

емы педагогики сотрудничества: психологические, логические, логико-психологические.

Технология эффективной речевой деятельности. Влияние качества речи на качество обучения (доступность, психосбережение). Анкета качества речи педагога. Способы работы над качеством речи учащихся и воспитанников: личный пример, образцы, специальные занятия, объединение усилий разных учителей-предметников.

Технология диалогового обучения и воспитания. Построение урока или занятия на диалоговой основе. Отличие урока на диалоговой основе от урока на коммуникативной основе. Грани диалога. Виды диалогов. Технология эффективного общения: управление Говорящим собственным поведением; управление Говорящим поведением Аудитории; управление Говорящим содержанием речи; управление Слушающим собственным поведением.

Технология рефлексивного обучения и воспитания. Понятие «рефлексия». Этапы рефлексии: работа с ощущениями, логический анализ, корректировка мыслительного содержания. Возможные виды и формы рефлексии. Условия применения рефлексивного обучения и воспитания на уроке или занятии: информационные и психологические [6].

При внедрении в учебный процесс новых образовательных технологий, на наш взгляд, будет целесообразным применение некоторых TQM-технологий для управления качеством обучения. На рис. 2 показано, что на самом нижнем уровне (нулевой уровень) ни-

какого вмешательства нет и в помине, предполагается, что всё идёт хорошо. На уровне один управляю-

	Наблюдение	Анализ	Оценка	Коррекция
Уровень 4	■	■	■	■
Уровень 3	■	■	■	
Уровень 2	■	■		
Уровень 1	■			
Уровень 0				

Рис. 2. Уровни вмешательства

щий реально не вмешивается в систему обучения, производятся только наблюдения. На уровне два руководство измеряет и регистрирует. На уровне три руководство ещё и оценивает, достаточен или нет уровень обеспечения качества обучения.

Добавляется критерий, а на уровне четыре руководство не только оценивает, но фактически вмешивается и решает корректировать качество обучения учащихся физике [7].

Литература

1. Субетто А.И. Образование: будущее России и человечества // Стандарты и качество. 1994. № 5. С. 53–55.
2. Субетто А. И. Качество непрерывного образования в Российской Федерации. СПб.; М., 2000.
3. <http://www.mon.gov.ru>; <http://www.ivlim.ru>
4. Айванхов О.-М. Посвященческая педагогика. М., 2002.
5. Севрук А.И., Юнина Е.А. Мониторинг качества преподавания в школе. М., 2003.
6. Шишковский В.И., Купцов А.И. Новые подходы к проблеме мониторинга качества образования в рамках концепции опережающего устойчивого развития // Пути модернизации региональной системы повышения квалификации работников образования: Материалы межрегион. науч.-практич. конф. 27–28 марта 2003 года. Томск, 2003. С. 246–261.

Поступила в редакцию 26. 12. 2006

УДК 535.53.05

Ю.П. Михайличенко

КОНИЧЕСКАЯ РЕФРАКЦИЯ: ИСТОРИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ И НОВЫЕ ДЕМОНСТРАЦИИ

Томский государственный университет

Введение

Коническая рефракция была предсказана Гамильтоном в 1832 г. и затем подтверждена наблюдениями Ллойда на кристалле арагонита [1–7]. 14 декабря 1832 г. Ллойд обнаруживает конус внешней конической реф-

ракции и несколько позднее наблюдает внутреннюю коническую рефракцию. Результаты этих экспериментов были доложены Ллойдом в Королевской Ирландской Академии 28 января 1833 г. [3, 4]. Ллойд заметил оригинальное распределение поляризации в кольцах

рефракции и при описании явления применил термин «коническая поляризация». Схемы наблюдения конической рефракции приведены на рис. 1.

