

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ОТЧЁТ
О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ
Электрооптический эффект Поккельса

Работу выполнил,
студент ЛФИ группы Б02-111

_____ Дмитренко А.М.

Долгопрудный 2023

Реферат

В работе исследуется интерференция обыкновенного и необыкновенного луча при прохождении кристалла LiNbO_3 и наблюдается изменение поляризации света, проходящего через кристалл, вследствие приложения переменного и постоянного электрического напряжения. В отсутствие внешнего поля вычисляется необычный показатель преломления. При приложении постоянного напряжения на кристалл, оценивая яркость изображения на экране, находим полуволновое напряжение $U_{\lambda/2}$. Прикладывая переменное напряжение и выводя сигнал с фотодетектора на осциллограф, находим $U_{\lambda/2}$ вторым способом.

Содержание

Введение	4
1 Методика	5
1.1 Описание установки	5
1.2 Определение n_e в кристалле LiNbO ₃	6
1.3 Определение полуволнового напряжения $U_{\lambda/2}$	7
2 Обсуждение результатов	8
2.1 Поиск n_e	8
2.2 Поиск $U_{\lambda/2}$ при постоянном напряжении	9
2.3 Поляризация света при постоянном $U = U_{\lambda/4}$	10
2.4 Поиск $U_{\lambda/2}$ при переменном напряжении	10
Заключение	11
Список использованных источников	12
А Данные	13

Введение

В оптических экспериментах и не только существует большая потребность в высокочастотной модуляции поляризации пучков и интенсивности, частоты излучения, а также в точном сканировании лучей. Как пример можно привести работу приемопередатчиков с использованием обработки радиочастотного сигнала. Для этих целей используют приборы, в принципе действия которых лежит явление изменения необычной диэлектрической проницаемости кристаллов в зависимости от внешних условий, например давления, температуры или магнитного поля. Большая часть этих устройств работает на основе электрооптического эффекта Поккельса — явления изменения коэффициента преломления света под действием электрического поля. Его преимущества состоят в относительной безынерционности (частота модуляции может достигать десятков ГГц) и линейности зависимости показателя преломления от электрического поля.

В данной работе исследуется изменение поляризации и интенсивности света в зависимости от приложенного напряжения. Результаты этой работы позволяют предсказать, какая амплитуда напряжения на кристалле даёт наибольшую интенсивность выходного луча, а при какой - его поляризация будет круговой.

1 Методика

1.1 Описание установки

Оптическая часть установки представлена на рис. 1.

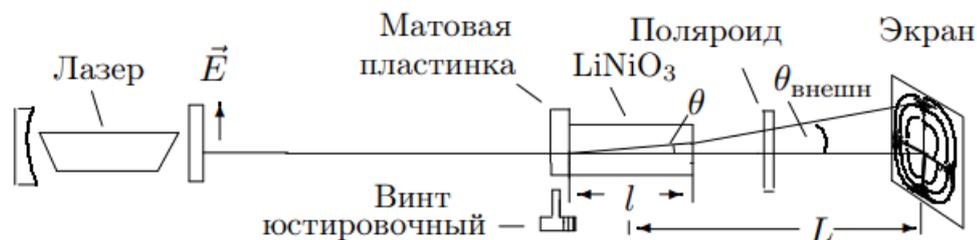


Рисунок 1 — Принципиальная схема установки.

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. Убрав рассеивающую пластинку 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 луча с помощью осциллографа. Тогда схема примет вид, изображённый на рис. 2

