



Московский Физико-Технический Институт

Отчет по эксперименту

---

4.7.1.

Двойное лучепреломление

---

Выполнила:  
Малиновская София

Группа:  
Б05-102

## Цель работы

Изучение зависимости показателя преломления необыкновенной волны от направления в двоякопреломляющем кристалле; определение главных показателей преломления  $n_o$  – обыкновенной и  $n_e$  – необыкновенной волны в кристалле наблюдение эффекта полного внутреннего отражения.

## Оборудование

Гелий-неоновый лазер, вращающийся столик с неподвижным лимбом, призма из исландского шпата, поляроид.

## Теоретическая сводка

При падении световой волны на границу изотропной среды в этой среде от границы распространяется одна волна. Если среда анизотропна, то в ней в общем случае возникают две волны – обыкновенная и необыкновенная, распространяющиеся от границы в разных направлениях и с разными скоростями. При этом связь между вектором напряженности и индукции имеет вид  $\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$ , где  $\varepsilon$  – тензор диэлектрической проницаемости. Это явление называется двойным лучепреломлением.

Обыкновенный луч ведет себя так же, как и луч в изотропной среде, то есть  $n = n_o = \text{const}$ . Для необыкновенного луча

$$\frac{1}{[n(\theta)]^2} = \frac{\sin^2 \theta}{n_e^2} + \frac{\cos^2 \theta}{n_o^2}, \quad (1)$$

где  $\theta$  – угол между оптической осью и волновой нормалью,  $n_o$  – показатель преломления волны, распространяющейся вдоль оптической оси,  $n_e$  – показатель преломления волны, распространяющейся перпендикулярно оптической оси. При  $n_o - n_e \ll n_o$  формулу (1) можно упростить и представить в виде

$$n(\theta) \approx n_e + (n_o - n_e) \cos^2 \theta \quad (2)$$

В эксперименте исследуется ход лучей в призме, ход лучей в которой представлен на рис. 1. и рис. 2.

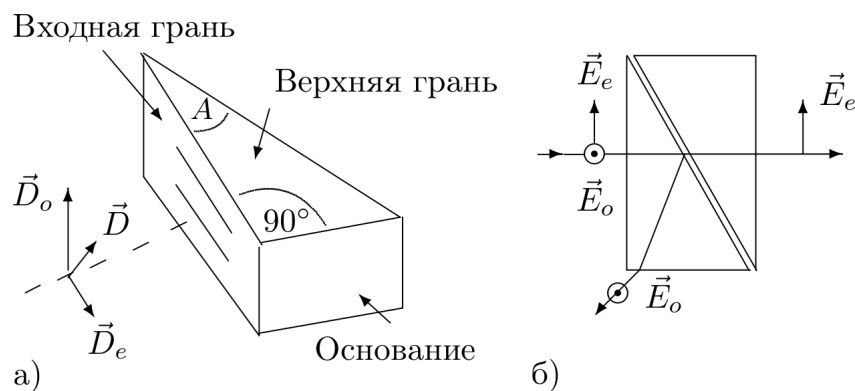


Рис. 1: а) Исследуемая призма из исландского шпата. б) Ход лучей в поляризационной призме

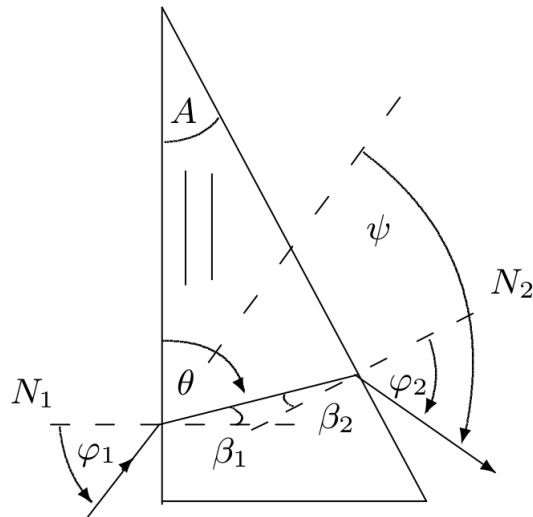


Рис. 2: Ход лучей в призме

Показатель преломления призмы может быть найден как

$$n = \frac{1}{\sin A} \sqrt{\sin^2 \varphi_1 + \sin^2 \varphi_2 + 2 \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \cos A}. \quad (3)$$

Для призмы из изотропного материала в случае, когда  $\varphi_1 = \varphi_2$ , показатель преломления может быть рассчитан по формуле

$$n = \frac{\sin \left( \frac{\psi_m + A}{2} \right)}{\sin \left( \frac{A}{2} \right)}, \quad (4)$$

где  $\psi_m$  – угол наименьшего отклонения.

