

Работа 4.7.2

Эффект Поккельса

Московский физико-технический институт
Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий

1 апреля 2024 г.



Содержание работы

- 1 Введение
- 2 Теоретические сведения
- 3 Экспериментальная установка
- 4 Результаты измерений и обработка данных
- 5 Заключение
- 6 Список литературы

Цели работы

- исследовать картину интерферирующих волн света, прошедшего кристалл
- найти *полуволновое напряжение* ниобата лития
- определить тип поляризации для *четверть волнового напряжения* на кристалле

Оборудование

- гелий-неоновый лазер
- поляризатор
- кристалл ниобата лития
- матовая пластинка
- экран
- источник высоковольтного переменного и постоянного напряжения
- фотодиод
- осциллограф

Теоретическая справка 1. Эффект Поккельса

- Эффект Поккельса - изменение показателя преломления света в кристалле под действием электрического поля, причём это изменение пропорционально напряжённости электрического поля [1].
- Это происходит за счёт анизотропных свойств кристаллов. Под действием постоянного электрического поля электроны смещаются в сторону того или иного иона (в случае кристалла ниобата лития $LiNbO_3$ — это ион Li или Nb), при этом меняется поляризуемость среды и связанный с ней показатель преломления.

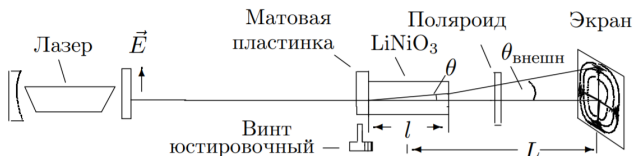
Теоретическая справка 2. Одноосный кристалл

- 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 $E \perp z$, показатель преломления равен $n_o = \sqrt{\varepsilon_{\perp}}$, а для волны $E \parallel z$, он равен $n_e = \sqrt{\varepsilon_{\parallel}}$.
- В общем случае, когда луч света распространяется под углом θ к оптической оси z , существуют два собственных значения показателя преломления n_1 и n_2 : в **обыкновенной** волне ($E \perp$ плоскости (k, e_z)), показатель $n_1 = n_o$, а в **необыкновенной** (E лежит в плоскости (k, e_z)) показатель преломления n_2 зависит от угла θ :

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

Теоретическая справка 3. Интерференция

- Если перед кристаллом, помещённым между скрещенными поляроидами, расположить матовую пластинку, после которой лучи будут рассеиваться под различными углами, то на экране, расположенном за поляроидом, мы увидим тёмные концентрические окружности — результат интерференции обыкновенной и необыкновенной волн.



- Разность фаз δ , приобретаемая при прохождении через кристалл длиной l при условии, что n_o и n_e отличаются незначительно, а углы малы:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} l (n_o - n_e) \theta^2 \quad (2)$$

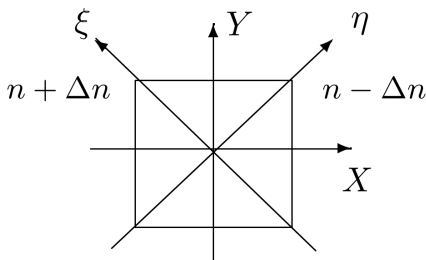
Теоретическая справка 4. Интерференция

- В случае, когда разрешённое направление анализатора перпендикулярно поляризации лазерного излучения, радиус тёмного кольца с номером m равен

$$r_m^2 = \frac{\lambda}{l} \frac{(n_o L)^2}{n_0 - n_e} m. \quad (3)$$

Теоретическая справка 5. При наличии поля E_x

- При наличии электрического поля вдоль $x \perp z$ в кристалле появляются новые перпендикулярные главные направления, показатели преломления которых равны $n_o \pm \Delta n$, где $\Delta n = A \cdot E_x$.



- Пусть поляризация лазера вертикальна, а разрешенное направление анализатора горизонтальна. Тогда, интенсивность света на выходе будет зависеть от прикладываемого напряжения по закону

$$I = I_0 \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} \frac{U}{U_{\lambda/2}} \right), \quad (4)$$

где $U_{\lambda/2}$ - полуволновое напряжение:

$$U_{\lambda/2} = \frac{\lambda}{4A} \frac{d}{l}, \quad (5)$$

Схема экспериментальной установки

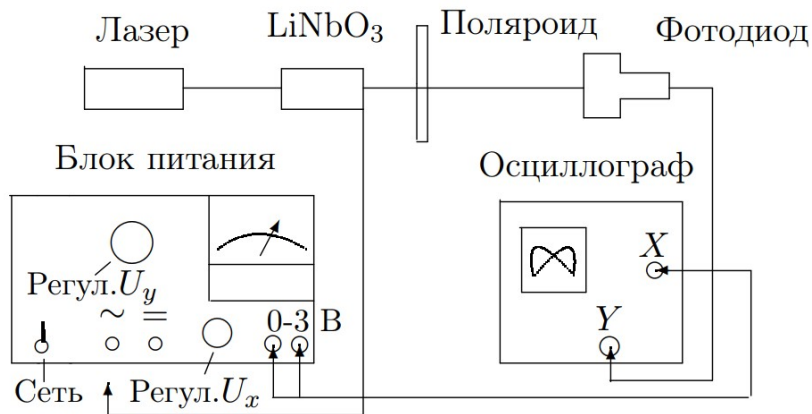
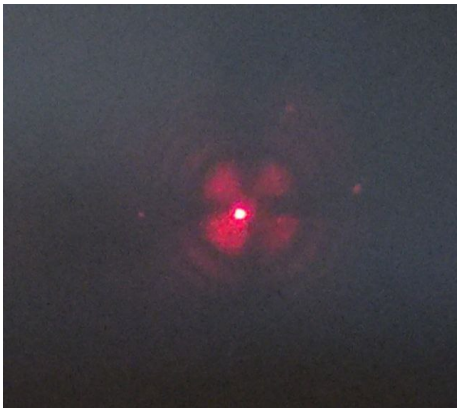


Рисунок: Схема для изучения двойного лучепреломления в электрическом поле

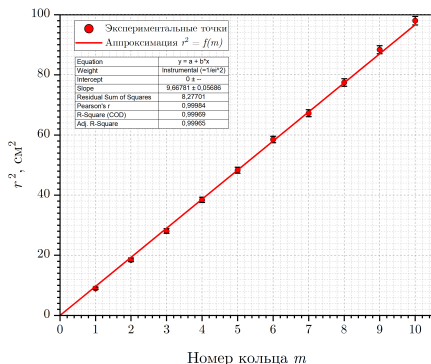
Интерференция световых волн



- В области "мальтийского креста" интерференция отсутствует

Рисунок: Мальтийский крест

Определение разности показателей преломления



- $L = (85 \pm 1)$ см – расстояние от середины кристалла до экрана
- $k = (9.67 \pm 0.06)$ см²
- $n_o - n_e = (0.095 \pm 0.002)$ – двулучепреломление ниобата лития (3)

Рисунок: График зависимости $r^2 = f(m)$

Определение полуволнового напряжения

- При нулевом напряжении наблюдается минимум интенсивности излучения на экране. Постепенно увеличивая его, получим напряжения:
 - $U_{\lambda/2} = (450 \pm 15) \text{ В}$ – максимум интенсивности
 - $U_{\lambda} = (900 \pm 15) \text{ В}$ – минимум интенсивности
 - $U_{3\lambda/2} = (1350 \pm 15) \text{ В}$ – максимум интенсивности
- Подадим на кристалл напряжение $U_{\lambda/4} = \frac{1}{2}U_{\lambda/2}$. Вращая анализатор и наблюдая за тем, что яркость пятна на экране не изменяется, убеждаемся, что поляризация круговая

Определение полуволнового напряжения по фигурам Лиссажу

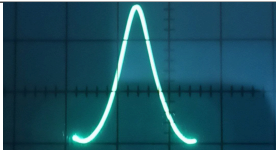
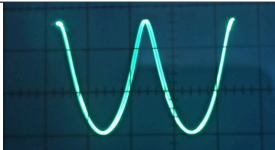
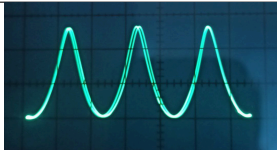
		
$U_{\lambda/2} = (420 \pm 15) \text{ В}$	$U_{\lambda} = (870 \pm 15) \text{ В}$	$U_{3\lambda/2} = (1320 \pm 15) \text{ В}$

Таблица: Фигуры Лиссажу для различных напряжений

Выводы

- В работе изучена интерференция рассеянного света, прошедшего кристалл ниобата лития. По графику зависимости $r^2(m)$ линейной аппроксимацией для двулучепреломления ниобата лития получили:

$$n_0 - n_e = 0.095 \pm 0.002, \quad (n_0 - n_e)_{\text{табл}} = 0.09$$

- Рассмотрен эффект Поккельса: несколькими способами определено полуволновое напряжение $U_{\lambda/2}$ на длине волны $\lambda = 0.63$ мкм:
 $U_{\lambda/2} \approx (450 \pm 15)$ В.
- Подав на кристалл четвертьволновое напряжение и вращая анализатор, убедились в том, что поляризация на выходе из кристалла **круговая**.
- Получены фигуры Лиссажу, отражающие зависимость интенсивности выходного сигнала от подаваемой амплитуды напряжения $I_{\text{вых}}(U)$ при скрещенных и параллельных поляризациях.

Список литературы

- [1] Под ред. А.В. Максимычева. *Лабораторный практикум по общей физике: учеб. пособие. В трёх томах. Т. 2. Оптика.* МФТИ, 2014. ISBN: 978-5-7417-0507-0.