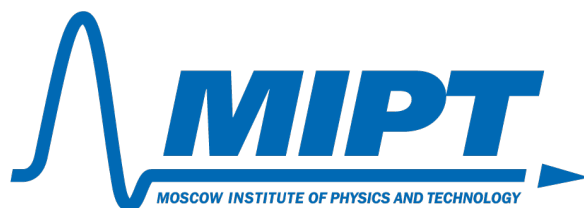


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ФАКУЛЬТЕТ ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ



Лабораторная работа № 4.7.2

Эффект Поккельса

Баранов Даниил
Группа Б02-103

Долгопрудный, 2023 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 центральноеосевой 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

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

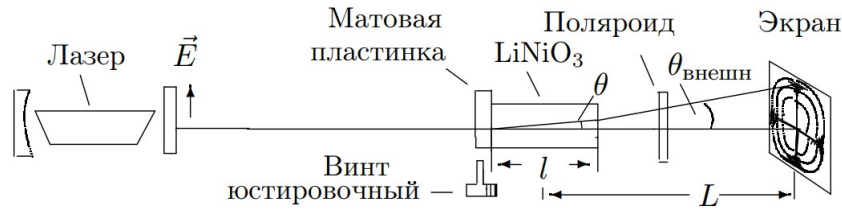


Рис. 1: Оптическая часть экспериментальной установки

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

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

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° 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

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

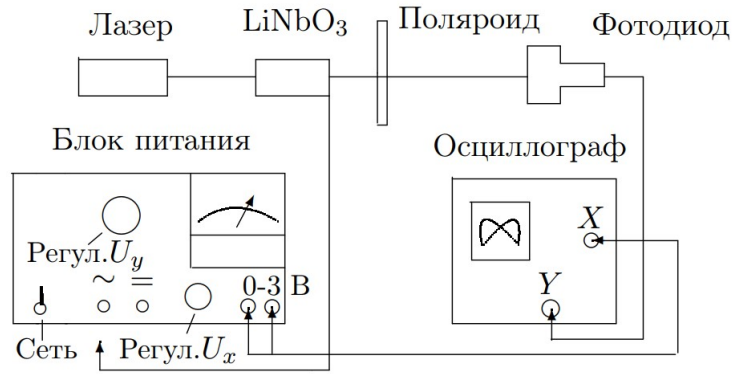


Рис. 2: Экспериментальная установка

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

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

2 Ход работы

2.1 Измерение радиусов тёмных колец

Изначально была собрана схема установки, соответствующая рисунку из предыдущего раздела, проведена юстировка системы. Получена интерференционная картина. Было выбрано расстояние от середины кристалла до экрана $L = 75 \pm 0,5$ см. $\lambda = 0,63$ мкм.

При заданном расстоянии были проведены измерения радиусов тёмных колец, результаты приведены в таблице 1.

L , см	m	$r(m)$, см	ε_r
$75 \pm 0,5$	1	2,5	0,040
	2	3,7	0,027
	3	4,5	0,022
	4	5,3	0,019
	5	6,2	0,016
	6	6,8	0,015
	7	7,3	0,014

Таблица 1: Радиусы тёмных колец

По данным из таблицы 1 был построен график зависимости квадратов радиусов тёмных колец от номеров тёмных колец. Полученное значение углового коэффициента $k = 8,0 \pm 0,2$ см². Из формулы 2 получаем

$$n_o - n_e = \frac{\lambda}{l} \frac{(n_o L)^2}{k} = 0,089 \pm 0,004$$

. Это соотносится с табличным значением 0,09 в пределах погрешности.

