

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

## Лабораторная работа 4.7.2

Эффект Поккельса

Выполнили:

Гисич Арсений  
Айрапетян Микаел

Б03-102

# 1 Аннотация

В данной работе по измерениям радиусов интерференционных колец была определена разность показателей преломления  $n_o - n_e$ ; путём подачи на кристалл постоянного напряжения был получен свет, поляризованный по кругу; было определено полуволновое напряжение по фигурам Лиссажу на экране осциллографа.

## 2 Теоретические сведения

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

Рассмотрим кристалл ниобата лития  $\text{LiNbO}_3$  с центрально-осевой 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

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

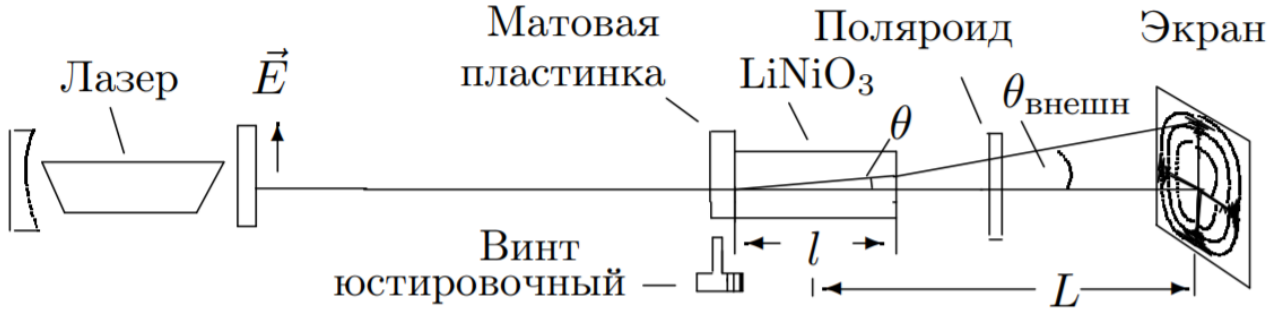


Рис. 1: Схема для наблюдения интерференционной картины

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  $90^\circ$  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

$$r_m^2 = \frac{\lambda}{l} \frac{(n_o L)^2}{n_o - n_e} m, \quad (1)$$

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 на выходе будет иметь вид

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

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

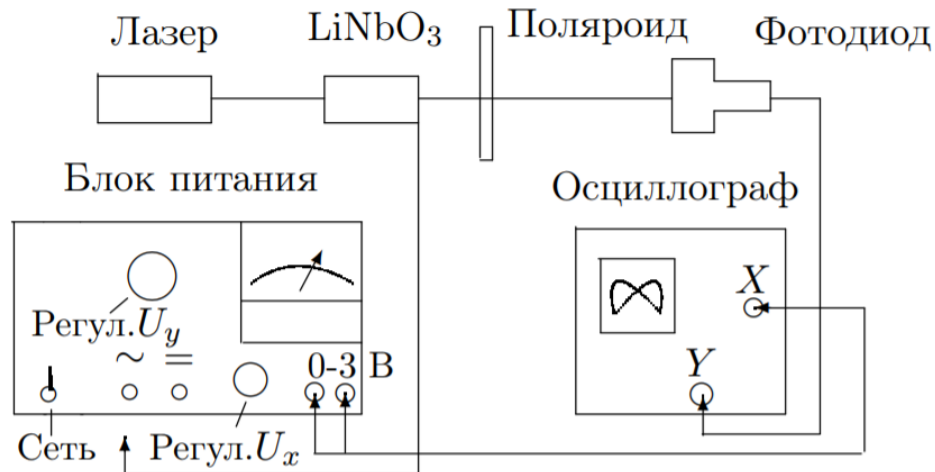


Рис. 2: Схема установки.

На Рис. 2 представлена схема всей установки (оптическая часть изображена на Рис. 1). Свет лазера, проходя через сквозь пластину, рассеивается и падает на двояко-преломляющий 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 Используемое оборудование

1. гелий-неоновый лазер;
2. поляризатор;
3. кристалл ниобата лития;
4. матовая пластина;
5. экран;
6. источник высоковольтного переменного и постоянного напряжения;
7. фотодиод;
8. осциллограф;
9. линейка.

