

*Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования*  
**«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**Лабораторная работа № 4.7.2**

по курсу общей физики

на тему:

**«Эффект Поккельса»**

*Работу выполнил:  
Баринов Леонид  
(группа Б02-827)*

Долгопрудный  
2020

## 1 Аннотация

В работе будет исследована интерференция рассеянного света, прошедшего кристалл. Проведено наблюдение изменения характера поляризации света при наложении на кристалл электрического поля.

## 2 Теоретические сведения

Эффектом Поккельса называется изменение показателя преломления света в кристалле под действием электрического поля, причем это изменение пропорционально напряженности электрического поля. Вследствие эффекта Поккельса в кристалле либо появляется двойное лучепреломление, либо меняется его величина, либо, как в данной работе, одноосный кристалл становится двуосным.

Рассмотрим сначала кристалл в отсутствие внешнего электрического поля. Кристалл ниобата лития является одноосным кристаллом, то есть кристаллом, оптические свойства которого обладают симметрией вращения относительно некоторого одного направления, называемого оптической осью  $z$  кристалла. Для световой волны, вектор электрического поля  $\vec{E}$  которой перпендикулярен оси  $z$ , показатель преломления равен  $n_o = \sqrt{\varepsilon_{\perp}}$ , а для волны, вектор  $\vec{E}$  которой располагается вдоль оси  $z$ , он равен  $n_e = \sqrt{\varepsilon_{\parallel}}$ , причем  $n_e < n_o$ , т.е.  $\text{LiNbO}_3$  - «отрицательный кристалл».

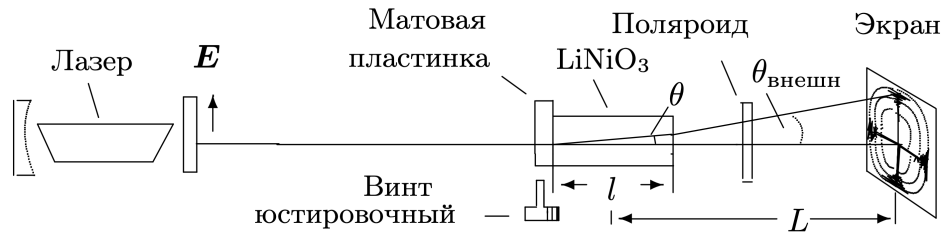


Рис. 1. Схема для наблюдения интерференционной картины

В общем случае, когда луч света распространяется под углом  $\theta$  к оптической оси  $z$  (рис.

Для  $m$ -го темного кольца  $\Delta\varphi = 2\pi m$  или  $\Delta\varphi = 2\pi/\lambda \cdot l(n_o - n_e)\theta^2 = 2\pi m$ . Если  $L$  — расстояние от центра кристалла до экрана, то, учитывая закон преломления на границе кристалла, при малых углах  $\theta_{\text{внешн}} = n_o\theta$  (рис.

Измеряя радиусы колец, можно найти разность  $(n_o - n_e)$  — двулучепреломление кристалла. Свойства симметрии кристалла и его электрооптический тензор таковы, что в результате линейного электрооптического эффекта в плоскости  $(xy)$  возникают два главных направления  $\xi$  и  $\eta$  под углами  $45^\circ$  к осям  $x$  и  $y$  (рис.

Интенсивность света пропорциональна квадрату модуля вектора электрического поля в

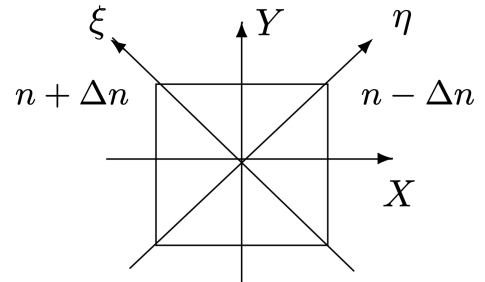


Рис. 2. Эффект Поккельса — появление новых главных направлений при наложении электрического поля

ВОЛНЕ:

$$I_{\text{ВЫХ}} \sim EE^* = E_0^2 \sin^2 \left( \frac{\Delta\varphi}{2} \right),$$

ПОЭТОМУ

$$I_{\text{ВЫХ}} = I_0 \sin^2 \left( \frac{\Delta\varphi}{2} \right) = I_0 \sin^2 \left( \frac{\pi}{2} \frac{U}{U_{\lambda/2}} \right) \quad (1)$$

Здесь

$$U_{\lambda/2} = \frac{\lambda}{4A} \frac{d}{l} \quad (2)$$

— так называемое полуволновое напряжение  
— имеет тот смысл, что при  $U = U_{\lambda/2}$  сдвиг фаз между двумя волнами, соответствующими двум собственным поляризациям,  $\Delta\varphi = \pi$  (разность хода равна  $\lambda/2$ ), и интенсивность света на выходе анализатора, как следует из (1), достигаем максимума.

