

**Работа № 3.02**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА**

*В.П. Савельев*

**Цель работы**

Исследовать свойства поляризованного света.

**Задачи**

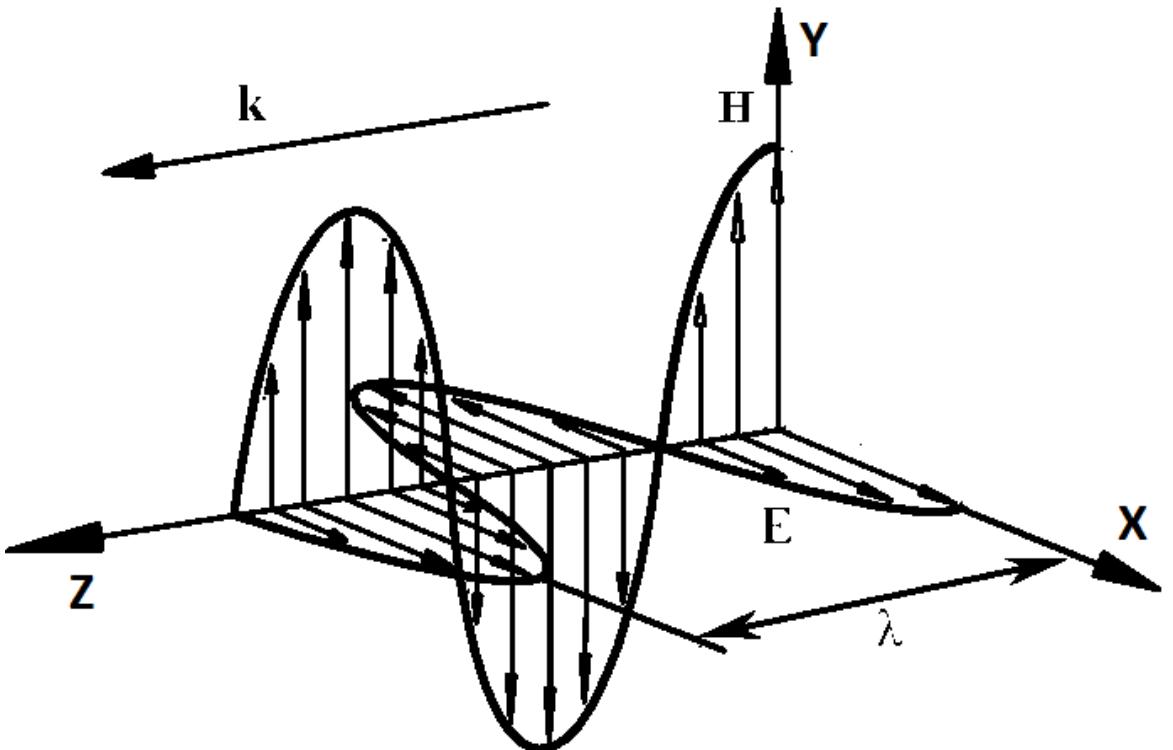
1. Проверка закона Малюса.
2. Преобразование линейно поляризованного света в циркулярно-поляризованный помошью фазовой пластиинки  $\lambda/4$ . Исследование циркулярно-поляризованного света с помощью поляризатора.

**Введение**

**ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА.** Электромагнитные волны являются поперечными, т.е. колебания векторов напряженности электрического  $E$  и магнитного  $H$  полей происходят в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны (волнового вектора  $\kappa$ ) [1,2]. Если вектор  $E$  всегда направлен вдоль одной линии и меняется только его модуль, то такой свет называют линейно или плоско поляризованным, рис.2.1 и описывается уравнением волны, распространяющейся вдоль оси Z:

$$E = i E_m \cos(\omega t - kz) \quad (1)$$

где  $i$  – орт оси X, вдоль которой колебается вектор  $E$ ,  $\omega$  – круговая частота волны,  $k = 2\pi/\lambda$  – волновое число, модуль волнового вектора. Существуют также поперечные циркулярно-поляризованные электромагнитные волны. В таких волнах модуль вектора  $E$  остаётся постоянным, но он вращается вокруг направления вектора  $\kappa$  по часовой либо против часовой стрелки.



**Рис. 2.1.** Линейно поляризованная электромагнитная волна.

Конец вектора  $\mathbf{E}$  описывает при этом окружность, рис. 2.2. Такая поляризация называется круговой или циркулярной, а волны циркулярно-поляризованными. Более общий случай поляризации – эллиптическая. Вектор  $\mathbf{E}$  вращается с частотой волны, а его конец описывает эллипс. Линейная и циркулярная поляризации являются предельными частными случаями эллиптической.