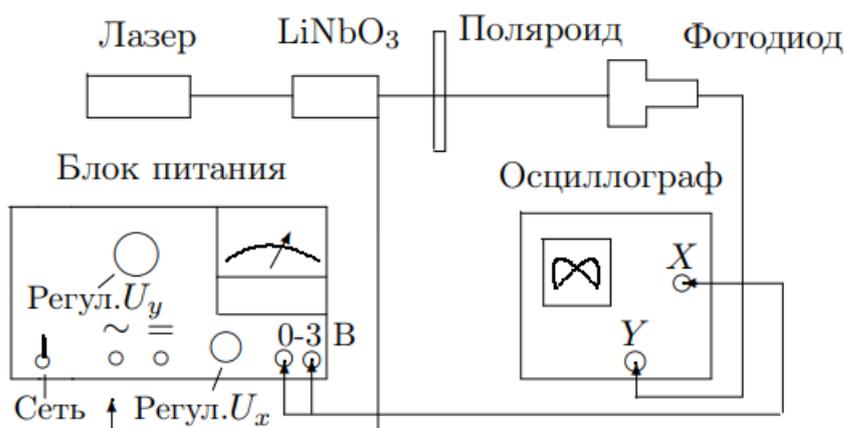


Рисунок 2 — Схема для изучения двойного лучепреломления в электрическом поле.

1.2 Определение n_e в кристалле LiNbO₃

Рассмотрим сначала кристалл в отсутствие внешнего электрического поля. Кристалл ниобата лития является одноосным кристаллом с оптической осью Z . Для световой волны, для которой $\bar{E} \perp OZ$, показатель преломления равен n_o , а для волны, у которой вектор $\bar{E} \parallel OZ$, он равен n_e , причём $n_e < n_o$, т. е. LiNbO₃ — «отрицательный кристалл». В общем случае, когда волновой вектор луча \bar{k} лежит под углом θ к оптической оси Z (рис. 1), существуют два собственных значения показателя преломления n_1 и n_2 : если \bar{E} перпендикулярен плоскости (\bar{k}, Z) , то волна называется обыкновенной («о» — ординарная), а показатель преломления $n_1 = n_o$ и не зависит от угла θ ; когда $\bar{E} \subset (\bar{k}, OZ)$ — это необыкновенная («е» — экстраординарная) волна, при этом показатель преломления n_2 определяется уравнением [1]:

$$\frac{1}{n_2^2} = \frac{\cos^2\theta}{\varepsilon_o} + \frac{\sin^2\theta}{\varepsilon_e} \quad (1)$$

Если воспользоваться справедливым параксиальным приближением ($\sin\theta = \theta$, $\cos\theta = 1 - \theta^2/2$), из (1) получим:

$$n_2 = n_o - (n_o - n_e)\theta^2, \quad (2)$$

где $n_o = \sqrt{\varepsilon_o}$, $n_e = \sqrt{\varepsilon_e}$

Используется метод нахождения n_e , основанный на том, что для $E_{\parallel} \subset (\bar{k}, OZ)$ и $E_{\perp} \perp (\bar{k}, OZ)$ компонент \bar{E} в кристалле будет набегать разная фаза. Отставание одной компоненты от другой [2]

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} l(n_2 - n_o), \quad (3)$$

где l — длина кристалла, λ — длина волны в воздухе.

Учитывая (2), получаем:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} l(n_o - n_e)\theta^2, \quad (4)$$

Т.о., в зависимости от угла θ меняется поляризация (кроме случаев, когда \bar{k}, \bar{E}, OZ лежат в одной плоскости), а значит, поставив на выходе поперечный поляризатор, мы не пропустим лучи с $\Delta\varphi = 2\pi t$. Геометрическое место точек, куда они падают, есть концентрические окружности с радиусом r_m .

Если L — расстояние от центра кристалла до экрана, то, учитывая закон преломления (закон Снеллиуса) на границе кристалла, при малых углах $\theta_{out} = n_o\theta$ (рис. 1) получаем выражение для радиуса кольца [3]:

$$r_m^2 = \frac{l (n_o L)^2}{\lambda n_o - n_e} m \quad (5)$$

1.3 Определение полуволнового напряжения $U_{\lambda/2}$

При наложении внешнего электрического поля на кристалл, в нём в плоскости $(X, Y) \perp OZ$ возникают оптические оси ξ, η с разными показателями преломления.

