

Лабораторная работа 4.7.3

Эффект Поккельса

Гарина Ольга Б04-901

29 апреля 2021 г.

Цель работы: исследовать интерференцию рассеянного света, прошедшего кристалл; наблюдать изменение характера поляризации света при наложении на кристалл электрического поля.

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

Эффектом Поккельса называется изменение показателя преломления света в кристалле под действием электрического поля, причём это изменение пропорционально напряжённости электрического поля. Вследствие эффекта Поккельса в кристалле либо появляется двойное лучепреломление, либо меняется его величина (если кристалл был двулучепреломляющим в отсутствие поля), либо, как в данной работе, одноосный кристалл становится двуосным. Изменение показателя преломления кристаллов под действием внешнего электрического поля 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. В первом приближении это изменение линейно относительно внешнего электрического поля. Эффект Поккельса может наблюдаться только в кристаллах, не обладающих центром симметрии. Вследствие линейности эффекта относительно внешнего поля E при изменении направления поля на противоположное должен меняться на противоположный и знак изменения показателя преломления – n . Но в кристаллах с центром симметрии это невозможно, так как оба взаимно противоположных направления внешнего поля физически эквивалентны. Кристалл можно поместить между двумя скрещенными поляроидами таким образом, что в отсутствие внешнего электрического поля пропускание света системой будет равно нулю. При подаче на кристалл внешнего поля появится наведённое двулучепреломление, которое изменит поляризацию прошедшего через кристалл света, и такая система начнёт пропускать свет. На этом принципе основаны многочисленные применения эффекта Поккельса в лазерной технике для оптических модуляторов, затворов и других устройств, управляющих лазерным излучением. Поскольку эффект Поккельса связан с изменением электронной поляризуемости под действием электрического поля, то он практически безынерционен – быстродействие устройств на его основе меньше 10^{-9} с.

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 E которой перпендикулярен оси z , показатель преломления равен $n_o = \sqrt{\epsilon_{\perp}}$, а для волны, вектор E которой располагается вдоль оси z , он равен $n_e = \sqrt{\epsilon_{\parallel}}$, причём $n_e < n_o$, т. е. LiNbO_3 – "отрицательный кристалл".

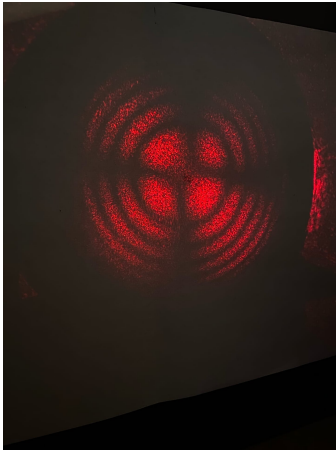
Разность фаз между обыкновенной и необыкновенной волнами, приобретаемая при прохождении через кристалл длиной l , равна

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} l(n_1 - n_2). \quad (1)$$

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} l(n_0 - n_2)\theta^2. \quad (2)$$

Направлениями постоянной разности фаз служат конусы $\theta = \text{const}$, поэтому интерференционная картина представляет собой концентрические окружности. Интерференционные кольца перерезаны тёмным "мальтийским крестом" который выделяет области, где интерференция отсутствует. В этих направлениях распространяется только одна поляризованная волна (обыкновенная или необыкновенная). При повороте выходного поляроида (анализатора) на 90 градусов

картина меняется с позитива на негатив: везде, где были светлые места, появляются тёмные. и наоборот.



Картина интерференции при горизонтальном разрешенном направлении поляроида



Картина интерференции при вертикальном разрешенном направлении поляроида

Рисунок 1 – Интерференция

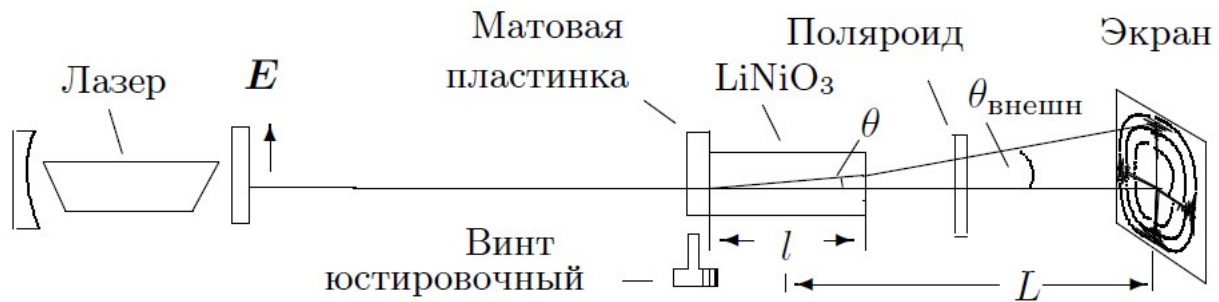


Рисунок 2 – Схема для наблюдения интерференционной картины

1 Измерение радиусов интерференционных колец

В эксперименте использовался кристалл ниобата лития размерами 3х3х26 мм, его $n_o = 2.29$. Длина волны излучения лазера 0.63 мкм. Расстояние от экрана до центра кристалла $L = 78.5 \pm 0.1$ см. Отсчет по лимбу поляризатора $\phi_1 = 30.5, \phi_2 = 120.3$ для горизонтального и вертикального направлений соответственно.

