

УДК 532.783

НАБЛЮДЕНИЕ ЭФФЕКТА СВЕТОИНДУЦИРОВАННОЙ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ В ПОЛЕ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ: ЭФФЕКТЫ, СВЯЗАННЫЕ С НАКОПЛЕНИЕМ НЕЛИНЕЙНОСТИ

Р.Б. АЛАВЕРДЯН, А.А. КИРАКОСЯН, С.Ц. НЕРСИСЯН,
Э.А. САНТРОСЯН, А.Д. ЧИЛИНГАРЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 18 мая 2005 г.)

Проведено экспериментальное исследование светоиндуцированного перехода Фредерикса в гомеотропно ориентированном слое НЖК-5ЦБ в поле импульсов лазерного излучения. Впервые экспериментально исследована динамика наблюдаемого явления в широкой низкочастотной ($1 \div 2 \cdot 10^3$ Гц) области следования импульсов.

1. Введение

Ориентационная оптическая нелинейность нематических жидких кристаллов (НЖК) позволяет наблюдать эффекты самомодуляции и неустойчивые во времени режимы для непрерывного лазерного излучения в различных геометриях эксперимента с двумя (или несколькими) волнами, распространяющимися внутри среды [1]. Физика этих явлений определяется конкуренцией и энергообменом между волнами с различными поляризациями, которые в процессе распространения индуцируют объемную решетку анизотропии – неоднородную (по толщине образца, т.е. вдоль оси z) ориентацию локального направления оптической оси n (директора) НЖК. Такие неадиабатические деформации по сути являются одномерными по z . Поперечные неустойчивости (в плоскости, перпендикулярной z), возникающие здесь для лазерного пучка, появление характерной кольцевой картины для выходящего излучения являются прямым следствием отмеченной конкуренции волн. Это явление – пространственный аналог эффекта спектрального уширения.

В первых же работах по ориентационной оптической нелинейности НЖК было обращено внимание на характерную нестационарность процессов переориентации молекул НЖК [2]. В частности, подчеркнута роль неадиабатических деформаций в ЖК с характерным временем отклика среды на внешнее поле порядка нескольких микросекунд; также отмечалось важное значение эффектов накопления, позволяющих проводить эксперименты в

поле коротких (наносекундных) лазерных импульсов (см., например, [2]). Однако интересны и намного более быстрые ориентационные процессы в поле излучения лазера, приводящие к изменению параметра порядка НЖК, а также отклики отдельных молекул или их частей на короткий лазерный импульс. В частности, было замечено, что при превышении пороговой интенсивности падающего излучения ($I > I_{\text{пор}}$), переориентация начинается лишь спустя некоторое время τ^* после начала облучения. Затем идет установление стационарной картины с характерным временем включения $\tau_{\text{вкл}}$ (τ^* и $\tau_{\text{вкл}}$ зависят от интенсивности излучения). Физическая причина наличия характерного времени τ^* связана с тем, что при пороговом переходе Фредерикса в начальный момент вследствие некоторой неопределенности в локальной переориентации директора становятся возможными два состояния переориентации. Также отмечалось важное значение эффектов накопления, позволяющих проводить эксперименты в поле коротких (наносекундных) лазерных импульсов.

Сравнительно недавно появились работы, в которых предлагается исследовать короткие лазерные импульсы с помощью самодифракции в НЖК [3]. Для измерения плотности энергии и длительности ультракороткого некогерентного лазерного импульса в [4] предлагается использовать эффект накопления нелинейных свойств НЖК в поле двух взаимоконкурирующих волн. В связи с этим, как с фундаментальной, так и с практической точки зрения является актуальным изучение ориентационной оптической нелинейности НЖК в поле лазерных импульсов. Хотя есть несколько работ, в которых исследована переориентация директора НЖК в поле наносекундных [5], пикосекундных [6] и фемтосекундных [7] лазерных импульсов, однако эти исследования проведены при определенных значениях длительности и частоты следования импульсов.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования светоиндуцированного перехода Фредерикса в гомеотропно ориентированном слое НЖК-5ЦБ в поле импульсов лазерного излучения. Впервые экспериментально исследована динамика наблюдаемого явления в широкой низкочастотной ($1 \div 2 \cdot 10^3$ Гц) области следования импульсов.

