

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа фотоники, электроники и молекулярной физики

Отчёт о выполнении лабораторной работы

4.7.2

Эффект Поккельса

Автор:
Макаров Лев Евгеньевич
Б04-306

1 Введение

Цель работы:

1. Исследовать интерференцию рассеянного света, прошедшего кристалл
2. Наблюдать изменение характера поляризации света при наложении на кристалл электрического поля

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

2 Теоретические сведения

2.1 Интерференционные кольца при прохождении света через одноосный кристалл

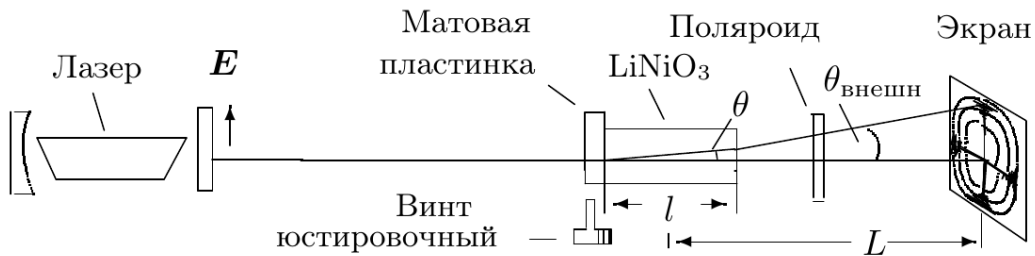


Рис. 1: Схема для наблюдения интерференционной картины

При прохождении света через одноосный кристалл, показатель преломления необыкновенной волны зависит от угла между направлением распространения волны и осью кристалла по формуле

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

Если считать, что $(n_o - n_e) \ll n_o$, то при малых углах θ можно воспользоваться приближенной формулой

$$n_2 \approx n_o - (n_o - n_e)\theta^2 \quad (2)$$

Показатель преломления обыкновенного луча не зависит от направления распространения: $n_1 = n_o$. Если длине кристалла l , то после прохождения через кристалл между обыкновенным и необыкновенным лучом набегают разность фаз

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}l(n_1 - n_2) \approx \frac{2\pi}{\lambda}l(n_o - n_e)\theta^2 \quad (3)$$

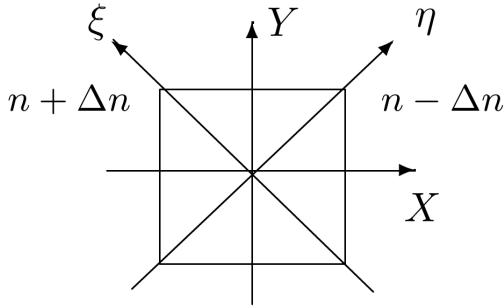
Для случая, когда разрешенное направление анализатора перпендикулярно направлению поляризации лазера, условием для темного кольца с номером m является $\varphi = 2\pi m$, откуда следует

$$\theta_m^2 = \frac{\lambda m}{l(n_o - n_e)} \quad (4)$$

При выходе из кристалла луч преломляется на границе кристалл-воздух, поэтому угол $\theta \approx n_o \theta$. Радиус m -го темного кольца $r_m = L \theta_m$. Для квадрата радиуса

$$r_m^2 = \frac{\lambda}{l} \frac{(n_o L)^2}{(n_o - n_e)} m \quad (5)$$

2.2 Эффект Поккельса



При наличии электрического поля вдоль x в кристалле появляются новые перпендикулярные главные направления, показатели преломления которых равны $n_o \pm \Delta n$, где $\Delta n = A \cdot E_x$. Пусть поляризация лазера вертикальна, а разрешенное направление анализатора горизонтально. Тогда, интенсивность света на выходе будет зависеть от прикладываемого напряжения ($U = E_x d$) по закону

$$I = I_0 \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} \frac{U}{U_{\lambda/2}} \right) \quad (6)$$

где

$$U_{\lambda/2} = \frac{\lambda}{4A} \frac{d}{l} \quad (7)$$

Рис. 2: Главные оси при наличии напряжения вдоль x

3 Экспериментальная установка

Оптическая часть установки представлена на рис. 1. Свет гелий-неонового лазера, поляризованный в вертикальной плоскости, проходя сквозь матовую пластинку, рассеивается и падает на двоякопреломляющий кристалл под различными углами. Кристалл ниобата лития с размерами $3 \times 3 \times 26$ мм вырезан вдоль оптической оси Z. На экране, расположенном за скрещенным поляроидом, видна интерференционная картина. Для $\lambda = 0,63$ (длина волны гелий-неонового лазера) в ниобате лития $n_o = 2,29$. Убрав рассеивающую пластинку и подавая на кристалл постоянное напряжение, можно величиной напряжения влиять на поляризацию луча, вышедшего из кристалла. Заменяв экран фотодиодом (рис. 3) и подав на кристалл переменное напряжение, можно исследовать поляризацию луча с помощью осциллографа.

4 Результаты измерений и обработка данных

I. Юстировка системы

1. Соберем оптическую систему согласно рис. 1. Включим лазер и установим анализатор так, чтобы через него не проходило лазерное излучение.

Узнаем поляризацию при разрешенном направлении, посмотрев через анализатор на отраженный свет под углом Брюстера. Тогда В нашем случае параллельная поляризация.

2. Поставим кристалл и установим перед ним вплотную матовую пластинку. Расстояние от кристалла до экрана $L = 81$ см.
3. Получим на экране интерференционную картину. Отцентрируем ее. Повернем анализатор на 90° и проверим, что интерференционная картина изменилась на негативную. Вернем анализатор в прежнее положение.

