

ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ И КОЛЬЦА НЬЮТОНА *)

Так называемые жидкие кристаллы принадлежат к числу органических соединений, обладающих упорядоченной структурой как в твердом, так и в жидком состояниях. Переходы между кристаллическими фазами и между кристаллической и изотропной жидкостью происходят при вполне определенных температурах. Цель настоящей заметки состоит в том, чтобы обратить внимание на удобство использования таких веществ в качестве объектов изучения в лабораторном практикуме для студентов старших курсов. Это открывает интересные возможности для наблюдения двойного лучепреломления и поляризационных свойств света. Разумеется, существует также и множество других способов использования необычных свойств этих веществ. В последнее время интерес к ним возродился в первую очередь потому, что оказалось возможным использовать их для измерения температуры и в качестве растворителей при изучении ядерного и электронного парамагнитного резонанса. Сводка результатов прежних исследований содержится в монографии Грэй¹ и в трудах последней конференции, изданных Брауном, Дайнсом и Лэйбзом².

Двойное преломление в этих веществах легко обнаружить и измерить посредством наблюдения колец Ньютона. Чтобы получить четкие кольца в проходящем свете, линзу и плоскопараллельную пластинку следует частично посеребрить. Изучаемое вещество, которое обычно берется в виде порошка, помещается на плоскопараллельную пластинку и плавится. Затем линза, нагретая предварительно до определенной температуры, устанавливается на этой пластинке и все вместе помещается в алюминиевый ящик, оборудованный стеклянными окнами, которые должны быть расположены над и под линзой. Поддержание внутри ящика необходимой температуры обеспечивается специальной нагревательной спиралью. Эта температура измеряется с помощью термистора, который находится в контакте с плоскопараллельной пластинкой. Линза находится под некоторым давлением, которое производится пружинками, укрепленными на крышке. Это позволяет достигнуть механической стабильности после нескольких циклов нагрева и охлаждения. На рис. 1 показан внутренний вид ящика (крышка снята). Прибор устанавливается горизонтально и освещается снизу монохроматизированным светом ртутной дуги. Диаметры колец измеряются с помощью компаратора. Показатель преломления, связанный с определенной последовательностью колец, выражается через диаметры каких-либо двух колец из этой последовательности соотношением

$$n = 4\lambda Rm / (D_{n+m}^2 - D_n^2), \quad (1)$$

где n и m — целые числа, соответствующие выбранным кольцам, а R — радиус линзы, который определяется с максимальной возможной точностью заранее путем измерений, производимых с линзой и плоскопараллельной пластинкой, разделенными воздушным зазором.

Поскольку жидкие кристаллы являются двоякопреломляющими, кольца оказываются двойными с взаимно ортогональной поляризацией. Последовательность колец с определенной поляризацией можно выделить, установив на пути света соответствующим образом ориентированный поляризатор. Домены в кристалле легко обнаружить, анализируя поляризацию и расположение колец. На рис. 2 представлен ряд характерных фотографий колец Ньютона.

Двойное лучепреломление и его зависимость от температуры легко поддаются измерению с хорошей точностью. В поле зрения попадает большее число колец из той последовательности, которая соответствует большему показателю преломления, чем из той, для которой показатель преломления меньше. Это приводит к тому, что при определенных значениях радиуса кольца из этих двух последовательностей совпадают и возникает нечто похожее на биения. Типичный пример такой картины показан на рис. 2, а.

Очевидно, что число таких совпадений зависит от величины двойного лучепреломления Δn . Назовем последовательность полос, соответствующую большему

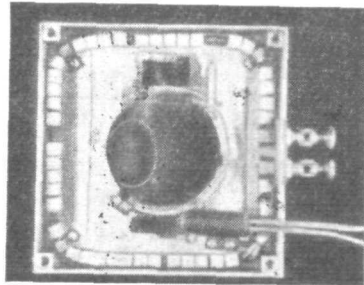


Рис. 1. Фотография термостата для наблюдения колец Ньютона (крышка снята).

*) Myron A. Jeppesen, William T. Hughes, *Liquid Crystals and Newton's Rings*, Amer. J. Phys. 38, 199 (1970). Перевод И. И. Ройзена.

показателю преломления n_S , медленными полосами, а соответствующую меньшему показателю преломления n_F — быстрыми полосами. Тогда, если между двумя соседними совпадениями уместится p медленных полос и q быстрых, $p = q + 1$, то $n_S/n_F = p/q$. Обозначив $n_S = n_F + \Delta n$, получаем

$$\Delta n = n_F/q = n_S/p. \quad (2)$$

Таким образом, если вычислены показатели преломления n_S и n_F при некоторых значениях температуры, то величина Δn при любой температуре оценивается с разумной точностью непосредственно путем простого подсчета числа колец между совпадениями. Если нужна большая точность, то величину Δn следует вычислять, измеряя диаметры двух совпадающих колец, между которыми уже имеется несколько таких же совпадений. Обозначив число последних через k , а диаметры колец, измеряемые для определения Δn , через D_n и D_{n+k} , получим

$$\Delta n = 4\lambda Rk / (D_{n+k}^2 - D_n^2). \quad (3)$$

Отметим, что для использования формулы (3) нет необходимости подсчитывать общее число колец, расположенных между рассматриваемыми совпадениями.

