

*Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования*

**«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

## **Лабораторная работа №4.7.2**

на тему:

**Эффект Поккельса**

*Работу выполнили:*

*Сафин Дим*

*Сенокосов Арсений*

*группа Б02-012*

г. Долгопрудный

2021 год

# Введение

**Цель работы:** исследовать интерференцию рассеянного света, прошедшего кристалл; 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.

## Теоретические сведения

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

Рассмотрим кристалл ниобата лития  $\text{LiNbO}_3$  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  $\theta$  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  $90^\circ$  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  $45^\circ$  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

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

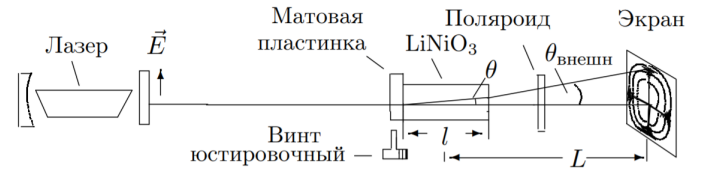


Рис. 1: Схема для наблюдения интерференционной картины.

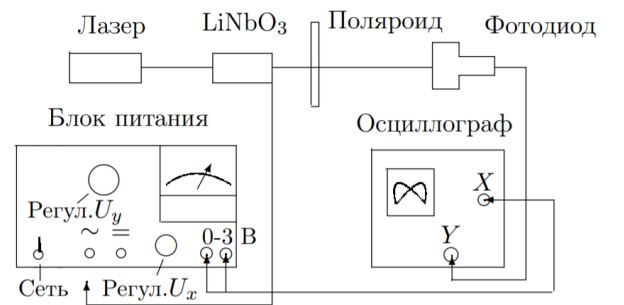


Рис. 2: Схема установки.

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  $\pi$ , 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 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.

## Ход работы

### Определение разности показателей преломления

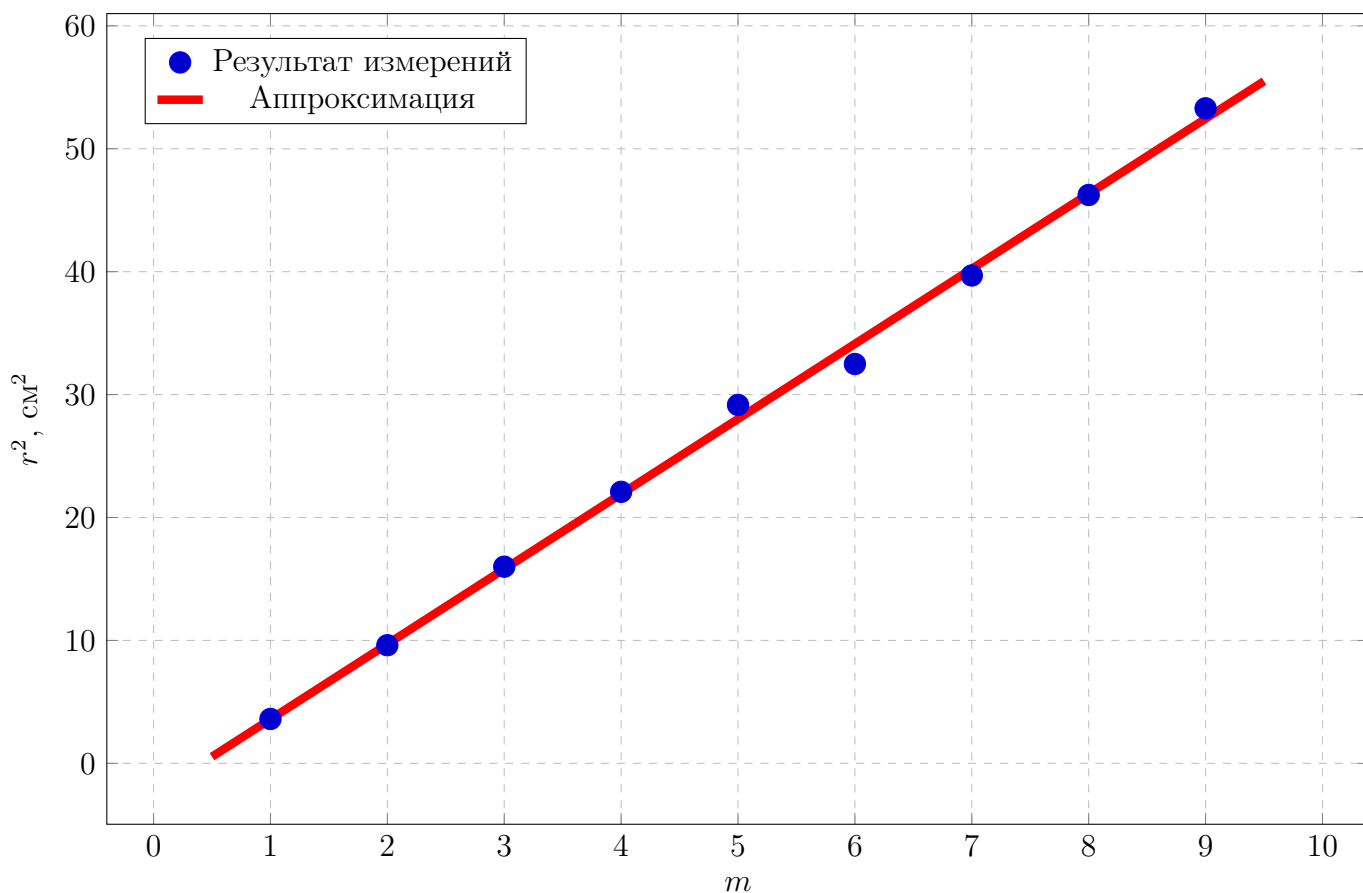
Выполним юстировку системы. В схеме согласно Рис. 1 получим интерференционную картину.

