

---

Московский Физико-Технический Институт  
(государственный университет)

Лабораторная работа по курсу общей физики № 4.7.3

---

## Изучение поляризованного света

---

**Автор:**

Филиппенко Павел Б01-001



Долгопрудный, 2022

**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
- пластинки в  $1/4$  и  $1/2$  длины волны
- пластинка в одну длину волны для зелёного света (пластинка чувствительного оттенка)

## 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:

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

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

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

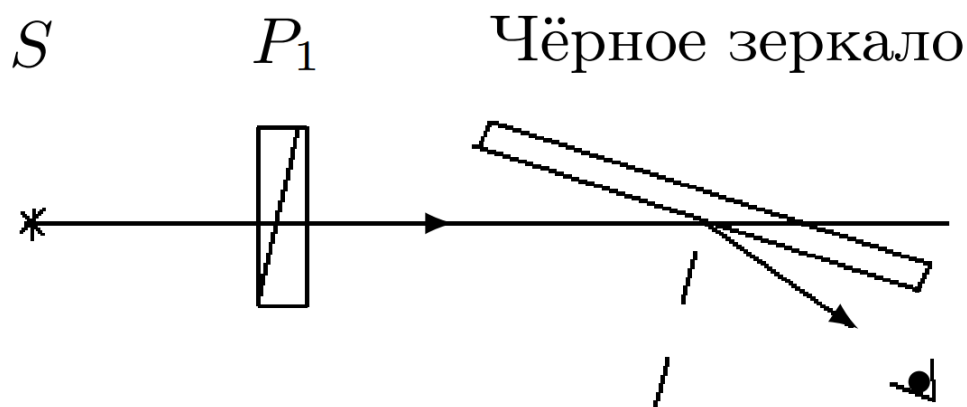


Рис. 1

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

#### Определение направления разрешенной плоскости колебаний поляроида

При падении света на отражающую поверхность под углом Брюстера свет в отражённом луче полностью поляризован, а вектор  $\mathbf{E}$  параллелен отражающей поверхности («правило иглки»). 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  $\mathbf{E}$  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. Измеряя угол поворота зеркала (угол Брюстера), нетрудно определить коэффициент преломления материала, из которого изготовлено зеркало.

## Ход работы и обработка данных

### Определение разрешённых направлений поляроидов

1. Разместим на оптической скамье осветитель  $S$ , поляроид  $P_1$  и чёрное зеркало. 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  $\alpha_1 \approx 78^\circ \pm 2^\circ$ .

2. Вместо чёрного зеркала поставим второй поляроид. Скрестим их, определим разрешённое направление второго поляроида – горизонтальная волна, на лимбе  $\alpha_2 \approx 36^\circ \pm 2^\circ$ .

### Определение угла Брюстера для эбонита

1. Поставим на скамью вместо чёрного зеркала эбонитовую пластину с круговой шкалой.

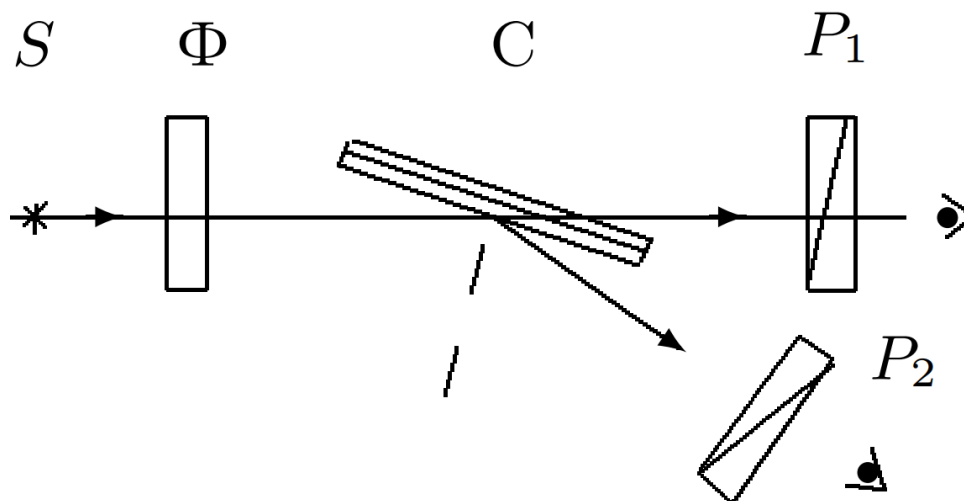


Рис. 2

2. Повернем эбонитовое зеркало вокруг вертикальной оси так, чтобы его плоскость была перпендикулярна лучу, начальная метка отсчета на шкале  $\alpha_0 = 214^\circ$ .
3. Установим направление разрешённых колебаний поляроида  $P_1$  горизонтально и найдите угол поворота эбонита  $\varphi_B$ , при котором интенсивность отражённого луча минимальна: его абсолютное значение равно  $\varphi_B = 273^\circ - 214^\circ = 59^\circ$ .
4. Повторим измерения, добавив светофильтр. Угол Брюстера в этом эксперименте оказался равным  $\varphi_B = 56^\circ$ .
5. По углу Брюстера рассчитаем показатель преломления.

