



Московский Физико-Технический Институт  
(национальный исследовательский университет)

## Отчет по эксперименту

---

### Эффект Поккельса

---

Работа №4.7.2; дата: 11.03.23

Семестр: 4

Выполнил:  
Кошелев Александр

Группа:  
Б05-105

## **Введение:**

### **Цель работы:**

Исследовать интерференцию рассеянного света, прошедшего кристалл; наблюдать изменение характера поляризации света при наложении на кристалл электрического поля.

### **План работы:**

- ▶ Исследовать интерференцию на кристалле
- ▶ Определить двулучепреломление
- ▶ Определить полуволновое напряжение
- ▶ Проверить полуволновое изображение с помощью фигур Лиссажу

## Теоретическая справка:

### Одноосный кристалл:

Одноосным называется кристалл, оптические свойства которого обладают симметрией вращения относительно некоторого направления, называемого *оптической осью*.

Пусть  $oZ$  – оптическая ось, тогда выделяют *ординарные* волны  $\vec{E} \perp (\vec{k}, \vec{e}_z)$  и *экстраординарные*  $\vec{E} \in (\vec{k}, \vec{e}_z)$ .

Пустим волну под малым углом  $\theta$  к оптической оси, тогда для ординарной волны показатель преломления  $n_1 = n_o$ , а для экстраординарной  $n_2 = n_o - (n_o - n_e)\theta^2$ , где  $n_o$  – показатель преломления вдоль оптической оси, а  $n_e$  – перпендикулярно ей.

## Эффект Поккельса:

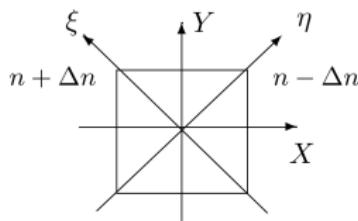


Рис. 1: Эффект Поккельса

Поместим кристалл ниобата лития в постоянное электрическое поле  $\vec{E}_{ext}$ , направленное по оси о $X$ , перпендикулярной оптической оси о $Z$ . В плоскости о $XY$  возникают быстрая и медленная оси под углами  $45^\circ$  к о $X$ , о $Y$ , соответствующие показателям преломления  $(n_o - \Delta n)$  и  $(n_o + \Delta n)$ , здесь  $\Delta n = A \cdot E_{ext}$ ,  $A$  – константа, зависящая от свойств материала. В этом и заключается *эффект Поккельса*.

## Ход работы:

Наблюдение интерференционной картины:

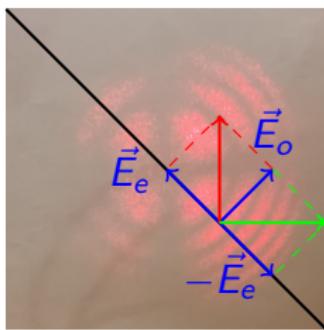


Рис. 2: Наблюдение интерференционной картины

Согласно приведенным ранее формулам сдвиг фаз между ординарной и экстраординарной волнами:

$$\Delta = \frac{2\pi}{\lambda} l(n_o - n_e)\theta^2$$

Значит кривые постоянной фазы – окружности. Ожидаем интерференционную картину в виде окружностей.



- ▶ Интерференционная картина как ожидалось – кольца
- ▶ Темный малтийский крест?
- ▶ Поляризация после матовой пластиинки?
- ▶  $\Delta = 2\pi k \rightarrow$  темное кольцо
- ▶  $\Delta = \pi + 2\pi k \rightarrow$  светлое кольцо
- ▶ Негативный переход картины при повороте анализатора

**Рис. 3:** Наблюдаемая интерференционная картина

Заметим, что из соображений закона Снеллиуса получаем радиусы темных колец:

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

Снимем зависимость радиуса темных колец от их номера:

$m$	1	2	3	4	5
$r_m$ , см	2.8	4.0	5.0	5.7	6.5

Табл. 1: Зависимость  $r_m(m)$

Построим график линеаризованной зависимости  $r_m^2(m)$

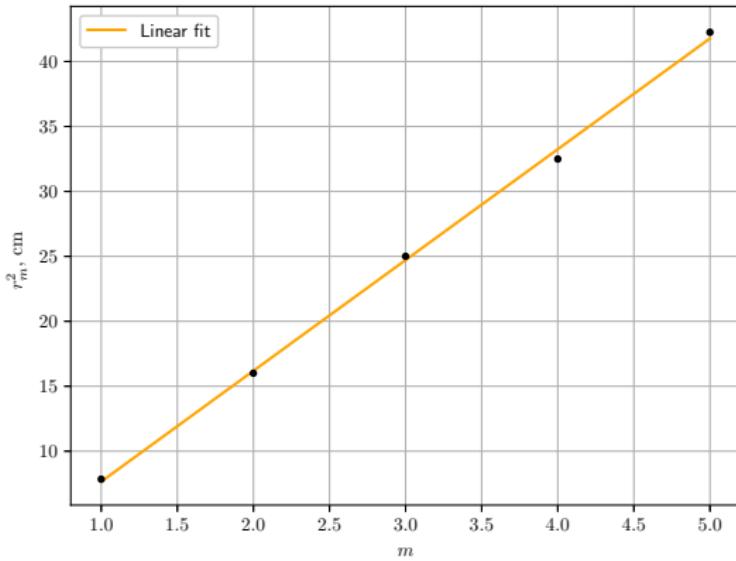


Рис. 4: График зависимости  $r_m^2(m)$

Отсюда получаем коэффициент наклона  $\gamma$  и  
двулучепреломление:

$$\gamma = (8.53 \pm 0.18) \text{ см}^2 \implies n_o - n_e = (0.086 \pm 0.002)$$

## Изменение характера поляризации света при наличии внешнего поля

После прохождения кристалла разность фаз между  $E_\eta$  и  $E_\xi$  составит:

$$\Delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2l\Delta n = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{l}{d} AU$$

