

## Демонстрация поляризации света

### Цель работы

Целью работы являются:

- 1) исследование поляризации естественного света;
- 2) изучение зависимости интенсивности света, прошедшего через поляризатор и анализатор, от угла между их осями.

### Метод экспериментального исследования явления

Работа состоит из двух частей. В первой части работы демонстрируется отсутствие поляризации у естественного света. Свет от лампы накаливания пропускается через поляроид-поляризатор.

Интенсивность прошедшего света регистрируется с помощью датчика освещенности (люксметра).

Во второй части работы свет от лампы накаливания последовательно пропускается через поляроид-поляризатор и поляроид-анализатор. Исследуется зависимость интенсивности прошедшего света от угла между их осями.

### Теория

*Поляризация света* — это физическая характеристика оптического излучения, связанная с зависимостью свойств световых волн от направления в плоскости, перпендикулярной световому лучу (направлению распространения световой волны). Поляризованными могут быть только поперечные волны. Поперечность световых волн подтверждена многочисленными экспериментами по распространению света в кристаллах.

Свет называется *линейно-поляризованным (плоско-поляризованным)*, если в световой волне направления колебаний векторов напряженности  $E$  электрического поля и индукции  $B$  магнитного поля строго фиксированы. Естественный свет неполяризован, направления колебаний электрического и магнитного полей в нем хаотически меняются, так что для него все направления колебаний в плоскости, перпендикулярной лучу, равновероятны.

Существуют различные способы получения поляризованного света. Устройства, с помощью которых из естественного света выделяют поляризованный свет, называются *поляризаторами*. В качестве поляризаторов обычно используют прозрачные кристаллы (турмалин, исландский шпат), а также поляроиды — искусственно получаемые коллоидные пленки. Для обнаружения поляризации света служат *анализаторы*, которые по своему принципу действия идентичны поляризаторам. Поляризатор пропускает свет только с определенным направлением колебаний электрического и магнитного полей (рис. 1).

В зависимости от ориентации анализатора по отношению к поляризатору поляризованный свет либо проходит, либо не проходит через него.

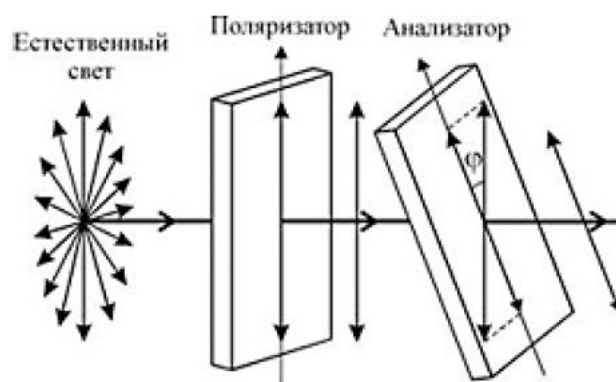


Рис. 1. Прохождение естественного света через поляризатор и анализатор

Пусть два поляроида установлены на пути светового луча друг за другом так, что их оси  $OA_1$  и  $OA_2$  образуют между собой некоторый угол  $\phi$  (рис. 2). Первый поляризатор пропускает свет, вектор напряженности  $E_0$  электрического поля, в котором совершает колебания вдоль оси  $OA_1$ . Разложим вектор  $E_0$  на две составляющие: вектор  $E_{\parallel}$ , параллельный оси  $OA_2$  второго поляроида, и вектор  $E_{\perp}$ ,

перпендикулярный оси  $OA_2$  ( $E_0 = E_{\parallel} + E_{\perp}$ ). Составляющая  $E_{\perp}$  будет задержана вторым поляроидом. Через оба поляроида пройдет свет, вектор напряженности электрического поля, в котором  $E_0 = E_{\parallel}$ . Модуль этого вектора  $E = E_0 \cos \phi$ . Следовательно, интенсивность света, прошедшего через оба поляроида, равна  $I = I_0 \cos^2 \phi$ , где  $I_0 \sim E_0^2$  — интенсивность падающего света. Такое соотношение справедливо для любого поляризатора и анализатора.

В частности, когда поляризатор и анализатор повернуты относительно друг друга на  $\phi = 90^\circ$ , световые волны через них не проходят.

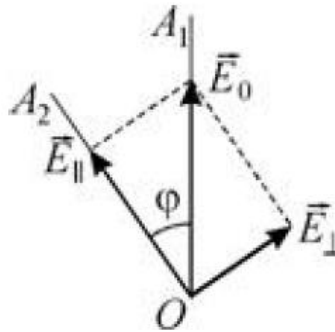


Рис. 2. Прохождение плоско-поляризованного света через анализатор

Световая волна, у которой колебания электрического поля в каком-либо одном направлении преобладают над колебаниями в других направлениях, называется *частично поляризованным светом*. Частично поляризованный свет можно рассматривать как смесь естественного и плоскополяризованного света. Если пропускать частично поляризованный свет через поляризатор, то при вращении поляризатора вокруг оси падающего на него пучка интенсивность прошедшего света будет изменяться от  $I_{\max}$  до  $I_{\min}$ .

