ЖУРНАЛ ФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
т. 2, № 3 (1998) с. 335–338

JOURNAL OF PHYSICAL STUDIES
v. 2, No. 3 (1998) p. 335–338

ВПЛИВ МАГНЕТНОГО ПОЛЯ НА ПОВЕРТАННЯ ПЛОЩИН ПОЛЯРИЗАЦІЇ СВІТЛА В БЛАКИТНИХ ФАЗАХ ХОЛЕСТЕРИЧНОГО РІДКОГО КРИСТАЛА

Ю. Настишин, І. Смалюх
Інститут Фізичної Оптики,
вул. Драгоманова 23, Львів, 290005, Україна

(Отримано 3 лютого 1998 р.; в остаточному вигляді — 29 травня 1998 р.)

Проведено температурні дослідження повертання площини поляризації світлового випромінювання холестеричним рідким кристалом у температурній області існування стабільних та метастабільної переохолодженої блакитних фаз. Вивчено вплив зовнішнього магнетного поля на температурні залежности кута повертання площини поляризації світла. Виявлено, що прикладення зовнішнього магнетного поля майже не впливає на температурну залежність кута повертання площини поляризації світла в температурній області існування стабільних блакитних фаз, але має суттєвий вплив в області переохолодження блакитної фази. Показано, що магнетне поле зменшує інтервал переохолодження блакитної фази. Обговорено можливі механізми спостережуваних явищ.

Ключові слова: блакитна фаза, холестеричний рідкий кристал, магнетне поле, повертання площини поляризації світла.

PACS: 61.30.Eb, 78.20.Ek

I. ВСТУП

Залежно від величини кроку спіральної закрутки у вузькому температурному інтервалі (порядку 1К) між холестеричною та ізотропною фазами холестеричного рідкого кристала (РК) можуть існувати від одної до трьох блакитних фаз (БФІ, БФІІ, БФІІІ). Існування блакитних фаз стає можливим тоді, коли енерґетичний виграш від реалізації подвійної закрутки є більшим від енерґетичного програшу, пов'язаного з утворенням дефектів через неможливість бездефектного заповнення об'єму структурою з подвійною закруткою директора. У блакитних фазах БФІ і БФІІ дефекти утворюють різні модифікації кубічної ґратки (просту та об'ємноцентровану). БФІІІ локально подібна до БФІІ, але не має дальнього впорядкування дефектів, тобто є аморфною. При охолодженні зразка блакитна фаза може переохолоджуватись.

Вплив зовнішнього електричного поля на властивості БФ вивчали вже починаючи з 80–их років [1–3]. Досліджено, що залежно від параметрів діелектричної анізотропії, напружености та частоти електричного поля може відбуватися деформація ґратки БФІ, БФІІ і навіть фазові переходи БФІІ–БФІ, БФ–холестерик, БФ–нематик [1–3]. Виявлено, що при прикладенні електричних полів певних напружeностей та частот кубічні ґратки БФ можуть трансформуватися в тетрагональні та гексагональні [2]. Аналогічних результатів слід очікувати і від впливу магнетного поля. Проте експериментально на цей час аналогічних ефектів у магнетному полі виявлено не було. Крім теоретичної роботи [3] та експериментальної [4] дослідження впливу магнетного поля на БФ не проводили.

У нашій роботі ми досліджували вплив магнетного поля на повертання площини поляризації світла (ПППС) у стабільних БФ–х та метастабільній переохолодженій БФ.

II. ЕКСПЕРИМЕНТ

Матеріялом для наших досліджень було вибрано холестерил пеларгонат (ХП) виробництва Aldrich. При нагріванні від холестеричної фази (ХФ) до ізотропної фази (ІФ) ХП містить усі три БФ: ХФ–БФІ (363.45К)–БФІІ (364.01К)–БФІІІ (364.12К)–ІФ (364.21К) [5]. При охолодженні температури переходів ІФ–БФІІІ, БФІІІ–БФІІ, БФІІ–БФІ залишаються майже незмінними (інтервал переохолодження відповідних фаз не перевищує точности вимірювання температури в нашому експерименті). Унаслідок переохолодження перехід БФІ–ХФ спостерігаємо при значно нижчих температурах. Молекулярна оптична активність ХП, яку ми визначили експериментально як величину кута ПППС в ізотропній фазі далеко від точки переходу добре узгоджується з даними інших авторів (дивись, наприклад, [6]) і дорівнює 16.2 кут. хв./мм.

