

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.7.2

Эффект Поккельса

выполнила студентка группы Б03-303

Мария Шишкарёва



Долгопрудный, 2025 г.

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 пластинка, 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 LiNbO_3 с центральоосевой 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 θ 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

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

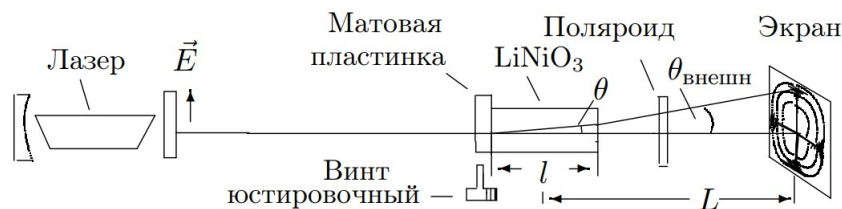


Рис. 1: Оптическая часть экспериментальной установки

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° 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

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

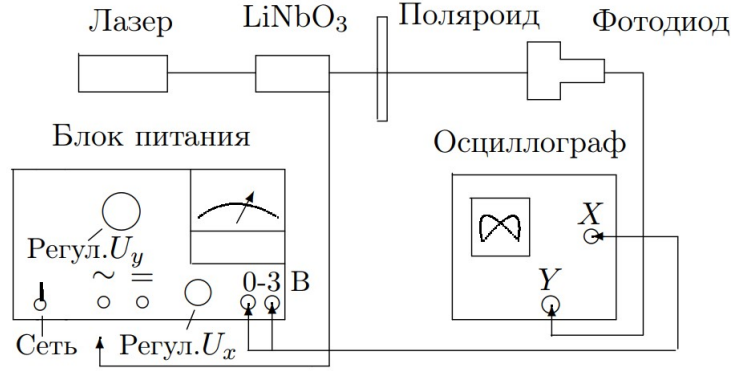


Рис. 2: Экспериментальная установка

где L – расстояние от центра кристалла до экрана, l – длина кристалла.

Теперь поместим кристалл в постоянное электрическое поле $E_{эл}$, 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° к X и Y с показателями преломления $n_0 - \Delta n$ и $n_0 + \Delta n$ (быстрая и медленная ось), причём $\Delta n = A E_{эл}$. Для поляризованного вертикально света и анализатора, пропускающего горизонтальную поляризацию, на выходе интенсивность на выходе будет иметь вид

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

где $U_{\lambda/2} = \frac{\lambda}{4A} \frac{d}{l}$ – *полуволновое напряжение*, d – поперечный размер кристалла. При напряжении $U = E_{эл} d$ равном полуволновому сдвиг фаз между двумя волнами равен π , 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. Заменив экран фотодиодом и подав на кристалл переменное напряжение, можно исследовать поляризацию с помощью осциллографа.

2 Ход работы и обработка данных

Собираем схему 1, проводим юстировку, получаем интерференционную картину. Убедились, что при провороте анализатора на 90° картина изменилась на негативную (тёмные кольца стали светлыми, светлые - тёмными)

параметры установки:

1. $\lambda = 632.8 \text{ нм}$
2. $l = (3.0 \pm 0.5) \text{ см}$
3. $L = (75 \pm 1) \text{ см}$
4. $n_0 = 2.29$

Измеряем радиусы тёмных колец, результаты заносим в таблицу:

№ измерения	1	2	3	4
r_0 , мм	8	9	9	8
r_1 , мм	29	30	30	30
r_2 , мм	41	43	42	41
r_3 , мм	50	51	51	51
r_4 , мм	58	59	59	58
r_5 , мм	64	65	65	65
r_6 , мм	70	71	71	70
r_7 , мм	76	76	76	76
r_8 , мм	80	81	80	81
$\sigma_{\text{сист}}$	1 мм			

Таблица 1: Результаты измерений r_m

Значения r_m будем считать, как среднее арифметическое всех измерений. Среднеквадратичное отклонение считаем по формуле:

$$\sigma_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

Полную погрешность считаем по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{сист}}^2 + \sigma_{\text{ср.кв}}^2} \quad (5)$$

Таким образом, получаем:

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8
r_m , мм	8.50	29.75	41.75	50.75	58.50	64.75	70.50	76.00	80.50
σ_m , мм	1.12	1.09	1.30	1.09	1.12	1.09	1.12	1.00	1.12

Таблица 2: Значения r_m

Строим график зависимости $r_m^2(m)$, находим коэффициент наклона и по формуле (2) находим двулучепреломление $n_0 - n_e$ ниобата лития:

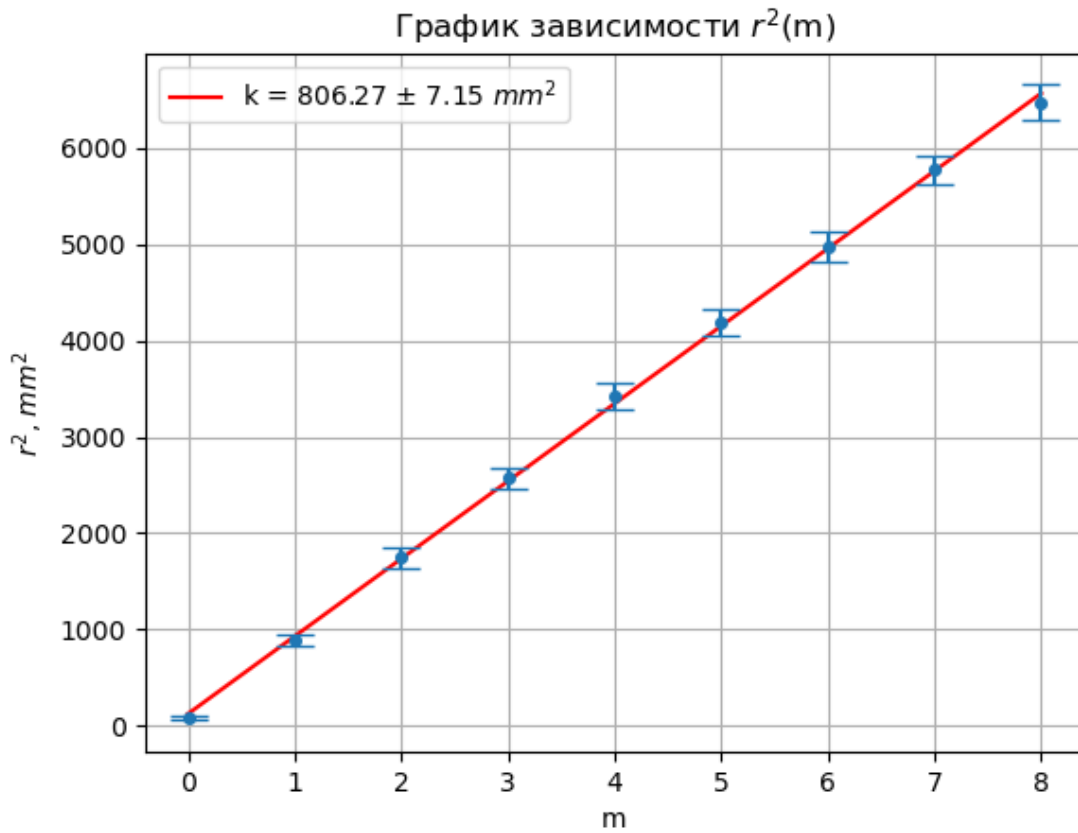


Рис. 3: График зависимости $r_m^2(m)$

$n_0 - n_e = 0.077 \pm 0.013$, что в пределах погрешности совпадает с табличным значением $(n_0 - n_e)_{\text{табл}} = 0.083$ при длине волны $\lambda = 632.8$ нм

Эффект Поக்கельса:

Для скрещенной поляризации, увеличивая напряжение на кристалле, добьёмся максимальной интенсивности картины и найдём значение напряжения $U_{\frac{\lambda}{2}}$. Добившись минимально интенсивности найдём значение напряжения U_{λ} . Прделаем тоже самое для параллельной поляризации (только напряжению $U_{\frac{\lambda}{2}}$ будет соответствовать минимум интенсивности, а U_{λ} - максимум). Результаты занесём в таблицу.

	скрещенная		параллельная	
№ измерения	$U_{\frac{\lambda}{2}}$, дел	U_{λ} , дел	$U_{\frac{\lambda}{2}}$, дел	U_{λ} , дел
1	35	66	34	66
2	33	66	34	64
3	32	65	33	65
4	34	64	32	64
	$\sigma_{\text{сист}} = 1 \text{ дел} = 15 \text{ В}$			

Таблица 3: Результаты измерений

Среднеквадратичное отклонение и полную погрешность считаем по формулам (4) и (5).

скрещенная		параллельная	
$U_{\frac{\lambda}{2}}$, В	U_{λ} , В	$U_{\frac{\lambda}{2}}$, В	U_{λ} , В
502.50 ± 22.50	978.75 ± 19.49	501.00 ± 19.21	975.00 ± 20.12

Убедились, что при напряжении $U_{\frac{\lambda}{4}} = 250 \pm 15 \text{ В}$ наблюдаем круговую поляризацию (при вращении анализатора, интенсивность не меняется)

Поставим вместо экрана фотодиод и по фигурам Лиссажу на осциллографе определим полуволновое напряжение $U_{\frac{\lambda}{2}}$.

№ измерения	$U_{max}, * 15 \text{ В}$	$U_{min}, * 15 \text{ В}$	$U_{\frac{\lambda}{2}}, \text{ В}$	$\sigma, \text{ В}$
1	57	28	423.75	26.69
2	56	28		
3	56	30		
4	57	27		

Таблица 4: Результаты измерений

Получим фигуры Лиссажу для напряжений $U_{\frac{\lambda}{2}}, U_{\lambda}, U_{\frac{3\lambda}{2}}$:

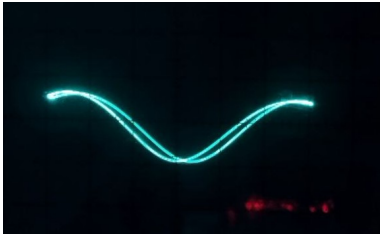


Рис. 4: $U_{\frac{\lambda}{2}}$



Рис. 5: U_{λ}

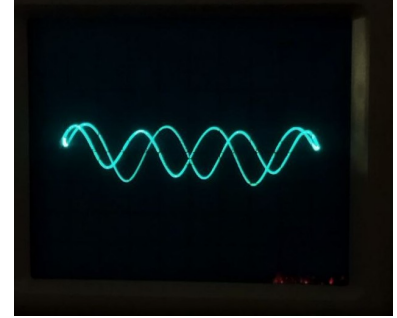


Рис. 6: $U_{\frac{3\lambda}{2}}$

Рис. 7: Фигуры Лиссажу

3 Вывод

В работе с помощью интерференционной картины было определено двулучепреломления ниобата лития (по угловому коэффициенту зависимости квадрата радиуса тёмного пятна от номера тёмного пятна с помощью формулы 2), которое с хорошей точностью сошлось с табличным значением. Также был исследован эффект Поггеля и двумя способами определено полуволновое напряжение - с помощью наблюдением за изменением интенсивности и с помощью фигур Лиссажу, также полученное значение было проверено с помощью следующего факта: при напряжении $U_{\lambda/4}$ должна получиться круговая поляризация.