

МЕТОДИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ

ДЕМОНСТРАЦИЯ ЯВЛЕНИЙ КОНИЧЕСКОЙ РЕФРАКЦИИ

Наряду с обычным двупреломлением света на границе оптически анизотропных сред явления конической рефракции в оптически двуосных кристаллах представляют собой одну из наиболее ярких демонстраций несовпадения направлений групповой и волновой скоростей света в кристаллах, при котором одному направлению вектора потока энергии (вектора Пойнтинга луча) может соответствовать целый конус волновых нормалей и, наоборот, одной волновой нормали — целый конус световых лучей¹⁻³.

Однако возможность наблюдения этих явлений до сих пор была крайне ограничена⁴. Последнее относится в особенности к случаю так называемой внешней конической рефракции (см. ниже), а количественные наблюдения этих случаев распространения света почти не осуществляются, хотя явление конической рефракции недавно вызвало интерес в нелинейной оптике^{5,6}.

С помощью современных кристаллов и современных источников света нами была впервые осуществлена лекционная демонстрация опыта по наблюдению внешней конической рефракции и повторены опыты по наблюдению внутренней конической рефракции. Количественные изучения конической рефракции вводятся в практику лабораторного и лекционного преподавания кристаллооптики на кафедре физики кристаллов физического факультета МГУ.

1. ЯВЛЕНИЕ ВНЕШНЕЙ КОНИЧЕСКОЙ РЕФРАКЦИИ

Для демонстрации этого явления использовались выращенные А. Н. Израиленко кристаллы щавелевокислого аммония $[(\text{NH}_4)_2 \text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ и формиата лития $(\text{LiHCO}_2 \times \text{H}_2\text{O})$, причем последний более доступен экспериментаторам, чем первый. Этот выбор сделан не случайно, ибо эти кристаллы обладают относительно большим углом φ раствора конуса рефракции⁷⁻¹⁰.

Так, щавелевокислый аммоний имеет угол $\varphi = 5^\circ 15'$, а формиат лития $5^\circ 02'$. Для сравнения укажем, что для арагонита угол $\varphi \approx 1^\circ 36'$.

Все это позволило довольно просто осуществить демонстрацию и

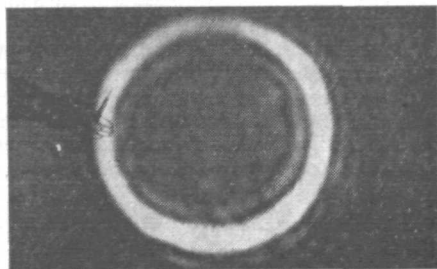


Рис. 1.

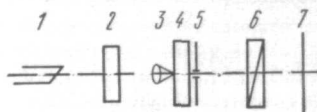


Рис. 2.

на расстоянии $\approx 3,5$ м от кристалла наблюдать на экране светлое кольцо диаметром $\approx 0,5$ м (рис. 1).

Для оценки размеров светового кольца на экране на светлом фоне кольца сфотографирована рука лектора, объясняющего демонстрацию. Однако, пользуясь аргументом лазером, можно наблюдать кольца нескольких метров в диаметре.

Схема установки, на которой производился эксперимент, показана на рис. 2, где 1 — He-Ne-лазер, $W = 20$ мвт; 2 — пластинка $\lambda/4$, для превращения линейно-поляризованного света лазера в циркулярно поляризованный; 3 — микрообъектив

с увеличением 21 и светосилой $D/r = 0,4$, сфокусированный на входную поверхность кристалла; 4 — кристалл; 5 — диафрагма с $D = 200$ мкм; 6 — поляроид (для одной из серий опытов); 7 — экран.

Кристаллы вставлялись в специальную оправу, которая плотно прижимала диафрагму к кристаллу. Оправа крепилась в держатель, обладающий четырьмя степенями свободы: вращением вокруг оси светового пучка и оси, перпендикулярной к пучку, и поступательным движением в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Кристаллы ориентировались так, чтобы свет шел вдоль бирадиали. Для этого их пришлось поворачивать на $3-4^\circ$, так как они были вырезаны перпендикулярно к бинормали.

Характерной особенностью явлений конической рефракции, как внутренней, так и внешней, является поляризация света, прошедшего сквозь кристалл. В каждой точке светового кольца, полученного на экране, свет поляризован линейно, но в то же время не существует ни одной пары точек с одинаковой поляризацией света³.