ПППС у БФ дослідного РК при прикладенні магнетного поля з напруженістю в діяпазоні 0–800 А/м вивчали з допомогою установки, зображеної на рис. 1. Джерело світла — гелій–неоновий лазер 1. Чвертьхвильова пластина 2 перетворює лінійну поляризацію лазерного променя в циркулярну, а поляризатор 3, установлений у кутоповоротний пристрій з кроковим двигуном, дає змогу отримати лінійнополяризоване світло, у якого положення площини поляризації може бути зміненим від 0 до 360^o. Для проходження світлового променя в сердечнику електричного магнету 4 зроблено отвір, і між його полюсами розміщуємо термостабілізуючу камеру з поміщеним у кварцеву кювету РК матеріялом. Двопроменева призма Волостона 6 розділяє світловий промінь на два ортогонально поляризованих промені, інтенсивності яких залежать від положення площини поляризації світла на виході з дослідного зразка. Із допомогою фотодіодів 7 та 8 світлове випромінювання перетворюється в електричні сиґнали. Принцип роботи системи 11 полягає в аналізі співвідношення амплітуд цих електричних сиґналів. Якщо воно відповідає кутам ПППС, більшим від п'яти градусів, то система 11 за допомогою крокового двигуна повертає поляризатор, щоб скомпенсувати кут ПППС у зразку (з точністю до кроку двигуна). Точну поправку до

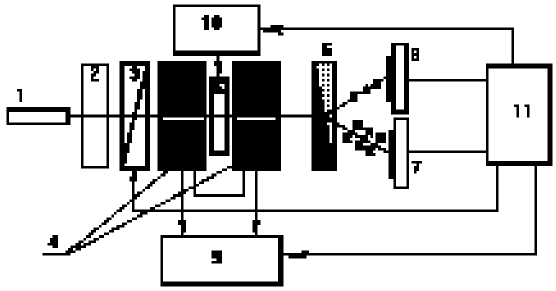

Рис. 1. Установка для дослідження залежности кута ПППС від температури та напружености магнетного поля. 1 — лазер, 2 — чвертьхвильова пластина, 3 — поляризатор, 4 — магнет, 5 — термостат з рідкокристалічним зразком, 6 — призма Волостона, 7–8 — фотодіоди, 9 — блок управління розгорткою магнетного поля, 10 — система регулювання температури, 11 — система визначення кута ПППС (дивись текст).

знайденого таким чином кута ПППС визначаємо на основі обробки електричних сиґналів на виході з фотодіодів. З допомогою блока управління розгорткою магнетного поля 9 задаємо та контролюємо напруженість магнетного поля. Терморегулятор 10 (на базі прецизійної програмної системи регулювання РИФ–107А) керує температурою зразка. Точність вимірювання кута ПППС — 10 кутових секунд. Вектор напружености магнетного поля, що прикладалася до зразка, паралельний лазерному променеві і перпендикулярний до поверхні зразка. Отримані охолодженням з ізотропної фази зразки БФ були полікристалічними (контроль проводили з допомогою поляризаційного мікроскопа). Температуру зразка вимірювали за допомогою хромель–алюмелевої термопари. Використання точок фазових переходів у зразку як контрольних точок при вимірюванні температури дозволяє стверджувати, що похибка вимірювання температури не перевищує 0.01 К. Однорідність розподілу температури за товщиною зразка забезпечували конструкцією мідного тримача, що давав змогу підтримувати однакову температуру на протилежних гранях комірки, та доброю термоізоляцією. Швидкість охолодження в експерименті складала 0.5 К/хв. Зміни значень кута ПППС зі зміною температури реєстрували за допомогою двокоординатного самописця, що дозволяло проводити вимірювання при такій швидкості охолодження.

