

### ВИВЧЕННЯ РІДКИХ КРИСТАЛІВ У РОЗДІЛАХ “ТЕРМОДИНАМІКА” ТА “ОПТИКА” КУРСУ ЗАГАЛЬНОЇ ФІЗИКИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

*В статті викладена методика вивчення рідких кристалів у розділах «Термодинаміка» та «Оптика» курсу загальної фізики вищої школи. Автори пропонують присвятити вивченню рідких кристалів три лекції та у вищезгаданих розділах та три лабораторні роботи, що органічно пов'язані з лекційним матеріалом. Цікавою є також лекційна демонстрація розсіювання світла з використанням електрооптичного ефекту динамічного розсіювання в нематичному рідкому кристалі.*

**Ключові слова:** Нематичний рідкий кристал, орієнтаційний порядок, S-деформація, B-деформація, T-деформація, рівняння Лоренц-Лорентца, рівняння Клаузіуса-Мосотті, ефект динамічного розсіювання світла, домени Капустіна-Вільямса.

*In the article it is given a technique of liquid crystal studying in the sections of «Thermodynamics» and «Optics» in the course of general physics at the high school. The authors suggest to devote three lectures in the mentioned above sections and three laboratory works that are fundamentally connected to the lecture material to the studying of liquid crystals. Lecture demonstration of the light scattering using electrooptical effect of the dynamic dispersion in the nematic liquid crystal is interesting.*

**Keywords:** Nematic liquid crystal, orientation the order, S-deformation, B-deformation, T-deformation, equation Lorentz- Lorentz, equation Klausius-Mosotty, effect of dynamic dispersion of light, Kapustin-Williams's domains.

В контексті євроінтеграції одним із шляхів подальшого удосконалення викладання загальної фізики та підвищення ефективності педагогічних процесів в підготовці кадрів є поглиблення зв'язків освіти з наукою. Як зауважують автори [1]: “...педагогічні вузи повинні дати майбутнім учителям фізики найсучасніші знання, дати гарну практичну підготовку.” На сьогоднішній день деякі досягнення науки і техніки минулих років є технічно та морально застарілими. Такою, наприклад, є електронно-променева трубка, у минулому базовий прилад для створення телевізорів, осцилографів, дисплеїв та ін. Це зв'язано з бурхливим розвитком дисплейних технологій, що відбувається протягом останніх років. На зміну трубці прийшли інші типи дисплеїв, в тому числі рідкокристалічні, які мають великі перспективи на найближче майбутнє. Враховуючи широке застосування рідких кристалів в науці і техніці, автори пропонують вивчати їх властивості в курсі загальної фізики вищої школи, в обсягах, достатніх для розуміння основних фізичних принципів на яких базується робота рідкокристалічних дисплеїв та індикаторних пристроїв. На думку авторів найбільш вдалим для цього є саме розділи ”Термодинаміка та молекулярна фізика” і “Оптика”. В цих розділах можна три лекції присвятити рідким кристалам.

В першій лекції потрібно розповісти про класифікацію та структуру рідких кристалів, пояснити, що називається мезофазою, та дати визначення директору. Потрібно ввести поняття ступеня впорядкованості S, як міри дальнього орієнтаційного порядку, та пояснити його залежність від температури. Далі потрібно навести приклади фазових діаграм та розповісти про фазові переходи першого та другого роду в рідких кристалах. В цій же лекції потрібно розповісти про в'язкопружні властивості рідких кристалів, взявши за приклад одновісне оптичне середовище – нематичний рідкий кристал, оскільки він є найпростішою системою, що моделює середовище з орієнтаційним порядком. Розглядаючи феноменологічну теорію пружності рідких кристалів спочатку потрібно розрізнити шість видів елементарних деформацій: дві деформації поперечного вигину (spray-, або S-деформації), дві деформації поздовжнього вигину (bend-, або B-деформації), та дві елементарні деформації кручення (torsion-, або T-деформації). Потім потрібно показати, що в загальній формулі для об'ємної пружної енергії нематичного рідкого кристалу залишається лише три модулі пружності і що ця формула є основою для розуміння практично всіх електро- та магнітооптичних явищ в нематичному рідкому кристалі.