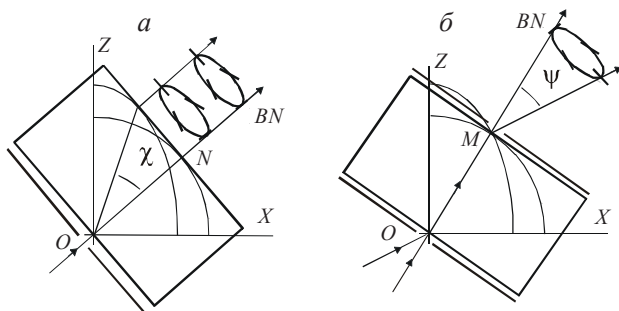


Рис. 1. Внутренняя (а) и внешняя (б) коническая рефракция по Гамильтону – Ллойд. В воздухе угол ψ внешней конической рефракции увеличится примерно вдвое в результате преломления лучей на границе

Иоганн Поггендорф в 1839 г. обнаружил, что кольцо внутренней конической рефракции оказалось двойным [8], и это раздвоение было объяснено Фойгтом лишь в 1905 г. [9]. Оказывается, что кольцу внутренней конической рефракции, предсказанному Гамильтоном, соответствует как раз темный промежуток, разделяющий светлые кольца. А светлые кольца по обе стороны от него формируются в результате двупреломления. Существование такого темного промежутка служит доказательством того, что на практике невозможно осуществить строго параллельный пучок лучей конечной интенсивности.

Трудности наблюдения конической рефракции связаны с малыми размерами кристаллов. Тем не менее в начале XX столетия фирмой E. Leybold's Nachfolger и фирмой M. Kohl предлагались приборы для «субъективного наблюдения внутренней и внешней конической рефракции по Ллойд» на кристаллах арагонита. В фундаментальном руководстве по кристаллооптике Вустера приводится описание наблюдения конической рефракции на образце арагонита с помощью микроскопа [10]. Чандрасекхара Раман в 1921 г. обсуждает визуальные наблюдения фокусирующих свойств арагонита [11]. А в 1941 г. он, будучи уже Нобелевским лауреатом, проводит с сотрудниками уникальные наблюдения под микроскопом конической рефракции на кристаллах нафталина [12, 13]. В заметке 1942 г. [14] приведены оригинальные фотоснимки изображений, которые были получены в результате фокусировки изображения плоскопараллельной пластинкой нафталина. Но задача оставалась сложной, и последующие наблюдения конической рефракции под микроскопом на кристаллах арагонита, проведенные Мелмором из Йоркширского музея, не вносили существенной ясности [15, 16].

С появлением лазеров интерес к конической рефракции возрос, так как в кольцах конической рефракции наблюдалось уникальное распределение поляризации. Можно упомянуть статью [17], в которой описана попытка применения конической рефракции

для управления лазерным пучком, и статью [18], где обсуждался вопрос о сканировании с использованием конической рефракции, но авторы смогли получить лишь одинарное кольцо внутренней конической рефракции на кристалле арагонита. В статьях А.Ж. Шелла и Н. Бломбергера проводится сравнение экспериментальных данных и теоретических расчетов по радиальному распределению интенсивности в кольцах внутренней конической рефракции для арагонита [19] и альфа-йодистой кислоты [20, 21]. В нашей статье в 1979 г. приведены результаты по крупномасштабной демонстрации конической рефракции на монокристаллах серы [22]. Затем демонстрация кольца внешней конической рефракции с лазером и наблюдение кольца внутренней рефракции на искусственных кристаллах была предложена в [23]. В статье [24] приведена оригинальная методика измерения параметров внутренней конической рефракции на кристаллах КТР, вырезанных в виде сферы для увеличения углов расходимости. Теоретическое рассмотрение внутренней конической рефракции проводилось в статьях [25, 26]. В статье Марка Дрегера [27] приведены оригинальные расчеты трансформации пучков в условиях, близких к формированию темного кольца Поггендорфа. В новой работе Майкла Берри с сотрудниками [28] рассмотрена внутренняя коническая рефракция с позиции теории дифракции и проведены эксперименты на искусственном кристалле.

В физическом кабинете Томского госуниверситета удалось в 1979 г. осуществить крупномасштабную демонстрацию внутренней конической рефракции на монокристаллах ромбической серы, и ниже приводятся результаты продолжения экспериментов, которые проделаны автором этой статьи.

