

ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ У ВИЩОМУ НАВЧАЛЬНОМУ ЗАКЛАДІ ПІД ЧАС ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРОГІДРОДИНАМІЧНИХ ЕФЕКТІВ В РІДКИХ КРИСТАЛАХ

Степан ВЕЛИЧКО, Віктор НЕЛПОВИЧ

У статті розглянуто демонстраційний експеримент при вивченні електрогідродинамічних властивостей в рідких кристалах.

In the article a demonstration experiment is considered at the study of properties of electrohydrodynamicss in liquid crystals.

У вищому навчальному закладі демонстраційний експеримент є не просто доповненням до словесного викладення курсу фізики, а складає його невід'ємну органічну компоненту. Демонстрації не можна вважати лише формою викладання, адже вони є експериментальною частиною змісту курсу фізики. Вони відіграють важливу роль не лише у формуванні стійких знань студентів про ті чи інші фізичні явища природи і техніки, а й активізують мислительну діяльність, викликають у слухачів стійкий інтерес до досліджуваного явища. Вдало виконана лекційна демонстрація сприяє більш глибокому засвоєнню й усвідомленню фізичних законів і явищ, формує культуру фізичного мислення, тим самим підкреслюючи експериментальний характер фізики як науки.

На даному етапі суспільного розвитку досягнення науки і техніки стрімко впроваджуються в повсякденне життя людини. Як свідчить аналіз навчально-методичної літератури [3], на жаль, не всі науково-технічні напрямки повною мірою представлені в курсі загальної фізики й одночасно недостатньо забезпечені необхідною системою демонстраційного експерименту. А з окремих тем лекційні демонстрації зовсім не зроблені.

Метою статті є розгляд лекційного демонстраційного експерименту при вивченні електрогідродинамічних властивостей рідких кристалів (РК) у вищому навчальному закладі.

Як відомо, рідкі кристали проявляють як властивості рідини – текучість, в'язкість, так і властивості кристалів – володіють пружністю, анізотропністю діелектричної та діаманітної проникності [1]. Анізотропні властивості пов'язані саме із будовою молекул речовини. Ці молекули можуть мати різну форму, але більшості із них притаманна паличкоподібна видовжена форма та плоска у вигляді диска. Відповідно до будови молекул та їх розташування рідкі кристали поділяються на такі типи: нематичні, холестеричні та смектичні рідкі кристали.

У нематиках (від грец. „нема” – нитка) центри мас молекул розташовані хаотично, довгі вісі молекул нематичного рідкого кристалу (НРК) розташовані приблизно паралельно, і дальній порядок спостерігається тільки по відношенню до їхньої орієнтації (рис. 1. а).

Холестеричні рідкі кристали (ХРК) утворюються в основному із з'єднань холестерину та інших стероїдів. Структура ХРК така ж, як і у нематиків, але додатково закручена в напрямку перпендикулярному довгим вісям молекул (рис. 1. б). Тобто ХРК можна розбити на прошарки, в кожному з яких молекули будуть розташовуватися майже паралельно одна одній. Але при переході від шару до шару довгі вісі молекул повертаються на невеликий кут. Утворюється гвинтова структура, крок спіралі P може досягати декількох тисяч ангстрем.

Найбільш впорядкованими є смектичні рідкі кристали (СРК) (від грец. “смегма” – мило). Вони ніби двомірні кристали (рис. 1. в), центри мас молекул розташовані в шарах,

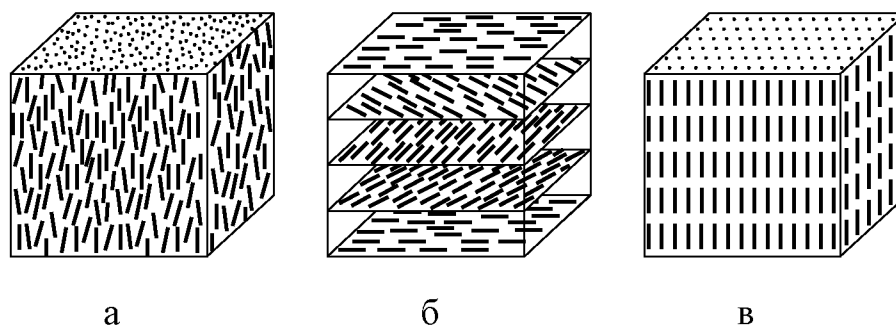


Рис. 1. Типи рідких кристалів: а – нематик; б – холестерик; в – смектик.