II. Измерения

4. Измерим радиусы темных колец и построим график зависимости $r_m^2 = f(m)$. Результаты измерений запишем в таблицу 1.

Таблица 1: Измерение диаметров колец зеленой пары Ртутной лампы

m	1	2	3	4	5
r , см	1.5	3.5	4.75	5.5	6

График изобразим на рис. 3.

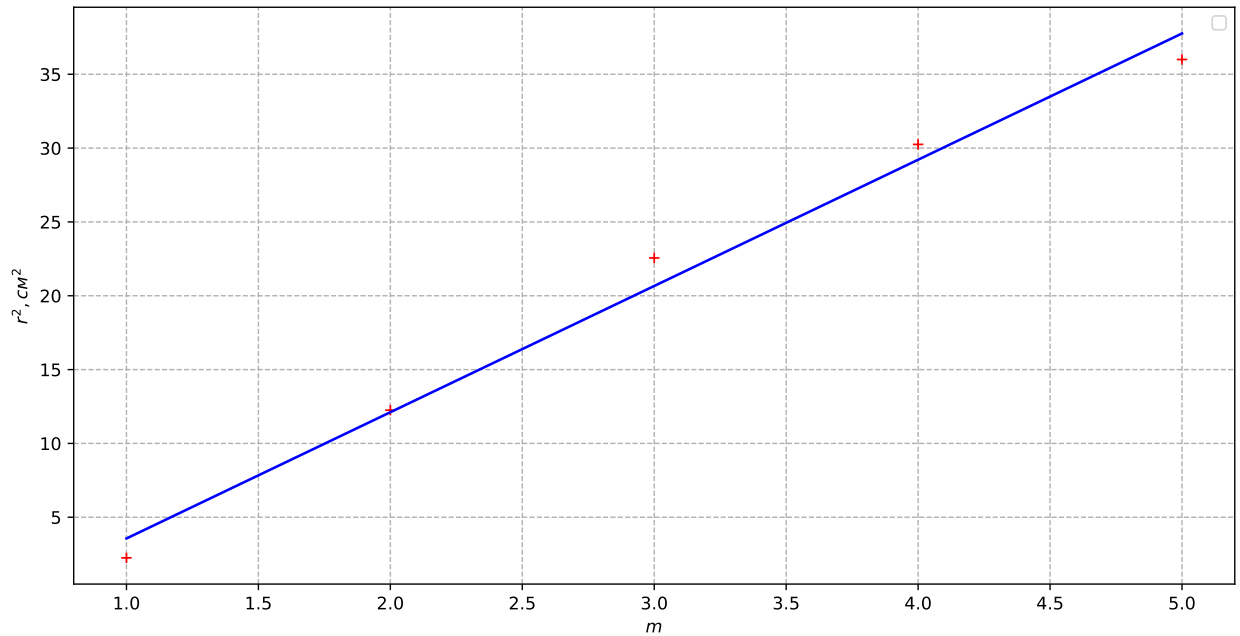


Рис. 3: График зависимости $r^2 = f(m)$

$$k = (8.55 \pm 0.02) \text{ см}^2$$

из формулы (5):

$$k = \frac{\lambda n_o^2 L^2}{l(n_o - n_e)} \implies n_e = n_o - \frac{\lambda n_o^2 L^2}{kl} \approx 2.19$$

5. Уберем матовую пластинку, убедимся в центровке системы.

Подключим разъем блока питания на постоянное напряжение и установим регулятор на минимум.

Определим напряжение $U_{\lambda/2}$, при котором достигается максимум интенсивности.

$$U_{\lambda/2} = 300 \text{ В}$$

При $U_\lambda = 2U_{\lambda/2}$ достигается минимум.

6. Подадим на кристалл напряжение $U_{\lambda/4} = \frac{1}{2}U_{\lambda/2}$.

На выходе получаем круговую поляризацию. Убедимся в этом, вращая анализатор. Интенсивность при этом практически не меняется, что значит поляризация является эллиптической.

7. Установим вместо экрана фотодиод и подключим его к Y-выходу осциллографа. Убрав напряжение до нуля, переключим генератор на переменное напряжение.
8. Постепенно повышая напряжение наблюдаем как меняются фигуры Лиссажу. Определим по ним напряжение $U_{\lambda/2}$, соответствующее переходу от максимума к минимуму.

$$U_{\lambda/2} \approx 5 \text{ дел} = 300 \text{ В}$$

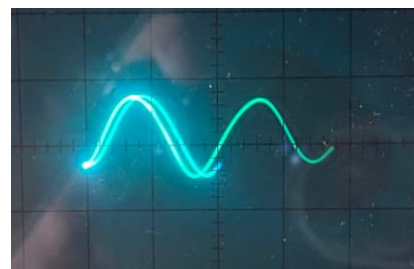
9. Зарисуем фигуры Лиссажу для напряжений $U_{\lambda/2}, U_{\lambda/4}, U_{\lambda}$. Изобразим их на рис. 4



(a) Фигура для $U_{\lambda/4}$



(b) Фигура для $U_{\lambda/2}$



(c) Фигура для U_{λ}

Рис. 4: *Фигуры Лиссажу*

5 Выводы

В ходе работы была исследована интерференция для рассеянного света, прошедшего через кристалл. Получено двулучепреломление кристалла.

Получены значения напряжений $U_{\lambda/2}, U_{\lambda/4}, U_{\lambda}$ и фигуры Лиссажу для них.