

# Корнеев Николай Б04-005, Лабораторная работа №. 4.7.2 «Эффект Поккельса»

## Цель работы:

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

## Задание:

1. Измерив радиусы интерференционных колец, определить разность показателей преломления  $n_o - n_e$
2. Подав на кристалл постоянное напряжение, получить свет, поляризованный по кругу
3. Определить полуволновое напряжение по фигурам Лиссажу на экране осциллографа

## Оборудование:

1. Гелий-неоновый лазер
2. Поляризатор
3. Кристалл ниобата лития
4. Матовая пластинка
5. Экран
6. Источник высоковольтного переменного и постоянного напряжения
7. Фотодиод
8. Осциллограф
9. Линейка

## Теоретическая справка:

**Эффектом Поккельса** называется изменение показателя преломления света в кристалле под действием электрического поля.

Изменение показателя преломления кристаллов под действием внешнего электрического поля происходит за счёт анизотропных свойств кристаллов. Под действием постоянного электрического поля электроны смещаются в сторону того или иного иона (в случае кристалла ниобата лития  $LiNbO_3$  — это ион Li или Nb), при этом меняется поляризуемость среды и связанный с ней показатель преломления.

Рассмотрим кристалл ниобата лития  $LiNbO_3$  с 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

$$\frac{1}{n_2^2} = \frac{\cos^2 \theta}{n_0^2} + \frac{\sin^2 \theta}{n_e^2}. \quad (1)$$

Если перед кристаллом, помещённым между скрещенными поляроидами, расположить линзу или матовую пластинку, после которых лучи будут рассеиваться под различными углами, то на экране, расположенном за поляроидом, мы увидим тёмные концентрические окружности — результат интерференции

Разность фаз в таком случае равняется:

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

Тогда выражение для  $m$ -го кольца получаем:

$$r_m^2 = \frac{\lambda}{l} \frac{(n_o L)^2}{n_o - n_e} m \quad (3)$$

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  $\Delta n = A \cdot E_{\text{эл}}$ . Для поляризованного вертикально света и анализатора, пропускающего горизонтальную поляризацию, на выходе интенсивность на выходе будет иметь вид

$$I_{\text{вых}} = I_0 \sin^2 \left( \frac{\pi}{2} \frac{U}{U_{\lambda/2}} \right), \quad (4)$$

где  $U_{\lambda/2} = \frac{\lambda}{4A} \frac{d}{l}$  — *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.

## Описание установки:

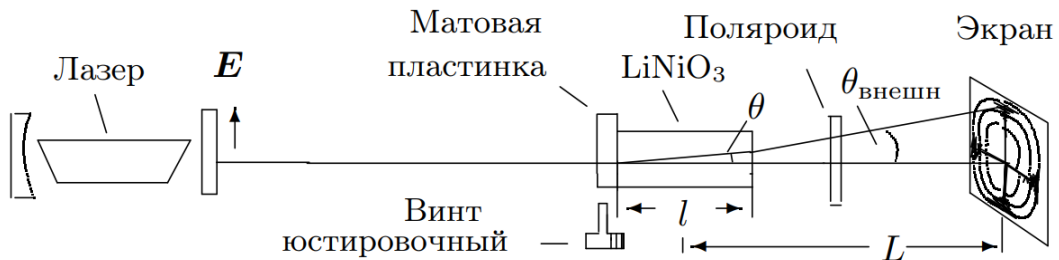


Рис. 1: Схема установки для наблюдения эффекта Поккельса

## Установка для 1 этапа работы

1. He-Ne лазер, длина волны  $\lambda = 0.63$  мкм,  $n_o = 2.29$

2. Матовая пластинка
3. Кристалл  $LiNiO_3$ , размером 3х3х26 мм
4. Поляроид
5. Экран

