

УДК 535.012

Л. И. Минеев, Л. А. Хромова*

**ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ
«ОСНОВЫ КРИСТАЛЛООПТИКИ» В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ**

Ивановский государственный университет,
ул. Ермака, 37/7, 153025 Иваново, Россия
E-mail: lmin2@mail.ru; *E-mail: lora_h@mail.ru

Рассматриваются приемы и методики оптических исследований в поляризованном параллельном и сходящемся свете на базе учебной лаборатории оптики кафедры общей и теоретической физики физического факультета Ивановского государственного университета. Эти исследования позволяют студентам привить знания и навыки работы с профессиональным оборудованием на первых этапах обучения в высшей школе. Предложено применение коноскопических методов зондирования индикатрисы кристаллических и жидкокристаллических образцов, а также предложена дифракционная методика определения постоянной Малляра. В качестве объектов исследований предлагаются низкотемпературные соединения, обладающие жидкокристаллическим состоянием различной структурной организации молекул и соответствующими оптическими свойствами при различных температурах.

Ключевые слова: оптические исследования, поляризационный микроскоп, коноскопические фигуры, постоянная Малляра, анизотропные вещества.

L. I. Mineev, L. A. Khromova*

**FEATURES OF EXPERIMENTAL WORK ON THE THEME «INTRODUCTION TO
CRYSTAL OPTICS» IN THE UNIVERSITY GENERAL PHYSICS COURSE**

Ivanovo State University,
Ermak st. 37/7, 153025 Ivanovo, Russia
E-mail: lmin2@mail.ru; *E-mail: lora_h@mail.ru

The article deals with the methods and the techniques of optical studies in polarized parallel and convergent light on the basis of the university optics laboratory of the Department of General and Theoretical Physics, Faculty of Physics, Ivanovo State University. These studies allow students to acquire the knowledge and skills of work with professional equipment at the early stages of studies in the higher school. The use of conoscopic methods of sensing of crystalline and liquid crystal samples indicatrix was proposed. A diffraction method of determination of Mallyar constant was suggested. Low-melting temperature compounds with different structures possessing liquid crystal state and corresponding optical properties at different temperatures were chosen as study objects.

Key words: optical research, polarizing microscope, conoscopic figures, Mallyar constant, anisotropic material.

Введение

При решении структурных вопросов из всех физических свойств шире всего используются оптические. Наличие соотношений между строением и оптическими свойствами твердых и жидких кристаллов было подтверждено ранее на многочисленных примерах. Наиболее ярко это было выражено в исследованиях жидкокристаллических систем, обладающих в структурной организации ближним трансляционным и дальним ориентационным порядком. Поэтому оптическая характеристика жидких кристаллов в сочетании с кристаллохимическими данными о строении молекул часто может служить отправной точкой для грубого суждения о расположении молекул или, точнее говоря, об их ориентации относительно кристаллографических осей.

Искусство владения методиками оптических исследований позволит более рационально подготовить жидкокристаллические образцы для дальнейшего изучения структуры и других физических свойств.

Формирование этих знаний, умений и навыков в высшей школе осуществляется, как правило, на кафедрах специализации. Однако лабораторный практикум по оптике в курсе общей физики смог бы раньше разрешить эти проблемы, если больше внимание уделить основам кристаллооптики.

Методические основы оптических исследований

Базовым инструментом для оптических исследований анизотропных сред является поляризационный микроскоп. Он широко используется в исследовательских институтах в практике заводских лабораторий благодаря сравнительной простоте работы с ним и высокой точности получаемых результатов. Увеличительная система микроскопа позволяет наблюдать кристаллы размерами до 1–2 мкм, что весьма существенно, поскольку минералы, синтетические кристаллы и жидкие кристаллы часто обладают мелкозернистой структурой.

Наши предприятия и зарубежные фирмы выпускают большой спектр поляризационных микроскопов. В научно-исследовательской лаборатории и учебной лаборатории оптики кафедры

общей и теоретической физики физического факультета используются микроскопы торговой марки «Микромед» и ОАО «ЛОМО». Типичным примером классического поляризационного микроскопа является МИН-8. Более усовершенствованная модель микроскопа – «ПОЛАМ». Последние модели оснащены цифровыми фото- и видеокамерами.

Основными частями поляризационного микроскопа, отличающими его от обычного микроскопа, являются поляризационная система – поляризатор и анализатор, линза Бертрана и дополнительная конденсорная линза – линза Лазо.

Поляризационный микроскоп снабжен двумя поляризаторами (николами). Один – поляризатор – установлен в нижней части конденсора и снабжен шкалой с градусной мерой. Второй – анализатор – установлен между линзой Бертрана и объективом. Он снабжен поворотным рычагом и шкалой с градусной мерой. Поляризатор служит для получения пучка поляризованного света, а анализатор – для исследования (анализа) этих поляризованных лучей, прошедших через объект.

Линза Бертрана расположена под окуляром и составляет с ним дополнительный микроскоп для наблюдения изображений в фокальной плоскости объектива, например интерференционных конусообразных фигур.

