

Лабораторная работа № 4.7.2  
Эффект Поккельса

Илья Прамский

Апрель 2024

**Цель:** исследовать интерференцию рассеянного света, прошедшего кристалл; наблюдать изменение характера поляризации света при наложении на кристалл электрического поля.

**Оборудование:** гелий-неоновый лазер, поляризатор, кристалл ниобата лития, матовая пластина, экран, источник высоковольтного переменного и постоянного напряжения, фотодиод, осциллограф, линейка.

## 1 Теоретические сведения

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

Рассмотрим кристалл ниобата лития  $\text{LiNbO}_3$  с центральноосевой 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

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

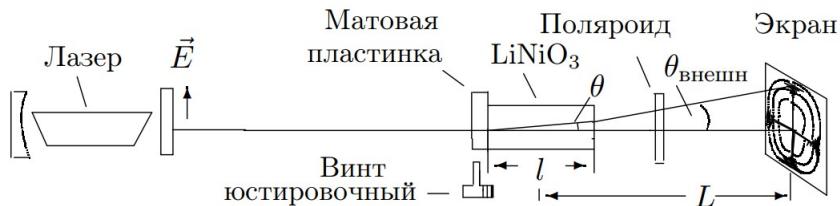


Рис. 1 — Оптическая часть экспериментальной установки

Если перед кристаллом, поместившимся между поляроидами, расположить линзу или матовую пластинку, то на экране за поляроидом мы увидим тёмные концентрические окружности – результат интерференции обычной и необыкновенной волн. При повороте выходного поляроида на  $90^\circ$  картина меняется с позитива на негатив (на месте светлых пятен появляются тёмные и наоборот). В случае, когда разрешённое направление анализатора перпендикулярно поляризации лазерного излучения, радиус тёмного кольца с номером  $m$  равен

$$r_m^2 = \frac{\lambda}{l} \frac{(n_o L)^2}{n_0 - n_e} m, \quad (2)$$

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  $n_0 - \Delta n$  и  $n_o + \Delta n$  (быстрая и медленная ось), причём  $\Delta n = AE_{\text{эл}}$ . Для

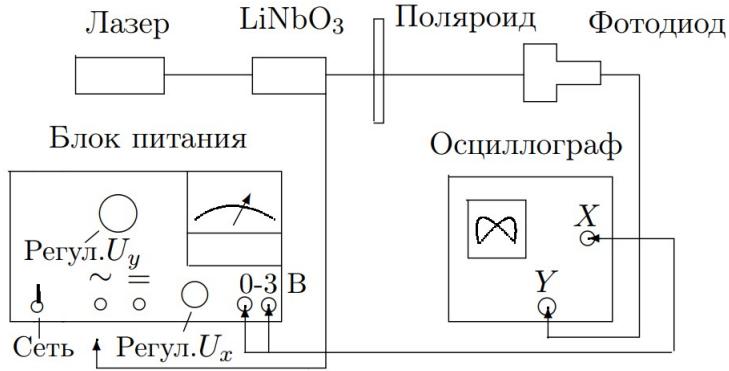


Рис. 2 — Экспериментальная установка

поляризованного вертикально света и анализатора, пропускающего горизонтальную поляризацию, на выходе интенсивность на выходе будет иметь вид