Для поглиблення теоретичних знань студентів ознайомлення їх з технічними засобами та методами точного вимірювання, для того, щоб навчити їх фізичному експериментуванню можна включити до лабораторного практикуму завдання, тісно пов'язані з лекційним курсом. В нашому випадку це можуть бути наприклад лабораторні роботи [2] та [3]. При виконанні роботи [3] студентам пропонується визначити за експериментальними даними температури фазових переходів, порівняти експериментальні дані з теоретичними, проаналізувати причини, які приводять до розбіжності у температурі фазових переходів між експериментальними та теоретичними даними, обґрунтовано класифікувати типи фазових переходів.

Запропоновані лабораторні роботи нескладні у виконанні, цікаві з пізнавальної точки зору, дозволяють більш глибоко зрозуміти різницю між фазовими переходами першого та другого роду, а також досить вдало унаочнюють саме переходи другого роду. В свою чергу ці роботи дають змогу, наприклад, провести класифікацію фазових переходів за Еренфестом і зрозуміти, що ця класифікація та заснована на ній термодинамічна теорія мають обмежену область застосування.

Другу лекцію можна почати з розгляду анізотропії рідкокристалічного середовища, обмежившись вивченням саме оптичних та діелектричних властивостей ізотропних рідин. Виходячи з рівнянь Максвелла

слід показати залежність показника заломлення  $n$  від діелектричної сталої  $\epsilon$ , а потім показати як зміниться ця залежність від того, що зазвичай чисті органічні рідини є діелектриками і діаманетиками. Потрібно також показати, що значення діелектричної сталої для оптичних частот визначається через середню деформаційну поляризованість молекули з рівняння Лоренц-Лорентца, а при низьких частотах – з рівняння Клаузіуса-Мосотті. Тут важливо вказати на те, що для анізотропних середовищ найбільш важким моментом є вибір вірної формули для локального поля.

При вивченні оптичної анізотропії мезофаз розглядається поведінка одновісних рідких кристалів при оптичних частотах. В цьому випадку компонентою орієнтаційної поляризації можна знехтувати. Обидві частини комплексного коефіцієнта заломлення (тобто показники заломлення  $n$  та поглинання  $\kappa$ ) стають анізотропними і матимуть по дві головні компоненти ( $n_{\parallel}, n_{\perp}, \kappa_{\parallel}, \kappa_{\perp}$ ). Розглядається анізотропія оптичного поглинання (дихроїзм), та зв'язок її з ступенем впорядкованості, а також результати експериментів з поглинання домішками, наприклад, барвниками, розчиненими у рідкокристалічних матрицях. Також можна показати як знаходяться середні значення коефіцієнтів заломлення і навести графік температурної залежності показників заломлення  $n_{\parallel}$  і  $n_{\perp}$  для різного типу нематичних рідких кристалів.

У третій лекції потрібно розглянути електрооптичні ефекти у рідких кристалах. Насамперед потрібно розкрити механізм польових електрооптичних ефектів: S-ефекту, В-ефекту, Т-ефекту, твіст-ефекту, та ефекту "гість-хазяїн". S-ефект – це ефект фазової модуляції світла для випадку початкової планарної орієнтації директора (вздовж осі X), додатною діелектричною та діаманетною анізотропією ( $\Delta\epsilon > 0, \Delta\chi > 0$ ) та електричного (магнітного) поля, що спрямоване вздовж осі Z. Якщо початкова орієнтація гомеотропна, електричне (магнітне) поле спрямоване вздовж осі X, а величини  $\Delta\epsilon > 0$  та  $\Delta\chi > 0$ , такий ефект називається В-ефектом. В-ефект виникає також, якщо електричне поле спрямоване вздовж осі Z, а величина  $\Delta\epsilon < 0$ . Т-ефект – зумовлений чистою деформацією кручення, а твіст-ефект включає в себе комбіновану Т-, S- і В-деформацію. При викладенні цього матеріалу буде корисним показати залежність оптичного пропускання та фазової затримки монохроматичного світла від напруги.

