

## Література

- 1 Болюбаш Я.Я. Організація навчального процесу у вищих закладах освіти: Навч. посібник для слухачів закладів підвищення кваліфікації системи вищої освіти. – К.: ВВП “КОМПАС”, 1997. – 64 с.
- 2 Гордиенко Т.П., Лагунов И.М., Сиротюк В.Д. Роль самостоятельной работы студентов на современном этапе развития образования в Украине. – Херсон: Вид-во ХДПУ, 2002. С. 164 – 165.
- 3 Козаков В.А. Самостоятельная работа студентов: Учебное пособие. – К.: УМКВО, 1989. – 252 с.
- 4 Хаккер В. Инженерная психология труда. – М.: Машиностроение, 1986.

Надійшла до редакції 20.04.2004 р.

УДК 53(076)

*Гриценко М.І., Кучєєв С.І., Пустовий О.М.*

### ВИВЧЕННЯ ФАЗОВИХ СТАНІВ РІДКИХ КРИСТАЛІВ ЗА ЗМІНОЮ ЇХ ТЕКСТУР

Описана лабораторна робота з вивчення фазових переходів у розділі термодинаміки та молекулярної фізики курсу загальної фізики вищої школи. При виконанні цієї роботи студенти спостерігають фазові переходи та знайомляться з виглядом текстур рідких кристалів різних типів.

The paper gives a description of the labwork for study of phase transitions in courses of thermodynamic and molecular physics for pedagogical university. While doing this labwork the students observe the textures in various type of liquid crystals and their temperature induced phase transitions.

Одними з найважливіших понять молекулярної фізики є поняття фази, рівноваги фаз та фазові переходи першого та другого роду. У більшості підручників з термодинаміки та молекулярної фізики (навіть останніх видань) взагалі не згадується про рідкі кристали. У той же час фізика рідких кристалів дає можливість просто і наочно продемонструвати фазові переходи, причому тут переходи і першого, і другого роду органічно пов'язані між собою. Лабораторні роботи з рідких кристалів не потребують складного обладнання, є більш простими і наочними ніж такі роботи, як наприклад: “Визначення точки Кюрі сегнетоелектрика”, чи “Визначення точки Кюрі феромагнітних сплавів металів”.

Запропонована лабораторна робота нескладна у виконанні, з пізнавальної точки зору є цікавою, дозволяє більш глибоко зрозуміти поняття фазових переходів.

#### Мета

Вивчення фазових переходів на прикладі переходів у рідких кристалах за різними схемами та ознайомлення з виглядом текстур рідких кристалів різних типів.

#### Обладнання

Головним приладом для проведення лабораторної роботи є поляризаційний мікроскоп з електричним нагрівником, у якому є отвір для спостереження комірок з рідкими кристалами. Є ще один мікроскоп для спостереження зразків при охолодженні. У роботі проводять спостереження послідовно за чотирма зразками. Вимірювання температури проводяться за допомогою термопари з контролем температури другого спаю (термопара мідь-константан). Один спай її знаходиться в посудині з льодом, що

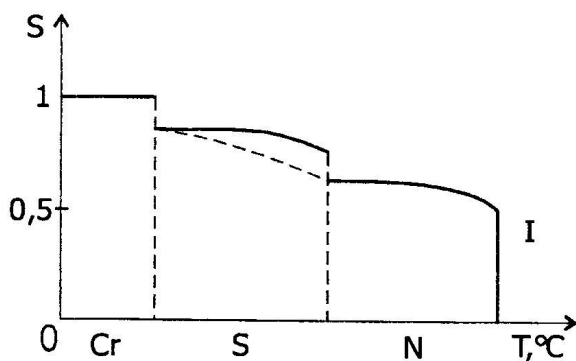
тане, а другий у безпосередньому контакті з коміркою, що містить досліджуваний рідкий кристал. Термопара проградуєвана і графік додається до роботи.