### 4 Результаты измерений и обработка данных

Параметры установки:

$$n_o = 2,29$$

$$l = 26 \text{ мм}$$

$$\lambda = 0,63 \text{ мкм}$$

$$L = 75 \pm 0,5 \text{ см}$$

Результаты измерений радиуса тёмных колец  $r(m)$  представлены в таб. 1. График зависимости  $r^2 = f(m)$  представлен на рис. 3.

$m$	$r(m), \text{ см}$	$\delta_{r(m)}, \text{ см}$
1	2,7	0,1
2	4,0	0,1
3	4,7	0,1
4	5,5	0,1
5	6,2	0,1
6	6,7	0,1

Таблица 1: Зависимость радиуса тёмных колец от номера кольца

Угол наклона графика  $k = 7,562 \pm 0,063 \text{ см}^2$ . Из формулы (1) определяем двулучепреломление ниобата лития  $(n_o - n_e) = \frac{\lambda (n_o L)^2}{l k} = (94,5 \pm 1,5) \cdot 10^{-3}$ .

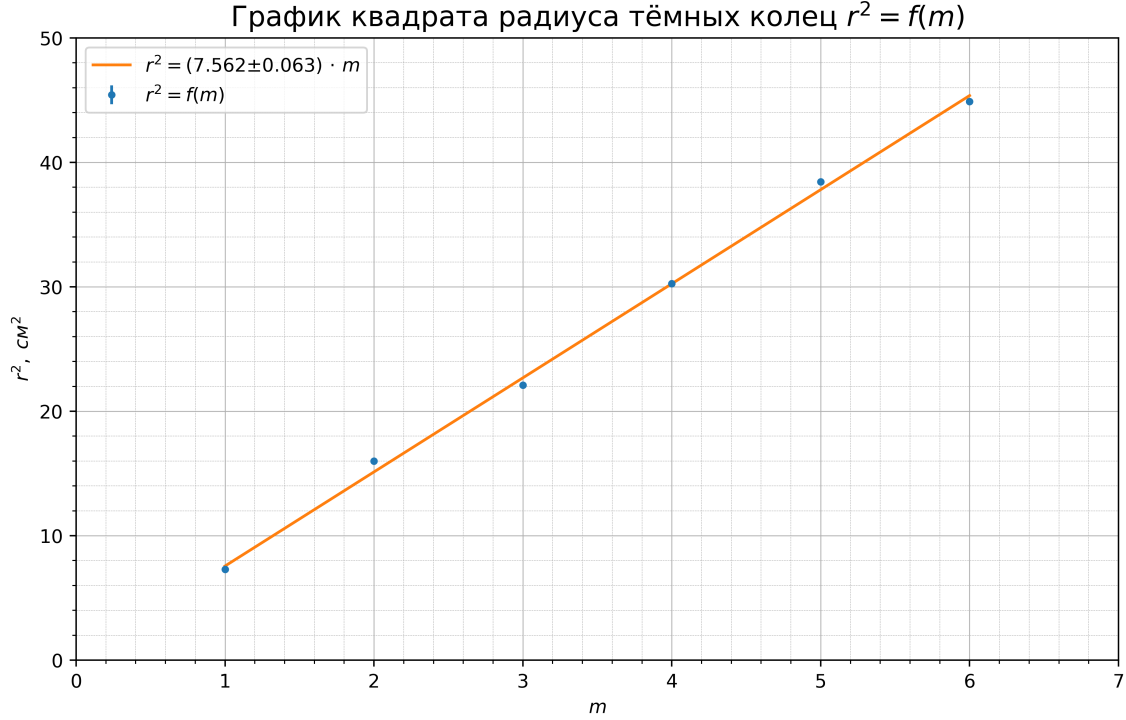


Рис. 3: График функции зависимости квадрата радиуса кольца от его номера  $r^2 = f(m)$

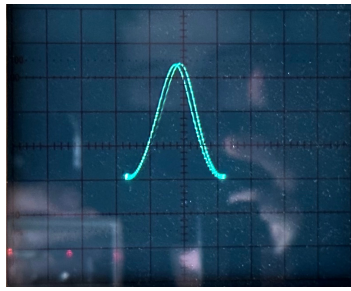
При постоянном напряжении на кристалле определяется полуволновое напряжение. Полученное значение при скрещенной поляризации:  $U_{\lambda/2} = 0,42 \pm 0,01$  кВ, а при параллельной:  $U_{\lambda/2} = 0,39 \pm 0,01$  кВ.