1. Внутренняя коническая рефракция

Наши эксперименты проводились на монокристаллах ромбической серы, хотя П. Друде при рассмотрении конической рефракции на кристаллах арагонита отмечал, что «сера подходила бы еще больше, ... однако ее обработка представляет большие трудности» [29]. Нами был предложен, независимо от авторов работы [19], метод фокусировки узкого лазерного пучка на поверхности монокристалла для получения максимальной яркости изображений. Второе полезное качество метода фокусировки состоит в том, что получаемое на первой поверхности кристалла малое фокальное пятно позволяет выбрать хорошо отполированный участок и отказаться от применения диафрагмы в виде булавочного прокола в фольге, как это делалось со времен Ллойда. Кольца внутренней рефракции, полученные нами, показаны на рис. 2.

Размеры отполированной кристаллической пластинки позволяли осуществить эксперимент по постепенному превращению колец внутренней конической рефракции в два пятна обычного двупреломления при плавном увеличении наклона пластинки.

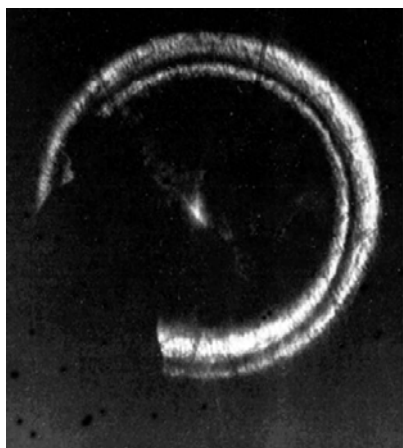


Рис. 2. Двойное кольцо внутренней конической рефракции в неполяризованном свете лазера ($\lambda = 510,6$ нм). Диаметр колец на экране около 1 м. У экрана стоит человек. Кристаллическая пластинка слегка наклонена для демонстрации изменения формы колец

2. Внешняя коническая рефракция

В учебной и справочной литературе при описании условий наблюдения внешней конической рефракции на монокристаллах приводится схема, когда на малом отверстии экрана на первой поверхности линзой фокусируется сходящийся пучок (см. рис. 1, б). В месте выхода конуса внешней конической рефракции на другой поверхности кристалла располагают вторую диафрагму. В книге М. Борна и Э. Вольфа [1] утверждается, что «В данном случае ... наблюдаются два концентрических кольца света, причем объяснение этого подобно объяснению, данному в случае внутренней конической рефракции». Обсудим эти утверждения.

Опыты Ллойда показали, что для реализации внешней конической рефракции необходимо осветить кристалл сходящимся пучком лучей. Если к световому пучку OM , который распространяется внутри кристалла вдоль бирадиали (рис. 3, а) и на выходе распадается на бесконечное число лучей, образующих внешний конус, применить рассуждения Фойгта, то напрашивается вывод о раздвоении кольца внешней конической рефракции. Но этот пучок лучей, который распространяется внутри кристалла по направлению бирадиали OM , нельзя считать естественным светом, так как он образуется в результате двупреломления из конуса лучей $1-2$. Для формирования полного кольца внешней конической рефракции следует осветить кристалл, как минимум, через кольцевую диафрагму, что мы и сделали в работе [30]. А при таких условиях на экране наблюдаются два кольца внешней конической рефракции, причем вершина внутреннего конуса располагается на поверхности кристалла (рис. 3, а).

На второй поверхности самого кристалла наблюдается четкое светлое кольцо диаметром около 4 мм, а в центре кольца яркое пятно, которое является вершиной выходящего внутреннего конуса лучей внешней конической рефракции. Если выделить диафрагмой только центральное пятно, то на экране будет видно одинарное кольцо, которое и наблюдалось ранее, начиная с опытов Ллойда. Мы пытались проверить предположение, что это кольцо внешней рефракции может иметь более сложную структуру. Но при уменьшении диафрагмы D_1 от 1 мм до нуля наблюдалось лишь дифракционное уширение внутреннего кольца до полного исчезновения картины.