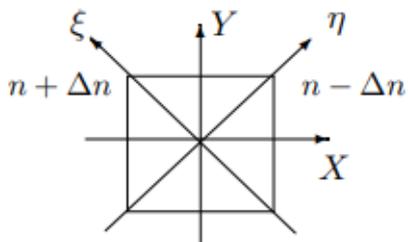


Рисунок 3 — эффект Поккельса

В описании лабораторной работы [2] показано:

Линейность эффекта: $\Delta n = A E_{\text{внеш}}$
 $I_{\text{вых}} = I_0 \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) = I_0 \sin^2\left(\frac{\pi U}{2 U_{\lambda/2}}\right) \quad (6)$

Здесь $U_{\lambda/2} = \frac{\lambda d}{4A l} \quad (7)$ - **полуволновое напряжение**

2 Обсуждение результатов

2.1 Поиск n_e

Собрав установку по рис. 1 и поставив поперечный поляризатор на выходе, получаем на экране такую картинку:

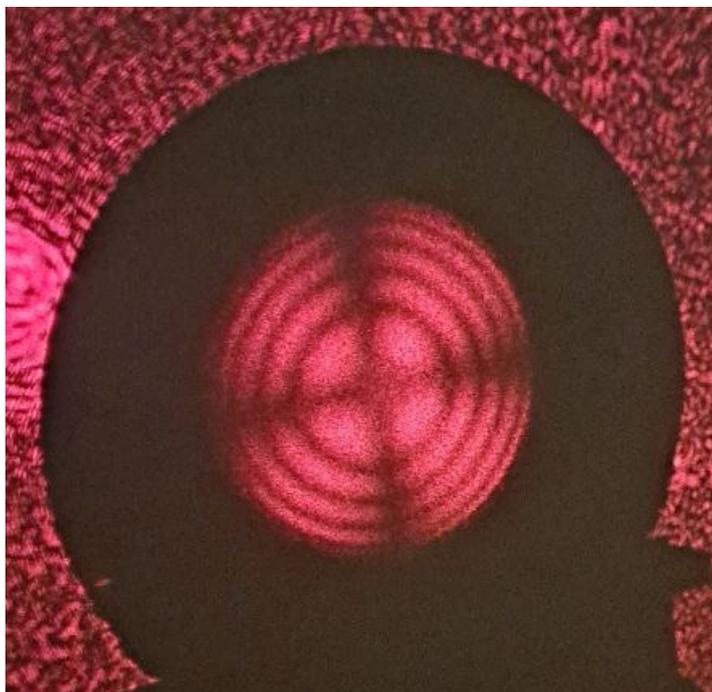


Рисунок 4 — Интерференционная картина света, прошедшего через рассеивающую пластинку и одноосный кристалл, при скрещенных входном и выходном поляризаторах

Из формулы (5) $\rightarrow n_e = n_o - \frac{l(n_o L)^2}{\lambda k}$, где k - коэф. линейной зависимости $r_m^2(m)$. Измерим на экране радиусы колец.

На основе таблицы 1 в приложении построен график $r_m^2(m)$ (рис. 5).