$$n = \tan \varphi_B \Rightarrow n = 1.66 \quad (3)$$

Табличное значение показателя преломления эбонита  $n = 1.6$ .

## 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 и, рассматривая через поляроиды свет, отражённый от стопы, определим ориентацию вектора **Е** в отражённом луче и в преломлённом луче.

Для отраженного света  $\gamma_1 = 85^\circ$

Для прошедшего света  $\gamma_2 = 171^\circ$

## Определение главных плоскостей двоякопреломляющих пластин

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

Минимумы на первой пластинке наблюдаются при углах:

$$\alpha_1 = 12^\circ \quad \alpha_2 = 102^\circ \quad \alpha_3 = 190^\circ \quad \alpha_4 = 282^\circ$$

Минимумы на второй пластинке наблюдаются при углах:

$$\alpha_1 = 44^\circ \quad \alpha_2 = 134^\circ \quad \alpha_3 = 224^\circ \quad \alpha_4 = 314^\circ$$

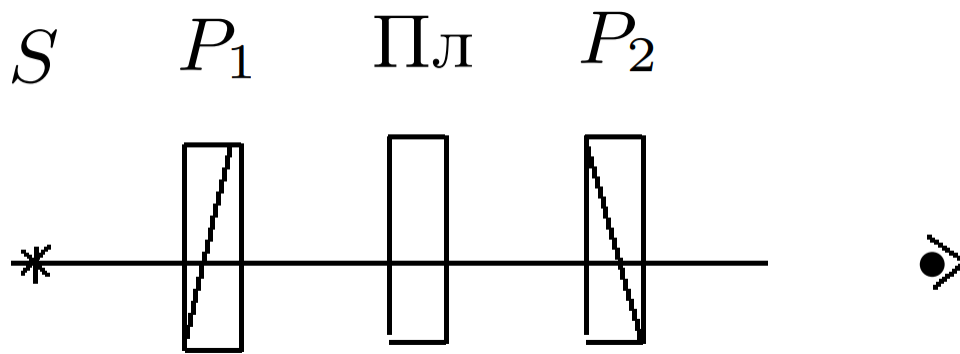


Рис. 3

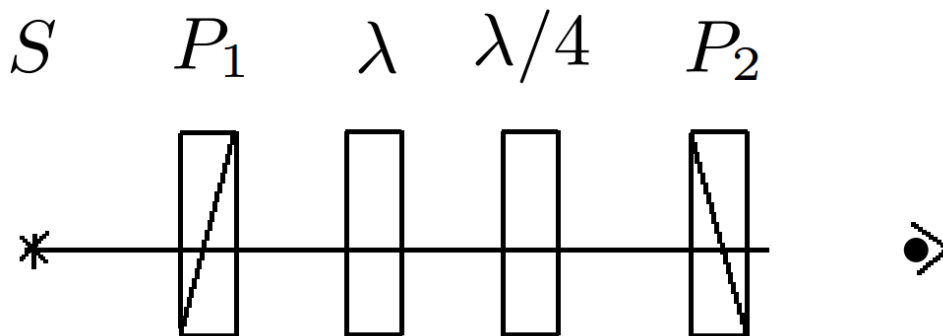


Рис. 4

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

Добавим к схеме зелёный фильтр; установим разрешённое направление поляроида горизонтально, а главные направления исследуемой пластинки — под углом  $45^\circ$  к горизонтали.

Рассмотрим эффект от двух представленных пластинок:

1. Изучении первой пластинки: при вращении второго поляроида слегка (но не особо сильно) меняется цвет, а интенсивность света остается неизменной, то есть мы наблюдаем эллиптическую (или круговую поляризацию).
2. Изучение второй пластинки: при вращении второго поляроида меняется интенсивность света, то есть мы наблюдаем линейную поляризацию.