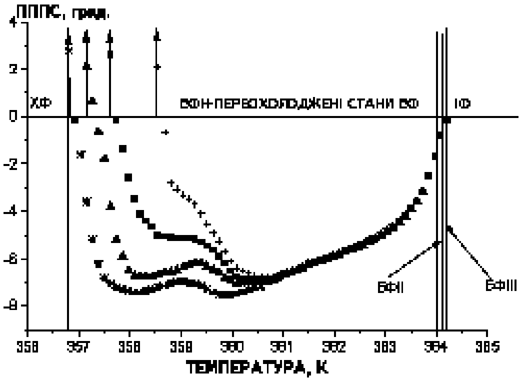

Рис. 2. Температурні залежності ПППС ХП в області існування блакитних фаз для різних напруженостей магнетного поля. Зірочки — H = 0, трикутники — H = 79.58 А/м, квадратики — H = 159.16 А/м, хрестики — H = 397.9 А/м. Товщина зразка 500 мкм. Стрілками показані стрибки кута ПППС до значно вищих значень, характерних для холестеричної фази.

У випадку проходження променя через зразок, поміщений у магнетне поле, результуюче ПППС складається з вкладів магнетооптичного ефекту Фарадея та оптичної активности БФ. Для розділення цих вкладів ми використали відомий факт [7], що ефект Фарадея має симетрію циліндра, який обертається, тоді як оптична активність має симетрію закрученого циліндра. З допомогою описаної вище установки ми проводили два різних вимірювання з різною геометрією проходження променя. У першому випадку ми реалізовували проходження променя через поміщений у магнетне поле зразок у прямому та зворотному напрямку і при цьому отримували подвійний вклад ефекту Фарадея у вимірюване ПППС. У другому випадку промінь проходив через зразок один раз, що давало змогу виміряти суму вкладів ефекту Фарадея та оптичної активности. На основі цих двох вимірювань ми розділяли згадані вклади. Надалі в цій статті, говорячи про ПППС, ми будемо мати на увазі повертання площини поляризації світла без вкладу ефекту Фарадея. На рис. 2 показані залежності кута ПППС від температури у зразку ХП для різних напруженостей магнетного поля в температурній області існування стабільних БФ та переохолодженої БФ (товщина зразка дорівнює 500 мкм). Температури фазових переходів при нульовому магнетному полі на рис. 2 позначені вертикальними лініями. У нульовому та відмінному від нуля магнетному полях у точках переходу з переохолодженої БФ до холестеричної фази спостерігаємо стрибок на температурній залежності кута ПППС. Стрибки кута

ПППС до значно вищих значень, які в холестеричній фазі складають величини порядку сотень градусів на 1 мм товщини зразка (дивись [8]) і які неможливо показати в масштабі цього рисунка, позначені стрілками (стрілки показують напрям зміни кута ПППС). Наявність цих стрибків кута ПППС ми використовували для ідентифікації точки переходу в ХФ.

III. ОБГОВОРЕННЯ

Вплив магнетного поля на вигляд температурної залежности кута ПППС непомітний у температурній області стабільних блакитних фаз, але досить значний на температурній ділянці поблизу переходу в холестеричну фазу (рис. 2). Для того, щоб з'ясувати причину такої поведінки отриманих залежностей, оцінимо вплив магнетного поля на подвійну закрутку блакитної фази. Як відомо [8], вплив магнетного поля на РК із закрученою холестеричною структурою залежить від параметрів анізотропії діямагнетної сприйнятливости та кроку спіралі. Напруженість магнетного поля, що потрібна для повної розкрутки холестерика з кроком закрутки P=0.5 мкм та анізотропією магнетної сприйнятливости $\chi \approx 10^{-7}$, повинна бути порядку 4800 А/м. Отже, при постійних магнетних полях, які легко реалізувати практично, будемо спостерігати лише слабкі ефекти, як, наприклад, деформація кубічної ґратки.

