

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа биологической и медицинской физики

Лабораторная работа по оптике

4.7.2. Эффект Поккельса.

Выполнила студентка группы Б06-103:
Фитэль Алена

Долгопрудный, 2023 г.

1 Аннотация

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

Приборы и материалы: гелий-неоновый лазер, поляризатор, кристалл ниобата лития, матовая пластинка, экран, источник высоковольтного переменного и постоянного напряжения, фотодиод, осциллограф, линейка.

2 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

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

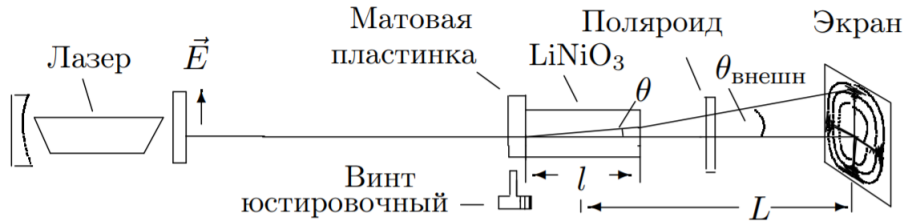


Рисунок 1: Схема для наблюдения интерференционной картины.

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 будет иметь вид

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

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

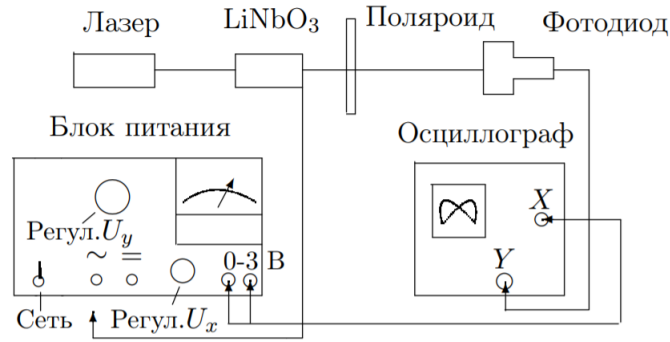


Рисунок 2: Схема установки.

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 поляроидом видна интерференционная картина. Убрав рассеивающую пластину и подавая на кристалл постоянное напряжение, можно величиной напряжения влиять на поляризацию луча, вышедшего из кристалла. Заменяв экран фотодиодом и подав на кристалл переменное напряжение, можно исследовать поляризацию с помощью осциллографа.

3 Обработка результатов

После юстировки системы измерим расстояние от центра кристалла до экрана $L = 73,7 \pm 0,5$ см, длина кристалла $l = 26$ мм, показатель преломления $n_0 = 2,29$, и длина волны лазера 630 нм. Снимем зависимость радиуса колец интерференции от порядка интерференции и построим график $r^2 = f(m)$ (Таблица 1, Рисунок 3).

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9
r_m , мм	27,0	38,0	47,5	54,5	61,0	67,5	72,5	77,5	82,0

Таблица 1: Измеренные значения радиусов колец.

Коэффициент наклона $\alpha = 754 \pm 3$ мм². Рассчитаем разность показателей преломления по формуле

$$n_0 - n_e = \frac{\lambda (n_0 L)^2}{l \alpha} = 0,0912$$

$$\sigma_n = \frac{\lambda (n_0 L)^2}{l \alpha^2} \cdot \sigma_\alpha = 0,0003$$

Табличное значение $n_0 - n_e = 0,09$ совпадает с рассчитанным.

Теперь подключим к кристаллу блок питания с постоянным напряжением. Максимальная интенсивность света при скрещенных поляроидах наблюдается при $U_{max} = 480 \pm 30$ В, минимальная интенсивность: $U_{min} = 960 \pm 30$ В. Таким образом, полуволновое напряжение $U_{\lambda/2} = 480 \pm 30$ В. Для параллельных поляроидов значения такие же. Погрешность обусловлена тем, что невозможно определить точный минимум и максимум интенсивности.

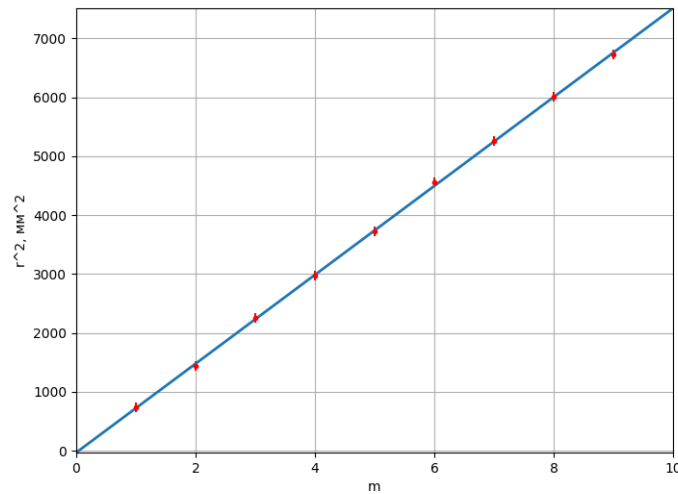


Рисунок 3: Зависимость квадрата радиуса интерференционных колец от порядка интерференции.

На следующем этапе поставим вместо экрана фотодиод и подадим на кристалл переменное напряжение. По фигурам Лиссажу определим напряжения:

$$U_{\lambda/2} = 420 \pm 15 \text{ В}$$

$$U_{\lambda} = 870 \pm 15 \text{ В}$$

$$U_{3\lambda/2} = 1350 \pm 15 \text{ В}$$

При изменении разрешенного направления анализатора на перпендикулярное фигура Лиссажу отражается относительно горизонтали.

4 Вывод

В данной работе мы исследовали интерференцию света, прошедшего через кристалл. А так же наблюдали изменение характера поляризации света при наложении на кристалл напряжения.