Формула для квадрата радиуса кольца на рисунке 1 слева.

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

Коэффициент наклона графика на рисунке 4

$$k = 7.53 \pm 0.17 \text{ см}^2.$$

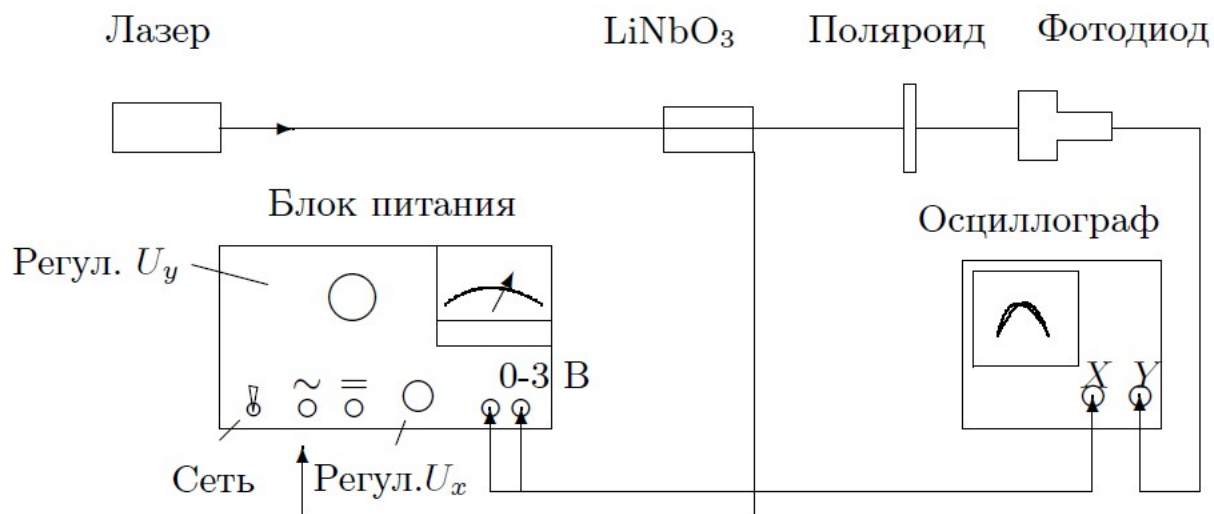


Рисунок 3 – Схема для изучения двойного лучепреломления в электрическом поле

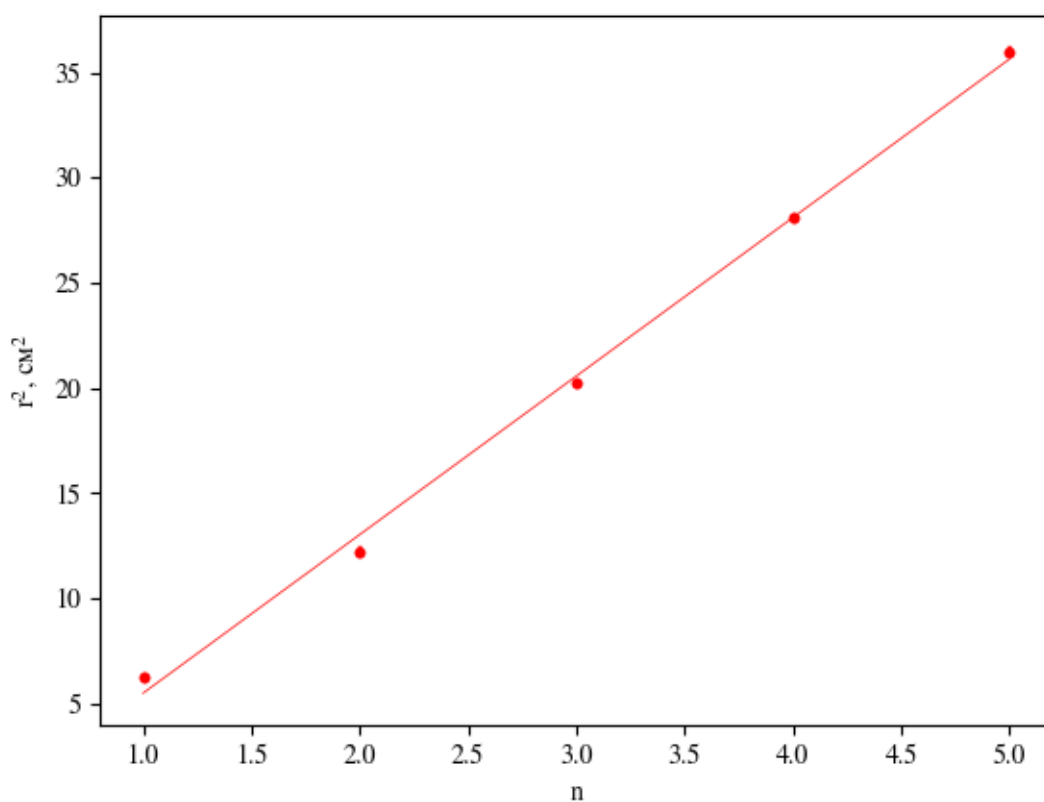


Рисунок 4 – График зависимости квадрата радиуса интерф. кольца от его номера

По формуле (3), зная наклон графика, получили разность показателей преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей

$$n_o - n_e = 0.104 \pm 0.002.$$

Таким образом, зная n_o , получили

$$n_e = 2.19 \pm 0.05.$$

Табличное значение

$$n_e = 2.20.$$

2 Изучение зависимости интенсивности света от напряжения

В первой части измерений блок питания был подключен на постоянное напряжение. Максимальное значение интенсивности достигается при полуволновом напряжении, минимальное при удвоенном полуволновом напряжении. Для \perp поляризации были получены значения

$$U_{\lambda/2} = 480 \pm 10 \text{ В}$$

$$U_{\lambda} = 740 \pm 10 \text{ В}.$$

Для \parallel поляризации

$$U_{\lambda/2} = 620 \pm 10 \text{ В}$$

$$U_{\lambda} = 420 \pm 10 \text{ В}$$

$$U_{\lambda/4} = 240 \pm 10 \text{ В}.$$

Далее на кристалл было подано четвертьволновое напряжение. Поляризация стала круговой – при вращении поляризатора яркость не менялась.

Далее был установлен фотодиод и подключен к у-входу осциллографа. Напряжение переключено на переменное. На экране осциллографа были получены фигуры Лиссажу. Полуволновое напряжение, соответствующее переходу от максимума к минимуму сигнала на осциллограмме

