

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку нових напрямків організації навчального експерименту, які дозволять ще повніше розкрити всю багатогранність та неповторність особистості студента, передбачатимуть становлення більш високого рівня компетентності, ерудиції, творчості і культури, сприятимуть формуванню якостей, які необхідні для подальшої самореалізації в швидко змінюючій соціальній сфері.

Список використаних джерел:

1. Кремень В.Г. Формування особистості в умовах розвитку української державності // Освіта. — 29 грудня — 5 січня 2000 р. — № 60-61. — С.3.

2. Крилова Т.В. Проблеми навчання математики в технічному вузі. Монографія. — К.: Вища школа, 1998. — 438 с.
3. Слєпкань З.І. Наукові засади педагогічного процесу у вищій школі. — К.: НПУ, 2000. — 210 с.
4. Якиманська І.С. Особистісно-орієнтована система навчання // Завуч. — 1999. — № 7.

Отримано: 10.06.2004

УДК 548:532.783

О.П.Ситников

Чернігівський державний інститут економіки і управління

ВИВЧЕННЯ ДИФРАКЦІЇ СВІТЛА ЗА ДОПОМОГОЮ НЕМАТИЧНОГО РІДКОГО КРИСТАЛУ З ІНДУКОВАНОЮ СПІРАЛЬНОЮ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЮ СТРУКТУРОЮ

У статті розглядається проблема вдосконалення навчального фізичного експерименту у вищих навчальних закладах. Пропонується лабораторна робота з вивчення дифракції світла в нематичному рідкому кристалі з індукованою спіральною надмолекулярною структурою.

The problem of perfection of educational physical experiment in higher educational establishments is considered in the article. Laboratory work from the study of diffraction of light in nematic liquid crystal with the induced spiral overmolecular structure is offered.

В умовах особистісно орієнтованого навчання фізичному експерименту приділяється особлива увага, тому що він не тільки розвиває дослідницькі нахили студентів, формує їхні уміння застосовувати здобуті знання для вирішення практичних завдань, але й активізує їхню творчу думку, привчає самостійно шукати відповіді на поставлені запитання експериментальним шляхом [1]. Одним з напрямків розв'язку цієї проблеми є використання у фізичному навчальному експерименті нових з точки зору методики викладання фізики функціональних матеріалів, до яких можна віднести рідкі кристали.

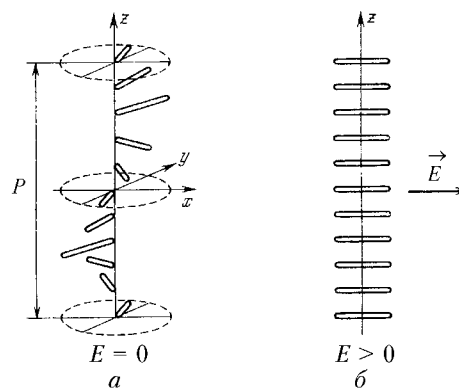
Аналіз останніх публікацій показує, що рідкі кристали є вдалим об'єктом дослідження в роботах лабораторного практикуму, в яких вивчаються фазові перетворення, оптична активність речовин [2]. У цих роботах, перш за все, розглядаються специфічні для рідких кристалів властивості, які є наслідком поєднання твердокристалічного та ізотропного рідкого станів речовини. Але навчальні можливості рідких кристалів є значно ширшими. Так, разом з дослідженням їх унікальних властивостей, можна використовувати рідкі кристали як модельні об'єкти при вивченні різних фізичних явищ [3]. У статті ставиться завдання показати, як за допомогою рідких кристалів у курсі загальної фізики можна вивчати явище дифракції світла. Пропонується лабораторна робота, в якій об'єктом дослідження є нематичний рідкий кристал з індукованою спіральною надмолекулярною структурою.

Спіральну надмолекулярну структуру має досить широке коло рідких кристалів. Але класичним прикладом цих речовин є холестеричні рідкі кристали. Свою назву вони дістали внаслідок того, що вперше спіральне пакування молекул у рідкокристалічній фазі було виявлене у складних ефірів холестерину. На відміну від форми молекули нематичного рідкого кристалу (еліпсоїд обертається) із кінця видовженої молекули холестеричного рідкого кристалу кілька атомів утворюють дуже малий вигин, який і є причиною спірального закручування.