Вот почему при установлении в оптической схеме поляроида 6 в одном

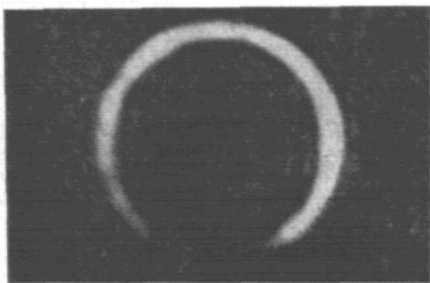


Рис. 3.

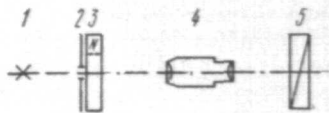


Рис. 4.

месте наблюдаемого на экране светящегося кольца образовывалось темное пятно, которое при вращении поляроида перемещалось вдоль кольца (рис. 3).

Опыты с поляроидом являются однозначными доказательствами того, что наблюдаемое явление есть коническая рефракция. Такой набор поляризаций света резко отличает коническую рефракцию от других оптических явлений, связанных с получением колец.

В заключение заметим, что лекционная демонстрация явления внешней конической рефракции возможна только с современными источниками света, обладающими достаточной интенсивностью коллимированного пучка света.

2. ВНУТРЕННЯЯ КОНИЧЕСКАЯ РЕФРАКЦИЯ

Наблюдение явления производилось с теми же кристаллами щавелевокислого аммония и формиата лития, что и предыдущий опыт. В этих кристаллах — относительно большой угол χ раствора конуса конической реакции. Так, для щавелевокислого аммония он составляет $\chi = 5^\circ 28'$, а для формиата лития $\chi = 5^\circ 18'$, у арагонита $\chi = 1^\circ 52'$.

Кроме того, формиат лития удалось вырастить значительной толщины (~ 2 см), что играет немаловажную роль в эксперименте, так как при этом можно наблюдать на входе из кристалла световое кольцо сравнительно большого диаметра (~ 2 мм для формиата лития).

Схема установки приведена на рис. 4, где 1 — лампа накаливания, 2 — диафрагма с $D = 100$ мкм, 3 — кристалл, 4 — измерительный микроскоп с увеличением окуляра 15 и увеличением объектива 3,7, сфокусированный на выходную поверхность кристалла, 5 — поляроид. Использовались те же кристаллы и их крепления, что и в случае внешней конической рефракции.

При установлении поляроида наблюдалось темное пятно в одном месте полученного светящегося кольца, которое при вращении поляроида перемещалось вдоль кольца, что служило доказательством того, что полученное кольцо является следствием конической рефракции, так как только в этом случае при данной постановке эксперимента возможна такая поляризация света, прошедшего сквозь кристалл. При точной юстировке кристалла можно наблюдать характерный темный промежуток между двумя светлыми кольцами¹¹.

Для студентов количественная сторона описываемых опытов заключается, в обоих случаях, в сравнении вычисленных значений углов раствора конусов рефракции по заданным значениям ϵ_x , ϵ_y , ϵ_z с результатами измерений этих углов.

Авторы приносят глубокую благодарность Г. И. Куприянову за конструирование и изготовление держателя кристалла и студенту В. В. Александрову за помощь в работе.

*Т. С. Величкина, О. И. Васильева,
А. Н. Израилenko, И. А. Яковлев*

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Hamilton W. R.— Trans. Irish Acad., 1833, v. 17, p. 132.— (Доложено в 1832 г.).
2. Lloyd B.— Ibid., p. 145.
3. Ditchburn R. W. Light.— Lnd., 1963.— Перевод: Д и т ч б е р н Р. Физическая оптика.— М.: Мир, 1965.
4. Edser E.— Light for Students.— Lnd., 1960.
5. Shih H., Bloembergen N.— Phys. Rev., 1969, v. 184, p. 895.
6. Schell A. J., Blombergen N.— Opt. Com., 1977, v. 21, p. 150.
7. Landolt-Börnstein. Band 2. Gruppe III.— 1969.— S. 190.
8. Stugh S., Bonner W. A. Appl. Phys. Lett., 1970, v. 17, p. 299.
9. Naito H., Juaba H.— Opto-Electronics, 1973, v. 5, p. 256.
10. Д р у д е П. Оптика.— М.; Л.: ГТТИ, 1935.
11. Б о р н М., В о л ь ф Э. Основы оптики.— М.: Наука, 1970.