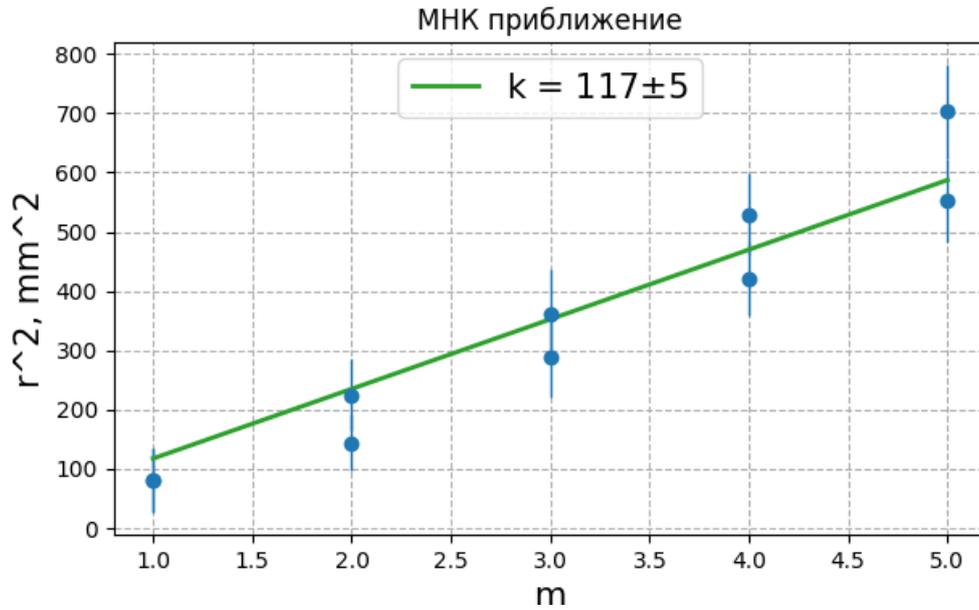


Рисунок 5 — Квадрат радиуса тёмных колец интерференционной картины при скрещенных поляризаторах.

$L = 345$ мм. Для $\lambda = 0,63$ мкм (длина волны гелий-неонового лазера) в ниобате лития $n_o = 2,29$.

$$n_e = 2,16 \pm 0,01$$

2.2 Поиск $U_{\lambda/2}$ при постоянном напряжении

Уберём матовую пластинку на входе луча в кристалл и поставим поляризатор на горизонтальное разрешённое направление - свет не попадает на экран. Прикладывая постоянное напряжение U наблюдаем изменение яркости изображения. При $U = U_{\lambda/2}$ яркость максимальна. Из наблюдений:

$$U_{\lambda/2} = 570 \pm 15 \text{ В} - \text{скрещенные поляризаторы}$$

Если повернуть анализатор (поляризатор на выходе) на 90° , то при $U = U_{\lambda/2}$ яркость минимальна. Из наблюдений:

$$U_{\lambda/2} = 630 \pm 15 \text{ В} - \text{продольные поляризаторы}$$

Таким образом, при $U = U_{\lambda/2}$ кристалл LiNbO₃ эквивалентен пластинке $\lambda/2$.

2.3 Поляризация света при постоянном $U = U_{\lambda/4}$

Подадим на кристалл $U_{\lambda/4} = \frac{1}{2}U_{\lambda/2} \approx 300$ В. Поворачиваем анализатор и убеждаемся, что яркость картинки не меняется. Это означает, что поляризация света из линейной вдоль вертикали превратилась в круговую (или эллиптическую, близкую к круговой), т.е. при $U = U_{\lambda/4}$ кристалл LiNbO₃ эквивалентен пластинке $\lambda/4$.

2.4 Поиск $U_{\lambda/2}$ при переменном напряжении

Собрав схему по рис. 2, можно наблюдать на экране осциллографа фигуры Лиссажу, соответствующие $I_{\text{вых}}(U)$ при поперечном и параллельном расположении анализатора.

