

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В НЕМАТИЧЕСКОМ ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ CO_2 -ЛАЗЕРА

Б.И.Лев, В.И.Мартыненко, О.Г.Сарбей, А.С.Сибашвили, Е.К.Фролова

Описаны условия наблюдения периодического фазового перехода в нематическом жидком кристалле при непрерывной CO_2 -лазерной подсветке. Дана качественная интерпретация явления и сделаны оценки времени перехода из одного агрегатного состояния в другое.

При изучении влияния лазерного излучения с длиной волны $\sim 10,6$ мк на нематический жидкий кристалл (НЖК) с целью исследования его нелинейного отклика мы наблюдали интересное явление периодического фазового перехода. В последнее время фазовые переходы в неравновесных системах являются предметом усиленных исследований¹, поэтому представляется целесообразным описать условия и дать качественную интерпретацию наблюдавшегося нами явления.

Изменения, происходящие в НЖК при непрерывном воздействии на него ИК-излучения CO_2 -лазера, фиксировались по изменению двулучепреломления с помощью интерференционной методики на длине волны зондирующего света (лампочка накаливания). Для этого НЖК-ячейка располагалась между скрещенными поляризаторами в оптической схеме, приведенной на рис. 1, таким образом, чтобы директор составлял угол 45° с направлением пропускания поляризаторов. В этом случае, как известно, интенсивность прошедшего через НЖК света есть результат интерференции обыкновенного и необыкновенного лучей и зависит как от длины волны зондирующего света, так и от температуры образца. Подбиралась такая длина волны, чтобы начальная интенсивность прошедшего зондирующего света до включения ИК-лазера была минимальной. После включения ИК-подсветки (порядка десятка Вт/см^2) наблюдалось просветление НЖК для зондирующего света.

Исследуемые образцы представляли собой ячейки толщиной 50 – 100 мк, изготовленные из монокристаллов КВч, сколотых по плоскости спайности, так что планарная ориентация директора НЖК задавалась направлением оси легкого ориентирования подложки². В качестве НЖК использовался 4-циан-4'-n-пентилдифенил (Д-205).

Типичные результаты показаны на рис. 2. Видно, что при непрерывной ИК-подсветке про- светление носит периодический характер с очень медленно возрастающим периодом. Специ- альные исследования показали, что минимальное пропускание соответствует изотропному, а максимальное — жидкокристаллическому состоянию вещества. Наблюдаемая в жидкокри- сталлическом состоянии структура обусловлена температурным изменением интерференцион- ной прозрачности из-за сильной зависимости двулучепреломления от температуры вблизи точки фазового перехода. Это свидетельствует о том, что под воздействием неизменной во времени ИК-подсветки периодически изменяется температура в области зондирующего луча.

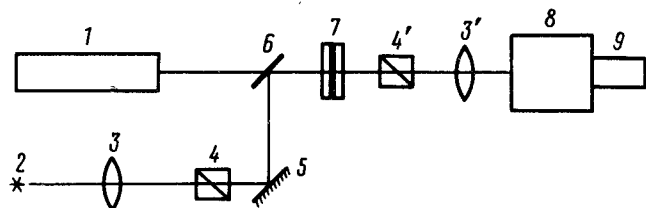


Рис. 1. Оптическая схема установки: 1 — CO₂-лазер, 2 — лампочка накали- вания, 3, 3' — линзы, 4, 4' — поля- ризаторы, 5 — зеркало, 6 — полупро- зрачное зеркало GaAs, 7 — образец, 8 — монохроматор, 9 — ФЭУ

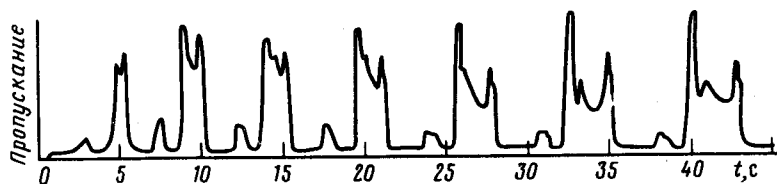


Рис. 2. Изменение пропускания со временем для зонди- рующего света при непрерыв- ной ИК-подсветке

При объяснении наблюдаемого периодического фазового перехода в НЖК необходимо учитывать нагрев системы из-за поглощения ИК-излучения НЖК и охлаждение за счет отвода тепла в подложку из области прохождения ИК-пучка через НЖК. Исследование ИК-спектра поглощения в области генерации CO₂-лазера показало, что везде коэффициент поглощения для света, поляризованного вдоль оптической оси жидкого кристалла, больше, чем для све- та, поляризованного перпендикулярно оптической оси; в изотропном состоянии коэффици- ент поглощения имеет промежуточное значение. Поэтому при переходе в изотропное состоя- ние за счет нагрева при поглощении света с поляризацией вдоль директора, коэффициент по- глощения уменьшается. Если при этом поглощение таково, что стационарное состояние соот- ветствует температуре ниже фазового перехода, то НЖК будет охлаждаться, вообще говоря, до температуры фазового перехода. Однако поскольку это переход первого рода близкий ко второму, то охлаждение происходит до температуры несколько ниже температуры фазо- вого перехода. В жидкокристаллической фазе коэффициент поглощения увеличивается, уве- личивается количество выделяемого тепла и система начинает нагреваться до изотропного состояния и т.д.