Оскільки вплив магнетного поля на подвійну закрутку блакитної фази при таких напруженостях магнетного поля незначний, то слід очікувати, що різка зміна кута ПППС під дією магнетного поля не пов'язана безпосередньо з польовою розкруткою директора. З цього випливає, що єдиним фізичним процесом, який міг би привести до експериментально отриманого впливу магнетного поля на ПППС, залишається процес, описаний нижче. У сусідній з холестеричною передперехідній області переохолодженої БФ (дивись [9]) зароджуються і співіснують з БФ холестеричні зародки. Прикладання магнетного поля, як було показано в роботі [4], сприяє зародженню та ростові холестеричних зародків у середині БФ. Проходячи через зразок, промінь перетинає як області переохолодженої блакитної фази, так і холестеричних зародків. Оскільки вклади в ПППС з боку одиниці товщини РК у холестеричній фазі та БФ відрізняються, то вплив магнетного поля на зародження і ріст холестеричних зародків приводить до відповідних змін виміряного в нашому експерименті ПППС.

Відомо (дивись, наприклад, [5, 10]), що як при переходах між блакитними фазами, так і при переході БФ–холестерик відбуваються стрибки кута ПППС. Ідентифікуючи перехід з переохолодженої БФ до холестеричної фази на основі такого стрибка ПППС, приходимо до висновку, що прикладення зовнішнього магнетного поля сприяє зменшенню температурного інтервалу переохолодження БФ.

IV. ВИСНОВОК

Виявлено, що прикладення зовнішнього магнетного поля майже не впливає на температурну залежність кута повертання площини поляризації світла в області стабільних блакитних фаз, але має суттєвий вплив в області переохолодженої блакитної фази. Показано, що магнетне поле зменшує температурний інтервал переохолодження блакитної фази, що пов'язано з впливом зовнішнього поля на зародження та ріст холестеричних зародків у передперехідній області переохолодженої БФ.

[1] H. J. Coles, H. F. Gleeson, Mol. Cryst. Liq. Cryst. **167**, 213 (1988).

[2] H. S. Kitzerov, Mol. Cryst. Liq. Cryst. **202**, 51 (1990).

[3] R. M. Hornreich, M. Kugler, S. Shtrikman, Phys. Rev. Lett. **54**, 2009 (1985).

[4] Motoc, M. Honciuc, Rev. Rum. Phys. **28**, 541 (1983).

[5] E. Demikhov, H. Stegemeyer, Mol. Cryst. Liq. Cryst. **14**, 1801, (1993).

[6] Е. Демихов, В. Долганов, Письма Журн. эксп. теор. физ. **38**, 368 (1983).

[7] М. О. Романюк, *Кристалооптика: навч. посібник* (ІЗМН, Київ, 1997).

[8] P. G. de Gennes, J. Prost, *The Physics of Liquid Crystals* (Clarendon Press, Oxford, 1993).

[9] E. Demikhov, H. Stegemeyer, V. Tsukruk, Phys. Rev. A **46**, 4879 (1992).

[10] В. А. Беляков, Е. И. Демихов, В. Е. Дмитриенко, В. К. Долганов, Журн. эксп. теор. физ. **89**, 2035 (1985).

INFLUENCE OF THE MAGNETIC FIELD ON THE ROTATION OF LIGHT POLARIZATION PLANE IN THE CHOLESTERIC LIQUID CRYSTAL

Yu. Nastishin, I. Smalyukh
Institute for Physical Optics,
23 Drahomanov Str., Lviv, UA–290005, Ukraine

The light polarization measurements under magnetic field in the temperature region of the existence of the blue phases including the supercooling region for cholesteryl nonanoate are performed. The influence of the applied magnetic field on the temperature dependence of the optical rotation is investigated. Magnetic field has a strong influence on optical rotation in the pretransitional region of the supercooled blue phase. Negligible magnetic field influence was observed in the region of the blue phases stability. It is shown that the applied magnetic field decreases the region of the blue phase supercooling. Possible mechanisms of the observed phenomena are discussed.