

УДК 535.36

РАССЕЯНИЕ СВЕТА ПРИ ИНДУЦИРОВАННОЙ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ПОРОГОВОЙ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ В НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ

С. М. АРАКЕЛЯН, Л. Е. АРУШАНЯН, Ю. С. ЧИЛИНГАРЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 10 июня 1986 г.)

Экспериментально исследовано рассеяние света в направлении падающего пучка в нематическом жидком кристалле в присутствии статического магнитного поля, приводящего к пороговой переориентации. Получен максимум рассеянного света на пороге возбуждения поперечных флуктуаций. Рассмотрены флуктуации в нематическом жидком кристалле во внешнем поле в рамках аналогии с моделью нелинейного осциллятора, приводящей к оптической бистабильности.

1. Цель настоящей работы — исследование рассеяния света при пороговой переориентации директора $\mathbf{n}$, во внешнем магнитном поле $\mathbf{H}$ (переход Фредерикса) для нематического жидкого кристалла (НЖК) 4-метоксибензилиден-4'-бутиланилин (МББА) в нематической фазе в эксперименте по рассеянию высококогерентного лазерного излучения ($\lambda = 0,633$ мкм) на нулевой угол (использовалась техника гетеродинамирования [1]).

Поскольку такая переориентация является индуцированным полем фазовым переходом (ФП) только для поперечных флуктуаций директора [2], то были рассмотрены такие условия эксперимента, при которых рассеяние света определялось этим типом флуктуаций [3].

2. В эксперименте использовались ячейки с МББА толщиной $d = 360$ мкм для гомеотропной и $d = 160$ мкм для планарной исходных ориентаций при $T = 26^\circ \text{C}$, которые помещались в промежуток между торцами двух постоянных магнитов. Плавное изменение величины этого промежутка позволяло получать в условиях эксперимента значения H в диапазоне 0,1—2,0 кЭ. Пороговые значения поля при переходе Фредерикса $\mathbf{n}_0 \perp \mathbf{H}$: $H_{\text{пор}} \sim 240$ Э — для гомеотропной ячейки, $H_{\text{пор}} \sim 400$ Э — для планарной ячейки.

Два основных экспериментальных результата приведены на рис. 1, 2. Для геометрии рис. 1 имеется резкий пик $I_{\text{рас}}$ при $H = H_{\text{пор}}$. Для геометрии рис. 2 $I_{\text{рас}}$ проявляет гистерезис при поочередном возрастании и убывании H вблизи $H_{\text{пор}}$ ($H_{\text{пор}} \leq H \leq 4H_{\text{пор}}$). Отметим также, что в этой геометрии при $H \geq 4H_{\text{пор}}$ зависимость $I_{\text{рас}}$ от H была близка к линейной, а в области еще более сильных полей ($H > 7H_{\text{пор}}$) наблюдалось заметное уменьшение $I_{\text{рас}}$.

3. При рассеянии света в условиях пороговой переориентации НЖК необходимо принять во внимание влияние следующих факторов. Во-первых, наиболее интересного, физического, — переход Фредерикса является индуцированным полем фазовым переходом, поэтому порог переориента-

ции соответствует критической области развития поперечных флуктуаций. Во-вторых, геометрических, связанных с изменением угла падения и поляризации света из-за переориентации директора. В-третьих, стабилизирующего действия на флуктуации НЖК внешнего поля.

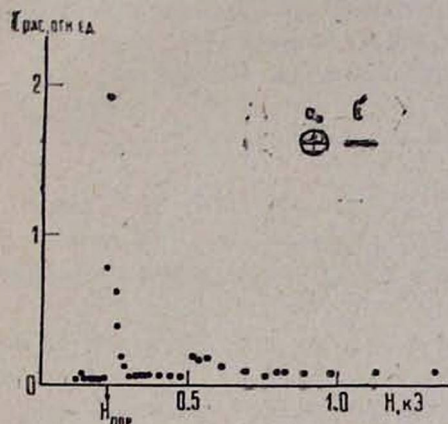


Рис. 1.