Для количественных оценок необходимо рассмотреть уравнение теплопроводности

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial R^2} - \frac{h}{d} (T - T_0) + Q(T, S) \quad (1)$$

совместно с уравнением релаксации параметра порядка

$$\gamma \frac{\partial S_{\alpha\beta}}{\partial t} = - \frac{\delta F}{\delta S_{\alpha\beta}} \quad (2)$$

Здесь ρ , C , κ , h , γ — плотность, теплоемкость, теплопроводность, коэффициент теплопереда- чи в подложку, вязкость НЖК соответственно. Плотность свободной энергии НЖК F можно записать³ через инварианты, построенные на тензорном параметре порядка $S_{\alpha\beta} = S(R) \times$

$$\times (n_\alpha n_\beta - \frac{1}{3} \delta_{\alpha\beta})$$

$$F = \frac{1}{2} \{ L(\nabla S_{\alpha\beta})^2 + a S_{\alpha\beta}^2 + b S_{\alpha\beta}^3 + C S_{\alpha\beta}^4 \}, \quad (3)$$

где $a = a_1(T - T_c)$, $b < 0$, $C > 0$, а однородная часть плотности свободной энергии описывает фазовый переход первого рода близкий ко второму из изотропного состояния в жидкокристаллическое при температуре $a(T_{1N}) = b^2/4C$ с соответствующим скачком параметра порядка $S(T_{1N}) = -b/2C$. Предполагая, что тепло, выделяемое в образце $Q(T, S)$, в зависимости от поглощаемой энергии и характеристик состояния вещества можно представить в виде

$$Q(T, S) = Q_0 \theta(T_{1N} - T) + Q_1, \quad (4)$$

где $\theta(T_{1N} - T) = 1$ при $T_{1N} > T$ и $\theta(T_{1N} - T) = 0$ при $T_{1N} < T$.

В пренебрежении эффектами теплопроводности внутри образца, когда установление температуры определяется, в основном, теплоотводом в подложку можно оценить время перехода НЖК в изотропную жидкость в области $R < R_0$ из:

$$\tau_1 = \frac{d \rho C}{h} \ln \frac{Q}{Q - \frac{\dot{h}}{d} (T_c - T_0)}. \quad (5)$$

Время релаксации параметра порядка можно определить по скорости схлопывания локализованной неоднородности R_0 со значением параметра порядка $S = 0$ к значению отличного от нуля параметра порядка жидкого кристалла из динамики квазистационарной волны переключения⁴

$$\tau_2 = R_0 \gamma / 2 \sqrt{L a}. \quad (6)$$

Для параметров, соответствующих условиям эксперимента³

$$h \cong 2 \cdot 10^5 \text{ эрг/см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{град}, \quad C = 4,3 \cdot 10^7 \text{ эрг/г} \cdot \text{рад}, \quad \gamma = 0,2 \text{ пз}$$

$$T_c = 34^\circ \text{C}, \quad T_0 = 24^\circ \text{C}, \quad R_0 = 0,3 \text{ см}, \quad d \sim 10^{-2} \text{ см}$$

$$(L a)^{1/2} \sim 1 - 10^{-2} \text{ ед. СГС}, \quad Q \sim 5 \cdot 10^9 \text{ эрг/см}^3 \cdot \text{с}$$

оценки дают реальные значения $\tau_1 \sim 2$ с и $\tau_2 \sim 0,1 - 10$ с.

В заключение хотелось бы отметить, что явление периодического фазового перехода, как пример своеобразной синергетической системы, можно использовать для широкого круга исследований как в вопросах нелинейного воздействия электромагнитного излучения на такую "мягкую" систему, как жидкий кристалл, так и для выяснения природы неравновесных состояний.

Литература

1. Хакен Х. Синергетика. М.: Мир, 1986.
2. Frolova E.K., Sarbey O.G., Sybashvily A.S. Mol. Cryst. and Liq. Cryst., 1984, 104, 111.
3. Аракелян С.М., Чилингарян Ю.С. Нелинейная оптика жидких кристаллов. М.: Наука, 1984.
4. Гуревич А.Вл., Минц Р.Г. УФН, 1984, 142, 1, 61.