Комірки, в яких знаходяться зразки рідких кристалів, мають ряд особливостей. Наприклад комірки, які використовувались у [1] – це дві скляні пластинки, між якими знаходився рідкий кристал і товщина шару цього кристалу не контролювалась, бо залежала від коефіцієнта поверхневого натягу, який в свою чергу залежав від температури. При цьому всі явища, які вивчались у таких комірках, носили характер скоріше поверхневих явищ, внаслідок дуже малої товщини рідкого кристалу. У нашому випадку між скельцями розташовується фторопластова плівка товщиною 20 мкм, яка задає саме таку товщину рідкокристалічному зразку, що дає можливість вивчати об'ємні властивості рідких кристалів. До того ж, у цій лабораторній роботі комірки з зразками було змонтовано в металевому затискачі, що збільшує теплоємність всього зразка і дозволяє проводити його нагрівання та охолодження "більш квазістаціонарно". Це забезпечує наявність градієнта температури у площині зразка, що дає можливість спостерігати за рухом межі між фазами при нагріванні або охолодженні в області температур фазових переходів.

### Теоретичний матеріал

У рідкокристалічній фазі існує тільки переважний напрям орієнтації молекул, але вісь кожної окремої молекули відхилена від цього напрямку в середньому тим більше, чим вища температура. Одиначний вектор, який вказує на переважний напрям орієнтації молекул називають директором. Від ступеню орієнтації молекул залежить величина анізотропії властивостей середовища. У ізотропній рідині всі молекули орієнтовані хаотично – ймовірність розташування осей в кожному напрямі однакова. У кристалі молекули орієнтовані майже однаково. Тому вводять кількісну величину, що набуває різних значень в залежності від ступеню орієнтації. Ця величина називається параметром порядку  $S$ .

Рідкий кристал можна уявити собі як систему відповідним чином орієнтаційно впорядкованих твердих стержнів. При температурах, не дуже близьких до температур фазового переходу, параметр порядку є слабо змінною функцією температури і ця функція є неперервною. Зазвичай у рідких кристалах значення  $S$  змінюється від 0,4 до 0,9, а максимальне значення для нематиків – 0,6-0,8. Для смектиків  $S$  близьке до 0,9 і мало змінюється з температурою. Якщо рідкий кристал має тверду кристалічну (Cr), смектичну (S), нематичну (N) та ізотропну (I) фази, то характерна залежність  $S$  від температури буде такою, як показано на малюнку 1, де на відрізьку  $S$  суцільною лінією зображено фазовий перехід першого роду, а пунктиром – другого.



Мал.1

З відомих експериментальних методів вивчення фазових станів та фазових переходів у рідких кристалах [2] найбільш наочним і достатньо інформативним є поляризаційно-мікроскопічний метод спостереження характерних текстур. Переходи між різними мезофазами можна розглядати як постадійне плавлення мезогена, яке супроводжується зміною текстур в областях фазових переходів.

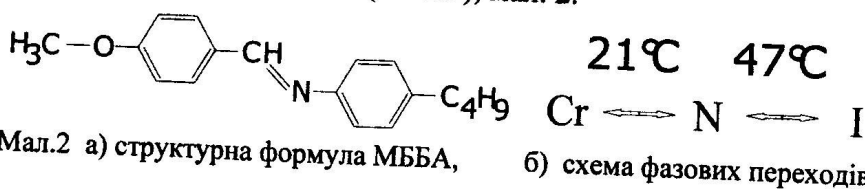
Особливістю деяких рідких кристалів є те, що в ланцюгу фазових переходів послідовно з фазовими переходами першого роду можуть спостерігатись фазові переходи другого роду. Відмінності між фазовими станами фіксуються текстурами, які є характерними для кожної окремої мезофази.

## Послідовність виконання роботи

1. Розташувати електричний нагрівник та зразок рідкого кристалу на столику мікроскопа.
2. Нагріваючи зразки з рідкими кристалами, спостерігати фазові перетворення. Особливо намагатись уважніше спостерігати за рухом межі між фазами при нагріванні або охолодженні в області температур фазових переходів. Нагрівання проводити до переходу РК в ізотропну фазу.
3. Перекласти зразок на столик іншого мікроскопа і спостерігати фазові переходи при охолодженні зразка.
4. Контролювати температуру нагрівання та охолодження за допомогою терморпари. Визначити за експериментальними даними температури фазових переходів.
5. Ознайомитись з виглядом текстур рідких кристалів різних типів.
6. Повторити дослідження згідно пунктів 1 – 5 з усіма зразками.
7. Проаналізувати одержані результати, порівняти експериментальні дані з літературними, проаналізувати причини, які приводять до розбіжності у температурі фазових переходів між експериментальними та теоретичними даними, обґрунтовано класифікувати типи фазових переходів, зробити висновки.

