

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа электроники, фотоники и молекулярной физики

Лабораторная работа 4.7.2 Эффект Поккельса

Салтыкова Дарья

Б04-105

Долгопрудный 2023

1 Введение

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

В работе используются: гелий-неоновый лазер, поляризатор, кристалл ниобата лития, матовая пластинка, экран, источник высоковольтного переменного и постоянного напряжения, фотодиод, осциллограф, линейка.

2 Теоретические сведения

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

Рассмотрим кристалл ниобата лития LiNbO_3 с цетральноосевой 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

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

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 тёмные и наоборот). В случае, когда разрешённое направление анализатора перпендикулярно поляризации лазерного излучения, радиус тёмного кольца с номером m равен

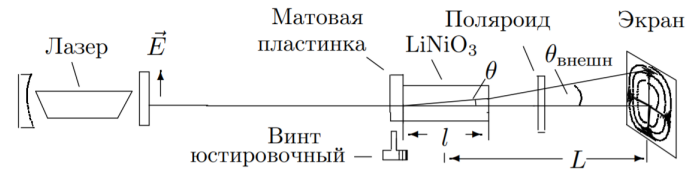


Рис. 1: Схема для наблюдения интерференционной картины

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

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° 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 $U = E_{эл}d$ равном полуволновому сдвиг фаз между двумя волнами равен π , а интенсивность света на выходе максимальна.

3 Экспериментальная установка

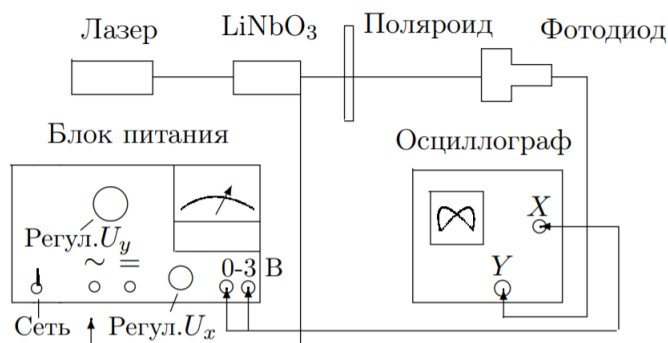


Рис. 2: Схема установки

Оптическая часть установки представлена на рис. 1. Свет гелий-неонового лазера, поляризованный в вертикальной плоскости, проходя сквозь матовую пластинку, рассеивается и падает на двоякопреломляющий кристалл под различными углами. Кристалл ниобата лития с размерами $3 \times 3 \times 26$ мм вырезан вдоль оптической оси Z . На экране, расположенном за скрещенным поляроидом, видна интерференционная картина.

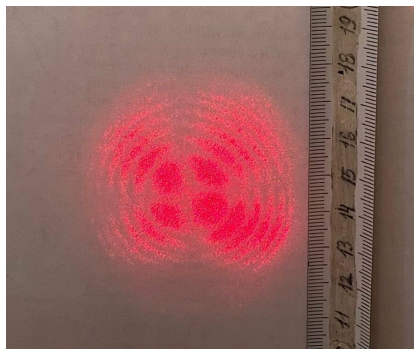
Для $\lambda = 0,63$ мкм (длина волны гелий-неонового лазера) в ниобате лития $n_o = 2,29$.

Убрав рассеивающую пластинку и подавая на кристалл постоянное напряжение, можно величиной напряжения влиять на поляризацию луча, вышедшего из кристалла.

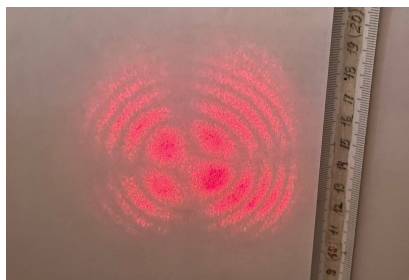
Заменив экран фотодиодом (рис. 2) и подав на кристалл переменное напряжение, можно исследовать поляризацию луча с помощью осциллографа.

4 Ход работы

1. Проведем юстировку установки. Получим на экране интерференционную картину.
2. Измерим радиусы темных колец $r(m)$ для трех расстояний L от середины кристалла до экрана. Построим графики $r^2 = f(m)$.



