

# Методические указания

Ю.Ю. Инфимовский, А.В. Семиколенов, Е.В. Онуфриева

Лабораторная работа О-102

**ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА. ЗАКОН МАЛЮСА.**

2023 год

# Изучение явления поляризации света. Закон Малюса

## 1. Цель работы

Целью лабораторной работы является изучение поляризации света и ознакомление с методами получения плоско поляризованного света.

## 2. Задачи лабораторной работы

1. Исследование зависимости интенсивности плоско поляризованного света, прошедшего через поляризатор, от угла между плоскостями поляризатора и анализатора.
2. Проверка справедливости закона Малюса.

## 3. Экспериментальное оборудование, приборы и принадлежности



Рис. 1

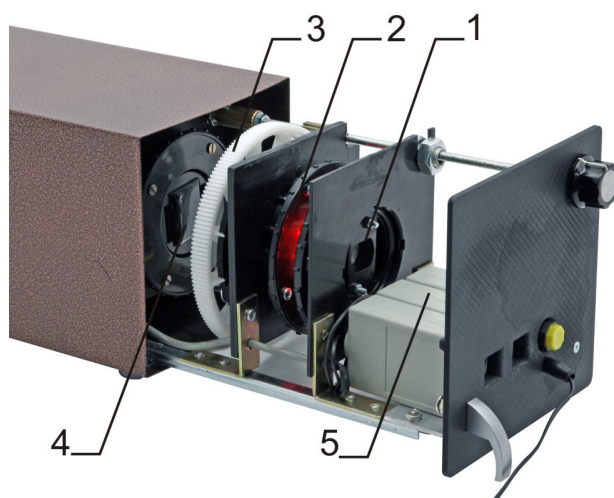


Рис. 2

Лабораторная установка, представляет собой заключенный в сдвижной светонепроницаемый кожух прибор (рис.1), у которого есть рабочее (рис.1) и настроечные положения (рис.2).

В установку (рис. 2,3) входит источник излучения 1 (светодиодная матрица), поляризатор 2, анализатор 3 с механическим приводом вращения, фотометрический датчик 4 для измерения интенсивности света и датчик угла поворота анализатора 5.

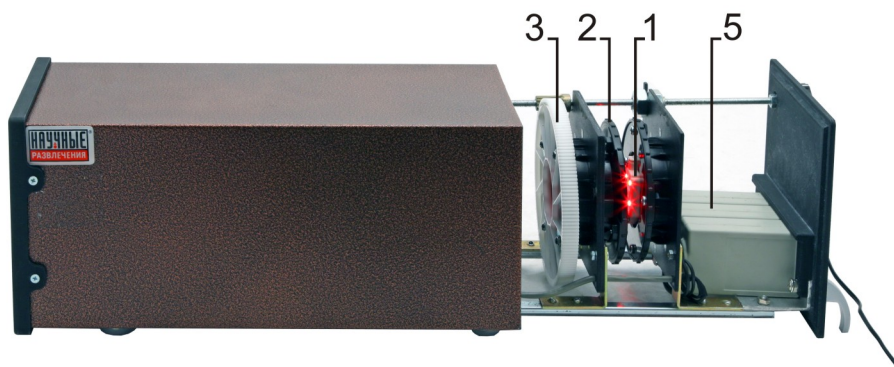


Рис. 3

К приборам и принадлежностям относятся компьютер с необходимым программным обеспечением и измерительные кабели.

#### 4. Теоретическая часть

Свет представляет собой поперечную электромагнитную волну. В однородных средах вектора напряженностей электрического поля  $E$  и магнитного поля  $H$  колеблются во взаимно перпендикулярных плоскостях (рис.2). Электромагнитное излучение, в котором направление электрического поля  $E$  остается неизменным, называется *линейно* или *плоско поляризованным излучением*, а плоскость, проведенная через направление вектора  $E$ , (его называют *световым вектором*) и направление распространения колебаний называется *плоскостью поляризации*.

В излучении естественного источника направление электрического поля хаотически меняется, оставаясь, однако, перпендикулярным направлению распространения волны. Такое излучение называется *неполяризованным*.