Между объективом и линзой Бертрана в тубусе микроскопа сделана щель для установки компенсационных пластин или кварцевого клина, которые применяются для компенсации разности хода, возникающей в кристаллах, определения направления главных показателей преломления и оптического знака.

Известно несколько методов наблюдения, анализа и измерений кристаллов под микроскопом.

При одном поляризаторе (нике) (анализатор выключен) в параллельном свете проводят следующие исследования. Как правило, в этом случае используют малое и среднее увеличение.

- Описание внешней формы кристаллов или текстур жидких кристаллов.
- Измерение углов огранки кристаллов или форм и размеров надмолекулярных образований жидких кристаллов.
- Наблюдение цвета и плеохроизма.
- Определение оптической толщины образца кристалла.

При включенном анализаторе (никиоли скрещены) и параллельном свете проводят исследования по следующим этапам:

- Разделение образцов на изотропные и анизотропные.
- Разделение образцов на изотропные и анизотропные
- Определение силы двулучепреломления по окраске кристаллов.
- Определение оптического знака удлинения.

Коноскопические исследования оптических свойств кристаллов при скрещенных николях. Свет сходящийся. Включены линза Лазо и линза Бертрана. Используются объективы с большой апертурой.

- Определение осности кристаллов и ориентации оптических осей относительно огранки кристалла.
- Определение оптического знака.
- Измерение анизотропии показателя преломления.
- Для двусосных кристаллов измерение угла между оптическими осями.

После выполнения этих наблюдений и измерений студенты формулирует ряд выводов структурного характера: тип кристаллической решетки или симметрию упаковки молекул в ближнем порядке для мезоморфных систем, знак оптической индикатрисы, ориентацию оптической оси или осей относительно основных плоскостей кристалла или препарата ЖК.

В любом анизотропном веществе проявляются два направления колебаний, параллельных столику микроскопа. Эти направления располагаются перпендикулярно одно к другому. По отношению к свету, колеблющемуся в одном направлении, кристалл обладает относительно большим показателем преломления, а для света, колеблющегося в другом направлении, его светопреломление меньше. Компенсационные пластинки используются для определения, какой из двух показателей преломления связан с данным направлением колебаний.

Компенсационная пластинка представляет собой тонкую пластинку анизотропного кристалла и, следовательно, обладает двумя направлениями колебаний, располагающимися под прямым углом друг к другу. Эти направления обозначаются N_g и N_p , которые дают оптическую разность хода $\Delta = d(N_g - N_p)$, где d – толщина кристалла.

При введении в оптическую систему микроскопа они располагаются под углом 45° к направлениям колебаний поляризатора и анализатора. Каждая пластинка обладает собственной разностью хода. Так, кварцевая пластинка имеет разность хода 550 нм и вызывает появление в поле зрения микроскопа красной интерференционной окраски первого порядка при введении ее в оптическую систему микроскопа при скрещенных николях.

В случае, когда на пути света присутствует еще и кристалл в диагональном положении, суммарная разность хода системы изменится и возникнет новая интерференционная окраска. Лучшее явление интерференции в системе кристалл – компенсационная пластинка можно понять исходя из принципа Фермата.

Когда в системе кристалл – компенсационная пластинка родственные показатели преломления совпадают, то разность хода $d[(N_g + N_g) - (N_p + N_p)]$ увеличивается, а интерференционная окраска повышается (фиолетовый второго порядка). Когда в системе кристалл – компенсационная пластинка совмещаются не родственные показатели преломления, то разность хода $d[(N_g + N_p) - (N_p + N_g)]$, естественно полагать, меньше, чем для одной пластинки, и интерференционная окраска понижается (желтый первого порядка).

Студенты также проводят измерения видимой толщины кристалла. Наиболее простым способом определения видимой толщины образца кристалла является метод пылинок, заключающийся в попеременном наведении на резкость нижней и верхней поверхности образца. Разность отсчета по микрометрическому винту даст видимую толщину препарата. Измерив микрометром истинную толщину кристалла или толщину зазора между покровными стеклами для жидкого кристалла, можно рассчитать обыкновенный показатель преломления, показатель преломления сечения перпендикулярного оптической оси.

Методика коноскопических исследований

Наиболее интересным и информативным является исследование анизотропных объектов в сходящемся свете, наблюдение коноскопических фигур. Это позволяет «зондировать» оптическую индикатрису кристалла в разных направлениях,

определять ось индикатрисы и ее оптический знак, проводить измерения угловых величин ориентации оптической оси к плоскости препарата, а также анизотропии показателя преломления. На основе этих данных решаются и уточняются вопросы структурного характера.

Определение углового положения изохром, угла двуосности или угла наклона оптической оси к плоскости препарата (кристалла) проводится по методике Малляра. Метод основан на том, что расстояние любой точки коноскопической фигуры от ее центра пропорционально синусу угла, составляемого лучами, сходящимися в этой точке, с оптической осью микроскопа. Отсюда получаем известную формулу $\sin V = Rd$, где R – константа Малляра, d – число делений шкалы окуляр микрометра.