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

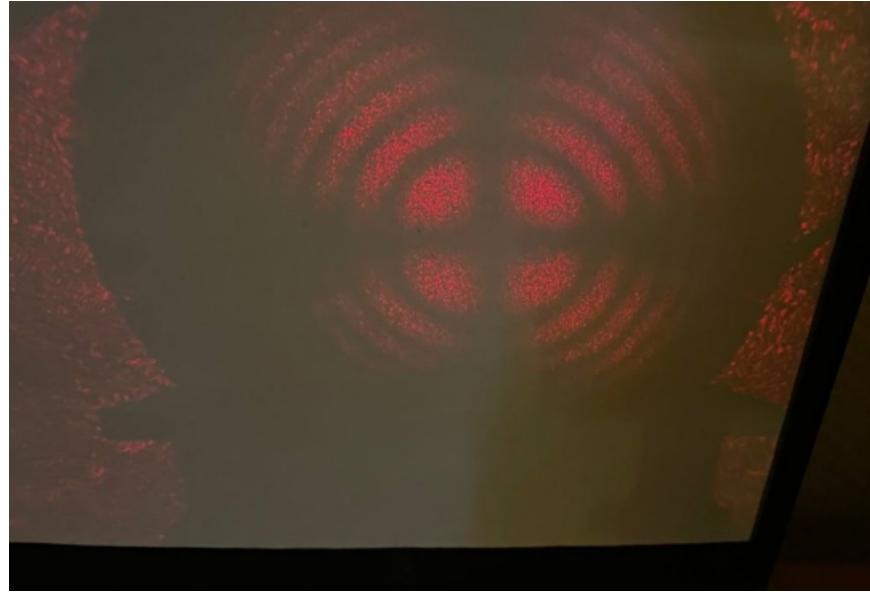
где  $U_{\lambda/2} = \frac{\lambda}{4A} \frac{d}{l}$  — полуволновое напряжение,  $d$  — поперечный размер кристалла. При напряжении  $U = E_{\text{эл}} d$  равном полуволновому сдвиг фаз между двумя волнами равен  $\pi$ , а интенсивность света на выходе максимальна.

На Рис. 2 представлена схема всей установки (оптическая часть изображена 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. Заменив экран фотодиодом и подав на кристалл переменное напряжение, можно исследовать поляризацию с помощью осциллографа.

## 2 Ход работы

Для начала проведём юстировку системы. Соберём оптическую схему. Включим лазер и установим анализатор (без кристалла в схеме) так, чтобы лазерное излучение через него не проходило (скрещенные поляризации). Поставим кристалл и установим перед ним вплотную к кювете матовую пластинку. Выпишем также её параметры, которые в дальнейшем понадобятся для расчётов.  $\lambda = 0,63$  мкм,  $n_o = 2,29$ ,  $l = 26$  мм,  $L = 77,5 \pm 0,5$  см.