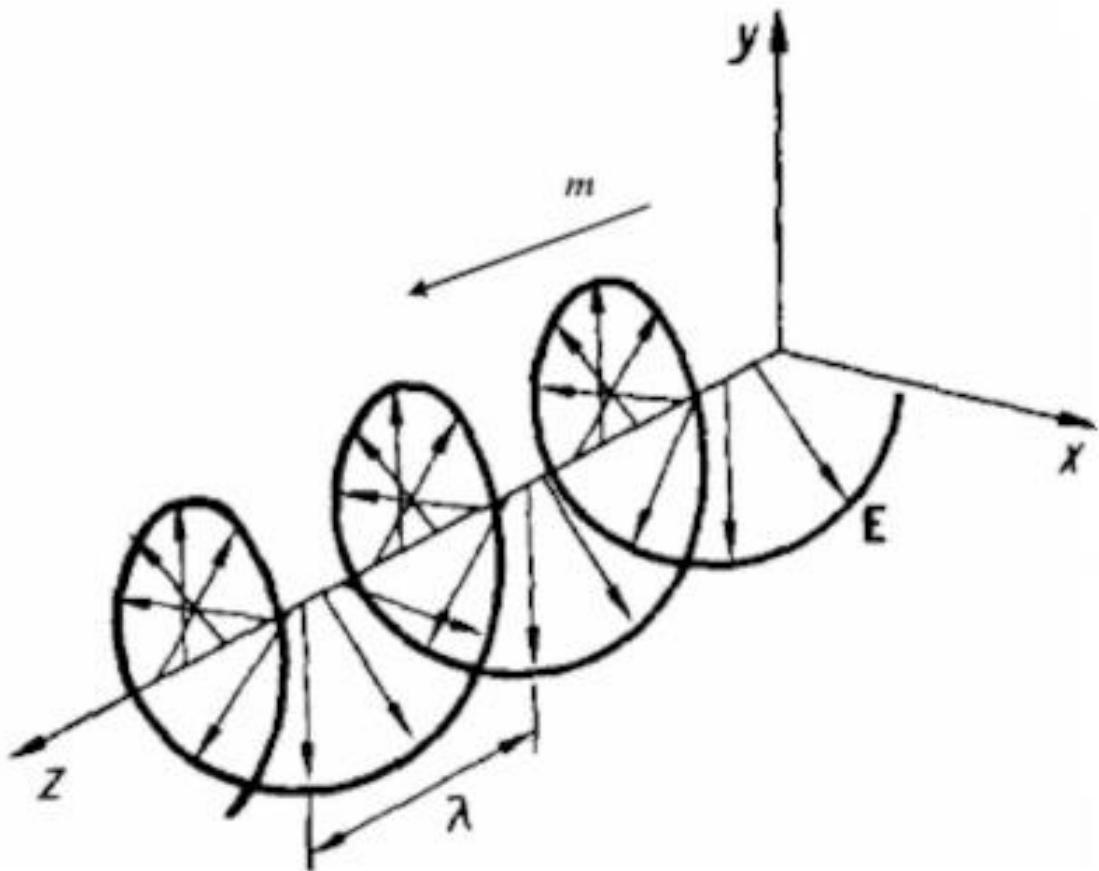
Циркулярно-поляризованную волну можно представить, как суперпозицию двух линейно поляризованных в ортогональных плоскостях волн с одинаковыми амплитудами, сдвинутых по фазе на  $\pi/2$ .

Пусть волны распространяются вдоль оси  $Z$ , а колебания напряжённости электрического поля происходят вдоль осей  $X$  и  $Y$ . Тогда в начале координат ( $z = 0$ ):

$$\mathbf{E}_1 = \mathbf{i} E \cos \omega t \text{ и } \mathbf{E}_2 = \mathbf{j} E \sin \omega t, \text{ где } \mathbf{j} - \text{орт оси } Y.$$

Амплитуда результирующего колебания  $\mathbf{E}_{\text{рез}} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$  не зависит от времени:

$$E^2 \cos^2 \omega t + E^2 \sin^2 \omega t = E^2 \quad (2)$$



**Рис. 2.2.** Циркулярно-поляризованная электромагнитная волна.

Вектор  $\mathbf{E}_{\text{рез}}$  вращается вокруг оси  $\mathbf{Z}$  с частотой  $\omega$ . Отдельный атом излучает поляризованные волны. Однако, если таких атомов много, и они испускают свет со случайным направлением поляризации, то свет становится неполяризованным (естественным). Неполяризованный свет излучают все тепловые источники, например, лампа накаливания. В случае вынужденного излучения все атомы испускают электромагнитные волны с определённой плоскостью поляризации. Лазеры, как правило, являются источниками линейно поляризованного света.