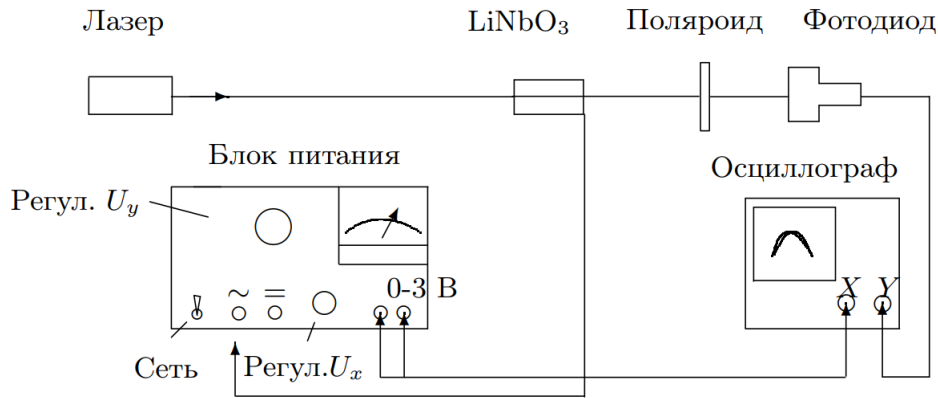


Рис. 2: Схема для изучения двойного лучепреломления в электрическом поле

## Установка для 2 этапа работы

### Ход работы:

#### Изучение интерференции обыкновенной и необыкновенной волн

1. Соберем установку, измерим  $L = 87$  см – расстояние от центра кристалла до экрана.
2. Рассмотрим радиус колец, полученных в ходе интерференции обыкновенной и необыкновенной волн

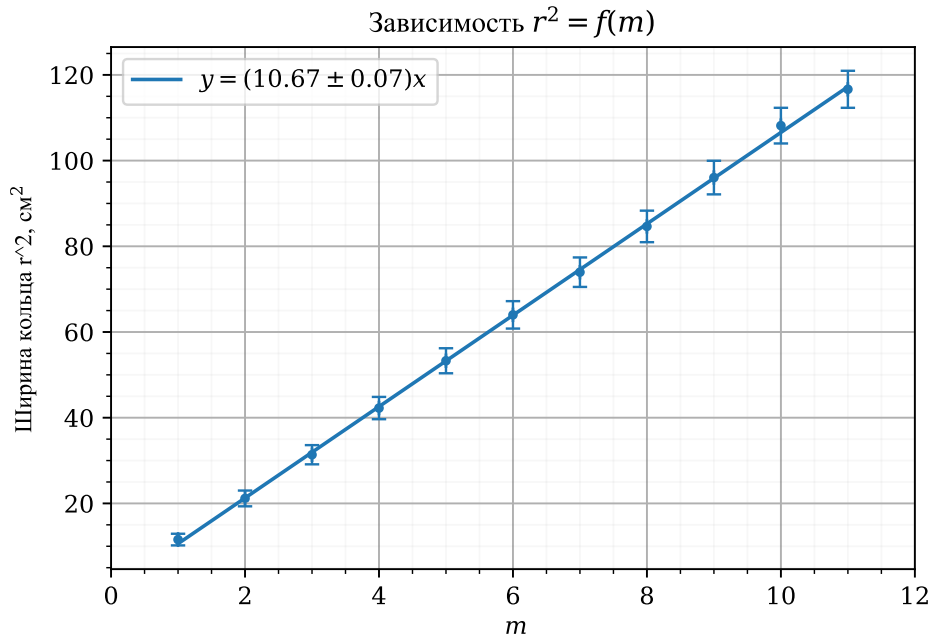
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
г, см	3.4	4.6	5.6	6.5	7.3	8.0	8.6	9.2	9.8	10.4	10.8

3. За погрешность возьмем наибольшую полуширину между кольцами ( $\sigma_r = 2$  мм). Тогда для построения графика мы будем использовать погрешность, равную:  
 $\sigma_{r^2} = 2r \cdot \sigma_r$  мм
4. Построим график  $r^2 = f(m)$ , пользуясь методом наименьших квадратов
5. Получим угловой коэффициент, равный  $k = 10.67 \pm 0.07$  см<sup>2</sup>.
6. По формуле 3 рассчитаем значение разности ( $n_o - n_e$ )

$$n_o - n_e = \frac{\lambda(n_o L)^2}{l} \cdot \frac{1}{k} = 0.09$$

Погрешность в этом случае равна:

$$\sigma_{n_o - n_e} = (n_o - n_e) \sqrt{\left(\frac{2\sigma_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2} = 0.09 \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 1}{87}\right)^2 + \left(\frac{0.07}{10.67}\right)^2} = 0.0026 \approx 0.003$$



В итоге получим:

$$(n_o - n_e) = 0.090 \pm 0.003$$

### Изучение оптических свойств кристалла под действием электрического поля

1. Преобразуем установку: уберем матовую пластинку, лист бумаги с экрана.
2. Будем изменять напряжение: максимум достигается при  $U = U_{\lambda/2} = 30 \text{ дел} = 0.45 \text{ кВ}$ , минимум при  $U = 2U_{\lambda/2} = U_{\lambda} = 56 \text{ дел} = 0.84 \text{ кВ}$
3. Подадим на кристалл напряжение, равное  $U = \frac{1}{2}U_{\lambda/2} = U_{\lambda/4}$ . При вращении поляризатора яркость пятна не изменяется, значит, поляризация в этом случае круговая.
4. Вместо экрана поставим фотодиод. В итоге получим установку как на рисунке 2.