Рис. 1. Зависимость $I_{\text{рас}}$ от H в скрещенных поляризаторах. Показана начальная геометрия (гомеотропная ячейка) в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения света ($H \parallel E$); стрелкой отмечено значение $H_{\text{пор}}$; E, E' — направления поляризаций соответственно падающей и рассеянной волн.

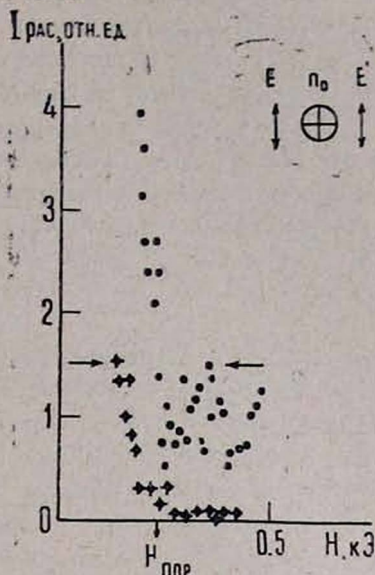


Рис. 2.

Рис. 2. Зависимость $I_{\text{рас}}$ от H вблизи $H_{\text{пор}}$ при возрастании (+) и убывании (•) (показано стрелками); данные соответствуют эксперименту на разных плакарных ячейках в параллельных поляризаторах.

Полученные нами данные были проанализированы с точки зрения всех этих факторов и получено качественное согласие теории с экспериментом. Остановимся для краткости только на первом из них.

Качественно картина рассеяния выглядит следующим образом. В геометрии порогового перехода Фредерикса ($n_0 \perp H$) для $H < H_{\text{пор}}$ поле дестабилизирует флуктуации директора (имеющие компоненту вдоль H) и рассеяние увеличивается по сравнению со случаем $H=0$: $I_{\text{рас}} \sim [K_1 q^2 - \chi_a H^2]^{-1}$, где K_1 — модуль упругости НЖК, q — вектор рассеяния, χ_a — анизотропия магнитной восприимчивости НЖК [4]. Для $H > H_{\text{пор}}$ поле, напротив, стабилизирует флуктуации: $I_{\text{рас}} \sim [K_1 q^2 + \chi_a H^2]^{-1}$. Для $H \gg H_{\text{пор}}$, когда переориентация близка к насыщению ($n_0 \parallel H$), $I_{\text{рас}}$ может заметно уменьшиться [5]. Для типичных НЖК ($K_1 \sim 10^{-7}$, $\chi_a \sim 10^{-7}$ СГС) при $q \sim 10^3 \text{ см}^{-1}$ эти эффекты проявляются в полях $H \gtrsim 10^3 \text{ Э}$, которые соответствуют нашему эксперименту.

Таким образом, при увеличении H от $H=0$ до $H > H_{\text{пр}}$ на пороге переориентации $I_{\text{рас}}$ имеет максимум, который и был зарегистрирован нами (рис. 1). Он может быть получен в теории обычными методами термодинамики [4]. Однако при таком подходе не затрагиваются некоторые

принципиальные характеристики индуцированного полем ФП. — в частности, возможность гистерезиса при поочередном увеличении и уменьшении H .

Поэтому рассмотрение пороговой переориентации НЖК с учетом флуктуаций директора можно провести в более общем виде, характерном для классических нелинейных систем, обладающих оптически бистабильными (гистерезисными) характеристиками.

Нетрудно видеть, что уравнение для пороговой переориентации НЖК в поле H [5] можно обобщить с учетом флуктуаций. Для этого необходимо ввести в правую часть уравнения случайную «силу» $\hat{f}(t)$, т. е. рассмотреть развитие тепловых флуктуаций директора в присутствии поля H :

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + \alpha \frac{\partial \theta}{\partial t} + R_0 \theta + \beta \theta^3 = f(t),$$

где θ — угол переориентации, $\alpha = \gamma/J$, $R_0 = [K_1(\pi/d)^2 - \chi_a H^2]/J$, $\beta = 2\chi_a H^2/(3J)$, J — момент инерции для директора, нормированный на единицу объема (динамика НЖК при учете $J \neq 0$ недавно исследовалась в [6]), γ — вязкость.

