

# Поляризация

Батарин Егор

27 февраля 2021 г.

## Аннотация

Цель работы: ознакомление с методами получения и анализа поляризованного света.

## 1 Теория

### 1. Понятие эллиптической, круговой и линейной поляризации.

Покажем, что монохроматическая электромагнитная волна, распространяющаяся в вакууме, является поляризованной. Пусть она распространяется по оси  $z$ . Имеем

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = 0$$

С учетом этого и  $\frac{\partial E_x}{\partial x} = \frac{\partial E_y}{\partial y} = 0 \Rightarrow \frac{\partial E_z}{\partial z} = 0$ . Далее, из уравнения циркуляции магнитного поля имеем

$$\left(\operatorname{rot} \vec{H}\right)_z = \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} = \frac{1}{c} \frac{\partial E_z}{\partial t}$$

Поэтому  $\frac{\partial E_z}{\partial t} = 0$  и  $E_z = \text{const} = 0$  - без ограничения общности. Учитывая, что  $E_z = H_z = 0$ , запишем уравнения для  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$ . Получатся две независимые системы уравнений:

$$\begin{cases} \left(\operatorname{rot} \vec{E}\right)_y = \frac{\partial E_x}{\partial z} = -\frac{1}{c} \frac{\partial H_y}{\partial t} \\ \left(\operatorname{rot} \vec{E}\right)_x = \frac{\partial E_y}{\partial z} = \frac{1}{c} \frac{\partial H_x}{\partial t} \end{cases} \quad \begin{cases} \left(\operatorname{rot} \vec{H}\right)_x = -\frac{\partial H_y}{\partial z} = \frac{1}{c} \frac{\partial E_x}{\partial t} \\ \left(\operatorname{rot} \vec{H}\right)_y = \frac{\partial H_x}{\partial z} = \frac{1}{c} \frac{\partial E_y}{\partial t} \end{cases}$$

Из этой системы получается

$$\begin{cases} E_x = \mp H_y = f_x(ct \pm z) \\ E_y = \pm H_x = f_y(ct \pm z) \end{cases}$$

Здесь  $f_x$  и  $f_y$  - произвольные функции. В частности, для монохроматических волн получаем уравнение плоско-поляризованной волны:

$$\begin{cases} E_x = H_y = A_x \cos(\omega t - kz + \varphi_x) \\ E_y = -H_x = A_y \cos(\omega t - kz + \varphi_y) \end{cases}$$

В общем случае вектор  $(E_x, E_y)$  вращается по эллипсу - эллиптическая поляризация. Если эллипс является окружностью, то мы имеем дело с круговой поляризацией, если вырождается в отрезок - линейной поляризацией.

### 2. Получение эллиптически поляризованного света

Пусть есть источник линейно-поляризованного света. С помощью двояко-преломляющей пластины, из него можно получить эллиптически поляризованный свет. Для этого нужно пустить исходные волны по двух взаимно-перпендикулярным главным направлениям пластинки (главные волны), они будут распространяться с разными скоростями и на выходе получится сдвиг фаз. Рассмотрим частные случаи сдвига фаз  $\Delta\varphi$ :

- 1)  $\Delta\varphi = 2\pi$ , пластинка в длину волны  $\lambda$ . Получается линейно-поляризованная волна на выходе.
- 2)  $\Delta\varphi = \pi$ , пластинка в длину волны  $\lambda/2$ . На выходе снова получается линейно-поляризованная волна, но теперь направление колебаний выходного линейно-поляризованного света является зеркальным отражением направления колебаний входного линейно-поляризованного света относительно одного из главных направлений пластинки.
- 3)  $\Delta\varphi = \pi/2$ , пластинка в длину волны  $\lambda/4$ . Получается эллиптически поляризованный свет, причем его главные оси совпадают с главными направлениями кристаллической решетки.

## 2 Выполнение

### 1. Определение разрешенных направлений поляроидов.

Минимальная интенсивность света в установке с черным зеркалом достигается при угле поляроида  $310^\circ \pm 10^\circ$  - выставлена горизонтальная поляризация.