Сменим разъем с постоянного, на переменное напряжение. В этом случае на разъем  $x$  будет подаваться напряжение с источника напряжения, а на  $y$  - напряжение с фотодиода.

На экране появится синусоида (фигура Лиссажу). Чем большее напряжение мы подаем, тем больше периодов в фигуре Лиссажу.

5. Далее прикреплены фотографии фигур Лиссажу, полученных в ходе эксперимента.
6. По фигуре Лиссажу определим полуволновое напряжение  $U = U_{\lambda/2} = 0.45 \pm 0.02 \text{ кВ}$ , где погрешность берется по цене деления источника питания.

### Выводы:

1. Установили прямую зависимость  $r^2(m)$

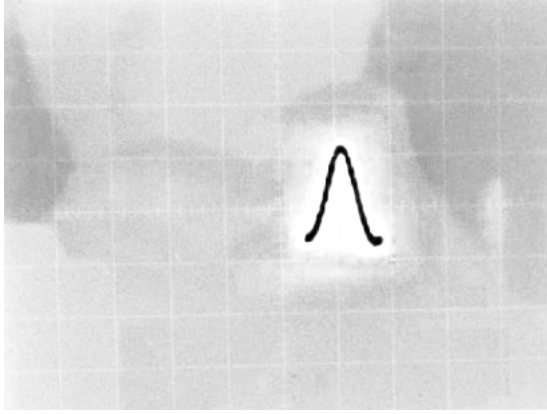


Рис. 3: Фигура Лиссажу при  $U = U_{\lambda/2}$

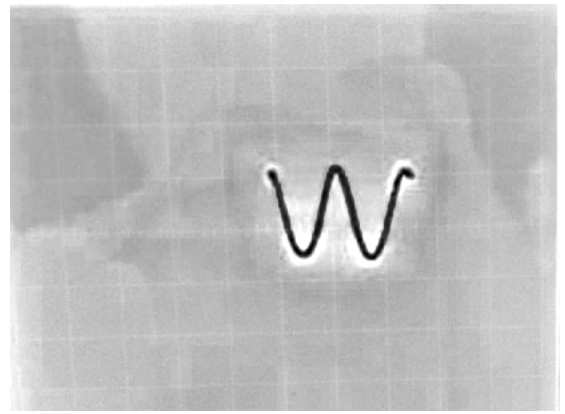


Рис. 4: Фигура Лиссажу при  $U = U_{\lambda}$

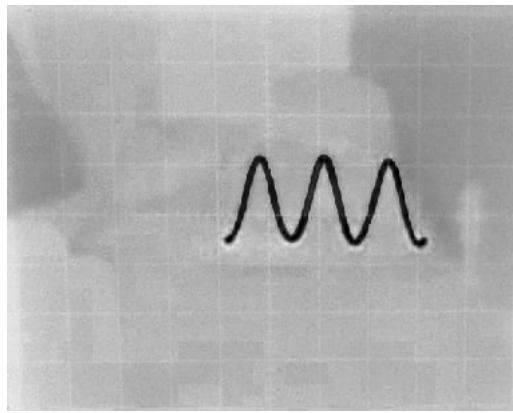


Рис. 5: Фигура Лиссажу при  $U = U_{3\lambda/2}$

2. Измерив радиусы интерференционных колец, получили показатель преломления, равный  $(n_o - n_e) = 0.090 \pm 0.003$
3. Подав на кристалл постоянное напряжение, получили свет, имеющий круговую поляризацию
4. Определили полуволновое напряжение на глаз по яркости картины на экране и по фигуре Лиссажу на осциллографе. В итоге, получили одинаковый результат, равный  $U = U_{\lambda/2} = 0.45 \pm 0.02$  кВ.