Заменим в схеме, изображенной на рисунке 2, экран фотодиодом, подключим его к Y-входу осциллографа. На X-вход подадим переменное напряжение с блока питания. В режиме DUAL на экране осциллографа получают фигуры Лиссажу, отвечающие зависимости  $I(U)$ . Для скрещенных поляризаций имеет вид синусоиды, взятой на симметричном отрезке, а для параллельных поляризаций представляет собой косинусоиду. Таким образом, фигуры Лиссажу для разных поляризаций при одинаковом значении амплитуды напряжения  $U$  отличаются по фазе на  $\pi/2$ .

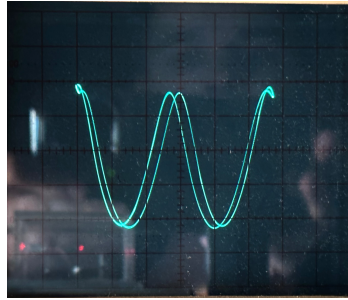
Определим полуволновое напряжение, измерив разность показаний между последовательными фигурами Лиссажу на экране, соответствующие экстремумам сигнала:

$$U_{\lambda/2} \approx 30 \text{ дел} = 450 \text{ В}$$

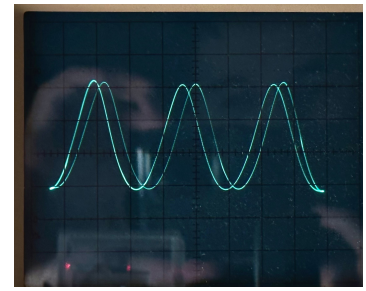
Фотографии наблюдаемых фигур Лиссажу для напряжений, кратным полуволновому, при разных поляризациях представлены на рисунке 5.



a)

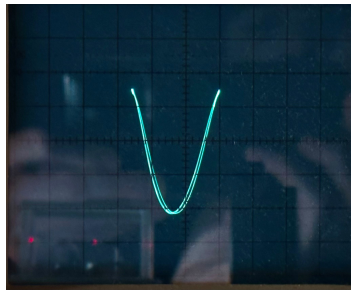


b)

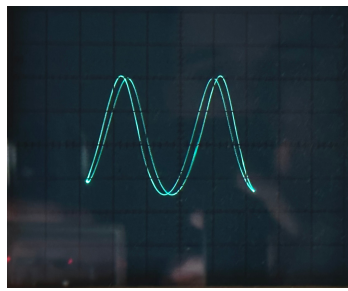


c)

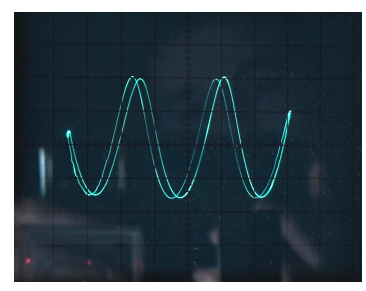
Рис. 4: Фигуры Лиссажу для скрещенных поляризаций при различных амплитудах напряжения  $U$ : (a)  $U = U_{\lambda/2}$ , (b)  $U = U_{\lambda}$ , (c)  $U = U_{3\lambda/2}$



a)



b)



c)

Рис. 5: Фигуры Лиссажу для параллельных поляризаций при различных амплитудах напряжения  $U$ : (a)  $U = U_{\lambda/2}$ , (b)  $U = U_{\lambda}$ , (c)  $U = U_{3\lambda/2}$

## 5 Обсуждение результатов и выводы

В данной работе было определено двулучепреломление ниобата лития, полученное значение:

$$n_o - n_e = (94,5 \pm 1,5) \cdot 10^{-3}$$

Полученное значение согласуется с табличным ( $n_o - n_e = 0,089$ ) в пределах  $3\delta$ . Основным вклад в погрешность вносит ошибка определения радиуса колец на экране.

Также двумя способами было определено полуволновое напряжение кристалла ниобата лития: по изменению яркости пятен на экране при вращении анализатора (при постоянном напряжении на кристалле) и по фигурам Лиссажу на экране осциллографа при переменном напряжении на кристалле. Полученное вторым способом значение:

$$U_{\lambda/2} \approx 450 \text{ В}$$

согласуется со значениями, полученными первым способом.