Для определения постоянной Малляра можно измерить d у кристалла с известным углом двуосности V . Однако нами предложен более точный метод. Угловое положение точки в поле зрения коноскопической фигуры задаем лучами рассеянными дифракционной решеткой с периодом 1/100 мм. Направление дифракционных максимумов определится известной формулой $p\sin V = m\lambda$. Используя условие $\sin V = Rd$, получим постоянную Малляра $R = m\lambda/pd$. При коноскопических наблюдениях используется монохроматический свет с длиной волны 589,3 нм. В этих условиях постоянная Малляра имеет величину $R = 0,0215$ для объектива с кратностью 20 и $R = 0,04913$ для объектива с кратностью 40.

По угловому положению изохром коноскопической интерференционной фигуры опреде-

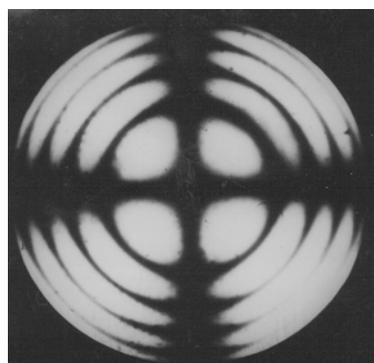
ляется величина анизотропии показателя преломления образца кристалла

$$\Delta n = \frac{m\lambda}{h} \frac{\sqrt{n_o^2 - (Rd)^2}}{(Rd)^2}.$$

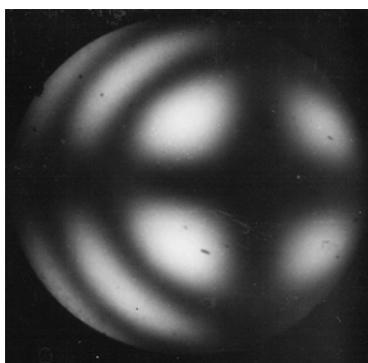
При наблюдениях двуосных кристаллов можно вычислять угол двуосности $2V$.

Если коноскопическая фигура не центрированная, то легко измерить угол наклона оптической оси к плоскости образца кристалла или препарата ЖК. Определение знака оптической индикатрисы жидкого кристалла позволяет судить о расположении каламитных или дискотических молекул относительно плоскости препарата или оптических осей. Для подобных исследований используют компенсационные пластинки или кварцевый клин. При введении кварцевой красной пластинки первого порядка повышение окраски вдоль N_g даст положительный оптический знак кристалла ($N_e > N_o$), понижение интерференционной окраски – отрицательный оптический знак ($N_e < N_o$), при использовании кварцевого клина – наблюдать за движением изохром. Встречное движение характерно для оптически положительного кристалла, попутное движение – для оптически отрицательного кристалла.

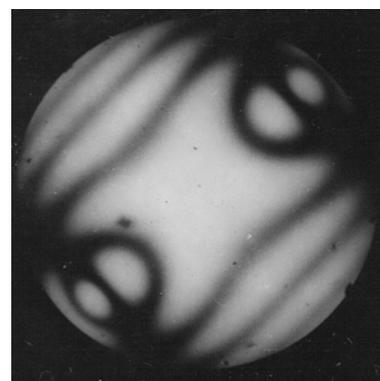
Объектами исследования для студентов предложены такие кристаллические вещества, как исландский шпат (одноосный, оптически отрицательный кристалл) и мусковит (двуосный, оптически отрицательный кристалл). Применение жидких кристаллов при коноскопических наблюдениях позволяет проследить весь процесс структурных превращений при фазовых переходах.



а



б



в

Коноскопические фигуры при различных температурах:

а – одноосная смектическая фаза при охлаждении жидкого кристалла,

б – одноосная наклонная смектическая фаза при охлаждении жидкого кристалла,

в – двуосная жидкокристаллическая фаза

Нами использовался жидкий кристалл 4-бутоксифенилиден-4'-гептиланилин, имеющий шесть фазовых состояний от изотропной жидкости до твердого кристалла в температурном интервале 84–20 °С (рис.). При охлаждении жидкого кристалла от 56 °С до комнатной температуры он претерпевает три смектических структурных перехода: одноосная смектическая фаза (рис. а), одноосная наклонная смектическая фаза (рис. б) и двуосная жидкокристаллическая фаза (рис. в). На рисунках представлены коноскопические фигуры при различных температурах. Жидкий кристалл при охлаждении из изотропного расплава ориентируется спонтанно свободной поверхностью и дает хороший образец жидкого монокристалла для оптических исследований.

Список литературы / References

1. Меланхолин Н. М. Методы исследования оптических свойств кристаллов : пер. с англ. С. С. Чекина. М. : Наука, 1970. 192 с. [Melankholin N. M. Metody issledovaniya opticheskikh svoystv kristallov (Methods of investigation of the optical properties of crystals) : trans. from engl. S. S. Chekina. Moscow : Nauka, 1970. 192 с. (in Russian)].
2. Стойбер Р., Морзе С. Определение кристаллов под микроскопом. М. : Мир, 1974. 281 с. [Stoyber R., Morze S. Opredelenie kristallov pod mikroskopom (Determination of crystals under a microscope). Moscow, Mir, 1974. 281 с. (in Russian)].

Поступила в редакцию 27.04.2015 г.