

Лабораторная работа 4.7.2

Эффект Поккельса

Кагарманов Радмир Б01-106

19 апреля 2023 г.

Цель работы: исследовать интерференцию рассеянного света, прошедшего кристалл; наблюдать изменение характера поляризации света при наложении на кристалл электрического поля.

В работе используется: гелий-неоновый лазер, поляризатор, кристалл ниобата лития, матовая пластинка, экран, источник высоко-вольтного переменного и постоянного напряжения, фотодиод, осциллограф, линейка.

Теоретические сведения

Эффект Поккельса – изменение показателя преломления света в кристалле под действием электрического поля.

Рассмотрим кристалл ниобата лития LiNbO_3 с цетральноосевой симметрией вдоль оси Z . Для световой волны с \mathbf{E} перпендикулярно Z показатель преломления будет n_o , а для волны с \mathbf{E} вдоль Z – n_e . В случае, когда луч света идёт под углом θ к оси, есть два значения показателя преломления n_1 и n_2 : $n_1 = n_o$ для волны с \mathbf{E} перпендикулярным плоскости (\mathbf{k}, \mathbf{Z}) (обыкновенная волна) и n_2 для волны с \mathbf{E} в этой плоскости (необыкновенная волна). В последнем случае

$$\frac{1}{n_2^2} = \frac{\cos^2 \theta}{n_o^2} + \frac{\sin^2 \theta}{n_e^2}. \quad (1)$$

Если перед кристаллом, помещённым между поляроидами, расположить линзу или матовую пластинку, то на экране за поляроидом мы увидим тёмные концентрические окружности – результат интерференции обыкновенной и необыкновенной волн. При повороте выходного поляроида на 90° картина меняется с позитива на негатив (на месте светлых пятен тёмные и наоборот). В случае, когда разрешённое направление анализатора перпендикулярно поляризации лазерного излучения, радиус тёмного кольца с номером m равен

$$r_m^2 = \frac{\lambda}{l} \frac{(n_o L)^2}{n_o - n_e} m, \quad (2)$$

где L – расстояние от центра кристалла до экрана, l – длина кристалла.

Теперь поместим кристалл в постоянное электрическое поле $E_{\text{эл}}$, направленное вдоль оси X , перпендикулярной Z . Показатель преломления для луча, распространяющегося вдоль Z , всегда n_o . В плоскости (X, Y) возникают два главных направления под углами 45° к X и Y с показателями преломления $n_o - \Delta n$ и $n_o + \Delta n$ (быстрая и медленная ось), причём $\Delta n = A E_{\text{эл}}$. Для поляризованного вертикально света и анализатора, пропускающего горизонтальную поляризацию, на выходе интенсивность на выходе будет иметь

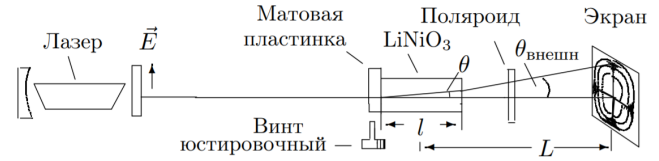


Рис. 1: Схема для наблюдения интерференционной картины.

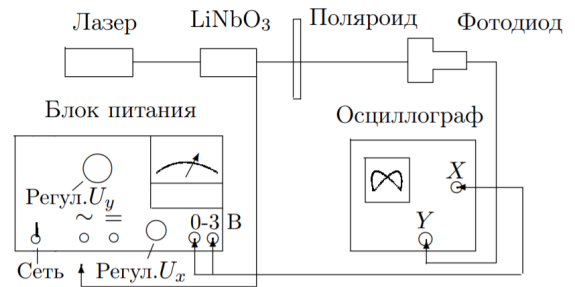


Рис. 2: Схема установки.

ВИД

$$I_{\text{вых}} = I_0 \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} \frac{U}{U_{\lambda/2}} \right), \quad (3)$$

где $U_{\lambda/2} = \frac{\lambda}{4A} \frac{d}{l}$ – *полуволновое напряжение*, d – поперечный размер кристалла. При напряжении $U = E_{\text{эл}} d$ равном полуволновому сдвиг фаз между двумя волнами равен π , а интенсивность света на выходе максимальна.

На Рис. 2 представлена схема всей установки (оптическая часть изобразена на Рис. 1). Свет лазера, проходя через сквозь пластину, рассеивается и падает на двоякопреломляющий кристалл. На экране за поляридом видна интерференционная картина. Убрав рассеивающую пластину и подавая на кристалл постоянное напряжение, можно величиной напряжения влиять на поляризацию луча, вышедшего из кристалла. Заменив экран фотодиодом и подав на кристалл переменное напряжение, можно исследовать поляризацию с помощью осциллографа.

Обработка результатов

1. Выполним юстировки системы, изображённой на Рис. 1 и получим интерференционное изображение.

2. Измерим радиусы тёмных колец при расстоянии $L = 82,2 \pm 0,1$ см. от середины кристалла до экрана. Результаты в Таблице 1. На Рис. 3 изображён график зависимости $r^2 = f(m)$.