## Экспериментальная установка

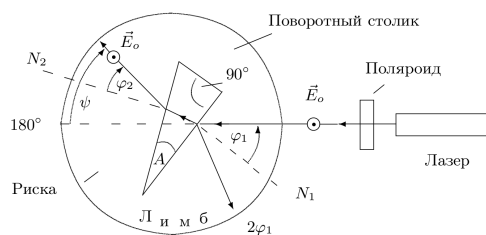


Рис. 3: Схема установки



Рис. 4: Фотография установки

## Ход работы

Сначала выполним юстировку установки – столик устанавливаем так, чтобы луч проходил через отметки 0 и 180, при этом проходя через центр входного отверстия.

Затем определим угол при вершине призмы – для этого сделаем ряд измерений угла отражения при прохождении луча через катет призмы и гипотенузы призмы. Результаты занесем в таблицу 1. и таблицу 2. Здесь  $\alpha$  – угол, на который был повернут столик.

Таблица 1: Преломление луча при прохождении через катет

|                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\alpha, ^\circ$     | 0   | 350 | 340 | 330 | 320 | 310 | 300 | 290 | 280 | 270 | 260 | 250 | 240 | 230 | 220 |
| $2\varphi_1, ^\circ$ | 190 | 185 | 180 | 175 | 170 | 165 | 160 | 155 | 150 | 145 | 140 | 135 | 130 | 125 | 120 |

Таблица 2: Преломление луча при прохождении через гипотенузу

|                      |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\alpha, ^\circ$     | 0  | 350 | 340 | 330 | 320 | 310 | 300 | 290 | 280 | 270 | 260 | 250 | 240 | 230 | 220 |
| $2\varphi_2, ^\circ$ | 48 | 43  | 38  | 33  | 28  | 23  | 18  | 13  | 8   | 3   | 358 | 353 | 348 | 343 | 338 |

По данным из таблицы 2. и таблицы 3. определим угол при вершине призмы  $A$

$$A = 38^\circ \pm 0.5^\circ$$

Затем определим разрешенное направление поляроида, используя для этого стол. Поляриоид нам потребуется для того, чтобы выделять обыкновенную и необыкновенную волны, которые имеют различную поляризацию.

Далее снимем зависимость углов отклонения на выходе из призмы для обыкновенной и необыкновенной волны от угла падения луча на призму. Результаты этих измерений представлены в таблице 3.

Таблица 3: Зависимость углов отклонения от угла падения

|                    |                          |                          |
|--------------------|--------------------------|--------------------------|
| $2\varphi, ^\circ$ | $(180 + \psi_o), ^\circ$ | $(180 + \psi_e), ^\circ$ |
| 20                 | 215.5                    | 205.5                    |
| 30                 | 213.0                    | 204.5                    |
| 40                 | 211.5                    | 204.0                    |
| 50                 | 211.0                    | 204.0                    |
| 60                 | 210.5                    | 204.5                    |
| 70                 | 211.0                    | 205.0                    |
| 80                 | 211.5                    | 206.0                    |
| 90                 | 212.5                    | 207.5                    |
| 100                | 214.0                    | 209.0                    |
| 110                | 216.0                    | 211.5                    |
| 120                | 218.5                    | 214.0                    |
| 130                | 222.0                    | 216.5                    |
| 140                | 225.0                    | 220.0                    |

Из таблицы 3 также видим, что минимальное значение  $\psi_o = 30.5^\circ$ , минимальное значение  $\psi_e = 24.0^\circ$ . По этим величинам проведем вычисления показателя преломления, используя формулу (4)

$$n_o = 1.673 \pm 0.014$$

$$n_e = 1.489 \pm 0.013$$

Теперь, используя таблицу 3 рассчитаем значения главных коэффициентов преломления  $n_o$  для обыкновенной и  $n_e$  для необыкновенной волны, а также величину  $\cos^2 \theta$ . Результаты представлены в таблице 4. Затем построим график зависимости  $n(\cos \theta)$ . Этот график представлен на рис. 5.