Выражение  $P = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})$  называется *степенью поляризации*. Для плоскополяризованного света  $I_{\min} = 0$  и  $P = 1$ , для естественного света  $I_{\max} = I_{\min}$  и  $P = 0$ .

### Контрольные вопросы

1. Какие эксперименты доказывают поперечность световых волн?
2. Какой свет называется линейно-поляризованным?
3. Как поляризован естественный свет?
4. Какие свойства приобретает естественный свет, пройдя поляризатор?
5. Какую роль выполняет анализатор при наблюдении поляризации света?

### Оборудование экспериментальной установки

Датчик освещенности:

Два поляроида в оправках.

Лимб: цена деления  $1^\circ$ .

Три штатива высотой 70–100 см с крепежом.

Источник света с лампой накаливания: мощность лампы 60–75 Вт.



**Примечание.** В качестве источника света можно использовать настольную лампу, допускающую регулировку направления светового потока.



## Параметры экспериментальной установки

### Длительность проведения эксперимента

Исследование зависимости интенсивности прошедшего через поляризатор света от угла поворота поляризатора может быть проведено за 1–2 мин. Исследование зависимости интенсивности прошедшего через поляризатор и анализатор света от угла между их осями может быть проведено за 2–3 мин.

На обсуждение содержания эксперимента и его результатов, ответы на вопросы во время выполнения измерений и после их окончания отводится 10–30 мин.

### Точность измерений

При строгом следовании рекомендациям разделов «Монтаж и настройка», «Подготовка приборов» и «Методика выполнения эксперимента» данный эксперимент позволяет измерить освещенность с точностью до 2 лк.

### Техника безопасности

Во время проведения эксперимента необходимо соблюдать все правила техники безопасности, указанные для персонального компьютера как электрического оборудования.

Используемое измерительное оборудование (система сбора данных, датчик освещенности) экспериментальной установки рассчитано на питание от низковольтного напряжения, не представляющего опасности для человека.

### Обеспечение наглядности результатов эксперимента

Опыт следует проводить на демонстрационном столе в месте, позволяющем обеспечить хороший обзор проведения эксперимента для каждого ученика.

Для обеспечения удобства управления демонстрацией эксперимента компьютер необходимо располагать достаточно близко от установки (на расстоянии не более 1,5 м).

Экран компьютера рекомендуется продублировать с помощью проектора.

## Монтаж и настройка

Источник света 1 с лампой накаливания устанавливается на демонстрационном столе так, чтобы основной световой поток от него был направлен горизонтально.

На двух штативах с помощью зажимов закрепляются поляризаторы в оправках 2, выполняющие роль поляризатора и анализатора. На оправке поляризатора-анализатора закрепляется лимб 3, предназначенный для отсчета угла поворота анализатора. На третьем штативе закрепляется в горизонтальном положении датчик освещенности 4. Источник света, поляризатор, анализатор и датчик освещенности располагаются на столе последовательно друг за другом. Собранная установка юстируется так, чтобы центры поляризаторов и входная апертура датчика освещенности находились на одной горизонтальной прямой, проходящей через нить лампы накаливания.

## Подготовка приборов

Перед началом проведения эксперимента необходимо выполнить следующее:

Внимательно прочитайте инструкции, подготовьте необходимое оборудование, соберите установку в соответствии с разделом «Монтаж и настройка».

Запустите программу **SensorLab ПО**.

Откройте раздел **Опыт со светом**

Подключите систему сбора данных SensorLab к компьютеру с помощью USB кабеля.

Подключите датчик освещенности к аналоговому входу системы сбора данных.

## Методика выполнения эксперимента

Перед началом измерений объясните учащимся, что используемый в опыте датчик освещенности измеряет величину, пропорциональную интенсивности падающего на него света. Поскольку прямой пересчет показаний датчика (лк) в единицы интенсивности ( $\text{Вт/м}^2$ ) провести затруднительно, результаты измерений приводятся в некоторых произвольных единицах.



### Проведение измерений

Выньте из оправки и временно отложите в сторону поляририд-поляризатор. В первом опыте роль поляризатора света будет выполнять поляририд-анализатор. Для удобства отсчета угла поворота этого поляриоида нанесите на его кольцо яркую метку (например, корректирующей жидкостью «штрих») напротив нулевой отметки на лимбе.