При освещении кристалла линзой через кольцевую диафрагму вся световая энергия сосредоточена

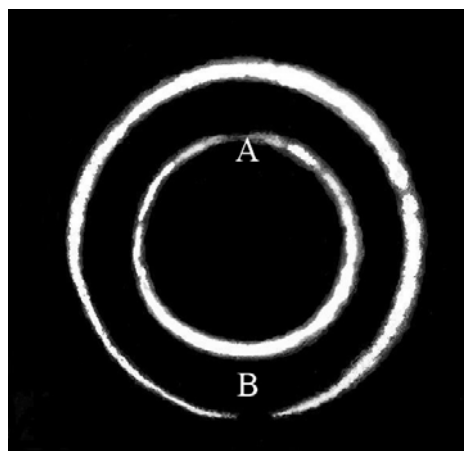
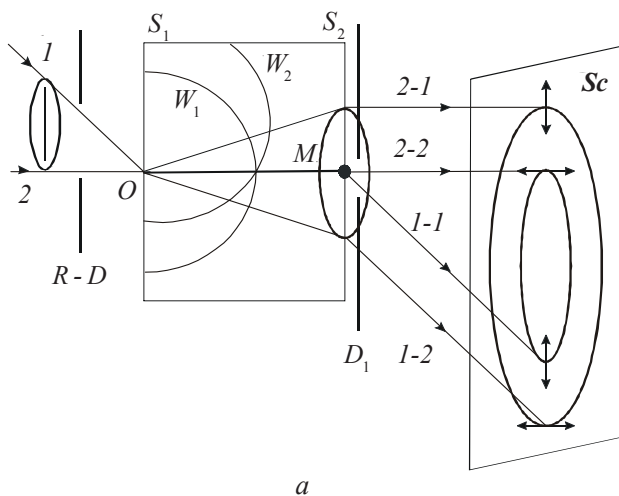


Рис. 3. Схема получения двух колец внешней конической рефракции. Поляризация в диаметрально противоположных точках колец взаимно перпендикулярна (а). Два кольца внешней конической поляризации, которые получены в свете He-Ne-лазера с линейной поляризацией. Буквами А и В отмечены темные участки на кольцах (б)

в фокальном пятне O на поверхности кристалла. Очевидно, что половина этой энергии далее распространяется внутри кристалла по световому каналу вдоль бирадиали и можно говорить о концентрации энергии вдоль такого направления. Вторая половина энергии затрачивается на формирование большего кольца (лучи $1-2$ и $2-1$). Оценим степень концентрации энергии вдоль бирадиали, если кристалл освещается кольцевой диафрагмой радиусом B и шириной b . Площадь диафрагмы равна $2\pi Bb$. При фокусировке света в точке F в кристалле вдоль бирадиали свет будет распространяться в виде узкого расходящегося конуса лучей, который на второй поверхности кристалла в окрестности точки M даст световое пятно. При условии, что диаметр этого пятна определяется шириной b кольцевой диафрагмы, его площадь можно определить как $\pi(b/2)^2$. Отношение энергий определится величиной $4B/b$. Так у нас при фотографировании (рис. 3, б) это отношение было равно 40. Здесь есть некий интерес для дополнительного рассмотрения явлений, которые могут быть вызваны подобной концентрацией энергии, но в наших экспериментах особенностей мы не заметили. Очевидно, что повышение плотности энергии ограничивается дифракционными эффектами. То, что в направлении бирадиали происходит концентрации энергии, отмечал Раман в [12].

Итак, внутреннее кольцо внешней конической рефракции не имеет двойной структуры, как кольца внутренней рефракции. Утверждение, что это кольцо получается, когда луч, идущий внутри кристалла по бирадиали, попадает в точку M , на острие впадины, где и распадается на множество лучей, скорее всего, неудачное со времен публикации Гамильтона. В его работе [2] приводится такое определение «... so that this one internal cusp-ray must correspond to an external cone of rays, according to a new theoretical law of light which may be called **External Conical Refraction**». Точка самопересечения волновой поверхности, конечно, является особой точкой, но не является острием или точкой перегиба. Возможно, будет уместно следующее сравнение. В математике рассматривается плоская кривая «лист Декарта», которая задается уравнением $x^3 + y^3 - 3axy = 0$. Эта кривая напоминает букву γ . Две ветви кривой взаимно пересекаются в особой точке в начале координат, и в этой точке кривая имеет две касательные [31].

3. Фокусирующие свойства двусосных кристаллов

Ллойд рассматривал сквозь кристалл свет удаленной лампы и заметил в направлении оси появление яркой точки, окруженной чем-то напоминающим лучи звезд. Он наблюдал и сходящиеся лучи в окрестности оптической оси. О фокусирующих свойствах было сказано в 1921 г. в заметке Рамана [11]. Раман возвращается к этому вопросу в 1941 г. и публикует в журнале «Nature» заметку с фотографиями простей-

ших светящихся объектов, сфокусированных при помощи пластинки из нафталина [13]. А в статье [12] Раман упоминает о работах Стокса 1877 г. и Волкера 1904 г., где отмечается, что изображение точечного источника сопровождается астигматизмом.