Таку саму надмолекулярну структуру можна одержати, якщо до нематичного рідкого кристалу додати певну кількість оптично активних молекул. У немати-

чних рідких кристалах довгі осі молекул орієнтовані певним чином у просторі, але центри мас молекул вільно переміщуються в цьому напрямі. Характеризують напрям переважної орієнтації довгих молекулярних осей вектором одиничної довжини \vec{L} , який називають директором. Оптично активні молекули в момент розчинення деформують початкову орієнтацію молекул нематичного рідкого кристалу. При цьому виникають пружні сили, які намагаються зменшити потенціальну енергію зразка закручуванням надмолекулярної структури. Отже, спіральне закручування молекул нематичного рідкого кристалу є його природною реакцією на асиметрію молекул домішок. Змінюючи концентрацію оптично активного компонента в суміші, одержують спіральну структуру з різним значенням кроку P . Кроком спіралі називають відстань між найближчими точками рідкого кристалу з однако-вим напрямом директора \vec{L} (мал. 1, а).

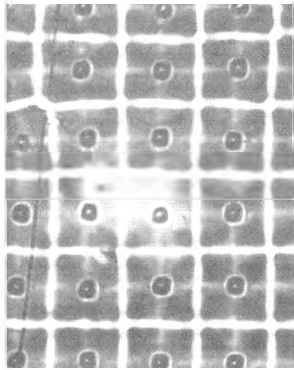
Значення кроку спіралі може змінюватися також під дією зовнішнього електричного або магнітного поля. Нехай електричне поле прикладене перпендикулярно до осі спіралі (мал. 1, б). Якщо вектор диполь-



Мал. 1. Розкручування спіральної надмолекулярної структури рідкого кристалу в електричному полі (P — крок спіралі)

ного моменту молекул нематичного рідкого кристалу співпадає з напрямом довгої молекулярної осі, то із збільшенням напруженості поля \vec{E} крок спіралі починає зростати до нескінченності, тобто спіраль розкручується. Таке перетворення надмолекулярної структури подібне до фазового переходу другого роду, оскільки воно супроводжується зміною симетрії рідкого кристалу [4].

Комірка для дослідження рідких кристалів є плоским конденсатором завтовшки 15-20 мкм. Електроди комірки виготовлені із скляних пластинок, на одну з поверхонь яких нанесена тонка плівка SnO_2 або In_2O_3 . Така конструкція дає можливість одночасно прикласти до зразка електричне поле і візуально спостерігати за його поведінкою. Поверх цих електродів наноситься ще плівка полімеру, яка виконує роль орієнтанта молекул рідких кристалів. Якщо таке покриття натерти в одному напрямку, то на його поверхні утворюються мікроскопічний хвилюподібний рельєф, який примушує молекули приповерхневого шару зорієнтуватися в напрямку, паралельному напрямку натирання. Завдяки силам міжмолекулярної взаємодії спіральне пакування молекул індукується в глибину зразка і вісь спіралі розташовується перпендикулярно до електродів комірки. При спостереженні зразка за допомогою поляризаційного мікроскопа із схрещеними площинами поляризації поляризатора та аналізатора шар рідкого кристалу виявляється досить прозорим, оскільки його надмолекулярна структура є оптично активною.



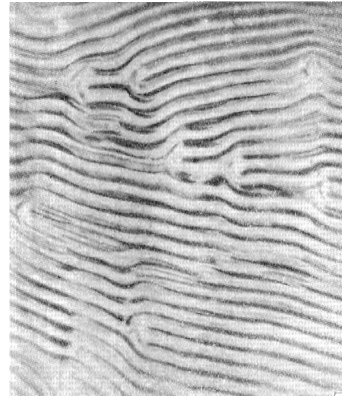
Мал. 2. Двовимірна просторово-періодична деформація спіральної надмолекулярної структури рідкого кристалу

Якщо до зразка прикласти електричне поле частотою $\nu = 1000$ Гц, то надмолекулярна структура рідкого кристалу починає змінюватися із збільшенням напруженості поля. Вісь спіралі відхиляється від початкової орієнтації і холестеричні площини починають деформуватися. При цьому інтенсивність світла, що пропускає комірка, починає зменшуватися. У полі зору з'являється сітка (мал. 2). Це так звана двовимірна просторово-періодична деформація спіральної надмолекулярної структури рідкого кристалу [5]. Фізична причина цієї деформації така [6]. Під дією зовнішнього електричного поля директор \vec{L} повинен орієнтуватися вздовж ліній напруженості поля, але пружні сили намагатимуться зберегти недеформовану спіральну надмолекулярну структуру. У невеликому електричному полі компромісним варіантом є хвилюподібна по напрямкам Ox і Oy картина розподілу директора \vec{L} . З двовимірною деформаційною картиною пов'язана двовимірна періодичність в розподілі показника заломлення і фазової затримки між звичайним та незвичайним променями. Тому з'являється сітка з періодом деформації l .