## ПОЛЯРИЗАТОР.

Для изучения поляризации света используются поляризаторы. В настоящее время для изготовления поляризаторов широкое распространение получили поляроидные пленки, или, кратко, поляроиды.

Это пленки, в которых сильно поглощается свет одной поляризации, а свет перпендикулярной к ней поляризации пропускается свободно. Пусть на поляризатор падает линейно поляризованный свет амплитуды  $E$  и интенсивности  $I_0$ . Через поляризатор пройдёт только продольная составляющая вектора.

Поскольку интенсивность пропорциональна квадрату напряжённости, то интенсивность  $I$ , прошедшего через поляризатор света, при вращении поляризатора будет пропорциональна квадрату косинуса угла  $\alpha$  между плоскостью поляризации и направлением свободного пропускания:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha \quad (3)$$

Это выражение описывает закон Малюса, рис.2.3.



Рис. 2.3. Направление пропускания поляроида.

Если на поляризатор падает циркулярно-поляризованный свет, то интенсивность на выходе поляризатора при его вращении остается постоянной и равной половине интенсивности падающего света.

### ФАЗОВЫЕ ПЛАСТИНКИ.

Существуют прозрачные кристаллы (кварц, кальцит) в которых скорость света зависит от направления распространения и ориентации плоскости поляризации излучения. Они называются оптически анизотропными [1,2]. В таких кристаллах наблюдается двойное лучепреломление. Падающий луч разделяется при преломлении на два луча (обыкновенный и необыкновенный).

В одноосных кристаллах имеется только одно направление, при движении света вдоль которого, второго луча (необыкновенного) не появляется. Это направление называют оптической осью, рис.2.4.

### ОПТИЧЕСКАЯ ОСЬ

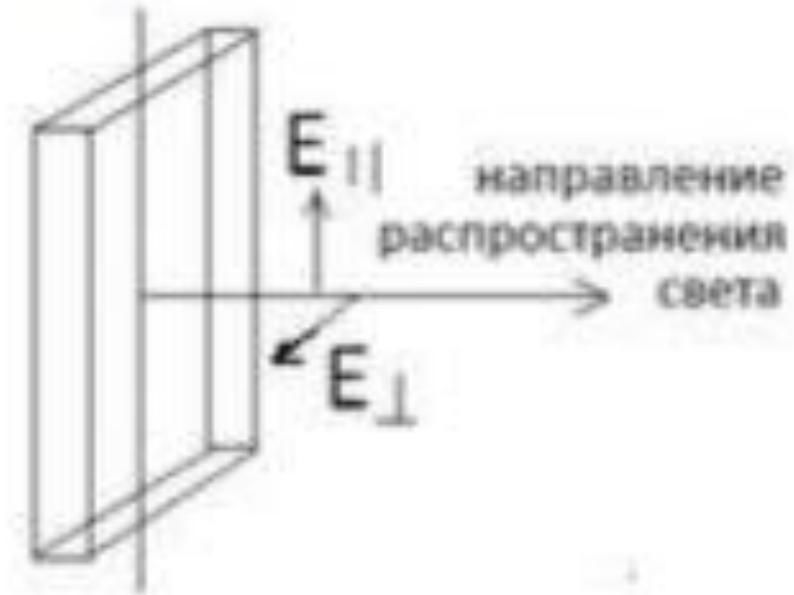


Рис. 2.4. Направление распространения света в фазовых пластинках.

Пусть пластинка анизотропного материала вырезана так, что оптическая ось лежит в плоскости пластинки, а на пластинку нормально

падает линейно поляризованный свет. В этом случае обычновенный и необыкновенный лучи совпадают в пространстве.

Однако компонента волны с поляризацией вдоль оптической оси  $E_{\parallel}$  (необыкновенная) будет двигаться с одной скоростью  $V_{\text{св}}/n_e$ , а компонента с перпендикулярной оптической оси поляризацией  $E_{\perp}$  (обыкновенная) с другой  $V_{\text{св}}/n_0$ .