Измерим радиусы  $r(m)$  тёмных колец при расстоянии  $L = 70 \pm 1$  см от середины кристалла до экрана. Результаты занесем в Таблицу 1. На Гр. 1 построим график  $r^2 = f(m)$ .

$m$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$r_m$ , см	1.9	3.1	4	4.7	5.4	5.7	6.3	6.8	7.3

Таблица 1: Радиусы тёмных колец.

График 1 Зависимость квадрата радиуса колец  $r^2$  от их порядкового номера  $m$



При помощи аппроксимации методом хи-квадрат в программе OriginPro 2021 получаем угловой коэффициент  $k = 6.1 \pm 0.1$  см<sup>2</sup>. Отсюда для значений  $n_0 = 2.29$ ,  $\lambda = 0.63$  мкм,  $l = 26$  мм

получаем из формулы (2)

$$n_0 - n_e = 0.102 \pm 0.011$$

## Определение полуволнового напряжения

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 интересующие 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  $U_{\lambda/2} = (450 \pm 15)$  В.

Увеличивая напряжение далее определяем  $U_{\lambda}$  и  $U_{3\lambda/2}$ :

$$U_{\lambda} = (900 \pm 30) \text{ В} \quad U_{3\lambda/2} = (1350 \pm 45) \text{ В}$$

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. На установке по Рис. 2 определим полуволновое напряжение по разности напряжений при максимуме и минимуме у фигуры Лиссажу:  $U_{\lambda/2} = 420 \pm 15$  В.

Продолжая увеличивать напряжение получаем и другие величины  $U_{\lambda}$  и  $U_{3\lambda/2}$ :

$$U_{\lambda} = (870 \pm 30) \text{ В} \quad U_{3\lambda/2} = (1320 \pm 45) \text{ В}$$

Вид фигур Лиссажу для этих напряжений представлен в Таблице 2.

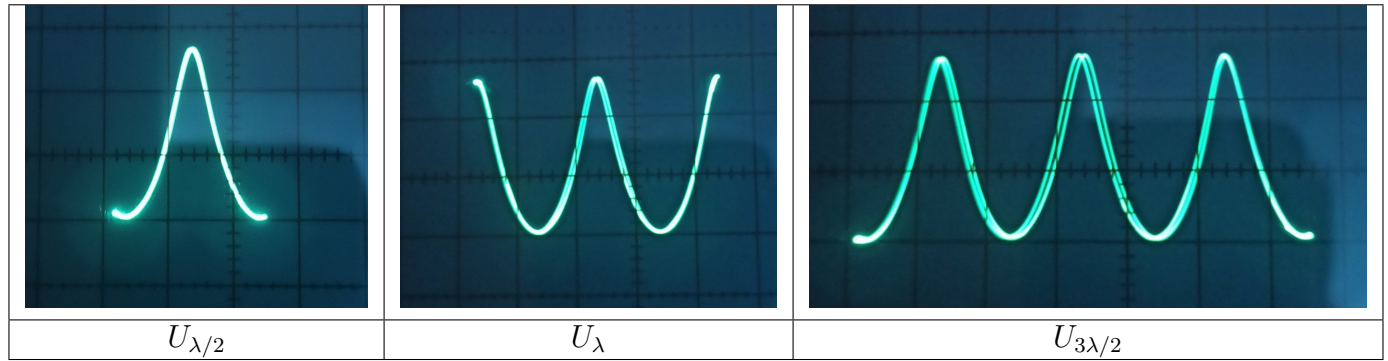


Таблица 2: Фигуры Лиссажу для различных напряжений

## Обсуждение результатов и выводы

- Было проведено измерение радиусов тёмных колец  $r(m)$  на расстоянии  $L = 70 \pm 1$  см от середины кристалла до экрана. Результаты приведены в Таблице 1. Из зависимости  $r^2$  от порядкового номера кольца (График 1) аппроксимацией получили угловой коэффициент  $k = 6.1 \pm 0.1 \text{ см}^2$ . Отсюда для указанных на установке значений  $n_0 = 2.29$ ,  $\lambda = 0.63 \text{ мкм}$ ,  $l = 26 \text{ мм}$  для двулучепреломления ниобата лития получили

$$n_0 - n_e = 0.10 \pm 0.01$$

Табличное значение для двулучепреломления ниобата лития:  $n_0 - n_e = 0.09$ . Видим, что в пределах погрешности оно совпадает с полученным.

- Было измерено полуполновое напряжение кристалла на длине волны  $\lambda = 0.63\text{мкм}$  при постоянном и переменном напряжениях. Первое определяем из условия максимума интенсивности, второе – при помощи осциллографа по разности напряжений при максимуме и минимуме у фигуры Лиссажу. Получили

$$\boxed{U_{\lambda/2}^{\text{AC}} = 450 \pm 15\text{В}}, \boxed{U_{\lambda/2}^{\text{DC}} = 420 \pm 15\text{В}}$$

Видим, что в пределах погрешности полученные значения совпадают.

- Подав на кристалл четвертьволновое напряжение, вращая анализатор убедились в том, что поляризация на выходе из кристалла круговая.

Основной вклад в ошибку в ходе выполнения работы могла внести неточность при определении диаметра колец на экране и выходного напряжения при помощи источника питания. Однако, порядок этой ошибки получился довольно приемлемым, что позволяет получить приемлемые результаты.