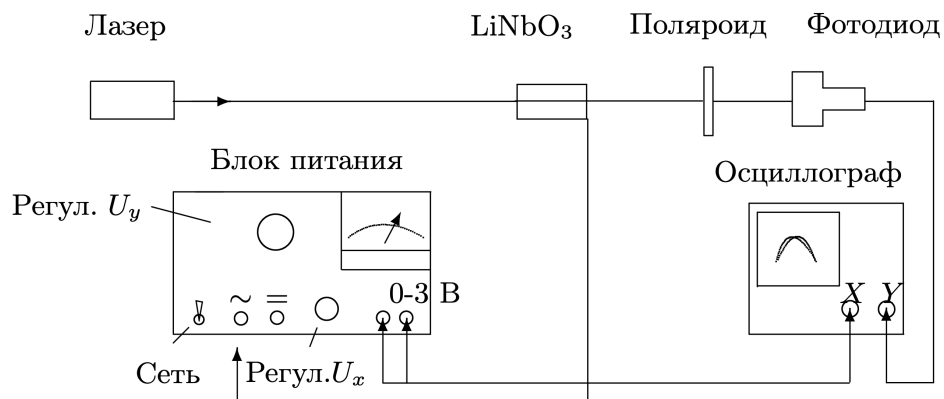
При параллельных поляризациях лазера и анализатора

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

Напряжение  $U_{\lambda/2}$  называют также управляющим напряжением. Оно уменьшается, как видно из (2), с уменьшением длины волны света  $\lambda$  и с увеличением отношения  $\lambda/d$  кристалла. Характерная величина полуволнового напряжения в ниобате лития для видимого света составляет несколько сотен вольт.

### 3 Оборудование

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



**Рис. 3.** Схема для изучения двойного лучепреломления в электрическом поле

Оптическая часть установки представлена на рис.  
Заменяв экран фотодиодом (рис.

## 4 Результаты измерений и обработка результатов

Длина волны гелий-неонового лазера

$$\lambda = 0,63 \text{ мкм}$$

Показатель преломления  $n_o$ :

$$n_o = 2,29$$

Размеры кристалла:

$$3 \times 3 \times 26 \text{ мм} \Rightarrow l = 26 \text{ мм}$$

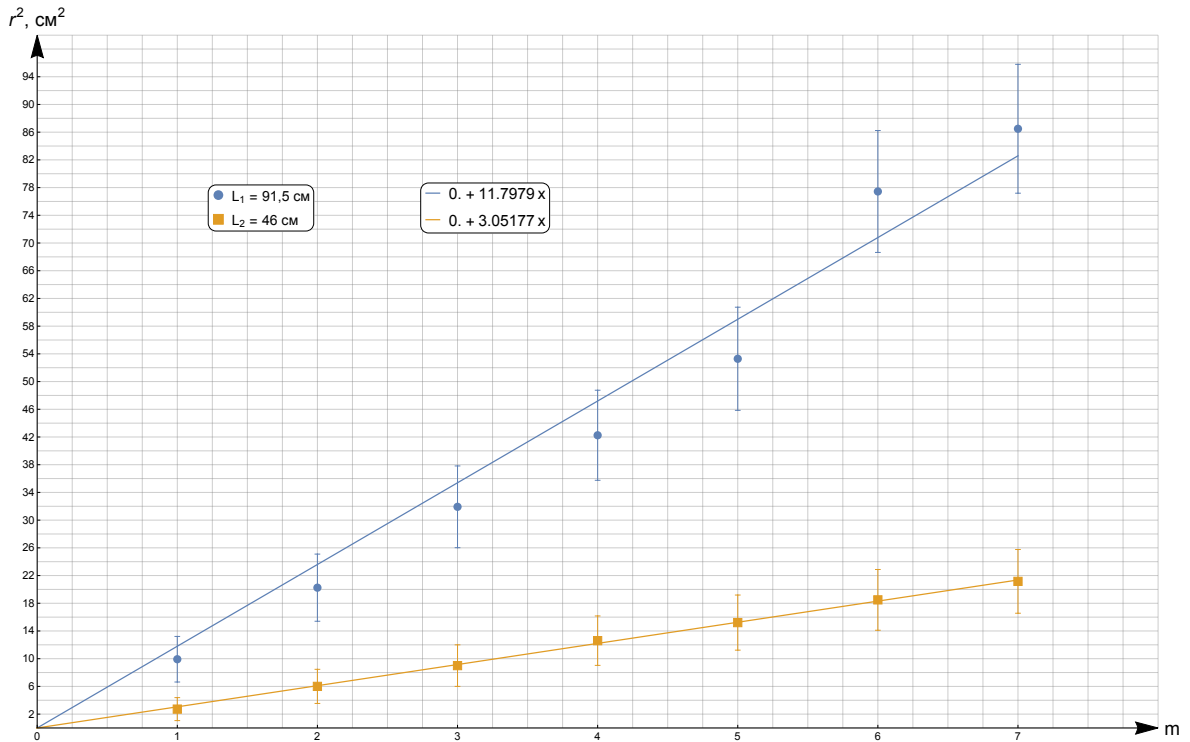
Измерим радиусы темных колец  $r(m)$  и расстояние  $L$  от середины кристалла до экрана.