В качестве примера получаемых таким путем результатов мы приводим в таблице показатели преломления для жидкого кристалла 4-4'-дигексоксиазоксибензола³, вычисленные по диаметрам колец в соответствии с формулой (1), и для сравнения величину Δn , полученную путем анализа совпадений и использования формулы (2). В таблице указаны также наблюдавшиеся температуры перехода. Особенно интерес представляет фазовый переход между кристаллической и изотропной жидкостью при температуре 185 °С. Тщательно

Рис. 2. Фотографии типичной картины ньютоновских колец, получаемых от вещества, расположенного между линзой и плоскопараллельной пластинкой. В качестве последнего использовался 4-4'-дигексоксиазоксибензол в жидкой (а—в) и твердой (г) фазах; д) твердая фаза диэтилового р,р'-азоксибензоата; е) твердая фаза 4-4'-диметоксиазоксибензола.

контролируя температуру, можно поддерживать в жидкости почти стационарную резкую границу между этими двумя фазами. Это видно из фотографии, приведенной на рис. 2, б. Незначительное перекрытие двойных и одинарных полос обусловлено

Результаты измерений в 4-4'-дигексоксиазоксибензоле

Фазовый переход Температура	Твердый кристалл ↔ жидкий кристалл 104 °С		Жидкий кристалл ↔ изотропная жидкость 185 °С	
	Температура	25 °С	80 °С	180 °С
n_S	2,016	1,905	1,867	1,501
n_F	1,625	1,598	1,731	1,501
$n_S - n_F$	0,391	0,307	0,136	0
Δn , полученная из совпадения колец	0,40	0,31	0,17	0

небольшими колебаниями температуры в течение времени экспозиции. Изменение двойного лучепреломления в зависимости от температуры и скачок при температуре перехода из кристаллической жидкости в изотропную представлены на рис. 3.

Если падающий свет обладает круговой поляризацией, то, поместив между поляризатором и кристаллом четвертьволновую пластинку, можно создать разность фаз, равную $\pi/2$, между компонентами света, образующими две последовательности колец Ньютона. В каждой из этих последовательностей соседним кольцам соответствует равная $\lambda/2$ разность оптических путей, проходимых светом в кристалле. При первом

совпадении сдвиг фазы в медленных кольцах превосходит сдвиг фазы в быстрых кольцах на π , в результате чего снова возникает поляризация по кругу, но только противоположная той, которая была вначале. При втором совпадении разность фаз между световыми колебаниями, формирующими две последовательности колец, составляет уже 2π , что приводит к круговой поляризации, которая идентична поляризации падающего света. Таким образом, два соседних совпадения всегда будут характеризоваться противоположным направлением вращения вектора поляризации. Последовательность совпадений с определенным направлением вращения можно выделить, если смотреть на кольца через четвертьволновую пластинку, за которой установлен анализатор с осью пропускания, направленной под углом $\pi/4$ к оси пластинки. Интересным упражнением для студентов может быть задача определения относительной ориентации поляризационных приборов, необходимой для выделения четных и нечетных совпадений.

Описанная техника упрощает измерения, необходимые для определения величины Δn по формуле (3), особенно в том случае, когда кольца образуются с помощью линзы с малым радиусом кривизны. Подобная ситуация может реализоваться, если в ходе эксперимента желательнее варьировать в широких пределах толщину кристалла.

Влияние электрического поля на структуру жидкого кристалла можно проследить, создав между линзой и плоскопараллельной пластинкой разность потенциалов. Для подключения к ним электропроводки удобно использовать проводящую серебряную пасту. В вершине линзы существует сравнительно хороший электрический контакт (1—2 ом) между ней и плоскопараллельной пластинкой, так что влияние поля будет смазываться эффектом нагревания джоулевым теплом. Помехи, обусловленные нагревом, можно уменьшить, увеличивая ток настолько, чтобы большая часть посеребренной пленки вблизи вершины линзы прогорела. После этого в картине ньютоновских колец будут наблюдаться значительные изменения, как только между поверхностями возникнет небольшая разность потенциалов.

Среди множества других возможностей мы можем отметить изучение поляризации света, прошедшего сквозь тонкие пленки жидких кристаллов и отраженного от них, а также изучение коэффициента отражения при различных углах падения и цветовых эффектов при различных температурах. Каждый, кто изучает свойства этих интересных веществ, обнаружит еще много исследований, которые удобно использовать в качестве лабораторных работ для студентов.

М. Джеппесен, У. Хьюа

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. G. W. Gray, *Molecular Structure and the Properties of Liquid Crystals*, Academic Press Ltd., London, 1962.
2. *Liquid Crystals* (G. H. Brown, G. T. Dienes, M. M. Labes, Eds.), Gordon and Breach, New York, 1967.
3. Supplied by Frinton Laboratories, South Vineland, N.J.

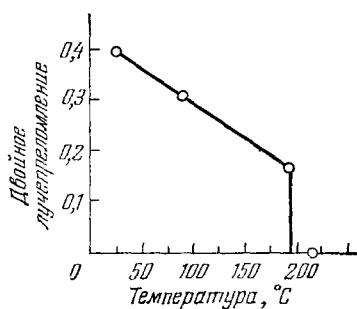


Рис. 3. Зависимость двойного лучепреломления 4-4'-дигексоксиназоксисбензола от температуры.