2. Эксперимент

В эксперименте линейно-поляризованное амплитудно-модулированное излучение второй гармоники CW Nd:YAG лазера типа ANTARES 76-S с длиной волны $\lambda = 0,53$ мкм фокусировалось линзой с $F = 5$ см в ячейку с гомеотропно ориентированным НЖК-5ЦБ (рис.1). Это вещество, находящееся в нематической фазе при комнатной температуре, отличается большой стабильностью и сравнительно малым коэффициентом поглощения оптического излучения видимого диапазона, что позволяет избежать нежелательных тепловых эффектов. Для уменьшения влияния гидродинамических и гравита-

ционных потоков ячейка располагалась горизонтально. Лазер генерировал импульсы длительностью $\tau_d = 70$ пс, частота следования импульсов 70 МГц. Аберрационные кольца самофокусировки наблюдались с помощью CCD-камеры на дисплее компьютера. Для исследования процессов релаксации было использовано излучение слабого He-Ne лазера ($\lambda = 0,63$ мкм). В эксперименте использовалась ячейка типа «сэндвич», изготовленная из пластин оптического стекла. Для получения гомеотропной ориентации подложки, после тщательной очистки их поверхностей, обрабатывались лецитином. Направление директора, совпадающее с оптической осью ЖК, определялось коноскопическим методом.

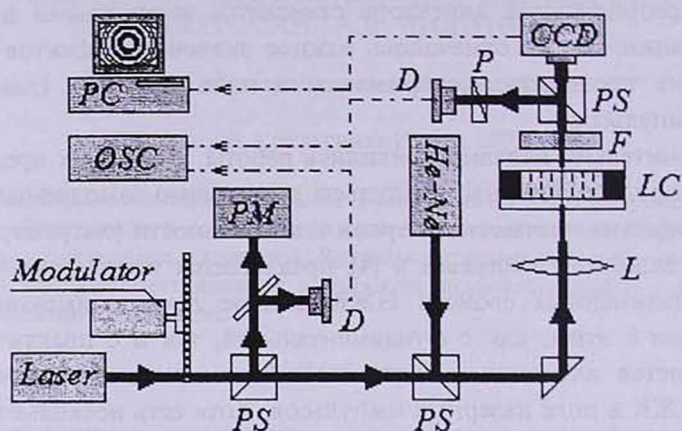


Рис.1. Схема экспериментальной установки. LC – ячейка с НЖК-5 ЦБ, PM – измеритель мощности, D – фотодиод, CCD – камера, OSC – осциллограф, PC – персональный компьютер, F – фильтр.

Благодаря «гигантским» величинам нелинейных изменений макроскопических характеристик среды, эксперимент отличается простотой и не требует сложных регистрирующих устройств без ущерба точности измерений.

Методика эксперимента основана на стандартных поляризационных измерениях, когда возникающие искажения НЖК-структуры приводят к фазовому набегу между компонентами с обыкновенной и необыкновенной поляризациями для проходящего света, распространяющегося через скрещенные поляризаторы.

3. Результаты эксперимента и их обсуждение

В эксперименте индуцированные световым полем изменения показателя преломления среды приводят к фазовой самомодуляции проходящего пучка. В дальнем поле возникает известная аберрационная кольцевая картина, которая объясняется самофокусировкой света. Изменение показателя преломления НЖК в одномодовом лазерном поле приводит к образованию в среде линзы. Существенное значение имеет радиальное по сечению пучка

изменение интенсивности излучения $I = I_0 \exp(-r^2/r_0^2)$, где r – поперечная координата, r_0 – радиус пучка. В эксперименте линейно-поляризованное излучение второй гармоники Nd:YAG лазера ($\lambda = 0,53$ мкм, $r_0 = 750$ мкм) нормально падало на гомеотропный образец 5ЦБ, находящийся при температуре $20 \pm 0,1^\circ\text{C}$.

Для проявления наведенного излучением YAG лазера оптического двулучепреломления использовался стандартный метод измерений нелинейного набег фазы волны $\delta\Phi^{nl}$: зондирующий линейно-поляризованный пучок He-Ne лазера падал нормально на ячейку и имел обыкновенную и необыкновенную относительно направления ориентации возмущенного директора составляющие поляризации. Таким образом, двулучепреломление, наведенное излучением YAG лазера, регистрировалось по повороту поляризации зондирующего излучения He-Ne лазера, и, тем самым, непосредственно в эксперименте измерялся нелинейный фазовый набег по характерной картине осцилляций пропускания поляризатора для проходящего через него зондирующего пучка после включения (выключения) излучения накачки.

При интенсивности излучения выше некоторого порогового значения ($I > I_{\text{пор}}$) проходящий свет распространялся по образующим конуса, и на дисплее компьютера появлялись концентрические кольца. Число колец $N = \delta\Phi^{nl}/2\pi$ возрастало с увеличением интенсивности излучения лазера. На рис.2 показана зависимость числа абберационных колец от средней интенсивности падающего света при разных значениях параметра $\beta = T/\tau_0$ (где T – период, а τ_0 – длительность световых импульсов), частоте модуляции 800 Гц и толщине ячейки $L = 40$ мкм. Как видно из рис.2а, число колец, т.е.