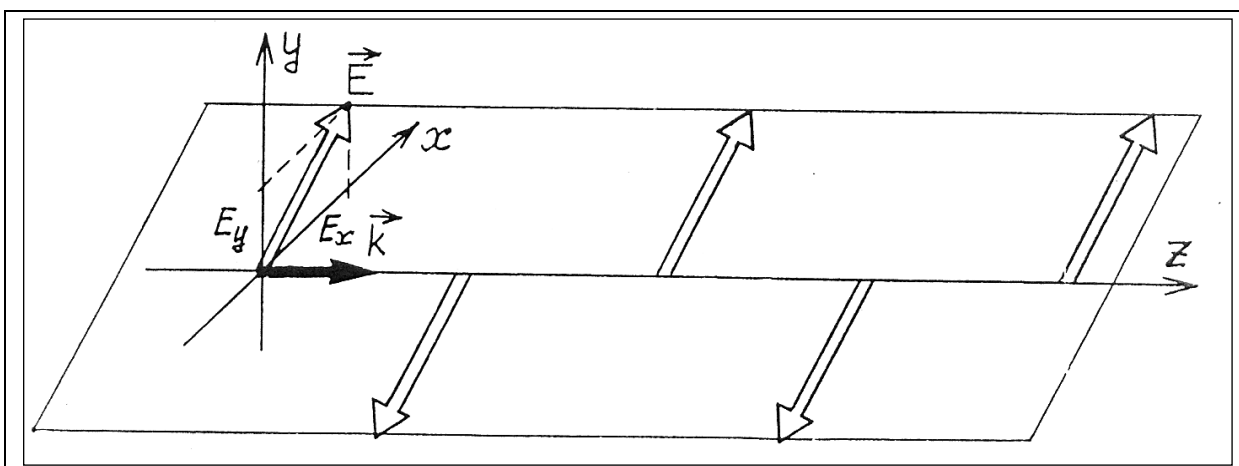


Рис.4

Большинство источников испускает некогерентный неполяризованный свет. Неполяризованный свет можно поляризовать с помощью поляризационных приборов. Такие приборы называются *поляризаторами*.

Обычный свет образован излучением большого числа молекул и атомов, излучающих независимо друг от друга. Световой вектор волны является результатом суперпозиции электрических полей цугов, испускаемых всеми атомами источника. Каждый атом во время акта излучения испускает цуг волн, плоско поляризованный в определенной плоскости, и, из-за очень большого количества излучающих атомов, направление вектора  $E$ , хотя и остается перпендикулярным оси  $z$ , меняется беспорядочно. Свет, в котором из-за хаотического изменения направления вектора  $E$  все направления светового вектора равновероятны называется *неполяризованным* или *естественным*. Наиболее близок к естественному прямой солнечный свет.

Пусть пучок света монохроматический с угловой частотой  $\omega$ . Так как напряженность электрического поля в электромагнитной волне меняется гармонически, то ее составляющие вдоль осей  $x$  и  $y$  можно представить в виде

$$E_x = E_{x0}\cos(\omega t), \quad E_y = E_{y0}\cos(\omega t + \varphi). \quad (1)$$

Здесь  $E_{x0}$  и  $E_{y0}$  – амплитуды колебаний  $x$ -ой и  $y$ -ой компонент, а  $\varphi$  – разность фаз между ними.  $\varphi$  всегда можно выбрать так, чтобы его модуль не превышал  $\pi$ . Вообще говоря, уравнения (1) описывают эллипс. Этот эллипс конец светового вектора проходит за один период колебаний. Если  $0 < \varphi < \pi$ , вращение происходит по часовой стрелке, и такой свет называется *право эллиптически* или *положительно поляризованным*. Если  $-\pi < \varphi < 0$ , то световой вектор вращается против часовой стрелки. Такой свет называется *лево эллиптически* или *отрицательно поляризованным*.

Эллипс может вырождаться в отрезок прямой линии, если  $\varphi = 0$  или  $\pm\pi$ , такой свет является линейно поляризованным. Если  $E_{x0} = E_{y0}$  и  $\varphi = \pm\pi/2$ , эллипс превращается в окружность. Такая волна называется *циркулярно поляризованной* или *поляризованной по кругу*. Если  $\varphi = \pi/2$ , свет право циркулярно поляризован, если  $\varphi = -\pi/2$ , – лево циркулярно поляризован.