	$m$	1	2	3	4	5	6	7
$L = 915 \text{ мм}$	$r, \text{ мм}$	33	47	58	65	74	88	93
	$r, \text{ мм}$	30	43	55	65	72	88	
$L = 460 \text{ мм}$	$r, \text{ мм}$	17	25	30	36	40	44	46
	$r, \text{ мм}$	16	24	30	35	38	42	46

**Таблица 1.** Радиусы темных колец  $r(m)$  и расстояние  $L$  от середины кристалла до экрана

Погрешности измерений равны:  $\sigma_L = 10 \text{ мм}$ ,  $\sigma_r = 5 \text{ мм}$ . Основной вклад в погрешность вносит систематическая погрешность измерения линейкой.

Построим график  $r^2 = f(m)$ .



**Рис. 4.** График зависимости квадрата радиуса колец  $r^2$  от номера темных полос  $m$

Аппроксимация прямой графика на рис.

Для скрещенных поляризаций при напряжениях  $U = (2k - 1)U_{\lambda/2}$  наблюдается максимум интенсивности, при  $U = 2kU_{\lambda/2}$  — минимум, здесь  $k$  — натуральное число. Для параллельных поляризаций ситуация противоположная.

	Скрещенные поляризации	Параллельные поляризации
$U_{\lambda/2}$ , В	390	390
$U_{\lambda}$ , В	900	870
$U_{3\lambda/2}$ , В	1440	1470

**Таблица 2.** Напряжения соответствующие последовательным экстремума интенсивности для различных поляризаций

Усредняя, получим:

$$U_{\lambda/2} = 439 \pm 39 \text{ В}$$

Установим вместо экрана фотодиод (рис.

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

Слегка поворачивая кристалл, сделаем фигуры Лиссажу симметричными. Определим по фигурам Лиссажу полуволновое напряжение  $U_{\lambda/2}$  как  $\Delta U$ , соответствующее переходу от максимума к минимуму сигнала на осциллограмме:

$U_{\lambda/2}$ , В	$U_{\lambda}$ , В	$U_{3\lambda/2}$ , В
420	870	1380

**Таблица 3.** Напряжение, соответствующее переходу от максимума к минимуму сигнала на осциллограмме

Определим полуволновое напряжение:

$$U_{\lambda/2}^* = 438 \pm 17 \text{ В}$$

## 5 Обсуждение результатов и выводы

В работе изучена интерференция рассеянного света, прошедшего кристалл ниобата лития: получена зависимость квадрата радиуса темного кольца интерференционной картины от номера минимума  $r_m^2(m)$ , с хорошей точностью являющаяся линейной (рис.

Рассмотрен эффект Поккельса: несколькими способами определено полуволновое напряжение, оно совпадает в пределах погрешности и равно

$$\begin{aligned} U_{\lambda/2} &= 439 \pm 39 \text{ В} \\ U_{\lambda/2}^* &= 438 \pm 17 \text{ В} \end{aligned} \tag{4}$$

Получены фигуры Лиссажу, отражающие зависимость интенсивности выходного сигнала от подаваемой амплитуды напряжения  $I(U)$  при скрещенных и параллельных поляризациях. Картинки для поляризаций отличаются по фазе на  $\pi/2$ .