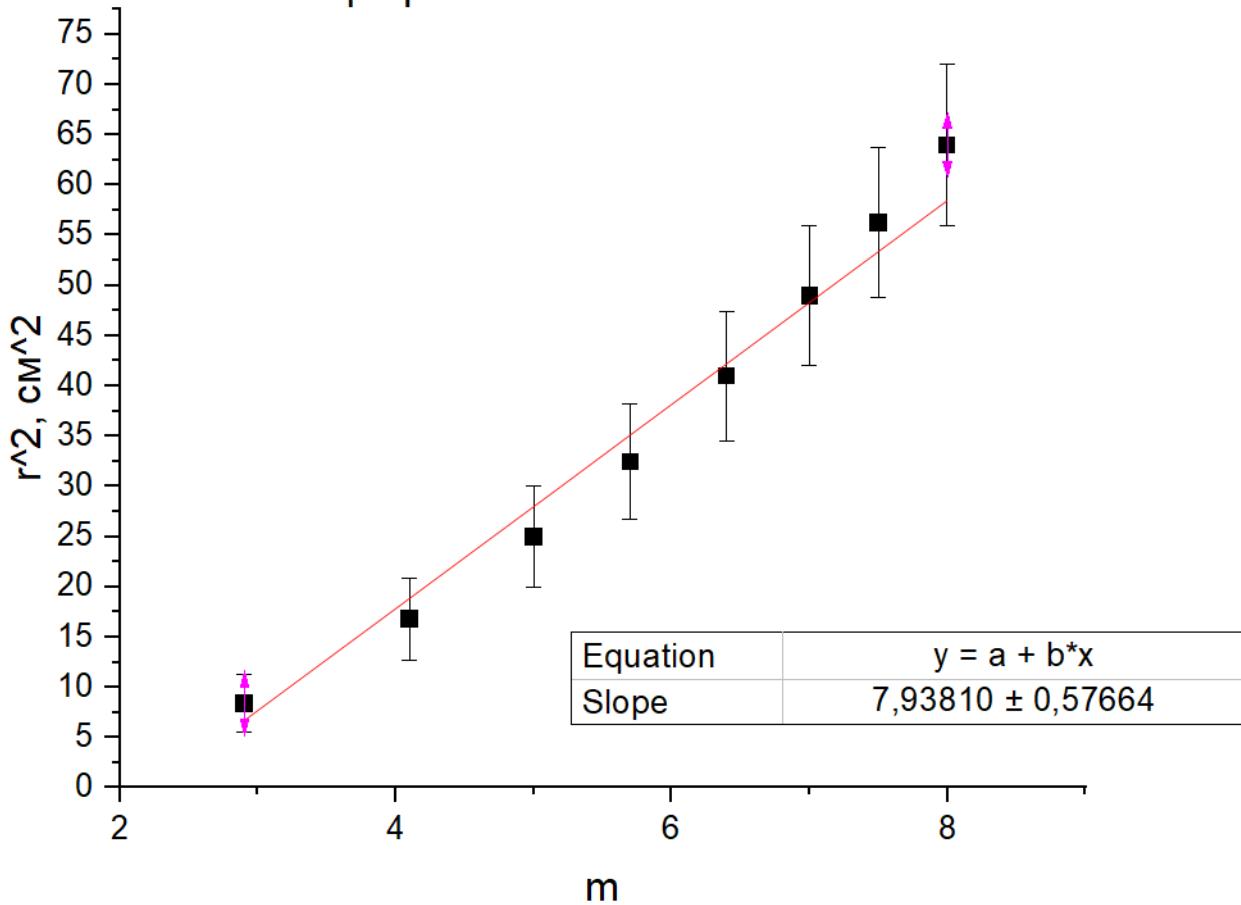
Получим на экране интерференционную картину.



Теперь измерим радиусы тёмных колец и занесём данные в таблицу. По этим данным построим график зависимости  $r^2 = f(m)$ , а затем при помощи угла наклона по формуле (2) определим двулучепреломление  $n_o - n_e$ .

m	r, см	$r^2$ , см $^2$
1	2,9	8,41
2	4,1	16,81
3	5,0	25,00
4	5,7	32,49
5	6,4	40,96
6	7,0	49,00
7	7,5	56,25
8	8,0	64,00

## График зависимости $r^2$ от $m$



Из графика  $k = 7,9 \pm 0,6$ . Тогда

$$n_o - n_e = \frac{\lambda(n_o L)^2}{lk} = 0,097 \pm 0,007$$

Табличное же значение равно 0,09, данное значение входит в диапазон погрешности.

Теперь перейдём ко второй части эксперимента. Подключим разъём блока питания на постоянное напряжение, установим регулятор напряжения на минимальное напряжение и включим блок питания в сеть.

С увеличением напряжения на кристалле яркость пятна на экране увеличивается и достигает максимума при  $U = U_{\frac{\lambda}{2}} = 480 \pm 15$  В.

Также проверим, что при  $U_\lambda = 960 \pm 30$  В, пятно имеет минимальную яркость.

При изменении поляризации на параллельную,  $U_{\frac{\lambda}{2}} = 885 \pm 15$  В.

Также, подав напряжение, равное  $U_{\frac{\lambda}{4}} = 240 \pm 8$  В, заметим, что поляризация станет круговой(яркость при вращении поляроида никак не меняется).

Теперь включим осциллограф, поставим приёмник, и будем передавать на осциллограф по оси  $x$  напряжение, а по оси  $y$  интенсивность излучения на экране. Получаются фигуры Лиссажу.