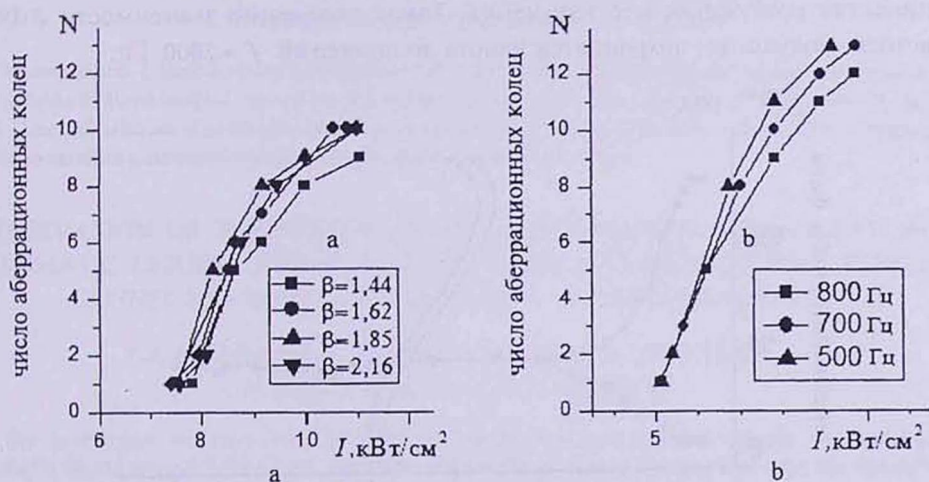


Рис.2. а) Зависимость числа абберационных колец от средней интенсивности падающего света при разных значениях параметра $\beta = T/\tau_0$, б) зависимость нелинейного набег фазы от средней интенсивности при разных значениях частоты следования импульсов.

нелинейный набег фазы, практически, не зависит от параметра β . Наши исследования показали, что нелинейный набег фазы при постоянной средней интенсивности также практически не зависит как от параметра β , так и от частоты следования импульсов (типичная зависимость для $L = 70$ мкм приведена на рис.2б) в области $\sim 5 \div \sim 1000$ Гц.

В эксперименте исследовалась динамика накопления нелинейных свойств НЖК в зависимости от частоты модуляции лазерного излучения в области $1000 \div 2000$ Гц. На рис.3 приведена типичная зависимость нелинейного набег фазы от частоты модуляции возбуждающего лазерного излучения, измеренная с помощью зондирующего пучка He-Ne лазера, при толщине ячейки $L = 70$ мкм и параметре $\beta = 2$ (на рисунке сплошные квадратики соответствуют максимальному, а кружочки – минимальному (остаточному) значению $\delta\Phi^{нл}$). Как видно из рисунка, при частотах модуляции $f \ll 1$ Гц система успевает релаксировать почти к первоначальному состоянию. Максимальное значение нелинейного набег фазы в этом случае соответствует установленному нелинейному набегу фазы в поле непрерывного лазерного излучения при одинаковых условиях эксперимента. Дальнейшее увеличение частоты модуляции приводит к уменьшению максимального нелинейного набег фазы и увеличению его остаточного значения, т.е. в системе не успевают устанавливаться и релаксировать процессы, связанные с переориентацией директора НЖК. При частотах модуляции $f > 5$ Гц среда практически не успевает следить за изменениями светового поля, и устанавливается стационарный режим. Значение нелинейного набег фазы в этом случае совпадает со значением нелинейного набег фазы в поле непрерывного лазерного излучения при тех же условиях эксперимента и одинаковых средних интенсивностях возбуждающего излучения. Такое поведение зависимости $\delta\Phi^{нл}$ от частоты модуляции сохраняется вплоть до значений $f \approx 2000$ Гц.