але напрямок кожного шару вже не лежить в площині шару, а створює з ним деякий кут.

Зазвичай РК є неорієнтованим, тобто зразок складається з окремих рідких кристалів, кожен з яких має певним чином напрямлену оптичну вісь, яка збігається з віссю переважної орієнтації молекул у цьому кристалі. Для того, щоб можна було проводити дослідження зразків РК, їх певним чином орієнтують, розміщаючи між паралельними скляними пластинками, на яких нанесено тонкий прозорий шар електроду, така конструкція називається оптичною коміркою (ОК). Таким чином утворюється рідкий монокристал. Розрізняють гомеотропну орієнтацію молекул в шарі РК – орієнтація оптичної осі молекул речовини перпендикулярна до поверхні пластин та гомогенну (або планарну) – орієнтація перпендикулярна до поверхні пластин [1, 299-302].

У сильних електричних полях в широкому діапазоні частот в НРК виникає електрогідродинамічна нестабільність. Оптично вона виявляється у виникненні вихрових трубок (домени Капустіна - Вільямса), які діють як система циліндричних

лінз. Ці електрооптичні ефекти називаються електрогідродинамічними. У них немає магнітного аналогу.

Для кращого засвоєння студентами електрогідродинамічного ефекту в рідкому кристалі нами запропоновано провести наступні демонстраційні досліди під час лекційного заняття:

1. Демонстрація доменів Капустіна-Вільямса;
2. Демонстрація динамічного розсіювання світла.

Демонстрація доменів Капустіна-Вільямса.

Короткі пояснення демонстрації: Домени Капустіна-Вільямса утворюються в нематичному рідкому кристалі з від'ємною діелектричною анізотропією ($\Delta\epsilon < 0$). Орієнтація молекул відносно обмежуючих поверхонь може бути як планарною, так і гомеотропною. Ефект полягає у виникненні просторового заряду за рахунок руху позитивних та негативних зарядів у змінному електричному полі (рис.2). Причому для даного ефекту існує критична частота, вище якої ефект не відбувається [1, 310-312].

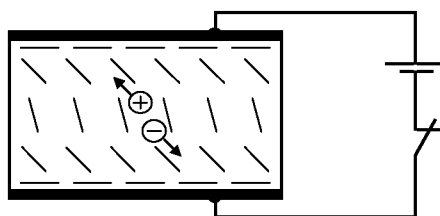


Рис.2. Схема розподілу зарядів в РК

Завдяки руху іонів встановлюється вихрове обертання молекул НРК всередині циліндричних областей. Тобто циліндричні області відіграють роль лінз (рис.3). І, наприклад, в об'єктиві мікроскопу можемо спостерігати картину чергування темних і світлих ліній, що є наслідком розподілу молекул за орієнтаціями. Таку смугасту картину називають доменами Капустіна-Вільямса, на честь радянського фізика А.П.Капустіна, який вперше спостерігав цю картину в 1961 р. та американського вченого Р.Вільямса, який більш детально вивчив це явище.

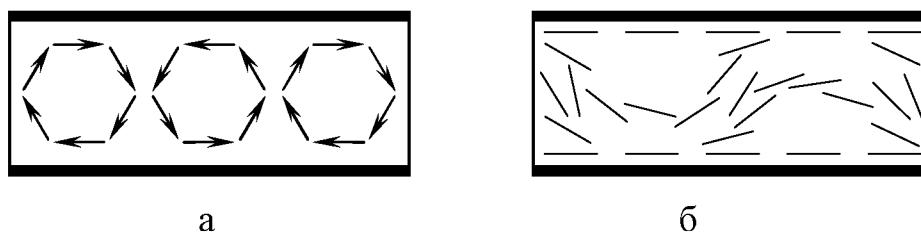


Рис.3. Структура доменів Капустіна - Вільямса:
а - напрямки руху молекул; б - орієнтація молекул.