Нам известно, что пластинка  $\lambda/2$  не меняет характер поляризации, при её повороте, а пластинка  $\lambda/4$  создаёт сдвиг фаз  $\pi/2$  между колебаниями. Поскольку до прохождения пластинки свет был поляризован линейно (после прохождения через первый поляроид) изменение поляризации на эллиптическую (исчезновение минимумов при наблюдении) детектирует пластинку  $\lambda/4$ , сохранение минимумов (сохранение линейной поляризации) детектирует пластинку  $\lambda/2$ .

**Вывод:** наблюдаемая пластинка №1 –  $\lambda/4$ , пластинка №2 –  $\lambda/2$ .

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

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

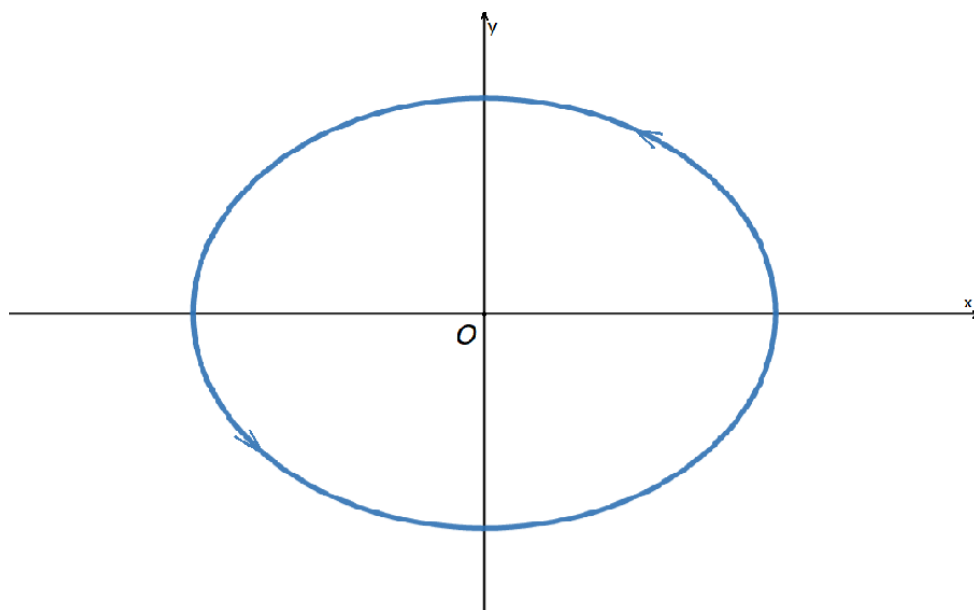


Рис. 5

Установим 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  $\lambda$  (стрелка под углом  $45^\circ$  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  $\lambda$  и ориентированы под углом  $45^\circ$  к разрешённым направлениям скрещенных поляроидов
4. Теперь уберём пластину чувствительного оттенка. После второго поляроида интенсивность минимальная – значит, быстрая ось пластины направлена горизонтально, направление вращения правое, направление колебаний в первом и третьем квадрантах (разность фаз  $\pi/4$ ). При повороте рейтера со стрелкой на  $180^\circ$  вокруг вертикальной оси цвет стрелки меняется от зелёно-голубого до оранжево-жёлтого.

### 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  $10 - 20^\circ$  к горизонтали так, чтобы вектор **Е** падающего на пластинку света был расположен в первом квадранте. Установим разрешённое направление второго поляроида вертикально и, вращая пластинку, найдём 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  $\lambda/4$  с известными направлениями «быстрой» и «медленной» осей, ориентированными по осям эллипса поляризации анализируемого света. В этом случае вектор  $\mathbf{E}$  на выходе будет таким, как если бы свет прошёл две пластинки  $\lambda/4$ : свет на выходе из второй пластинки будет линейно поляризован. Если пластинки поодиночке дают эллипсы, вращающиеся в разные стороны, то поставленные друг за другом, они скомпенсируют разность фаз, и вектор  $\mathbf{E}$  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.

## Интерференция поляризованных лучей

Расположим между скрещенными поляроидами мозаичную слюдяную пластинку. Она собрана из 4-х узких полосок слюды, лежащих по сторонам квадрата (две полоски  $\lambda/4$  и по одной –  $\lambda/2$  и  $3\lambda/4$ ).

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

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

## Контрольные вопросы

1. Во всех процессах взаимодействия света с веществом основную роль играет вектор напряжённости электрического поля  $\mathbf{E}$ , поэтому его называют **световым вектором**.
2. Из законов преломления Снеллиуса  $\sin \varphi = n \sin \psi$ . Угол Брюстера  $\tan \varphi = n$ . Подставляя первое уравнение во второе получаем  $\cos \varphi = \sin \psi$ , откуда получаем  $\varphi + \psi = \frac{\pi}{2}$ .