффициент преломления материала, из которого изготовлено зеркало

4 Ход работы

4.1 Определение разрешённых направлений поляроидов

1. Разместим на оптической скамье осветитель S, поляроид P1 и чёрное зеркало (пластинку чёрного стекла) так, чтобы плоскость падения была горизонтальна. Свет, отражённый от зеркала, рассматриваем сбоку, расположив глаз таким образом, чтобы вблизи оси вращения зеркала можно было увидеть изображение диафрагмы осветителя. Поворачивая поляроид вокруг направления луча, добьёмся наименьшей яркости отражённого пятна. Оставим поляроид в этом положении и вращением зеркала вокруг вертикальной оси снова добьёмся минимальной интенсивности отражённого луча.

Для первого поляроида разрешённое направление горизонтальное, на лимбе 336°

2. Вместо чёрного зеркала поставим второй поляроид. Скрестим их, определим разрешённое направление второго поляроида - горизонтальная волна, на лимбе 40°

4.2 Определение угла Брюстера для эбонита

1. Поставим на скамью вместо чёрного зеркала эбонитовую пластину с круговой шкалой.
2. Повернем эбонитовое зеркало вокруг вертикальной оси так, чтобы его плоскость была перпендикулярна лучу, и попытаемся совместить отражённое от эбонита пятно с отверстием осветителя.
3. Установите направление разрешённых колебаний поляроида P1 горизонтально и найдите угол поворота эбонита φ_B , при котором интенсивность отражённого луча минимальна: его абсолютное значение равно 304°
4. Повторите измерения, добавив светофильтр Φ , и сравним результаты - они получились одинаковыми
5. По углу Брюстера рассчитайте показатель преломления эбонита и сравните с табличным.

$$n = \operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} -304^\circ = 1.48$$

Табличное значение показателя преломления эбонита $n = 1.6$

4.3 Исследование стопы

Поставим стопу стеклянных пластинок вместо эбонитового зеркала и подберем для неё такое положение, при котором свет падает на стопу под углом Брюстера. Осветим стопу неполяризованным светом (снимите поляризатор с оптической скамьи) и, рассматривая через поляроиды свет, отражённый от стопы, определим ориентацию вектора **Е** в отражённом луче; затем определим характер поляризации света в преломлённом луче.

Наблюдая прошедший через стопу стеклянных пластинок луч света, убеждаемся, в том что плоскости поляризации у отраженного и преломленного лучей взаимно перпендикулярны: Угол на лимбе $P_1 = 328^\circ$, $P_2 = 235^\circ$. Преломленные лучи горизонтальные, отраженные – вертикальные. Установили, что лучи имеют правый круговой тип поляризации.

4.4 Определение главных плоскостей двоякопреломляющих пластин

Поставим кристаллическую пластинку между скрещенными поляроидами P_1 и P_2 . Вращая пластинку вокруг направления луча и наблюдая за интенсивностью света, проходящего сквозь второй поляроид, определите, при каком условии главные направления пластинки совпадают с разрешёнными направлениями поляроидов. Повторите опыт для второй пластинки.

Пластина 1	Пластина 2
<i>min</i> : $62^\circ, 152^\circ$	<i>min</i> : $18^\circ, 109^\circ$
<i>max</i> : $106^\circ, 202^\circ$	<i>max</i> : $70^\circ, 160^\circ$

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

4.5 Выделение пластин $\lambda/2$ и $\lambda/4$

Добавим к схеме зелёный фильтр; установим разрешённое направление поляроида 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.

4.6 Определение направлений большей и меньшей скоростей в пластинке $\lambda/4$

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

Установив разрешённое направление первого поляроида горизонтально и убедимся с помощью второго поляроида, что эта пластинка не меняет поляризацию зелёного света в условиях предыдущего опыта.

2. Уберем зелёный фильтр и поставим между скрещенными поляроидами пластинку λ (стрелка под углом 45° к разрешённым направлениям поляроидов). Глядя сквозь второй поляроид на стрелку, убедимся, что она имеет пурпурный цвет (зелёный свет задерживается вторым поляроидом, а красная и синяя компоненты проходят).
3. . Добавим к схеме пластинку $\lambda/4$, главные направления которой совпадают с главными направлениями пластины λ и ориентированы под углом 45° к разрешённым направлениям скрещенных поляроидов
4. Теперь уберём пластину чувствительного оттенка. После второго поляроида интенсивность минимальная - значит, быстрая ось пластинки направлена горизонтально, направление вращения правое, направление колебаний в первом и третьем квадрантах (разность фаз $\pi/4$).

При повороте рейтера со стрелкой на 180 вокруг вертикальной оси цвет стрелки меняется от зелёно-голубого до оранжево-жёлтого.

4.7 Определение направления вращения светового вектора в эллиптически поляризованной волне

1. Снова поставим зелёный фильтр, а за ним между скрещенными поляроидами — пластинку произвольной толщины ($\lambda/4$).
2. Получим эллиптически-поляризованный свет. Для этого установим разрешённое направление первого поляроида под углом $10-20$ к горизонтали так, чтобы вектор **Е** падающего на пластинку света был расположен в первом квадранте. Установим разрешённое направление второго поляроида вертикально и, вращая пластинку, найдем минимальную интенсивность света, прошедшего второй поляроид. Вращая второй поляроид, убедитесь, что свет поляризован эллиптически, а не линейно. Таким образом, получим эллипс поляризации с вертикально ориентированной малой осью.
3. Для определения направления вращения светового вектора в эллипсе установим между поляроидами дополнительную пластинку $/4$ с известными направлениями «быстрой» и «медленной» осей, ориентированными по осям эллипса поляризации анализируемого света. В этом случае вектор **Е** на выходе будет таким, как если бы свет прошёл две пластинки $/4$: свет на выходе из второй пластинки будет линейно поляризован. Если пластинки поодиночке дают эллипсы, вращающиеся в разные стороны, то поставленные друг за другом, они компенсируют разность фаз, и вектор **Е** на выходе останется в первом и третьем квадрантах. Если же световой вектор перешёл в смежные квадранты, значит, эллипсы вращаются в одну сторону.

После второго поляроида интенсивность света максимальна. Значит, две пластины усиливают друг друга, световой вектор перешёл в смежные квадранты, эллипсы вращаются в одну сторону.

4.8 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 $3\lambda/4$).

Вращаем пластинку: изменяется интенсивность света с периодичностью $\pi/4$

Вращаем второй поляроид: изменяется (инверсируется) цвет пластинок также с периодичностью $\pi/4$.

Расшифровка пластинки по длинам волн:

Таблица 1: Цвет ячеек и их толщина

$3\lambda/4$ зелёный	$\lambda/2$ пурпурный	$3\lambda/4$ зелёный
$\lambda/4$ красный	-	$\lambda/4$ красный
λ жёлтый	$3\lambda/4$ синий	λ жёлтый

5 Вывод

Поляризованный свет обладает большим числом свойств, которые можно применять для исследования оптических характеристик различных приборов и веществ.