Таблица 4: Вычисленные значения коэффициентов преломления

| $\varphi_1, ^\circ$ | $\psi_o, ^\circ$ | $n_o$             | $\psi_e, ^\circ$ | $n_e$             | $\cos^2 \theta$ |
|---------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| 10.0                | 35.5             | $1.602 \pm 0.011$ | 25.5             | $1.468 \pm 0.011$ | 0.014           |
| 15.0                | 33.0             | $1.597 \pm 0.011$ | 24.5             | $1.472 \pm 0.012$ | 0.031           |
| 20.0                | 31.5             | $1.593 \pm 0.012$ | 24.0             | $1.478 \pm 0.012$ | 0.054           |
| 25.0                | 31.0             | $1.598 \pm 0.012$ | 24.0             | $1.487 \pm 0.012$ | 0.081           |
| 30.0                | 30.5             | $1.593 \pm 0.012$ | 24.5             | $1.501 \pm 0.012$ | 0.111           |
| 35.0                | 31.0             | $1.603 \pm 0.012$ | 25.0             | $1.508 \pm 0.012$ | 0.145           |
| 40.0                | 31.5             | $1.605 \pm 0.012$ | 26.0             | $1.521 \pm 0.012$ | 0.179           |
| 45.0                | 32.5             | $1.611 \pm 0.012$ | 27.5             | $1.538 \pm 0.012$ | 0.211           |
| 50.0                | 34.0             | $1.621 \pm 0.011$ | 29.0             | $1.549 \pm 0.011$ | 0.245           |
| 55.0                | 36.0             | $1.634 \pm 0.011$ | 31.5             | $1.574 \pm 0.011$ | 0.271           |
| 60.0                | 38.5             | $1.650 \pm 0.010$ | 34.0             | $1.591 \pm 0.010$ | 0.296           |
| 65.0                | 42.0             | $1.680 \pm 0.010$ | 36.5             | $1.598 \pm 0.010$ | 0.322           |
| 70.0                | 45.0             | $1.687 \pm 0.010$ | 40.0             | $1.617 \pm 0.009$ | 0.338           |

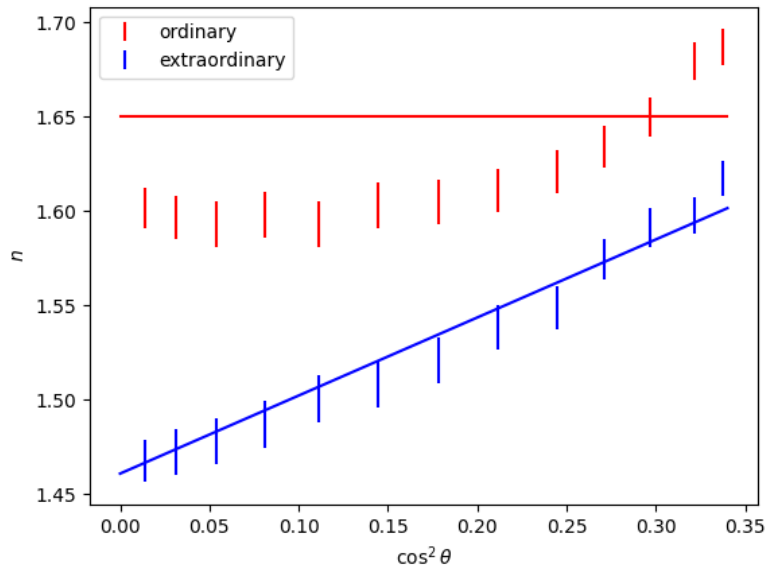


Рис. 5: Зависимость коэффициента преломления от квадрата косинуса

Видим, что для необыкновенной волны выполняется соотношение (2), а для обыкновенной также заметно изменение от угла. Окончательные значения главных коэффициентов преломления найдем как среднее арифметическое соответствующих величин

$$n_o = 1.649 \pm 0.008$$

$$n_e = 1.502 \pm 0.008$$

Наконец, добьемся полного внутреннего отражения каждого из лучей, и с помощью него определим коэффициенты преломления. Полное внутренне отражение обыкновенной волны достигается при  $2\varphi = 2^\circ \pm 2^\circ$ , а необыкновенной – при  $2\varphi = 8^\circ \pm 3^\circ$ . Отсюда

$$n_o = 1.661 \pm 0.038$$

$$n_e = 1.494 \pm 0.043$$

## Вывод

В работе были изучена зависимость показателя преломления необыкновенной волны от направления ее распространения в двоякопреломляющем кристалле. Несколькими способами были определены значения главных показателей преломления обыкновенной и необыкновенной волны.

- При измерении по минимальному углу получены значения  $n_o = 1.673 \pm 0.014$ ,  $n_e = 1.489 \pm 0.013$
- При измерении множества коэффициентов преломления при различных углах и последующем усреднении получены значения  $n_o = 1.649 \pm 0.008$ ,  $n_e = 1.502 \pm 0.008$
- При измерении по углу полного внутреннего отражения получены значения  $n_o = 1.661 \pm 0.038$ ,  $n_e = 1.494 \pm 0.043$

Табличные значения этой величины для кальцита, разновидностью которого является исландский шпат, составляют  $n_o = 1.640 - 1.660$ ,  $n_e = 1.486$ .

То что получены близкие между собой и к теории, но различные в пределах погрешности величины, объясняется тем, что при измерениях использовался поляроид, настраиваемый по отражению от плоскости стола, в результате чего разрешенное направление поляроида могло быть установлено не вертикально, а под небольшим углом к горизонту, в результате чего необыкновенная волна оказывала влияние на измерения для обыкновенной, и наоборот. Также стоит отметить, что измерения по углу полного внутреннего отражения являются приблизительными, так как при достижении полного внутреннего отражения преломленный луч не исчезает сразу, а постепенно теряет яркость, из-за чего можно измерить лишь интервал, в котором достигается полное внутреннее отражение.