Немонохроматический свет не может быть положительно или отрицательно поляризован, так как содержит компоненты, колеблющиеся с разными частотами, но может быть плоско поляризован. Немонхроматический свет, не являющийся ни естественным, ни линейно поляризованным, называется *частично поляризованным*.

Для произвольных декартовых осей  $x$  и  $y$ , перпендикулярных направлению распространения волны, любую световую волну можно представить как результат наложения двух фракций, одна из которых линейно поляризована параллельно оси  $x$ , а другая – параллельно оси  $y$ .

Естественный свет частично поляризуется при отражении, преломлении и даже при рассеянии в атмосфере. Например, если свет падает

на границу раздела двух прозрачных сред под таким углом, что отраженный и преломленный луч перпендикулярны, отраженный луч будет линейно поляризован перпендикулярно плоскости падения (закон Брюстера).

Свет с линейной поляризацией создают *лазеры* – источники оптического излучения, в рабочей зоне которого созданы специальные условия для того, чтобы атомы среды излучали согласованно. Из естественного света можно получить поляризованный свет, используя различные оптические явления

## Поляризационные устройства. Дихроизм

Двулучепреломляющие кристаллы (исландский шпат, кварц, натронная селитра и др.) можно использовать для получения линейно поляризованного света, но удобнее для этого так называемые *поляризационные призмы* – склеенные прозрачным клеем кристаллические трехгранные призмы со специально подобранными углами, из которых хотя бы одна вырезана из оптически анизотропного кристалла.

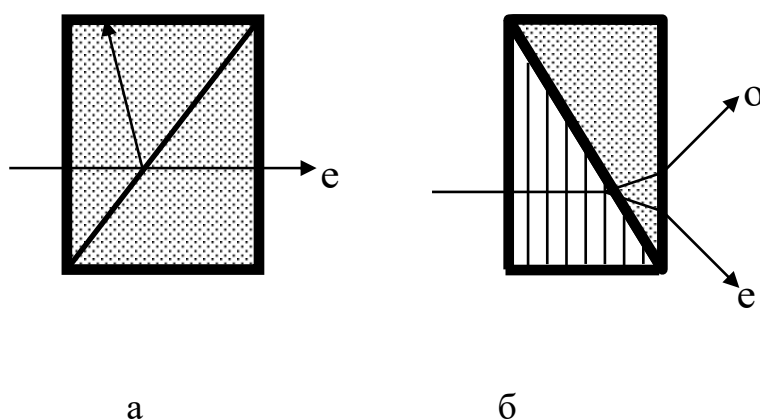


Рис. 4. Поляризационные призмы Глана (а) и Волластона (б). У кристаллов указаны направления оптических осей.

При преломлении в одной призме луч разделяется на две фракции. При преломлении на границе первой и второй призм либо одна из фракций отражается назад или на затемненную грань (см. рис. 4 а). Такие поляризационные призмы называются *однолучевыми*. Либо угол между направлениями распространения фракций увеличивается настолько, что их можно использовать независимо (см. рис. 4 б). Такие поляризационные призмы называются *двулучевыми*. В честь создателя первой поляризационной призмы шотландского ученого У. Николя такие поляризационные устройства иногда называют *николями*.

Третий способ получения линейно поляризованного света – использование так называемых *дихроичных кристаллов*. Дихроизм (*греч.* двуцветный) – различное поглощение света в зависимости от его поляризации. Дихроизм бывает *линейный* – различное поглощение света двух

взаимно перпендикулярных поляризаций, и *круговой* – различное поглощение света с правой и левой круговой поляризацией. Проще объяснить линейный дихроизм. В связи со строением кристаллической решетки электроны могут оказаться более подвижны в одном направлении, чем в перпендикулярном ему. Фракция, поляризованная в том направлении, в котором электроны более подвижны, тратит больше энергии на раскачку электронов и быстрее затухает. В конечном счете, эта энергия переходит в тепло.

Самый известные линейно дихроичные кристаллы – турмалин и герпатит (сульфат йодистого хинина). При прохождении через пластину турмалина толщиной в 1 мм обыкновенный луч практически полностью поглощается.