НРК, в якому утворено домени, можна спостерігати не лише під мікроскопом, а і використати як дифракційну ґратку. Причому стала такої дифракційної ґратки рівна декільком мікрометрам і залежить від товщини зразка. Для спостереження доменів повинні виконуватися наступні умови [1]:

- частота змінного електричного струму повинна бути нижчою за порогову $\nu < \nu_{пор}$ (приблизно менше 1 кГц);

- напруга рівна пороговій $U=U_{\text{пор}}$;
- нематичний рідкий кристал повинен мати відносно малий питомий опір, менший за $1-2 \cdot 10^{10}$ Ом/см.

Обладнання: напівпровідниковий лазер, оптична комірка з нематиком планарної орієнтації з від'ємною анізотропією ($\Delta\epsilon < 0$), екран, звуковий генератор (ГЗ-34), вимикач, вольтметр, провідники.

Хід експерименту:

1. Зібрати установку, як показано на рис. 4;
2. Послідовно до ОК під'єднати вольтметр, вимикач, звуковий генератор.

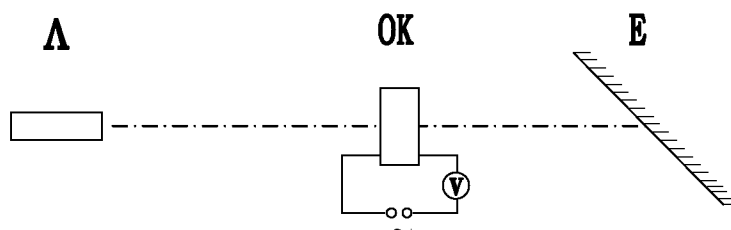


Рис. 4. Схема установки для демонстрації доменів Капустіна – Вільямса: Л – лазер; ОК – оптична комірка; Е – екран.

3. Замкнувши вимикач, встановлюють початкову частоту $\sim 20-100$ Гц.
4. Збільшуючи напругу, досягають $U_{\text{пор}}$, при якій спостерігається дифракційний спектр.
5. Оптичною коміркою орієнтують дифракційну картину в горизонтальному положенні.

Динамічне розсіювання світла.

Короткі пояснення демонстрації: Динамічне розсіювання світла (ДРС) – електрооптичний ефект, при якому відбувається інтенсивне розсіювання світла, що падає на РК-комірку. Це явище відбувається в нематичному рідкому кристалі з від'ємною анізотропією і є наслідком переходу від доменів Капустіна-Вільямса при подальшому підвищенні напруги $U \gg U_{\text{кр}}$ ($U \approx 2U_{\text{кр}}$). Потік іонів РК стає більш турбулентними, а рух молекул хаотичним, при цьому руйнуються циліндричні області і величина показника заломлення змінюється хаотично [1; 4].

Обладнання: напівпровідниковий лазер, оптична комірка з нематиком планарної орієнтації з від'ємною анізотропією ($\Delta\epsilon < 0$), екран, звуковий генератор (ГЗ-34), вимикач, вольтметр, провідники.

Хід роботи.

1. Зібрати установку, як показано на рис. 5.
2. Послідовно до ОК під'єднати вольтметр, вимикач, звуковий генератор.
3. Показують, що при відсутності електричного поля ($U = 0$) пучок лазера вільно проходить через ОК і на екрані утворюється яскрава червона цяпка.
4. Замкнувши вимикач, встановлюють початкову частоту $\sim 20-100$ Гц.
5. Збільшуючи напругу, досягають $U_{\text{пор}}$, при якій спостерігається дифракційний спектр.
6. Збільшуючи напругу, більше $U_{\text{пор}}$ (близько $2U_{\text{пор}}$), спостерігають на екрані збільшення плями лазера (рис. 5).