$L = (38,2 \pm 1,0)$ см

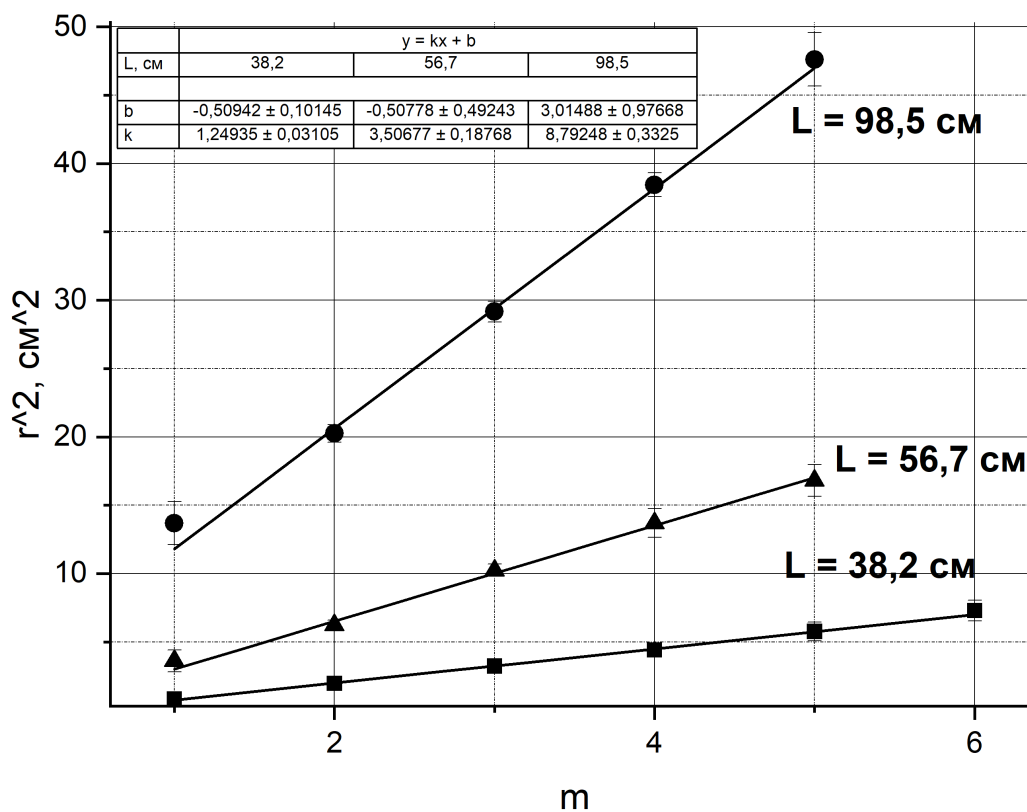


$L = (56,7 \pm 1,0)$ см



$L = (98,5 \pm 1,0)$ см

$L = (38,2 \pm 1,0) \text{ см}$						
m	1	2	3	4	5	6
$r, \text{ см}$	0,9	1,4	1,8	2,1	2,4	2,7
$r^2, \text{ см}^2$	0,8	2,0	3,2	4,4	5,8	7,3
$\sigma_{r^2}, \text{ см}^2$	0,4	0,4	0,3	0,3	0,7	0,8
$L = (56,7 \pm 1,0) \text{ см}$						
m	1	2	3	4	5	
$r, \text{ см}$	1,9	2,5	3,2	3,7	4,1	
$r^2, \text{ см}^2$	3,6	6,3	10,2	13,7	16,8	
$\sigma_{r^2}, \text{ см}^2$	0,8	0,4	0,5	1,0	1,2	
$L = (98,5 \pm 1,0) \text{ см}$						
m	1	2	3	4	5	
$r, \text{ см}$	3,7	4,5	5,4	6,2	6,9	
$r^2, \text{ см}^2$	13,7	20,3	29,2	38,4	47,6	
$\sigma_{r^2}, \text{ см}^2$	1,6	0,6	0,8	0,9	2,0	



По углу наклона прямой определим двулучепреломление ($n_o - n_e$) ниобата лития.

$L, \text{ см}$	38,2	56,7	98,5
k	1,25	3,51	8,79
σ_k	0,03	0,19	0,33
$n_o - n_e$	0,148	0,116	0,140
$\sigma_{n_o - n_e}$	0,005	0,007	0,005
$n_o - n_e$	$0,135 \pm 0,005$		

3. Убедимся ещё раз, что направление лазерного луча совпадает с направлением на центр ин-

терференционной картины и уберём матовую пластинку. Подключим разъём блока питания на постоянно напряжение, установим регулятор напряжения на минимум и включим блок питания в сеть.