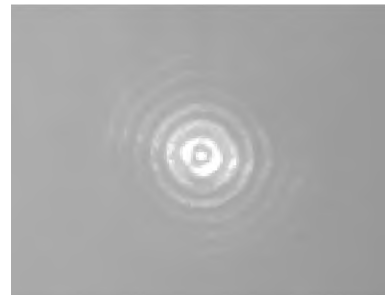
$$l^2 = Pd \sqrt{\frac{3k_{33}}{2k_{22}}}, \quad (1)$$

де P – крок спіралі, d – товщина зразка, k_{22}, k_{33} – модулі пружності нематичного рідкого кристалу.

Двовимірна просторово-періодична деформація не є стаціонарною, тому сітка через деякий час зникає і з'являється наступна текстура, яка має назву "відбитки пальців" (мал. 3). Вона спостерігається у вигляді смуг і відповідає повороту осі спіралі на кут 90° відносно орієнтуючих поверхонь. Якщо таку текстуру освітлювати лазерним промінням, то на екрані утворюється дифракційна картина (мал. 4).



Мал. 3. Текстура "відбитки пальців"



Мал. 4. Дифракційна картина від текстури "відбитки пальців"

Відомо, що для звичайних дифракційних решіток має місце не тільки зменшення інтенсивності головних максимумів із зростанням порядку максимуму, але й залежність інтенсивності цих максимумів від відношення ширини штриха до періоду решітки. Така залежність при певних значеннях цього відношення приводить до того, що деякі головні максимуми зникають. Це є суттєвим недоліком таких дифракційних решіток, особливо при використанні слабких джерел світла або при дослідженнях в інфрачервоній області спектра. Цей недолік можна виправити, якщо штрихам решітки надати певний профіль. Тоді більшу частину енергії світлових хвиль можна сконцентрувати в перших головних максимумах. Така дифракційна решітка не впливає на амплітуду світлової хвилі, а лише вносить періодичні зміни в її фазу, тому називається фазовою [7]. Текстуру "відбитки пальців" можна розглядати як фазову дифракційну решітку з періодом $P/2$, якому відповідає ширина однієї смуги.

З подальшим збільшенням напруженості електричного поля спіральна надмолекулярна структура зникає і директор \vec{L} орієнтується вздовж ліній напруженості поля. При цьому зникає подвійне променезаломлення і поле зору стає темним. Порогова напруженість \vec{E}_n електричного поля, при якій починається розкручування спіралі, визначається співвідношенням:

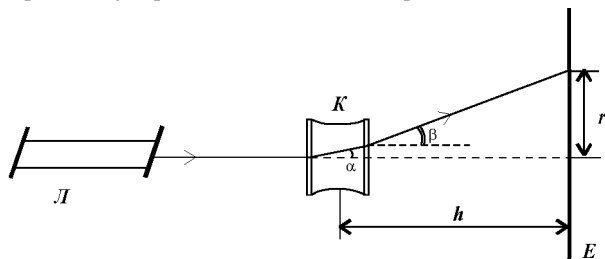
$$E_n = \frac{\pi^2}{P} \sqrt{\frac{k_{22}}{\epsilon_0 \cdot \Delta\epsilon}}, \quad (2)$$

де ϵ_0 – електрична стала, $\Delta\epsilon$ – анізотропія діелектричної проникності нематичного рідкого кристалу.

Метою лабораторної роботи є: вивчення явища дифракції світла; ознайомлення з фазовими дифракційними решітками; ознайомлення з оптичними ефек-

тами, які відбуваються з рідким кристалом в електричному полі; визначення кроку спіралі різними способами і порівняння одержаних результатів. Експериментальна установка включає: поляризаційний мікроскоп, комірку з рідким кристалом, звуковий генератор, вольтметр, гелій-неоновий лазер, екран, лінійку. У роботі використовується нематичний рідкий кристал 4-пентіл-4'-ціанобіфеніл з відомими параметрами: $k_{22} = 4,1 \cdot 10^{-12}$ Н, $k_{33} = 8,3 \cdot 10^{-12}$ Н, $\Delta\epsilon = 13,3$ [8]. Оптично активною домішкою є холестеричний рідкий кристал – холестерилпеларганат. Крок спіралі суміші для зразка товщиною 15-20 мкм повинен знаходитися в межах від 1 мкм до 5 мкм.