Включите источник света. Нажмите кнопку **Пуск**. При этом на графике **Интенсивность–Угол** появится первая точка, соответствующая измеренному значению интенсивности света, попавшего в апертуру люксметра при исходном положении поляриоида (при нулевом значении угла поворота поляризатора). На диаграмме, расположенной справа от графика, отобразится текущее значение интенсивности.

Значение угла поворота автоматически увеличится на  $15^\circ$ .

Поверните поляририд вокруг оси на угол  $15^\circ$ , нажмите кнопку **Пуск**. На графике **Интенсивность–Угол** появится вторая точка, соответствующая повороту поляризатора на угол  $15^\circ$ . На диаграмме, расположенной справа от графика, отобразится измеренное значение интенсивности.

**Примечание.** В программе предусмотрена возможность изменения угла поворота анализатора с другим шагом. В этом случае значение угла нужно вводить в поле **Угол поворота** вручную.

Проведите измерения по пункту 3 для нескольких положений поляризатора. Работу выполняйте до тех пор, пока угол поворота поляризатора не станет равным  $180^\circ$ .

При каждом последующем измерении на графике зависимости интенсивности света от угла поворота поляризатора добавляются новые точки.

Если угол поворота поляризатора увеличился до  $90^\circ$  и на графике отображено шесть или больше точек, то по совокупности этих точек строится аппроксимирующая кривая вида  $I_{\max} \square \square I_0 \cos^2 \varphi$ . По аппроксимирующей зависимости автоматически определяются значения максимальной интенсивности ( $I_{\max} \square \square I_0 \square \square I_{\min}$ ), минимальной интенсивности и степени поляризации света. Эти данные отображаются в соответствующих ячейках активной строки таблицы результатов.

### Анализ результатов

Обратите внимание учащихся на то, что степень поляризации света, испускаемого лампой накаливания, близка к нулю. Следовательно, этот свет не поляризован.

### Повторные измерения

Вставьте в оправку поляририд-поляризатор. Совместите метку на кольце поляририда анализатора с нулевой отметкой на лимбе.

Включите источник света. Наблюдая за индикатором, отображающим на экране измеренные значения интенсивности света, прошедшего через поляризатор и анализатор, вращайте кольцо поляризатора до тех пор, пока интенсивность света не достигнет максимума. Объясните учащимся, что при таком положении поляризатора и анализатора их оси параллельны.

Нажмите кнопку **Удалить данные**. При этом очищаются поле графика **Интенсивность – Угол** и активная строка таблицы результатов.

Проведите измерения по пунктам 2–5 раздела «Проведение измерений».

### Анализ результатов

Обратите внимание учащихся на то, что при скрещенном положении поляризатора и анализатора (когда поляризатор и анализатор повернуты относительно друг друга на угол  $90^\circ$ ), интенсивность прошедшего света практически равна нулю. Следовательно, естественный свет, прошедший поляризатор, приобретает линейную поляризацию.

### Дополнительное задание

Целью дополнительного задания является демонстрация возникновения частичной поляризации у света, отраженного от поверхности прозрачного диэлектрика. При переходе к этому заданию выполните следующее. Уберите штатив с поляризатором. Отодвиньте источник света от анализатора и положите на стол между источником и анализатором стеклянную пластинку (размером не менее  $20 \times 20$  см) или поставьте плоский непрозрачный сосуд (диаметром  $15\text{--}20$  см) с водой. Расположите источник света так, чтобы основной световой поток падал на поверхность стекла (или воды) под углом примерно  $50^\circ$ . Поверните оправку анализатора так, чтобы плоскость поляриоида была перпендикулярна



отраженному от стекла (или воды) свету. Закрепите датчик освещенности на штативе таким образом, чтобы его входная апертура была направлена в сторону света, прошедшего через анализатор. Проведите измерения по пунктам 2–5 раздела «Проведение измерений». После окончания измерений обратите внимание учащихся на то, что естественный свет после отражения от поверхности прозрачного диэлектрика становится частично поляризованным.

## **Справка**

### **Принцип работы датчика освещенности**

Чувствительным элементом датчика освещенности является силиконовый фотодиод.

Фотодиод – это полупроводниковый диод, который преобразует энергию оптического излучения в электрическую энергию. Напряжение на выходе фотодиода изменяется пропорционально изменению интенсивности падающего излучения. Спектральная чувствительность фотодиода примерно равна чувствительности глаза человека. Переключатель на корпусе датчика предназначен для выбора диапазона измерений освещенности: диапазон 0–600 лк (наиболее чувствительная область измерений) используется для работы в условиях низкой освещенности; диапазон 0–6000 лк подходит для работы в условиях нормальной освещенности внутри помещений; диапазон 0–150000 лк применяется при проведении измерений в условиях солнечного света.