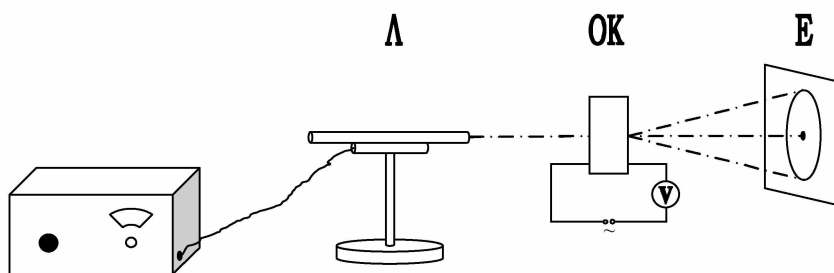


Рис. 5. Схема установки для демонстрації динамічного розсіювання світла в РК: Л – лазер; ОК – оптична комірка; Е – екран. (адаптовано з [4]).

На даній установці є змога показати і інертність ефекту. При збільшенні товщини ОК до 50 мкм час зберігання розсіювання після припинення дії поля буде складати декілька секунд. У порівнянні із товщиною 10 мкм, при якій відповідний час складає десяти і соті долі секунди.

Дослід із демонстрацією даного електрооптичного явища запропоновано Г.Т.Горбуновим [2]. Але замість лазера він використав ФОС-115. І сама схема проведення досліду змінена. А саме, він розмістив між проектором та РК-коміркою непрозорий стержень. Тому при відсутності напруги спостерігаються чіткі контури стержня – комірка прозора. При наявності напруги між пластинками приблизно 10 В спостерігається динамічне розсіювання світла і контури стержня стають розмитими (рис.6.).

Таким чином запропоновані демонстраційні експерименти під час лекційного заняття у комплексному поєднанні з іншими видами навчальної діяльності сприяють кращому засвоєнню навчального матеріалу студентами при вивченні електрогідродинамічних властивостей рідких кристалів. Разом з тим ці демонстрації переконливо ілюструють фізичну сутність розглянутих ефектів та можливості їхнього практичного застосування.

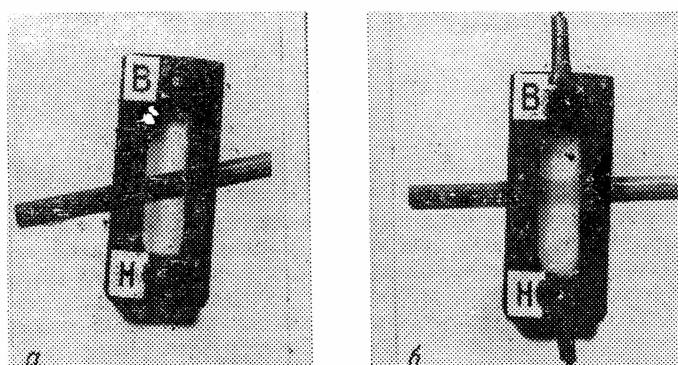


Рис. 6. Схема досліду Г.Т.Горбунова:
 а - комірка прозора ($U = 0$);
 б - динамічне розсіювання світла ($U = 10 \text{ В}$). (адаптовано з [2]).

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Готра О.З. Мікроелектронні елементи та пристрої для термометрії. – Львів: Ліга-Прес, 2001. – 487с.
2. К изучению жидкокристаллического вещества. / Горбунов Г.Т. // Физика в школе. – 1989. — N5. — С.78 - 80.
3. Неліпович В., Величко С. Сучасний стан і проблеми вивчення фізики рідких кристалів у середніх та вищих навчальних закладах. // Наукові записки – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: КДПУ, 2004. – Вип. 55. С. 218 – 222.
4. Пикин С.А., Блинов Л.М, Жидкие кристаллы / Под ред. Л.Г.Асламазова – М.: Наука, 1982. – 208с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Величко Степан Петрович – завідувач кафедру фізики та методики її викладання КДПУ ім. В. Винниченка, доктор педагогічних наук, професор.

Наукові інтереси: проблеми дидактики фізики вищої і середньої школи.

Неліпович Віктор Володимирович – аспірант кафедри фізики та методики її викладання КДПУ ім. В. Винниченка.

Наукові інтереси: вивчення рідких кристалів у загальному і шкільному курсі фізики.