

Эффект Поккельса

Шмаков Владимир Б04-105

МФТИ — февраль 2023

Цель работы

- Исследовать интерференцию рассеянного света, прошедшего через кристалл.
- Наблюдать изменение характера поляризации при наложении на кристалл электрического поля

Теоретические сведения

Эффект Поккельса — изменение показателя преломления света под действием электрического поля.

В работе используется кристалл ниобата лития $LiNbO_3$ с центральноосевой симметрией вдоль оси z . Пусть луч света проходит под углом θ к оси z . Выражение показателя преломления для волны, вектор \vec{E} которой лежит в плоскости (k, z) имеет вид:

$$\frac{1}{n_2^2} = \frac{\cos^2 \theta}{n_0^2} + \frac{\sin^2 \theta}{n_e^2} \quad (1)$$

За n_0 обозначен показатель преломления для волны, вектор \vec{E} которой перпендикулярен плоскости (k, z) .

Методика

Оборудование

- Гелий — неоновый лазер
- Поляризатор
- Кристалл ниобата лития
- Матовая пластинка
- Экран
- Источник переменного и постоянного напряжения
- Фотоид
- Осциллограф
- Линейка

Лабораторная установка

Поместим поляроид за кристаллом, перед кристаллом поместим матовую пластинку:

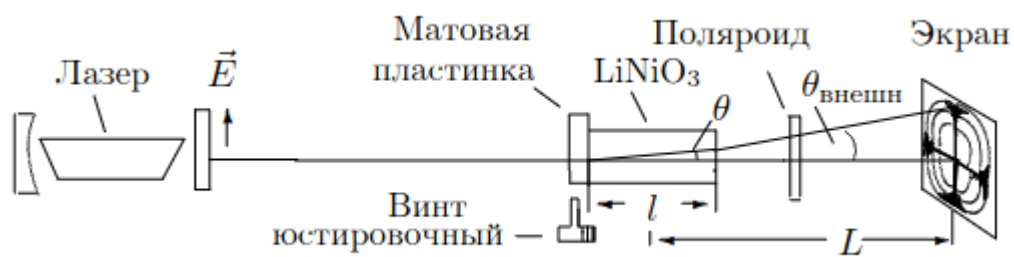


Схема для наблюдения интерференционной картины

На экране получаем интерференционную картину, являющуюся результатом интерференции обыкновенной и необыкновенной волны.

Формула, выражающая зависимость квадрата радиуса тёмного кольца от порядка максимума имеет вид:

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

Обработка результатов эксперимента

Определение двулучепреломления ниобата лития

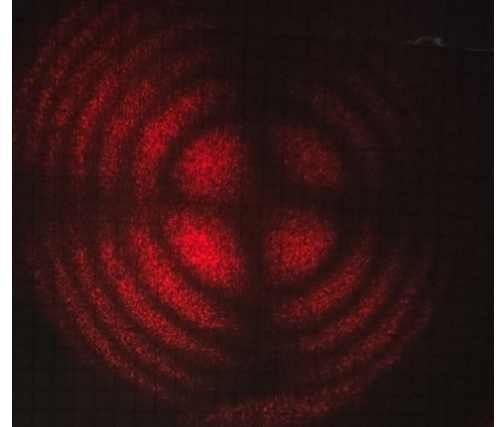
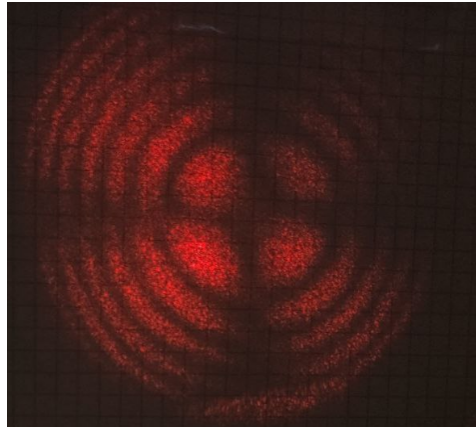
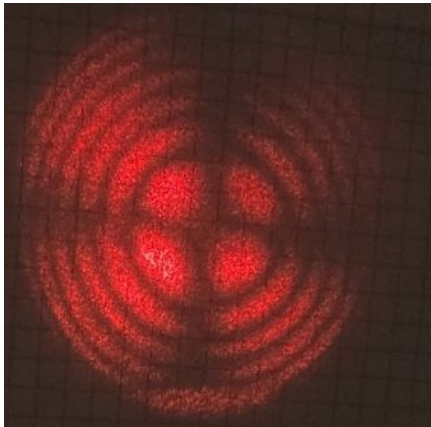
Соберём и отъюстируем схему для наблюдения интерференционной картины.