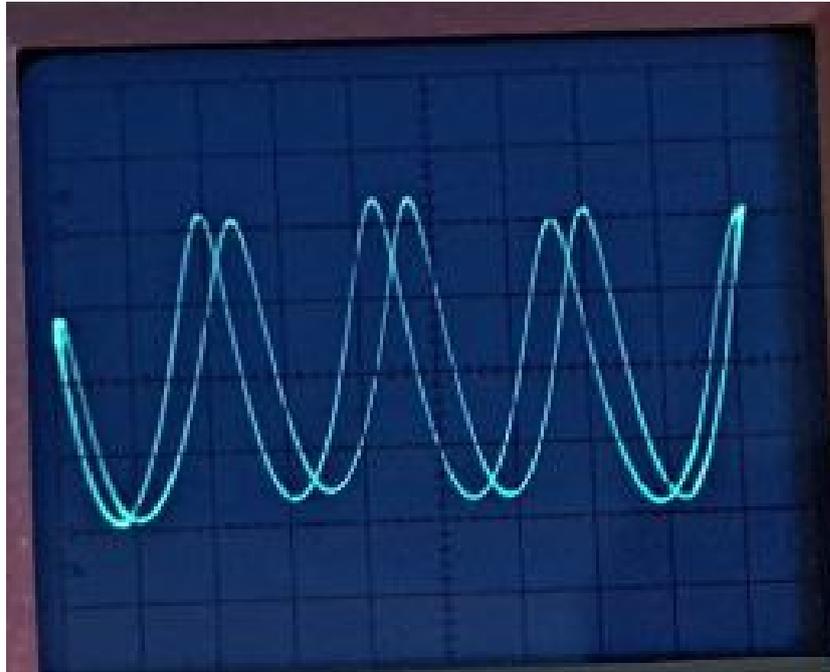


Рисунок 6 — Фигуры Лиссажу при скрещенных входном и выходном поляризаторах

В ходе эксперимента выяснилось, что у генератора есть некоторое минимальное $U_0 > 0$, из-за чего при изменении амплитуды напряжения кривые менялись несимметрично. Чтобы найти $U_{\lambda/2}$, как ΔU , соответствующее переходу от максимума к минимуму сигнала на осциллограмме [3], усредним значение U_{\min} , при котором сигнал минимален, для левой и для правой ветки фигуры Лиссажу.

$$U_{\lambda/2} = \Delta U = 390 \text{ В.}$$

Заклучение

В работе изучена интерференция рассеянного света, прошедшего кристалл ниобата лития: получена линейная зависимость квадрата радиуса темного кольца интерференционной картины от номера минимума $r_m^2(m)$, (ошибка углового коэффициента 4%).

Рассмотрен эффект Погкельса: несколькими способами определено полу-волновое напряжение, оно оказалось разным для разных методов.

Очевидно, для постоянного напряжения $U_{\lambda/2}$ не зависит от взаимного расположения поляризаторов в схеме, так как полуволновое напряжение - характеристика самого кристалла. Предположительно, из-за заниженной погрешности значения $U_{\lambda/2}$ при постоянном U , значения для скрещенной и параллельной поляризации не совпали.

Получены фигуры Лиссажу, отражающие зависимость интенсивности выходного сигнала от подаваемой амплитуды напряжения $I(U)$ при скрещенных и параллельных поляризациях. При повороте анализатора на 90° , фигура Лиссажу переворачивалась.

	постоянное напряжение, скрещенные поляризации	постоянное напряжение, парал. поляризации	переменное напряжение
$U_{\lambda/2}$ В	570 ± 15	630 ± 15	390
n_e	$2,16 \pm 0,01$ (табличное: 2,20 [4])		

Таблица 1 — найденные величины

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Сивухин, Д.В.* Общий курс физики. Т. IV. Оптика / Д.В. Сивухин. — Москва: Физматлит. — 656 с.
2. *А.В., Максимычев.* Лабораторный практикум по общей физике: учеб. пособие. В трёх томах. Т. 2. Оптика / Максимычев А.В., Александров Д.А., Берюлёва Н.С. — Москва: МФТИ, 2014. — 446 с.
3. *МФТИ, кафедра общей физики.* Эффект Поккельса / кафедра общей физики МФТИ. — Москва, 2005. — 11 с.
4. LiNbO₃ Ниобат лития. <http://photonica.pro/2018/05/20/linbo3-niobat-litiya-2/>.

Приложение А Данные

m	r_m , мм	r_m^2 , мм ²	Δr_m^2 , мм ²
1	9	81	54
1	9	81	54
2	15	225	60
2	12	144	48
3	19	361	76
3	17	289	68
4	23	529	69
4	20.5	420	62
5	26.5	702	80
5	23.5	552	71

Таблица А.1 — Измерения тёмных колец интерференционной картины при поперечном выходном поляризаторе