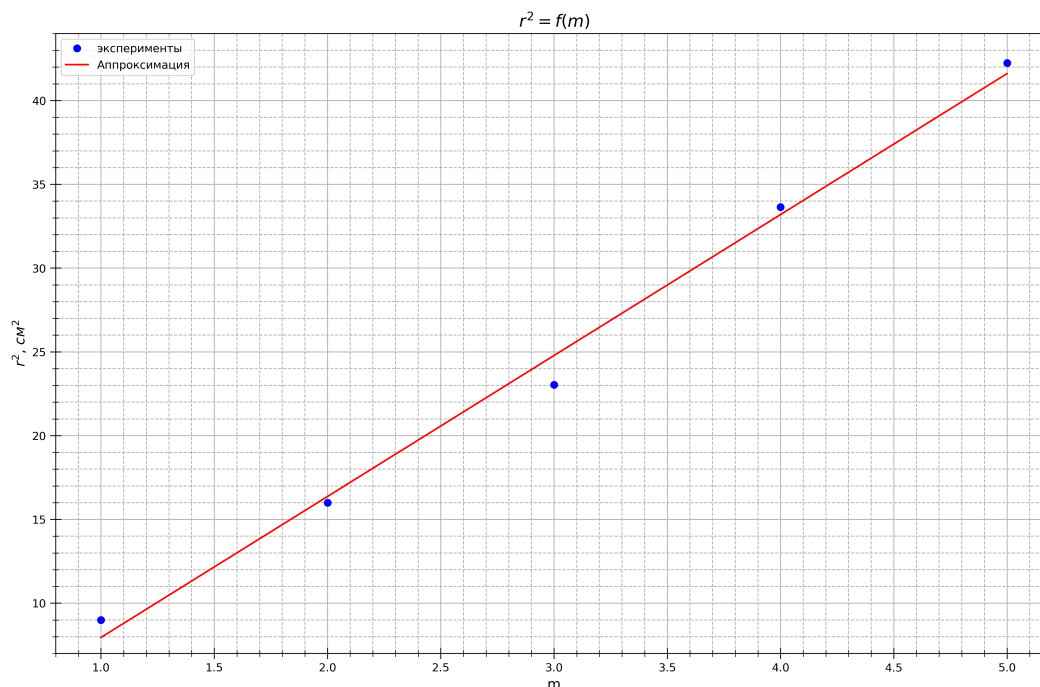


Рис. 3: $r^2 = f(m)$

Угловой коэффициент $k = 8,4 \pm 0,3 \text{ см}^2$. Из формулы (2) найдём $n_0 - n_e$ для значений: $n_0 = 2,29$, $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$, $l = 26 \text{ мм}$.

$$n_0 - n_e = 0,102 \pm 0,027$$

3. Убедимся ещё раз, что направление лазерного луча совпадает с направлением на центр интерференционной картины и уберём матовую пластинку. Подключим разъём блока питания на постоянно напряжение, установим регулятор напряжения на минимум и включим блок питания в сеть.

Сначала определим интересные нас напряжения без осциллографа. Для этого уберём матовую пластинку. При нулевом напряжении наблюдается минимум интенсивности излучения на экране. Постепенно увеличивая его, получим напряжение, соответствующее максимуму интенсивности $U_{\lambda/2} = (195 \pm 15) \text{ В}$.

Увеличивая напряжение далее определяем U_λ :

$$U_\lambda = (420 \pm 15) \text{ В}$$

Подадим на кристалл напряжение $U_{\lambda/4} = \frac{1}{2}U_{\lambda/2}$. Вращая анализатор и наблюдая за яркостью пятна на экране, убеждаемся, что поляризация круговая.

Дальнейшие измерения проводим при помощи осциллографа. Полуволновое напряжение, измеренное с помощью осциллографа, совпадает с измеренным ранее.

Вид фигур Лиссажу для этих напряжений представлен в Таблице 2.

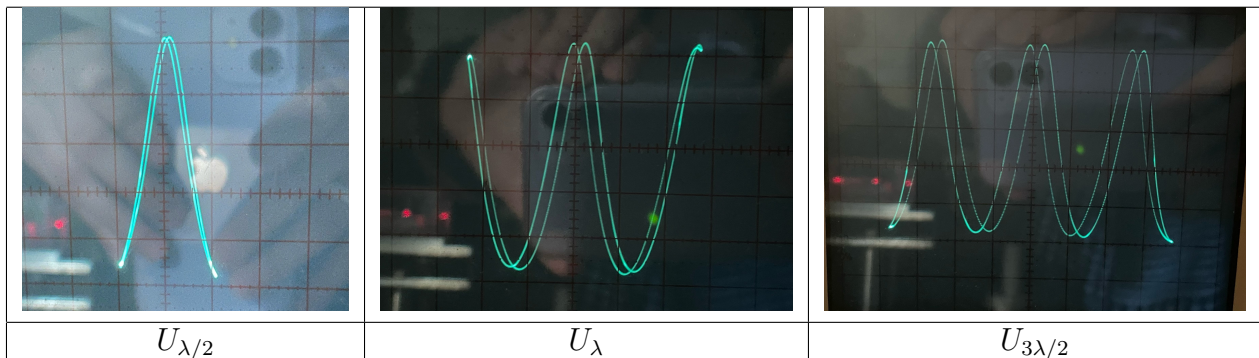


Таблица 1: Фигуры Лиссажу для различных напряжений

Вывод: в данной лабораторной работе мы исследовали интерференцию света, прошедшего кристалл.

Вычислили $n_0 - n_e = 0,102 \pm 0,027$.

Измеряли полуволновое напряжение кристалла двумя способами, и они совпали в пределах погрешности.