Пронаблюдаем как изменяется картина при удалении кристалла от экрана:

$L = 41 \text{ см}$

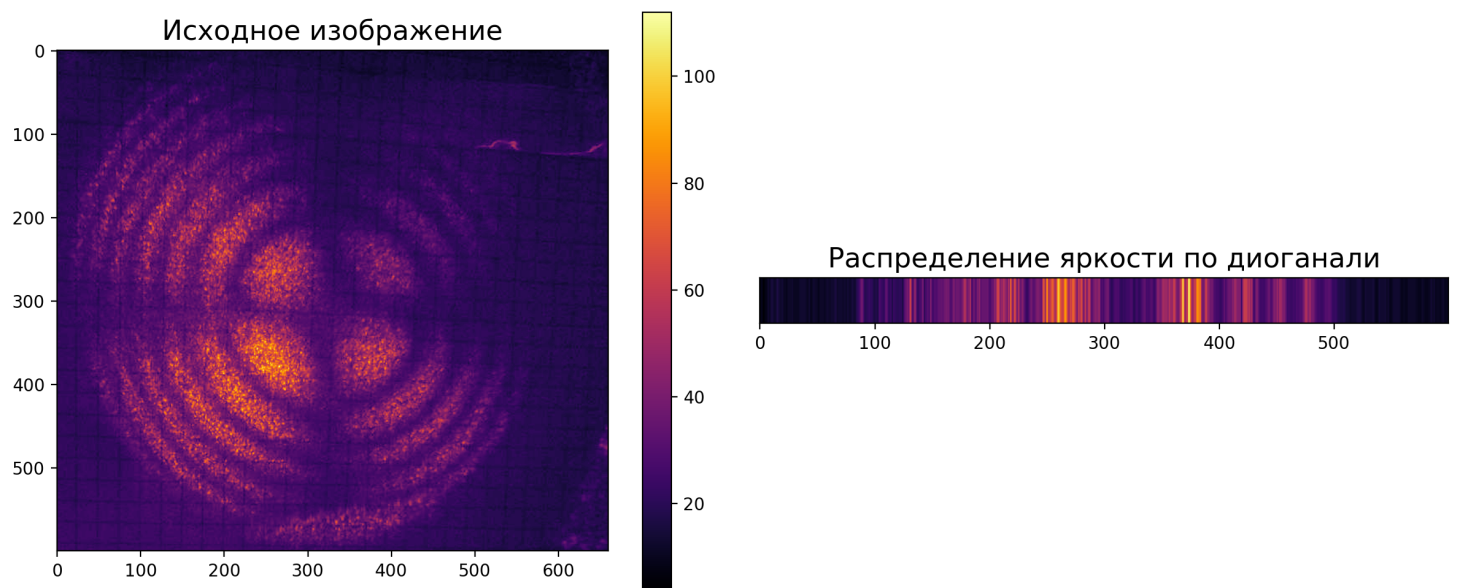
$L = 60 \text{ см}$

$L = 76 \text{ см}$



Интерференционная картина, наблюдаемая в ходе эксперимента

Гипотетически, эксперимент можно автоматизировать. Откроем картинки как массивы (предварительно преобразовав их в чб формат):



Обработка изображения в целях автоматизации и уменьшения погрешностей измерения радиусов колец

Построим график зависимости яркости от координаты(по диагонали):