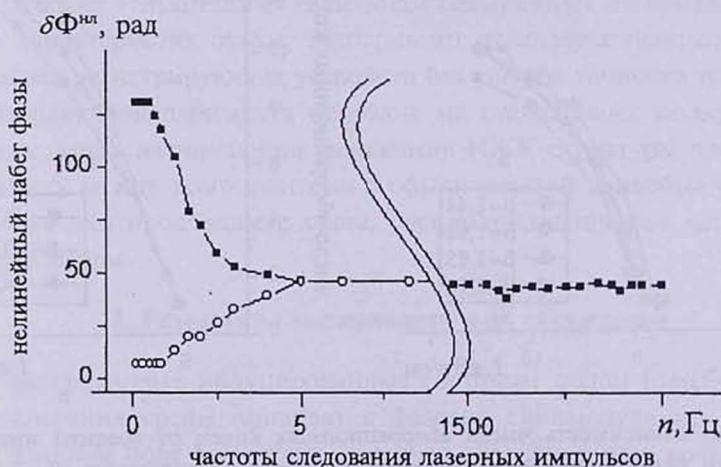


Рис.3. Зависимость нелинейного набег фазы от параметра β при средней интенсивности 10 кВт/см^2 и разных значениях частоты следования импульсов.

Таким образом, результаты экспериментального исследования свето-индуцированного перехода Фредерикса в гомеотропно ориентированном слое НЖК-5СБ, в поле импульсов лазерного излучения показали, что нелинейный набег фазы, при постоянной средней интенсивности падающего света практически не зависит как от частоты следования импульсов, так и от параметра β , в области $\sim 5 \div \sim 2000$ Гц. Следовательно, эффект накопления нелинейных свойств НЖК можно успешно использовать для исследования коротких и ультракоротких лазерных импульсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. R.B.Aloverdyan, S.M.Arakelyan, Yu.S.Chilingaryan, G.L.Grigoryan, A.S.Karayan, S.Ts.Nersissyan, V.E.Drnoyan. J. Phys. France, 50, 1393 (1989).
2. С.М.Аракелян, Ю.С.Чилингарян. Нелинейная оптика жидких кристаллов. М., Наука, 1984.
3. G.Cipparrone, D.Duca, A.Mazzulla, C.Umeton, F.Simoni. Optics Comm., 97, 54 (1993).
4. N.V.Tabiryan, C.Umeton. Optics Comm., 175, 425 (2000).
5. S.M.Arakelyan, O.V.Garibyan, A.S.Karayan, Yu.S.Chilingaryan. Sov. Tech. Phys. Letters, 8, 452 (1982).
6. I.C.Khoo, R.G.Lindquist, R.R.Michael, P.LoPresti. J. Appl. Phys., 69, 3853 (1991).
7. A.A.Goncharov, V.F.Kitaeva, I.A.Ozheredov, A.P.Shkurinov, A.S.Zolotko. SPIE, 4751, 297 (2002).

ՆԵՄԱՏԻԿ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐԻ ԼՈՒՍԱՄԱԿԱԾՎԱԾ
ՎԵՐԱԿՈՂՄՆՈՐՈՇՄԱՆ ԷՖԵԿՏԻ ԴԻՏՈՒՄԸ ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ԻՄՊՈՒԼՍՆԵՐԻ
ԴԱՇՏՈՒՄ. ԷՖԵԿՏՆԵՐ, ԿԱՊՎԱԾ ՈՉ-ԳԾԱՅՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ԿՈՒՏԱԿՄԱՆ ՀԵՏ

Ռ.Բ. ԱԼԱՎԵՐԴՅԱՆ, Ա.Ա. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ, Ս.Տ. ՆԵՐՍԻՍՅԱՆ,
Է.Ա. ՍԱՆԹՐՈՍՅԱՆ, Ա.Դ. ՉԻԼԻՆԳԱՐՅԱՆ

Կատարված է հոմեոտրոպ կողմնորոշված ՆՀԲ 5СВ-ի շերտում ֆրեդերիքսի լուսամակածված անցման փորձնական ուսումնասիրություն՝ լազերային ճառագայթման իմպուլսների դաշտում: Առաջին անգամ փորձականորեն ուսումնասիրվել է դիտվող երևույթի դինամիկան իմպուլսների հաջորդման ցածրահաճախականային տիրույթում ($1 \div 2 \cdot 10^3$ Հց):

OBSERVATION OF THE EFFECT OF THE LIGHT-INDUCED REORIENTATION
OF NEMATIC LIQUID CRYSTALS IN THE FIELD OF LASER PULSES: EFFECTS
CONNECTED WITH ACCUMULATION OF NON-LINEARITIES

R.B. ALAVERDYAN, A.A. KIRAKOSYAN, S.Ts. NERSISYAN,
E.A. SANTROSYAN, A.D. CHILINGARYAN

We investigate the light-induced director reorientation in a homeotropically oriented layer of nematic liquid crystal 5CB in the field of laser radiation pulses. For the first time the dynamics of observed phenomena is experimentally investigated in a broad ($1 \div 2 \cdot 10^3$ Hz) low-frequency range of pulses rate.