где  $U = E_{ext}d$  – напряжение на кристалле,  $d = 3$  мм – его поперечный размер,  $l = 26$  мм – длина пути луча. Поляроид пропускает горизонтальную составляющую волны. Значит, выходная напряженность складывается из проекций  $E_\eta$  и  $E_\xi$  на ось о $X$ :

$$E = \frac{E_0}{2} \cdot e^{i(\omega t - kl)} (e^{i\Delta/2} - e^{-i\Delta/2}) = \frac{E_0}{2} \cdot e^{i(\omega t - kl + \pi/2)} \sin \frac{\Delta}{2}$$

Отсюда интенсивность выходной волны:

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

Для вертикально направленного анализатора, очевидно, зависимость:

$$I = I_0 \cos^2 \frac{\Delta}{2} = I_0 \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} \frac{U}{U_{\lambda/2}} \right)$$

При этом вводится полуволновое напряжение  $U_{\lambda/2} = \frac{\lambda}{4A} \frac{d}{l}$ .

Соберем установку для изучения интенсивности проходящей:



**Рис. 5:** Наблюдение интенсивности прошедшего света

Как и ожидалось, при обоих положениях анализатора яркость чередуется:



**Рис. 6:** Минимум  
интенсивности



**Рис. 7:** Максимум  
интенсивности

Запишем наблюдения напряжения на источнике:

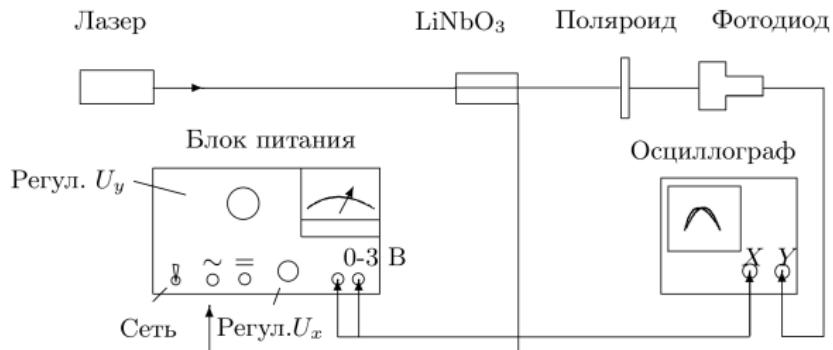
	$\perp$ поляризации	$\parallel$ поляризации
$U_{\lambda/2}$ , ед	$27 \pm 1$ (max)	$26 \pm 1$ (min)
$2U_{\lambda/2}$ , ед	$52 \pm 1$ (min)	$52 \pm 1$ (max)
$3U_{\lambda/2}$ , ед	$79 \pm 1$ (max)	$78 \pm 1$ (min)

**Табл. 2:** Последовательные экстремумы интенсивности

При усреднении полуволновое напряжение:

$$U_{\lambda/2} = (390 \pm 15) \text{ В}$$

Соберем установку для наблюдения фигур Лиссажу:



**Рис. 8:** Наблюдение фигур Лиссажу

Сигнал фотодатчика подается на вход о $Y$  осциллографа, на ось о $X$  подается переменное напряжение с источника.

Наблюдаем следующие фигуры Лиссажу:



Рис. 9:  $U = U_{\lambda/2}$  при  $\parallel$

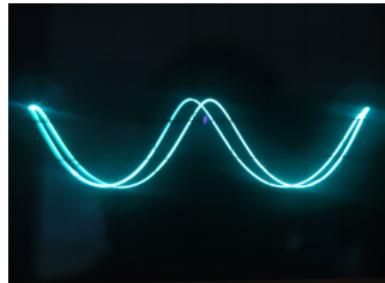


Рис. 10:  $U = 2U_{\lambda/2}$  при  $\parallel$

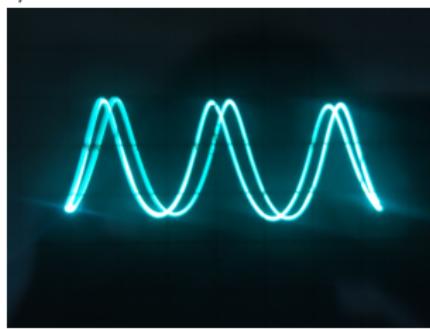


Рис. 11:  $U = 3U_{\lambda/2}$  при  $\parallel$

Полуволновое напряжение, определенное по фигурам  
Лиссажу совпадает с рассчетным.

## Выводы:

- ▶ Исследована интерференция лазерного излучения после матовой пластиинки на одноосном кристалле.
- ▶ Определено двулучепреломление кристалла ниобата лития на длине волны  $\lambda = 630$  нм

$$n_o - n_e = (0.086 \pm 0.002)$$

Значение в пределах погрешности совпадает с табличным  $(n_o - n_e)_{\text{ref}} = 0.084$

- ▶ Для данного кристалла определено полуволновое напряжение

$$U_{\lambda/2} = (390 \pm 15) \text{ В}$$

Это значение подтверждено наблюдением соответствующих фигур Лиссажу.