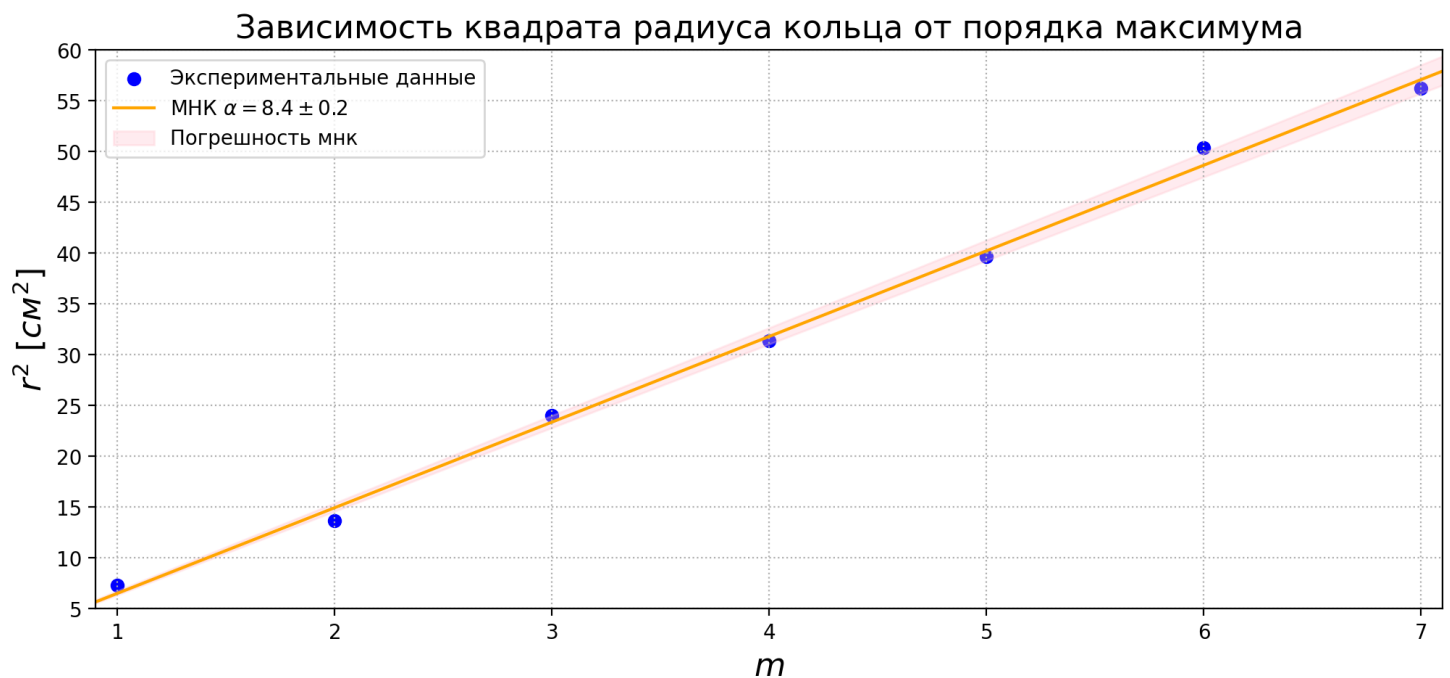
Распределение яркости по диагонали

Обработав полученный сигнал, и выделив из него амплитудную огибающую можем рассчитать радиусы колец(по максимумам функции огибающей).

В нашем эксперименте сложно перевести относительный размер картинки в натуральный. Повлиял угол съёмки, и неизвестные размеры исходного изображения(неизвестная угловая апертура камеры).

Эту проблему можно решить установив камеру параллельно экрану. Затем необходимо зафиксировать расстояние от камеры до экрана и снять натуральные размеры фотографии(для последующей нормировки).

Построим график зависимости квадрата радиуса кольца от порядка:



Зависимость квадрата радиуса кольца от порядка

Наклон прямой позволяет вычислить двулучепреломление кристалла ниобата лития:

$$n_0 - n_e = \frac{\lambda}{l} \frac{(n_0 L)^2}{\alpha} = 87 \pm 5 \cdot 10^{-3}$$

В нашем эксперименте длина волны $\lambda = 0.63$ мкм, длина кристалла $l = 26$ мм, $n_0 = 2.29$, расстояние до экрана $L = 76$ см.

Изменение характера поляризации при приложении внешнего поля

На блоке питания постепенно изменяем напряжение, и следим за изменением яркости пятна на экране.

Для скрещенных поляризаций наблюдаем максимум интенсивности при напряжениях $U = (2k - 1)U_{\lambda/2}$. При $U = 2kU_{\lambda/2}$ получаем минимум интенсивности.

Для параллельных поляризаций — всё наоборот. Минимум при $U = (2k - 1)U_{\lambda/2}$, максимум при $U = 2kU_{\lambda/2}$.

По экспериментальным наблюдениям удалось качественно оценить полуволновое напряжение. Оно оказалось равным $U_{\lambda/2} \sim 460$ В

Вывод

Удалось вычислить двулучепреломление кристалла ниобата лития. Значение, в пределах погрешности, совпало с теоретическим. Для литиевых кристаллов это значение лежит от $80 \cdot 10^{-3}$ до $90 \cdot 10^{-3}$.