## Методичні рекомендації

Першим зразком у даній лабораторній роботі є нематичний рідкий кристал 4-метоксибензилиден – 4-бутиланілін (МББА), мал. 2.

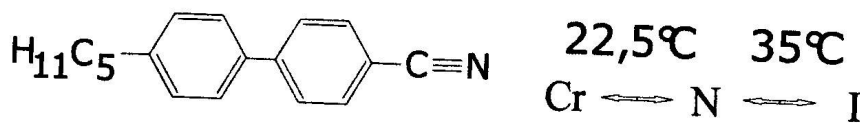


Нематики мають високу ступінь далекого орієнтаційного порядку, але не мають далекого трансляційного порядку, тобто центри мас молекул вільно рухаються у просторі, а також вільно (або утруднено) повертаються навколо своїх довгих (а інколи і коротких) осей. Вони ведуть себе як оптично-одновісні системи, що мають оптичну вісь паралельну директору. У нематичній фазі, яку ми спостерігаємо в мікроскоп, добре видно тонкі рухомі нитки – дисклінації, мал.3. При легкому деформуванні комірки з РК можна побачити, що дисклінації рухаються.

Нагріваючи комірку з НРК, спостерігаємо, як нематик переходить у фазу ізотропної рідчини. І хоч нагрівання проходить доволі повільно, добре видно, як рухається межа ізотроп – нематик від більш нагрітих країв комірки, до менше нагрітої її середини.

Контролюючи за допомогою терморпари температуру зразка, спостерігають фазові переходи поблизу вказаних у схемі температур, як при нагріванні, так і при охолодженні. Обидва переходи кристал – нематик та нематик – ізотропна рідина є переходами першого роду.

Другий зразок це також нематик – 4-н-пентил-ціанобифеніл (5ЦБ), мал. 4.



Мал.3 Текстура нематика з дисклінаціями

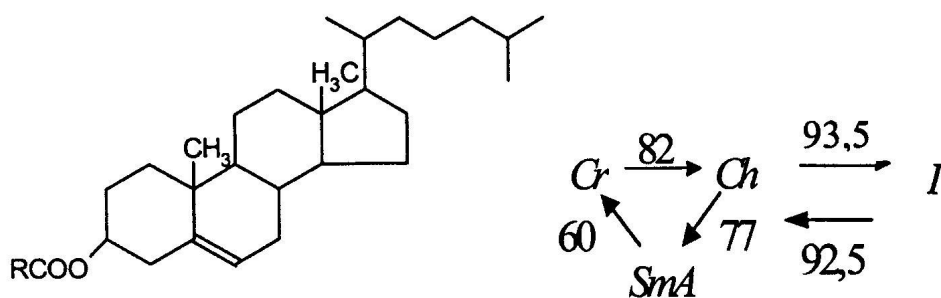
У другому зразку також спостерігаємо фазові переходи та визначаємо їх температуру.

Третій зразок – це холестериновий ефір пеларгонової (нонанової) кислоти. Ця речовина має холестеричну та монотропну смектичну - А фазу, мал.5.

Як відомо, холестеричні рідкі кристали (ХРК) на молекулярному рівні мають таку ж структуру, що й нематикки, тому їх часто вважають різновидом нематиків. Вони можуть різко змінювати колір при незначних змінах температури або складу середовища.

При спостереженні третього зразка спочатку при кімнатній температурі ми бачимо красиві, яскраво забарвлені, різнокольорові тверді кристали, мал.6.