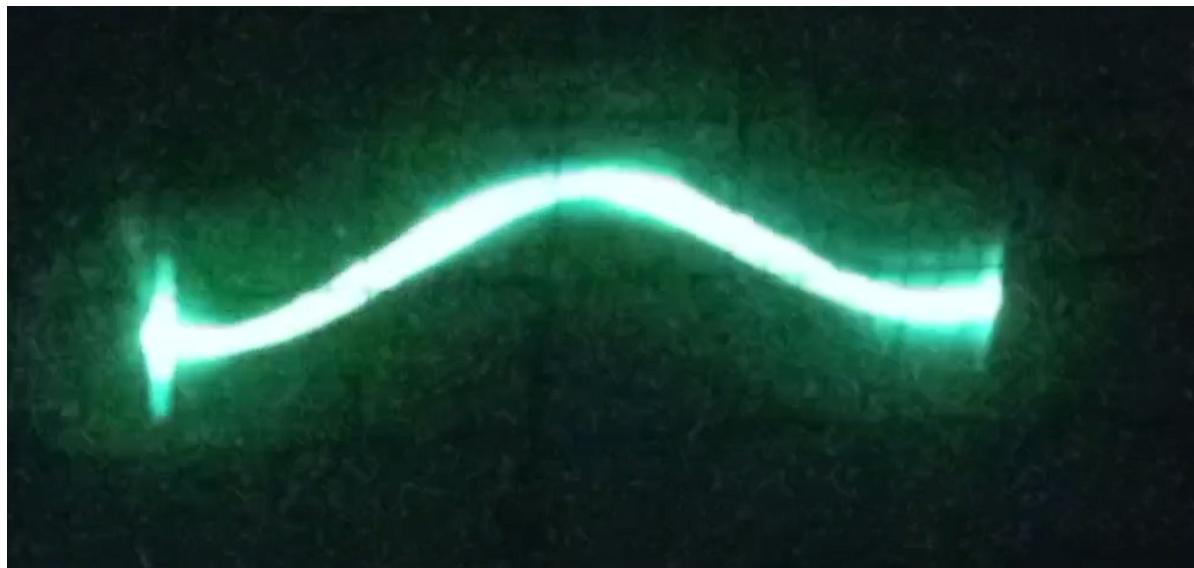


Рис. 3 — Фигура Лиссажу при  $U_{\frac{\lambda}{2}}$

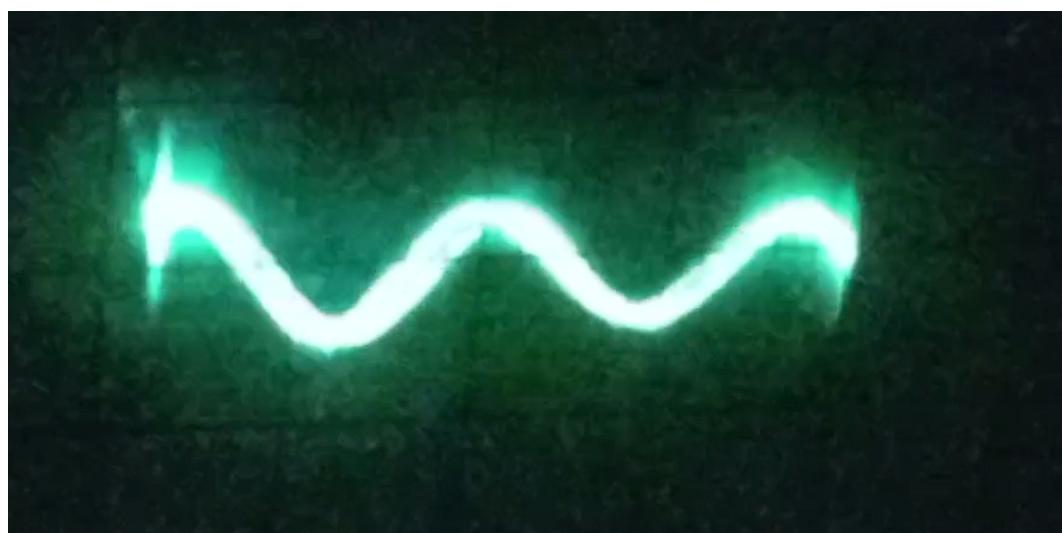


Рис. 4 — Фигура Лиссажу при  $U_\lambda$

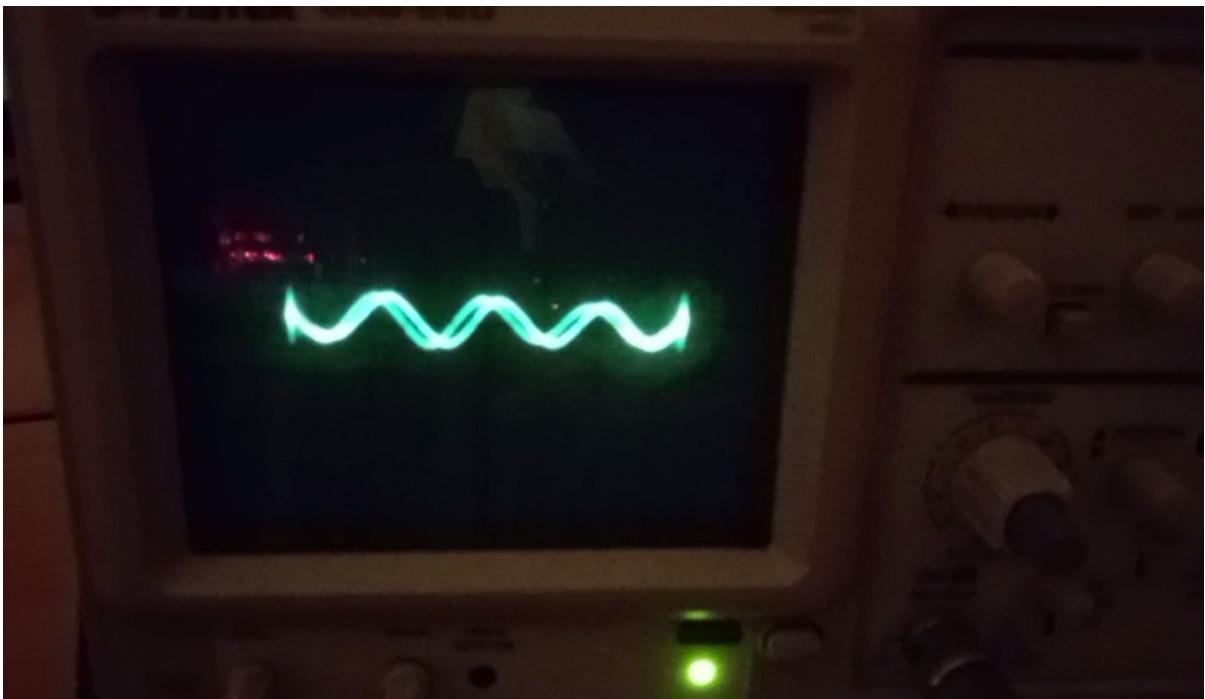


Рис. 5 — Фигура Лиссажу при  $U_{\frac{3\lambda}{2}}$

Найдём  $U_{\frac{\lambda}{2}}$ , как  $\Delta U$ , соответствующее переходу от максимума к минимуму сигнала. Получилось  $\Delta U = 510 \pm 15$  В, что находится достаточно близко к полученному ранее значению.

### 3 Вывод

В ходе данной работы была исследована интерференция рассеянного света, прошедшего сигнал. Также при помощи исследования зависимости радиуса тёмного кольца от его номера, было вычислено двулучепреломление кристалла, равное  $n_o - n_e = 0,097 \pm 0,007$  В, что находится достаточно близко к табличному значению(0,09 В). Также двумя различными способами было найдено значение напряжения, при котором яркость пятна достигает максимума, причём эти оба значения находятся близко друг к другу(480 и 510).



Рис. 6 — Я с коллегой(я слева, мой напарник - Денис Михайлов - справа