За время прохождения через пластинку между ними возникнет оптическая разность хода:

$$D = (n_e - n_0) d.$$

Где  $n_e$ ,  $n_0$  – необыкновенный и обычновенный показатели преломления,  $d$  – толщина пластиинки. Если подобрать толщину пластины, чтобы оптическая разность хода составляла  $(2m + 1) \lambda/4$ , где  $m = 0, 1, 2$ , то такая пластиинка называется пластиинкой  $\lambda/4$  или четвертьволновой. Если дополнительно сделать угол между оптической осью и плоскостью поляризации падающей волны равным  $45^0$ , то  $E_{\parallel} = E_{\perp}$  и на выходе из пластиинки получится циркулярно- поляризованный свет. При несоблюдении последнего условия на выходе можно получить свет с эллиптической или линейной поляризацией.

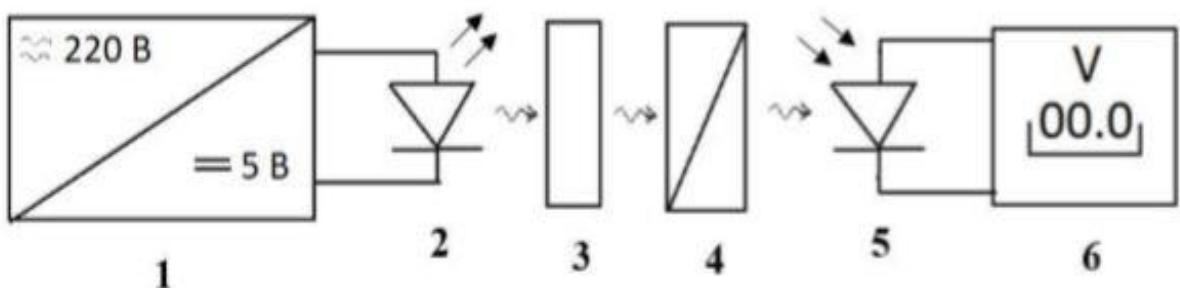
Линейная поляризация падающей волны сохранится, если оптическая ось пластиинки параллельна или перпендикулярна плоскости поляризации. Пластиинка  $\lambda/4$  используется для преобразования поляризации света из линейной в циркулярно- поляризованную или наоборот.

## Описание установки

Схема экспериментальной установки изображена на рисунке 2.5.

Установка для исследования поляризованного света собрана на оптической скамье рис.2.6, которая служит для фиксации направления световых лучей.

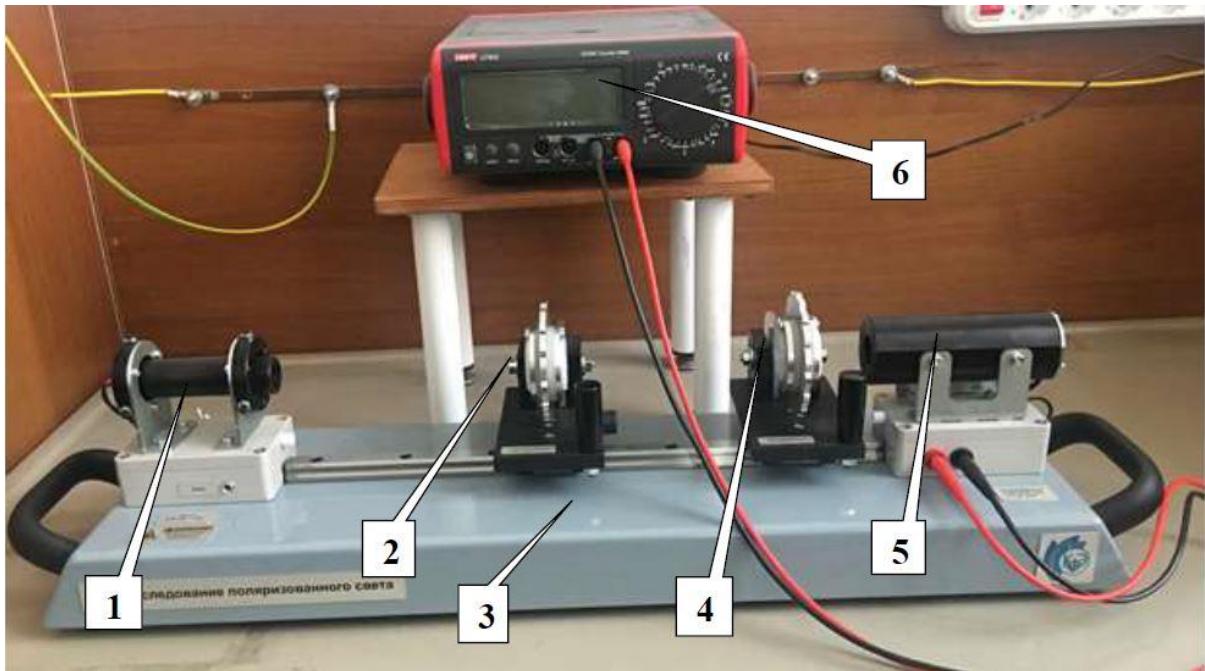
Источником излучения служит полупроводниковый лазер. На пути луча располагаются фазовая пластиинка  $\lambda/4$  и поляроид.