Спочатку спостерігається двовимірна просторово-періодична деформація і визначається період деформації l за допомогою шкали окуляра. За формулою (1) розраховується перше значення кроку спіралі. Поступово збільшуючи напругу, спостерігають текстуру “відбитків пальців”, а потім розкручування спіралі. При цьому помічають порогову напругу U_n і за формулою (2) розраховують друге значення кроку спіралі. Якщо напругу на зразку зменшити до нульового значення, то за рахунок міжмолекулярної взаємодії та впливу поверхні надмолекулярна структура рідкого кристалу знов повертається до спіральної, а вісь спіралі орієнтується перпендикулярно до площини електродів.



Мал. 5. Схема експериментальної установки

Потім комірку (К) треба встановити на окрему підставку. Підтримуючи на електродах комірки напругу, при якій з'являється текстура “відбитки пальців”, за допомогою лазера (Л) одержують на екрані (Е) дифракційну картину (мал. 5). Крок спіралі розраховується за формулою дифракційної решітки, в якій треба врахувати заломлення променів на виході зі скляної пластинки комірки в повітря:

$$\frac{P}{2} \sin \beta = \lambda n_{\text{ск}} t,$$

де β – кут дифракції, $\lambda = 6,3 \cdot 10^{-7}$ м – довжина хвилі лазерного випромінювання, $n_{\text{ск}} = 1,5$ – показник заломлення скла, t – номер кільця (порядок дифракційного максимуму). Для малих кутів $\sin \beta \approx \text{tg } \beta = \frac{r}{h}$,

тоді третє значення кроку спіралі визначається співвідношенням:

$$P = \frac{2\lambda n_{\text{ск}} h t}{r},$$

де h – відстань від комірки до екрана, r – радіус кільця (мал. 5).

Таким чином, виконуючи розглянуту лабораторну роботу, студенти ознайомлюються з рідкими кристалами, спостерігають електрооптичні ефекти в рідкому кристалі з індукованою спіральною надмолекулярною структурою, одержують дифракційну картину й ознайомлюються з поняттям фазової дифракційної решітки, розраховують значення кроку спіралі за експериментально одержаними даними. Вона показує, що рідкі кристали у фізичному навчальному експерименті можна розглядати як перспективні модельні об'єкти при вивченні фізичних явищ.

Список використаних джерел:

1. Атаманчук П.С., Мендерецький В.В., Кух А.М. Елементи цілеорієнтації експериментальної діяльності студентів з фізики // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: Зб. наук. пр.: Вип. 4: В 3-х томах. – Кривий Ріг: вид. відділ НМетАУ, 2004. – Т.2: Теорія та методика навчання фізики. – С.8-15.
2. Романенко И.Д. Использование жидких кристаллов в вузовском лабораторном практикуме // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: Зб. наук. пр.: Вип. 4: В 3-х томах. – Кривий Ріг: вид. відділ НМетАУ, 2004. – Т.2: Теорія та методика навчання фізики. – С.362-368.
3. Ситников О.П. Рідкі кристали у фізичному навчальному експерименті // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: Зб. наук. пр.: Вип. 4: В 3-х томах. – Кривий Ріг: вид. відділ НМетАУ, 2004. – Т.2: Теорія та методика навчання фізики. – С.400-408.
4. Пикин С.А. Структурные превращения в жидких кристаллах. – М.: Наука, 1981. – 336 с.
5. П. Де Жен. Физика жидких кристаллов / Пер. с англ. А.А.Веденова; Под ред. А.С.Сонина. – М.: Мир, 1977. – 400 с.
6. Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. – М.: Наука, 1978. – 384 с.
7. Бутиков Е.И. Оптика: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Н.И.Калитеевского. – М.: Высш. шк., 1968. – 512 с.
8. Karat P.P., Madhusudana N.V. Elastic and optical properties of some 4-n-alkyl-4'-cyanobiphenyls // Mol. Cryst. Liq. Cryst. – 1976. – Vol. 36. – P.51-64.

Отримано: 14.04.2004