Потім потрібно розповісти про електрогідродинамічні ефекти в нематичних рідких кристалах (НРК). Почати можна з розгляду аномальної орієнтації молекул НРК за рахунок потоку рідини, а потім розкрити механізм утворення доменів Капустіна – Вільямса та ефект динамічного розсіювання світла.

Наприкінці лекції можна показати демонстрацію [4] де вивчається ефект динамічного розсіювання світла (ДРС), який є досить зручним для демонстрації розсіювання світла. Якісно виготовлена комірочка може довго слугувати для таких цілей. При цьому не потрібно кожного разу готувати окремі зразки з різними параметрами центрів розсіювання. Зміною напруги на комірці можна змінювати розміри центрів розсіювання, а отже і інтенсивність та індикатриса розсіювання. До того ж студенти мають можливість оцінювати розміри неоднорідностей за допомогою мікроскопа. В класичних дослідах для зміни інтенсивності розсіювання потрібно змінювати та підбирати концентрацію розчинів, що не дуже зручно, а для зміни розмірів частинок, на яких відбувається розсіювання (для демонстрації ефекту Мі) взагалі потрібно мати розчини різних речовин. Великою перевагою є також те, що перед ефектом ДРС спостерігаються домени Капустіна-Вільямса, на яких можна спостерігати дифракцію когерентного випромінювання, яке плавно переходить в класичне розсіювання. Отже, студенти можуть спостерігати майже всі експериментальні закономірності розсіювання світла на одному зразку і до того ж більш глибоко вивчити електрогідродинамічні нестабільності в рідких кристалах.

Органічно пов'язана з лекцією також лабораторна робота [5], яку можна включити до циклу лабораторних робіт з оптики. Робота відрізняється простотою виконання і не потребує складного обладнання. Вона дозволяє студентам не тільки зрозуміти основні електрооптичні ефекти в рідких кристалах на яких базується побудова рідкокристалічних індикаторів, дисплеїв, транспарантів, та інших приладів, але і більш глибоко осягнути такі загально фізичні явища і поняття як поляризація світла, подвійне променезаломлення, діелектрична анізотропія, дипольний момент і таке інше.

## Література

1. Бушок Г.Ф., Венгер Е.Ф. Методика преподавания общей физики в высшей школе // Научное издание. – 2000. – С. 268.
2. Гриценко М.І., Кучесв С.І., Пустовий О.М. Вивчення текстур рідких кристалів методом поляризаційної мікроскопії в курсі загальної фізики // Матеріали 8-ї Всеукраїнської наукової конференції "Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики". – Миколаїв: МДПУ, 2003.
3. Гриценко М.І., Кучесв С.І., Пустовий О.М. Дослідження перебігу фазових переходів у рідких кристалах за зміною їх текстур // Наукові записки НПУ імені М.П.Драгоманова. Випуск XXI. – К., 2004.
4. Гриценко М.І., Кучесв С.І., Пустовий О.М. Демонстрація розсіювання світла з використанням електрооптичного ефекту динамічного розсіювання в нематичному рідкому кристалі в курсі загальної фізики. // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету. Випуск 36(2). – Чернігів, 2006. – С.115-119.
5. Гриценко М.І., Кучесв С.І., Пустовий О.М. Вивчення інтерференції поляризованого світла в нематичних рідких кристалах в умовах лабораторного практикуму // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету. Випуск 30. – Чернігів, 2005. – С. 66-71.

*Стаття рекомендована кафедрою загальної фізики Чернігівського державного педагогічного університету імені Т.Г.Шевченка.*

*Надійшла до редакції 14.05.2007 р.*