При нулевом напряжении наблюдается минимум интенсивности излучения на экране. Постепенно увеличивая его, получим напряжение, соответствующее максимуму интенсивности $U_{\lambda/2} = (375 \pm 15)$ В. Погрешность принимаем равной одному делению - 15 В.

4. Подадим на кристалл четвертьволновое напряжение. Вращая анализатор наблюдаем, что яркость пятна не зависит от угла поворота анализатора - поляризация круговая.

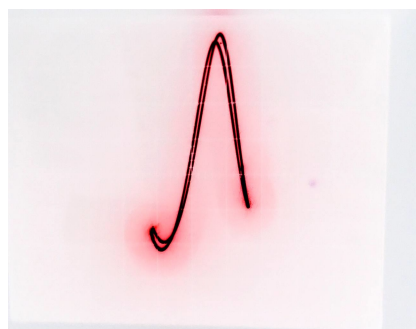
5. Установим вместо экрана фотодиод (Рис. 2) и подключим его к Y-входу осциллографа. Убрав напряжение до нуля, переключим разъём с постоянного на переменное напряжение.

Постепенно повышая напряжение на кристалле, наблюдаем на экране осциллографа фигуры Лиссажу, соответствующие зависимости $I_{\text{вых}}(U)$ для скрещенных поляризаций лазера и анализатора.

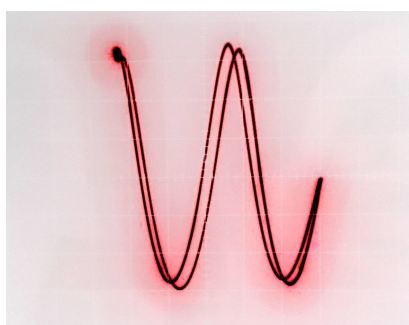
$$U_{\lambda/2} = (390 \pm 15) \text{ В.}$$

Продолжая увеличивать напряжение получаем:

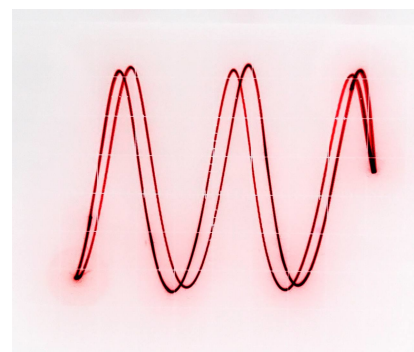
$$U_{\lambda} = (780 \pm 15) \text{ В} \quad U_{3\lambda/2} = (1140 \pm 15) \text{ В}$$



$U_{\lambda/2}$

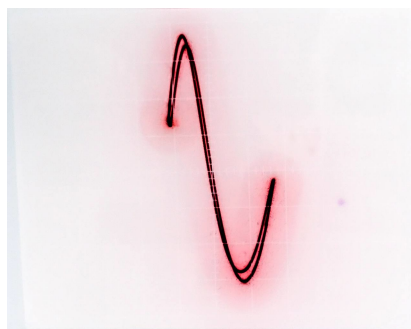


U_{λ}



$U_{3\lambda/2}$

При переходе к параллельным поляризациям картина инвертируется.



5 Вывод

В ходе работы

1) была определена разность показателей преломления $n_o - n_e = 0,135 \pm 0,005$ путем измерения радиусов интерференционных колец. Табличное значение этой величины составляет

$(n_o - n_e)_{\text{табл}} = 0,09$. Основной вклад в ошибку внесла неточность при определении радиуса колец.

2) при подаче на кристалл постоянного четвертьволнового напряжения, был получен свет, поляризованный по кругу.

3) было определено полуволновое напряжение кристалла при постоянном напряжении:

$$U_{\lambda/2} = (375 \pm 15) \text{ В},$$

а также полуволновое и кратные ему напряжения по фигурам Лиссажу:

$$U_{\lambda/2} = (390 \pm 15) \text{ В} \quad U_{\lambda} = (780 \pm 15) \text{ В} \quad U_{3\lambda/2} = (1140 \pm 15) \text{ В}.$$