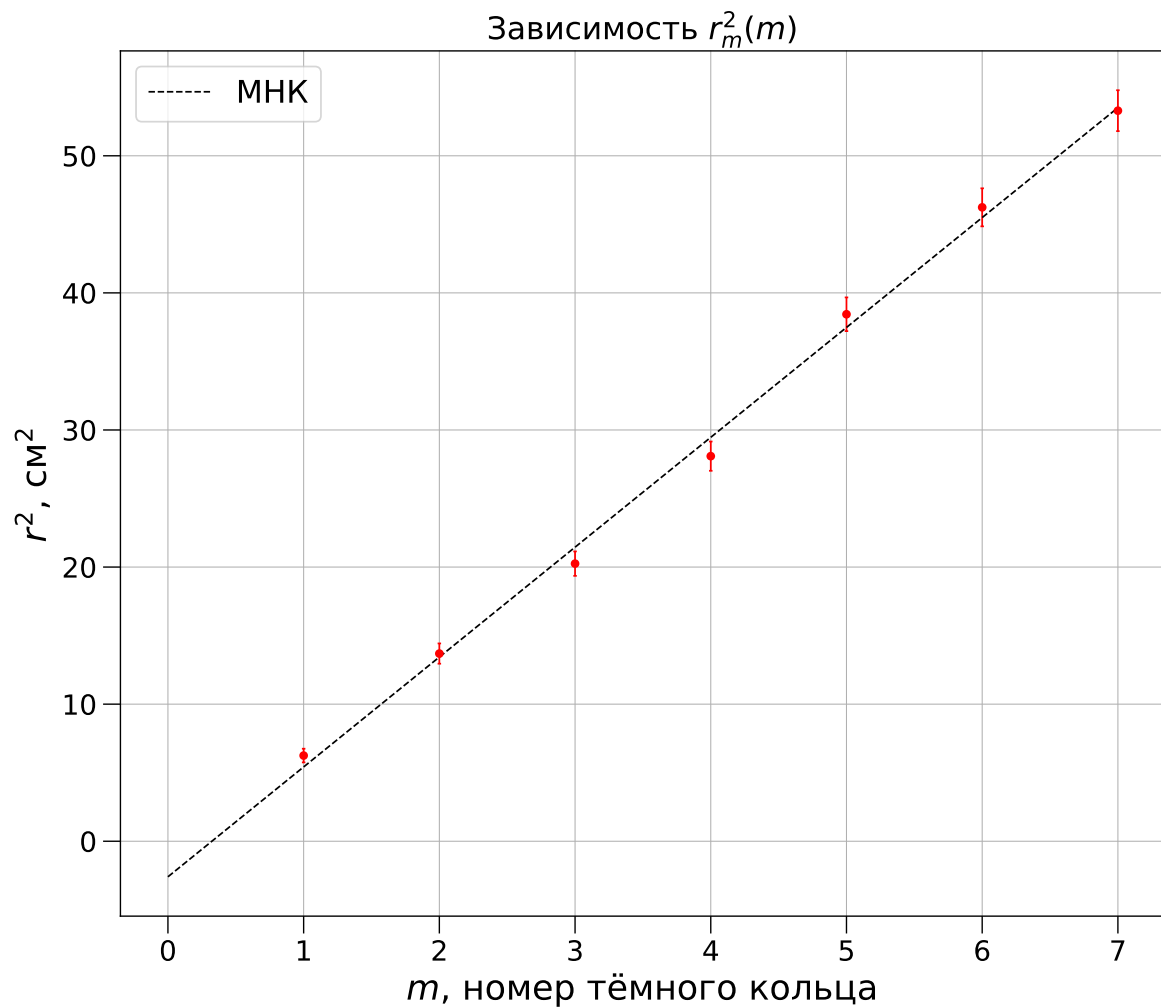


Рис. 3: График зависимости квадрата радиуса пятна от номера пятна

2.2 Определение полуволнового напряжения

В данном пункте работы была убрана матовая пластинка, и для перпендикулярных и параллельных поляризаций лазера и анализатора был проделан опыт с увеличением напряжения на кристалле и измерением максимумов и минимумов интенсивности. Полученные результаты приведены в таблице 2 (считаем абсолютную погрешность равной половине деления) Из таблицы найдём значение полуволнового

	$U_{\text{перп}}$, дел	$U_{\text{парал}}$, дел	$U_{\text{перп}}$, В	$U_{\text{перп}}$, В
$U_{\lambda/2}$	31	32	465	480
U_{λ}	60	60	900	900
$U_{3\lambda/2}$	90	90	1350	1350

Таблица 2: Таблицы измерений приложенных напряжений для получения значения полуволнового напряжения

напряжения $U_{\lambda/2} = 454 \pm 10$ В.

Проверим также, что при выставлении напряжения $U_{\lambda/4}$ получается круговая поляризация (интенсивность не меняется при вращении анализатора). Получим также

фигуры Лиссажу и определим полуволновое напряжение с помощью них - будем менять напряжение и получив фигуру Лиссажу с максимумом и минимумом посчитаем полуволновое напряжение как разность этих напряжений. $U_{\lambda/2} = 420 \pm 30$ В

Результаты сходятся в пределах погрешности.

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-Секора и двумя способами определено полуволновое напряжение - с помощью наблюдения 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.