**Рис. 2.5.** Блок - схема экспериментальной установки.

1. Блок питания;
2. Лазер;
3. Пластиинка  $\lambda/4$
4. Поляризатор;
5. Фотодиод;
6. Вольтметр.

Фазовая пластиинка  $\lambda/4$  преобразует линейно поляризованное излучение лазера в циркулярно - поляризованное. Поляроид служит для анализа поляризации падающего на него света. Сигнал с фотоприёмника поступает на цифровой вольтметр.



**Рис.2.6.** Фотография экспериментальной установки.

1. Полупроводниковый лазер; 2. Фазовая пластина  $\lambda/4$ ; 3. Оптическая скамья; 4. Поляризатор; 5. Фотоприемник; 6. Цифровой вольтметр.

### Порядок проведения работы

1. Проверка закона Малюса.
  - а) Включите блок питания лазера и убедитесь в появлении излучения.
  - б) Снимите с оптической скамьи фазовую пластинку так, чтобы на пути луча располагался только поляризатор.
  - в) Вращая поляризатор от  $0$  до  $350^\circ$ , измеряйте интенсивность света  $I_1$  на фотоприёмнике через каждые  $10^\circ$ . Занесите значения в таблицу 1.
2. Исследование циркулярно-поляризованного света
  - а) Установите ось пропускания поляроида параллельно плоскости поляризации лазера. Для этого поверните поляризатор в положение, при котором сигнал фотоприёмника максимален (фазовой пластиинки не должно быть на пути луча!).
  - б) Поместите пластинку  $\lambda/4$  на пути луча между лазером и поляроидом.
  - в) Установите оптическую ось фазовой пластиинки параллельно (или перпендикулярно) плоскости поляризации лазера. Для этого, не трогая

поляризатор и вращая только фазовую пластинку, снова добейтесь максимума сигнала. Запишите в шапку таблицы 1 значение интенсивности линейно поляризованного света на выходе фазовой пластиинки  $I_{20}$ .

г) Повернуть фазовую пластиинку  $\lambda/4$  на 45 градусов. Теперь оптическая ось пластиинки составляет угол  $45^0$  с плоскостью поляризации падающей волны, и свет за фазовой пластииной становится циркулярно-поляризованным.

д) Вращая поляризатор от 0 до  $350^0$ , измеряйте интенсивность света  $I_2$  на фотоприёмнике через каждые  $10^0$ . Занесите значения  $I_2$  в таблицу 1.

**Таблица 1.** Результаты измерения интенсивности света в зависимости от угла поворота поляризатора.  $I_{20} = \dots$

Угол поворота поляризатора, градусы	Линейная поляризация $I_1$ , мВ	Круговая поляризация $I_2$ , мВ	$I_2 / I_{20}$
0			
10			
.....			
350			

### Обработка результатов

1. Постройте в декартовых координатах на одном графике зависимости интенсивности от угла поворота поляризатора для линейно  $I_1(\alpha)$  и циркулярно-поляризованного  $I_2(\alpha)$  света.

2. Из графика  $I_1(\alpha)$  оцените степень поляризации луча лазера по формуле:

$$\rho = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min})$$

Сделайте вывод о соответствии этой зависимости закону Малюса.

**3.** Из анализа зависимости  $I_2(\alpha)$  сделайте вывод, является ли изучаемая волна циркулярно-поляризованной.

### **Контрольные вопросы**

- 1.** Какое отличие между естественным и поляризованным светом?
- 2.** Как изменяется со временем вектор напряжённости электрического поля у волны с линейной и круговой поляризацией?
- 3.** Сформулируйте закон Малюса.
- 4.** В каких кристаллах наблюдается двойное лучепреломление?
- 5.** Для чего используется пластинка  $\lambda/4$ ?

### **Литература**

- 1.** *И.В. Савельев.* Курс общей физики: учебник для вузов. В 3 т. Т 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. / *И.В. Савельев.* – СПб.: Лань, 2006.
- 2.** *Г.С. Ландсберг.* Оптика: учеб. пособие для студ. физических спец. вузов. – 99е изд., перераб. и доп. – М.: Физматлит, 2003.
- 3.** *Б.Д. Агапьев, В.В. Козловский.* Физика. Практическая обработка экспериментальных данных: метод. указания. СПб.: изд-во Политехнического ун-та, 2013.