Анализ этого уравнения по аналогии с уравнением, описывающим колебания ангармонического (нелинейного) осциллятора [7], также приводит к выводу, что на пороге возбуждения поперечных флуктуаций должен возникать максимум интенсивности рассеяния, который и наблюдался нами. Этот анализ, кроме того, позволяет выявить принципиальную возможность ряда новых для НЖК во внешнем поле режимов, в частности, наличие гистерезиса (рис. 2). Обсуждение всех этих режимов будет опубликовано отдельно. Здесь же мы хотим обосновать необходимость учета макроскопической величины J в уравнении (1). Простая оценка дает для J значение порядка $10^{-4} - 10^{-6}$ СГС. Это может быть проверено экспериментально в геометрии, когда к НЖК приложены одновременно поле H ($H \perp p_0$) и световое поле E , модулированное по времени с низкой частотой, соответствующей времени релаксации НЖК ($E \perp p_0 = 45, 135^\circ$). Наличие $J \neq 0$ приводит к резонансной зависимости, например для θ как функции от H .

ЛИТЕРАТУРА

1. Аракелян С. М., Пахалов В. Б., Чиркин А. С. Оптика и спектроскопия, 40, 1055 (1976).
2. Стратонович Р. А. ЖЭТФ, 70, 1290 (1976).
Покровский В. А., Кац Е. И. ЖЭТФ, 73, 774 (1977).
Вальков А. Ю., Романов В. П. ЖЭТФ, 83, 1777 (1982).
3. Аракелян С. М., Арушанян Л. Е., Чилингарян Ю. С. ЖЭТФ, 80, 1186 (1981).
4. Pieranski P., Brochard F., Guyon E. J. de Phys., 31, 35 (1973).
5. Де Жен П. Физика жидких кристаллов. Изд. Мир, М., 1977.
6. Голо В. А., Кац Е. И., Леман А. А. ЖЭТФ, 86, 147 (1984).
Голо В. А., Кац Е. И. ЖЭТФ, 87, 1700 (1984).
7. Кляцкин В. И. Статистическое описание динамических систем с флуктуирующими параметрами. Изд. Наука, М., 1975.

ԼՈՒՅՍԻ ՑՐՈՒՄԸ ՆԵՄԱՏԻԿ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ ՄԱԳՆԵՏԱԿԱՆ
ԴԱՇՏԻ ԻՆԴՈՒԿՑՎԱԾ ՇԵՄԱՅԻՆ ՎԵՐԱԿՈՂՄՆՈՐՈՇՄԱՆ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՄԲ

Ս. Մ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ, Լ. Ե. ԱՌՈՒՇԱՆՅԱՆ, ՅՈՒ. Ս. ՉԻԼԻՆԳԱՐՅԱՆ

Փորձարարական եղանակով հետազոտված է ընկնող փնջի ուղղությամբ լույսի ցրումը նեմատիկ հեղուկ բյուրեղում (ՆՀԲ) շեմային վերակողմնորոշում առաջացնող ստատիկ մագնիսական դաշտի առկայությամբ։ Ստացված է ցրված լույսի մաքսիմումը լայնական ֆլուկտուացիաների գրգռման շեմում։ Արտաքին դաշտում գտնվող ՆՀԲ ֆլուկտուացիաները դիտարկված են ոչ գծային օսցիլյատորի մոդելի նմանարկության շրջանակներում, որը հնարավորություն է ընձեռնում բացատրել օպտիկական երկկայունության երևույթը ՆՀԲ-ում։

MAGNETIC FIELD INDUCED THRESHOLD REORIENTATION IN NEMATIC LIQUID CRYSTAL AND THE SCATTERING OF LIGHT

S. M. ARAKELYAN, L. E. ARUSHANYAN, YU. S. CHILINGARYAN

The scattering of light at zero angle in a nematic liquid crystal (NLC) has been investigated in the presence of static magnetic field inducing the threshold reorientation. The maximum of scattered light at the threshold excitation of transverse fluctuations of the NLC was obtained. The model of nonlinear (anharmonic) oscillator was used for the analysis of experimental data.