Наблюдения показали, что в центре колец внутренней конической рефракции всегда наблюдается световое пятно (см. рис. 1). На его формирование влияют дифракционные эффекты, но в наших экспериментах, которые отличаются большими размерами картины, в большей степени проявляются своеобразные фокусирующие свойства волновой поверхности двусосного кристалла в окрестности точки M (см. рис. 2), в той части, где волновая поверхность образует воронкообразное углубление. В нашей работе экспериментально была проверена фокусирующая способность плоскопараллельной пластинки из ромбической серы [30].

Выводы

Успешное решение технической задачи по полировке кристаллов ромбической серы позволило нам проделать эксперименты, которые, по нашему мнению, продолжают ряд экспериментальных работ Ллойда, Поггендорфа, Фойгта и Рамана. Нами впервые были: 1) получены картины внутренней конической рефракции большого размера до 1 м в диаметре; 2) проведены наблюдения двух колец внешней конической рефракции с использованием кольцевой диафрагмы и 3) сделаны измерения фокусирующей способности кристаллической пластинки. Проведена оценка степени концентрации энергии в направлении бирадиали при условиях реализации внешней конической рефракции. Для доказательства отсутствия двойной структуры в кольцах внешней конической рефракции нами был проведен «experimentum crucis» с кольцевой диафрагмой.

В большинстве справочных пособий определения конической рефракции основаны на математическом рассмотрении волновой поверхности Гамильтоном и представляют на сегодня исторический интерес. Строго говоря, у Гамильтона с физической точки зрения не точны оба определения для конической рефракция, так как единственный луч в реальных условиях не может сформировать ни конуса внутренней, ни конуса внешней конической рефракции. Относительно внутренней конической рефракции это было показано Фойгтом. Для реализации внешней конической рефракции необходим полый конус лучей, сфокусированный на поверхность кристалла, что было показано в нашей работе.

В наших экспериментах показано, что кольца внешней и внутренней конической рефракции двойные, так как они формируются в результате двупреломления. Распределение интенсивности света в двойном кольце внутренней конической рефракции согласуется с определениями по Фойгту, а расстояние между двумя кольцами внешней конической рефракции

определяется толщиной кристаллической пластинки. Поэтому можно выделить пять особенностей двойного лучепреломления в направлениях, которые близки к направлениям оптических осей в двусосных кристаллах: 1) направлению лучей по бинормали соответствует темное кольцо Поггендорфа; 2) в условиях формирования световых колец «внешней конической рефракции» происходит концентрации энергии внутри кристалла вдоль бирадиали; 3) в кольцах «конической рефракции» возникает упорядоченная «коническая поляризация»; 4) волновая поверхность двусосных кристаллов обладает фокусирующими свойствами; 5) обязательным атрибутом «конической рефракции» в реальных условиях является формирование светлого пятна в центре колец внутренней конической рефракции.

Френель определил волновую поверхность двусосных кристаллов, когда допустил, что распространение световых колебаний в среде определяется

упругими свойствами эфира в двух поперечных направлениях. Эта работа в свое время стимулировала развитие новой отрасли науки – теории упругости (работы Навье, Коши и Грина). Естественно, что в настоящее время расширяется круг исследований, связанных с конической рефракцией. Так, например, рассматривались распределения интенсивности по сечению световых пучков [19, 24–28, 32], рассчитывается коническая рефракция в оптически активных кристаллах [21, 33]. А поскольку коническая рефракция, появившаяся в кристаллооптике, описывается единой теорией колебаний, то понятия конической рефракции используются в других областях физики: магнитной гидродинамике [34–35], при исследовании квазиоптических электромагнитных пучков [36, 37], в акустической кристаллографии [38].

Благодарности

Автор признателен А. Аржанику за помощь при фотосъемке.