Еще удобнее, чем кристаллические пластины т. н. *поляроиды*. Поляроид представляет собой прозрачную пленку, в которую внедрены мельчайшие кристаллы или молекулы полимера с сильным линейным дихроизмом. Для сохранности поляризующая пленка защищена с двух сторон прозрачными пластинами. Поляроид действует как единый дихроичный кристалл.

Устройства, с помощью которых можно получить линейно поляризованный свет, называются *поляризаторами*. Плоскость, в которой они поляризуют проходящий через них свет, называется *плоскостью пропускания* данного поляризатора. Те же самые приспособления могут быть использованы для анализа степени и направления поляризации световой волны. В этом случае их называют *анализаторами*.

## Закон Малюса

Если на поляризатор падает линейно поляризованный свет с вектором напряженности  $E$ , и плоскость колебаний составляет угол  $\alpha$  с плоскостью поляризатора, то в волне, прошедшей через идеальный поляризатор, остается только компонента  $E_1$ , параллельная плоскости поляризатора (рис.б):

$$E_1 = E \cos\alpha, \quad E_2 = 0.$$

Поскольку интенсивность пропорциональна среднему квадрату напряженности, то для интенсивности линейно поляризованного света, прошедшего через идеальный поляризатор, получаем соотношение, называемое законом Малюса:

$$I_1 = I \cos^2\alpha. \quad (2)$$

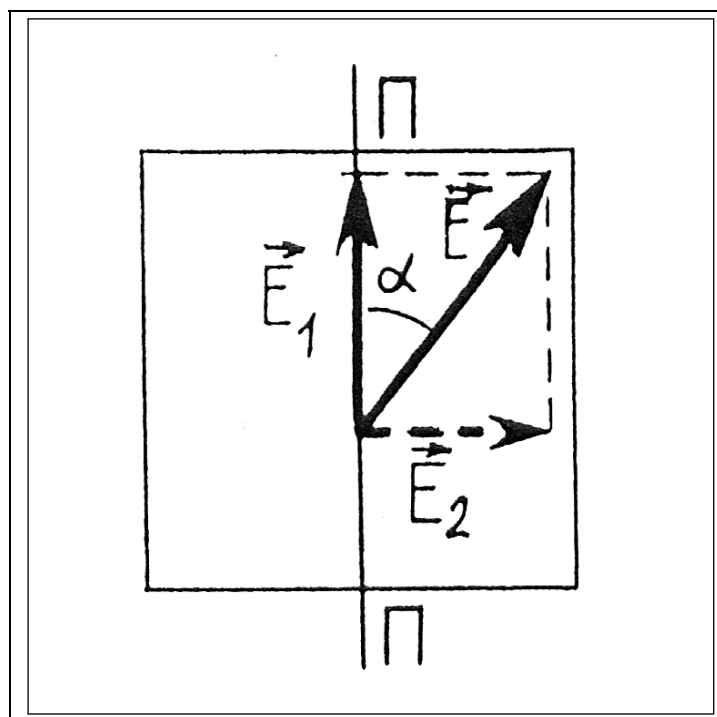


Рис.6

При падении на поляризатор естественного света, в прошедшей волне, в результате двойного лучепреломления, остается одна из компонент колебаний, параллельная плоскости пропускания (другая поглощается), т.е. естественный свет превращается в линейно поляризованный. Интенсивности, соответствующие взаимно перпендикулярным колебаниям, в естественном свете одинаковы, и равны половине общей интенсивности  $I_{ест}$ . После поляризатора имеем поляризованную волну с интенсивностью одной из ортогональных компонент:

$$I_{полю} = I_{ест} / 2. \quad (3)$$

При попадании на поляризатор частично поляризованного света закону Малюса подчиняется только поляризованная компонента. С учетом (2) и (3) получим:

$$I_{полю} = I_{пол} \cos^2 \alpha + I_{ест} / 2.$$

При  $\alpha = 0$  интенсивность максимальна, при  $\alpha = \pi/2$  – минимальна:

$$I_{max} = I_{пол} + I_{ест} / 2,$$

$$I_{min} = I_{ест} / 2.$$

Поворачивая идеальный поляризатор вокруг оси  $z$ , и измеряя интенсивность прошедшего света, можно найти степень поляризации падающего излучения:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (4)$$

Для плоско поляризованного света  $I_{\max} = 0$  и  $P = 1$ , для естественного света  $I_{\max} = I_{\min}$  и  $P = 0$ .