Рис. 1: Положение зеркала под углом Брюстера. Настройка горизонтальной поляризации.

Если заменить зеркало на второй поляроид и поставить на  $220^\circ \pm 10^\circ$ , то интенсивность света, прошедшего через скрещенные поляроиды, будет минимальна.



Рис. 2: Настройка второго поляроида.

### 2. Определение показателя преломления (угла Брюстера) для эбонита.

Выбираем начало отсчета по лимбу -  $195^\circ \pm 5^\circ$ . Риска на минимальной интенсивности -  $250^\circ \pm 5^\circ$ . Тогда для естественного света получаем показатель преломления  $n_1 = \operatorname{tg}(55^\circ) \approx 1.42 \pm \frac{\partial \operatorname{tg}(\varphi)}{\partial \varphi} \Big|_{\varphi=55^\circ} \Delta\varphi = 0.28$ . Если поставить зеленый фильтр, то получится угол  $248^\circ \pm 5^\circ$  и соответствующий ему показатель преломления  $n_2 = \operatorname{tg}(53^\circ) \approx 1.32 \pm 0.24$ .

### 3. Исследование поляризации света в преломленном и отраженном от стопы лучах.

Устанавливаем стопу на минимальную интенсивность под углом Брюстера. Если на пути отраженного света поставить поляроид с горизонтальным разрешенным направлением, то интенсивность света сильно уменьшится. Если на пути отраженного света поставить поляроид с вертикальным разрешенным направлением, то интенсивность света не изменится. Следовательно, вектор  $\vec{E}$  отраженного света направлен вертикально. В случае преломленного света получается обратный результат. Следовательно, вектор  $\vec{E}$  преломленного света направлен горизонтально.



Рис. 3: Опыты с эбонитом.

4. Определение главных направлений двоякопреломляющих пластин.

Главное направление пластинки совпадает с разрешенными направлениями поляризоидов только тогда, когда интенсивность света, проходящего через систему, максимальна. Для пластинки с кружочком получается углы  $160, 70, 340, 250 \pm 5$  градусов - повторяется каждые 90 градусов. Для пластинки без кружочка получаются те же углы.

5. Выделение пластин  $\lambda/2$  и  $\lambda/4$ .

Добавляем зеленый фильтр.

Эллиптическая поляризация - в этом случае если крутить второй поляризатор, то интенсивность света не будет меняться слишком сильно. Это происходит для пластины с кружочком. Значит это пластина в  $\lambda/4$ .



Рис. 4: Определение толщины пластины по поляризационному характеру выходного света.

Если интенсивность меняется значительно и можно отчетливо наблюдать минимумы и максимумы, то мы имеем дело с линейной поляризацией. Такое происходит с пластиной без кружочка. Значит это пластина в  $\lambda/2$ .

6. Определение быстрой и медленной оси в пластинке  $\lambda/4$ .

Цвет заказался зеленовато-голубым, когда у пластинки  $\lambda/4$  и  $\lambda$  совпадали главные направления, соответствующие большей скорости распространения. Это происходит потому, что при освещении белым светом этих пластинок погасилась зеленая часть спектра, а красная - гасится.



Рис. 5: Опыты с  $\lambda$  пластинкой.

Цвет приобрел оранжево-желтую окраску, когда эти главные направления оказывались перпендикулярными. В этом случае гасится фиолетово-голубая часть спектра.

#### 7. Интерференция поляризованных лучей.

Зафиксируем два скрещенных поляризоида. Если вращать мозаичную слядяную пластинку, то в 4 квадратах наблюдается красный цвет, в 2 - зеленый, в оставшихся 2 - желтый. При этом яркость этих цветов синхронно меняется от минимального значения до максимального.



Рис. 6: Эксперименты с мозаичной пластинкой.

Если вращать второй поляризоид, то яркость меняться не будет, но будут меняться цвета в квадратах. В определенный момент времени в квадратах наблюдается естественный свет, без выделенных цветов.