При нагріванні вони поступово втрачають своє забарвлення і дець близько 80,5°C переходять у холестеричний рідкий кристал, а потім при температурі 92°C в ізотропну рідину. При охолодженні знову отримуємо спочатку холестерик, потім смектик – А, а біля 60°C смектик переходить в твердий кристал. Смектик-А – різновид смектичного рідкого кристалу (СРК), молекули якого перпендикулярні до площини кожного шару, але центри мас цих молекул розташовані нерегулярно.



Мал.5. а) структурна формула холестерилового ефіру пеларгонової кислоти, б) фазові переходи.

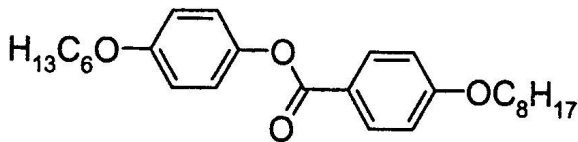
У цьому зразку при охолодженні з ізотропного розплаву є можливість спостерігати так звану голубу фазу. Голуба фаза існує, звичайно, в дуже вузькому температурному інтервалі (близько 1,5°C), що утруднює її дослідження.

Смектики мають періодично розташовані шари, що можуть легко ковзати один відносно одного. Для них є характерним орієнтаційний та ближній трансляційний порядок. У СРК можливі різні типи упаковок молекул в шарах, а отже існує декілька поліморфних смектичних мезофаз, найважливішими з яких є: А, В та С. Про фазу А ми згадували вище, а у фазі В молекули нормальні до площини шару, але утворюють гексагональну упаковку. У смектику С молекули схилені до площини шару під кутом не рівним 90°, але в самому шарі упаковка їх безладна. Існує три різновиди цього смектика: у першому кут нахилу не залежить від температури, у другому – залежить, а третій – це структура з віссю кручення, нормальною до шарів. Згідно теорії фазові переходи із смектичної А фази в нематичну (ентальпія 0,05 – 1,10 ккал/моль) [2] можуть бути як першого, так і другого роду. А от серед переходів між смектичними мезофазами другого роду можуть бути лише з смектика А в С (ентальпія 0,01- 0,66 ккал/моль) [2] та з В в Н, всі інші – переходи першого роду.

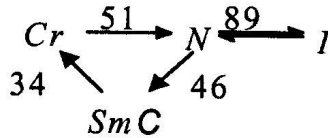


Мал.6. Ріст твердого кристалу із смектичної фази

У четвертому зразку досліджується нехиральна сполука з серії похідних фенілбензоату, мал.7. Вона утворює монотропну смектичну С фазу, тобто при нагріванні плавиться в нематик при 51°C, далі перетворюється в ізотропну рідину при 89°C, потім при повільному охолодженні переходить в смектик С (з переохолодженням), та кристалізується також з переохолодженням (34°C).



Мал.7 а) структурна формула



б) схема фазових переходів

### Контрольні запитання

1. Дати визначення фазових переходів першого та другого роду, навести приклади.
2. Розкрити фізичний зміст прихованої теплоти фазового переходу.
3. Які фізичні характеристики речовин змінюються безперервно, а які стрибкоподібно при фазових переходах першого та другого роду?
4. Які типи рідких кристалів існують у природі?
5. Що означає поліморфізм у рідких кристалах?

### Література

1. Гриценко М.І., Ситников О.П. Лабораторний практикум "Фізика рідких кристалів" для фізичних спеціальностей педагогічних вузів // Матеріали IV Всеукраїнської конференції "Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики". – Миколаїв: МДПУ, 1999. – С.22-26.
2. Сонин А.С. Введение в физику жидких кристаллов: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика, т.2, Теория поля, М.: "Наука", С. 130-133, 1967.
4. Гриценко М.І., Ситников О.П. Вивчення рідких кристалів в курсі загальної фізики // Наукові записки Національного педагогічного університету імені М.П.Драгоманова. – К., 2001. – С.149-156.
5. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. Т.1. – К.: Техніка. – 1999.
6. Сугаков В.Й. Фізика рідкокристалічного стану. – К.: Вища шк., 1992. – 58 с.

Надійшла до редакції 28.04.2004 р.