Поляризатор, используемый для анализа поляризации излучения, называют *анализатором*.

## 5. Описание лабораторной установки





При выполнении работы к выходным разъемам устройства 2 (рис.1) необходимо подключить измерительные кабели датчиков, идущие к USB-разъемам компьютера.

Напряжение питания осветителя — 12 В.

Поляризатор, преобразующий излучение светодиодной матрицы в поляризованный свет, установлен непосредственно за осветителем.



Вращение анализатора выполняется путем поворота ручки механического привода 1, соосно с которой размещен датчик угла поворота анализатора.

## 6. Порядок проведения лабораторной работы

1. Подключите датчик угла поворота и фотометрический датчик к USB – входу компьютера.
2. После включения компьютера запустите программу «Практикум по физике». Вызовите меню выбора эксперимента (кнопка ) и выберите соответствующий сценарий проведения эксперимента.
3. Включите светодиодную матрицу – осветитель, нажав кнопку на передней панели прибора. Дайте установке прогреться в течение 10 минут.
4. Установите анализатор в крайнее положение, вращая за рукоятку привода на лицевой панели установки до упора против часовой стрелки.
5. Запустите измерения, выбрав на панели инструментов кнопку «Запустить измерения» (Ctrl+S) .
6. На экране появится окно «Обработка». Для проведения измерений перейдите на вкладку «Таблица».
7. Проведите измерения. Изменяя угол ориентации поляризатора с шагом 10-15 градусов, сохраняйте значения интенсивности, нажимая на кнопку «дискета»  после каждого изменения угла. Все данные будут записываться в таблицу.
8. По окончании эксперимента остановите измерения, нажав на кнопку (Ctrl+T) .



## 7. Обработка результатов измерений

1. Перейдите на вкладку «График», в которой по экспериментальным точкам строится график зависимости интенсивности от угла поворота анализатора.
2. Подберите начальное значение угла, соответствующее одинаковой ориентации поляризатора и анализатора (максимальное пропускание света). Перейдите на вкладку «Исх. данные» и введите это значение в соответствующую ячейку.
3. Проведите аппроксимацию графика зависимости интенсивности от угла поворота квадратичной косинусной зависимостью. Для этого вернитесь на вкладку «График» и выберите из выпадающего списка в верхнем левом углу экрана функцию соответствующего вида. После этого нажмите кнопку  для построения аппроксимирующей кривой.
4. Постройте график зависимости интенсивности от  $\cos^2\alpha$  и проверьте ее линейность. Для этого перейдите на вкладку «Линеаризация», выберите из выпадающего списка в верхнем левом углу экрана функцию вида прямой пропорциональности и нажмите кнопку .
5. Сделайте вывод о соответствии полученной зависимости закону Малюса.

## 8. Указания по технике безопасности

1. Перед выполнением работы получите инструктаж у лаборанта.
2. Соблюдайте общие правила техники безопасности работы в лаборатории "Физика".

## 9. Контрольные вопросы

1. Какой свет называется естественным, плоско поляризованным, частично поляризованным?
2. Дать определение плоскости колебаний и плоскости поляризации, светового вектора.
3. Каковы основные способы получения поляризованного света?
4. В чем состоит явление дихроизма?
5. При каких условиях наблюдается интерференция поляризованных лучей?
6. Расскажите о явлении «вращения» плоскости поляризации.
7. Что такое поляризатор, анализатор? Как действует призма Николя?
8. Что такое поляроид?
9. Сформулируйте закон Малюса.
10. Что такое степень поляризации?
11. Что представляет собой свет? Расскажите о взаимной ориентации векторов напряженностей электрического и магнитного полей.
12. В чем состоит двойное лучепреломление?
13. Чему равна интенсивность прошедшей волны при падении на поляризатор плоско поляризованного света?

14. Чему равна интенсивность прошедшей волны при падении на поляризатор естественного света?

15. Чему равна интенсивность прошедшей волны при падении на поляризатор частично поляризованного света?

16. Чему равна степень поляризации естественного света? Плоско поляризованного?

17. Чему равны максимальная и минимальная интенсивности частично поляризованного света?