Литература

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., 1970.
2. Hamilton W.R. // Transactions of the Royal Irish Academy. 1837. V. 17. Part 1. P. 1–144.
3. Lloyd H. // Phil. Mag. 1833. V. 1. P. 112–120, 207–210.
4. Lloyd H. // Trans. R. Irish. Acad. 1837. V. 17. P. 145–157.
5. Гамильтон Уильям Роуэн. Избранные труды: Оптика. Динамика. Кватернионы. М., 1994.
6. Полак Л.С. Уильям Гамильтон: 1805–1865. М., 1993.
7. O'Hara J.B. // Proc. R. Ir. Acad. 1982. V. 82A. No. 2. P. 231–257.
8. Poggendorf J.C. // Annalen der Physik. 1839. B. 48. S. 461–463.
9. Voigt W. // Z. Physik. 1905. B. 6. S. 672–673; 818–820.
10. Wooster W.A. A Text-book on Crystal Physics. Cambridge of University Press, 1938.
11. Raman C.V. // Nature. 1921. V. 107. P. 747.
12. Raman C.V., Rajagopalan V.S., Nedungadi T. M. K. // Proc. Ind. Acad. Sci. A. 1941. V. 14. P. 221–227.
13. Raman C.V., Rajagopalan V.S., Nedungadi T. M. K. // Nature. 1941. V. 147. P. 268.
14. Raman C.V., Nedungadi T. M. K. // Nature. 1942. V. 149. P. 552–553.
15. Melmore S. // Nature. 1942. V. 150. No. 3804. P. 382–383.
16. Melmore S. // Nature. 1943. V. 151. No. 3839. P. 620–621.
17. Burns R.P. // Applied Optics. 1964. V. 3. No. 12. P. 1505–1506.
18. Haas W., Johannes R. // Appl. Opt. 1966. V. 5. No. 6. P. 1088–1089.
19. Schell A.J., Bloembergen N. // J. Opt. Soc. Am. 1978. V. 68. No. 8. P. 1093–1098.
20. Schell A.J., Bloembergen N. // J. Opt. Soc. Am. 1978. V. 68. No. 8. P. 1098–1106.
21. Schell A. J., Bloembergen N. // Physical Review A. 1978. V. 18. No. 6. P. 2592–2602.
22. Перкальскис Б.Ш., Михайличенко Ю.П. // Изв. вузов. Физика. 1979. № 8. С. 103–105.
23. Величина Т.С., Васильева О.И., Израиленко А.И., Яковлев И.А. // УФН. 1980. Т. 130. Вып. 2. С. 257–259.
24. Five J.P., Boulanger B., Marnier G. // Optic. Commun. 1994. V. 105. No. 3–4. P. 243–252.
25. Belsky A.M., Stepanov M.A. // Opt. Commun. 1999. V. 167. P. 1–5.
26. Belafhal A. // Opt. Commun. 2000. V. 178. P. 257–265.
27. Dreger M. A. // J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 1999. V. 1. P. 601–616.
28. Berry M.V., Jeffrey M. R., Lunney J.G // Proc. R. Soc. A. 2006. V. 462. P. 1629–1642.
29. Друде П. Оптика / Пер. с нем. под ред. Т.П. Кравца. М.; Л., 1935.
30. Михайличенко Ю.П. // Изв. вузов. Физика. 2000. № 6. С. 96–98.
31. Смирнов В.И. Курс высшей математики. Т. 1. М., 1974.
32. Казак Н.С., Хило Н.А., Рыжечик А.А. // Квантовая электроника. 1999. Т. 29. С. 184–188.
33. Belsky A.M., Stepanov M.A. // Opt. Commun. 2002. V. 204. P. 1–6.
34. Сивухин Д.В. // Магнитная гидродинамика. Рига, 1966. №1. С. 35–42.
35. Tsiklauri D. // Phys. Plasmas. 1996. V. 3. No. 3. С. 801–803.
36. Бродский Ю.Я., Кондратьев И.Г., Миллер М.А. // Изв. вузов. Радиофизика. 1969. Т. 12. № 9. С. 1339–1350.
37. Бродский Ю.Я., Кондратьев И.Г., Миллер М.А. // Изв. вузов. Радиофизика. 1972. Т. 15. № 4. С. 592–599.
38. Александров К.С. Акустическая кристаллография // Проблемы современной кристаллографии. М., 1975. С. 327–345.

Поступила в редакцию 15. 12. 2006