$$\Delta U_1 = 560 \pm 10 \text{ В}$$

$$\Delta U_2 = 960 \pm 10 \text{ В}$$

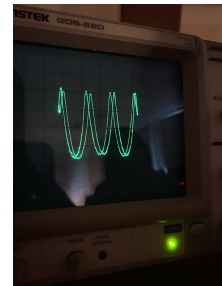
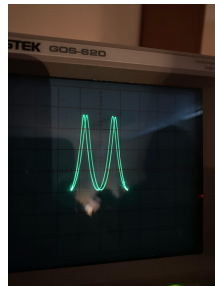
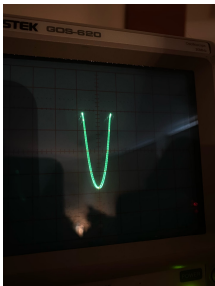


Рисунок 5 – Фигуры Лиссажу

При изменении поляризации картина переворачивается

3 Вывод

В данной работе было исследование явление двулучепреломления и эффект Поккельса в кристалле ниобата лития. Была измерена постоянная двулучепреломления для исследуемого кристалла

$$n_o - n_e = 0.104 \pm 0.002,$$

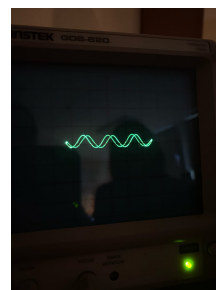
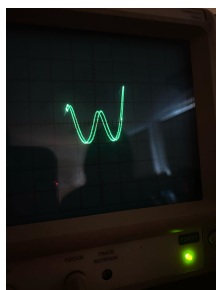
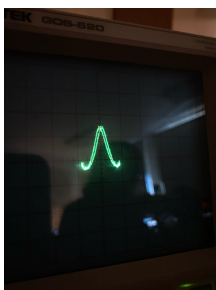


Рисунок 6 – Фигуры Лиссажу

что в пределах погрешности согласуется с табличным значением.

Полуволновое напряжение кристалла на длине волны падающего излучения лазера $\lambda = 633$ нм

$$U_{\lambda/2} = 480 \pm 10 \text{ В.}$$

При напряжениях, кратных полуволновому, были получены осциллограммы, представляющие зависимость интенсивности от значения переменного электрического поля, приложенного к кристаллу, однако, напряжения ΔU полученные по фигурам Лиссажу сняты с большей погрешностью, чем написано выше, так точно определить переход от минимума к максимуму оказалось проблематично. При четвертьволновом напряжении наблюдалась круговая поляризация выходящего из анализатора излучения.

4 Литература

1. Лабораторный практикум по общей физике: учеб. пособие. В трёх томах. Т. 2. Оптика / А.В. Максимычев, Д.А. Александров, Н.С. Берюлёва и др.; под ред. А.В. Максимычева. – М.: МФТИ, 2014. – 446 с.