

Форма № Н-9.02

Житомирський державний університет імені Івана Франка

(повне найменування вищого навчального закладу)

фізико-математичний факультет

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

кафедра фізики

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Дипломна робота

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ КОЕФІЦІЄНТА
ПРОПУСКАННЯ В РІДКОМУ КРИСТАЛІ 5СВ ПРИ НАЯВНОМУ В
НЬОМУ НАНОЧАСТИНОК»

Виконала: студентка 6 курсу, групи 62
напряму підготовки (спеціальності)
8.04020301 Фізика*

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Деменік Людмила Ростиславівна

(прізвище та ініціали)

Керівник Ткаченко О. К.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Москвін П. П.

(прізвище та ініціали)

Житомир - 2015 рік

ЗМІСТ

Вступ	3
Розділ 1. Історія дослідження рідких кристалів.....	7
1.1. Історія відкриття РК	7
1.2. Дослідження РК на сучасному етапі.....	9
Розділ 2. Рідкі кристали та їх основні фізичні властивості	11
2.1. Структура і класифікація мезофаз	11
2.2. Основні фізичні властивості рідких кристалів	13
Розділ 3. Практична частина дослідження	20
3.1. Досліджуваний зразок	20
3.2. Виготовлення комірки з рідким кристалом	21
3.3. Опис експериментальної установки для дослідження спектрів поглинання	23
3.4. Установка і юстування джерела світла і освітлювальних систем спектрографа ДФС-8	26
3.5. Дослідження спектральної залежності коефіцієнта пропускання в рідкому кристалі 5СВ при наявному в ньому наночастинок	31
Розділ 4. Практичне застосування	35
Висновки	47
Додатки.....	48
Список використаної літератури	52

ВСТУП

Деякий час тому надзвичайною популярністю в США користувалася новинка ювелірного виробництва, що отримала назву «перстень настрою». За рік було продано 50 мільйонів таких перснів, тобто практично кожна доросла жінка мала цей ювелірний виріб. Що ж привернуло увагу любителів прикрас до цього персня? Виявляється, він мав зовсім містичну властивість реагувати на настрій його власника. Реакція полягала в тому, що колір камінця персня слідував за настроєм власника, пробігаючи всі кольори веселки від червоно до фіолетового. Ось це поєднання таємничої властивості вгадувати настрій, декоративність персня, яка забезпечується яскравим і мінливим забарвленням камінця, а також низька ціна і забезпечили успіх «персня настрою».

Мабуть, саме тоді вперше широкі маси зіткнулися із загадковим терміном «рідкі кристали». Справа в тому, що кожному власнику персня хотілося дізнатися його секрет стеження за настроєм. Але, достеменно нічого не було відомо, тільки говорилося, що камінчик персня зроблений на рідкому кристалі (для уточнення – на холестеричному рідкому кристалі), а секрет «персня настрою» пов'язаний з його дивовижними оптичними властивостями.

Для того, хто тільки чув про рідкі кристали, а можливо і не чув про них взагалі, щоб розкрити секрет такого персня, необхідно спочатку дізнатися що таке рідкі кристали, і тоді він дізнається не тільки про те, як рідкі кристали дозволяють стежити за настроєм людини, але і про багато інших дивних властивостей і практичних застосувань.

Все частіше на сторінках наукових, а останнім часом і науково-популярних журналів з'являється термін «рідкі кристали» (РК) і статті, присвячені рідким кристалам. У повсякденному житті ми використовуємо годинники, термометри на рідких кристалах. Що ж це за речовина з такою парадоксальною назвою «рідкі кристали» і чому до них виявляють такий значний інтерес?

У наш час наука стала продуктивною силою і тому, як правило, підвищений науковий інтерес до того чи іншого явища або об'єкта означає, що це явище або об'єкт становить інтерес для матеріального виробництва[18]. У цьому відношенні рідкі кристали не є виключенням. Інтерес до них перш за все зумовлений можливостями їх ефективного застосування у ряді галузей виробничої діяльності. Впровадження рідких кристалів означає економічну ефективність, простоту, зручність.

Отже, рідкий кристал – це специфічний агрегатний стан речовини, у якому він виявляє одночасно властивості кристала і рідини [5]. Відразу слід зазначити, що далеко не всі речовини можуть знаходитися у рідкокристалічному стані. Більшість речовин може знаходитися тільки у трьох агрегатних станах: твердому (кристалічному), рідкому і газоподібному. Виявляється, деякі органічні речовини, що володіють складними молекулами, окрім трьох вище названих станів, можуть утворювати четвертий агрегатний стан – рідкокристалічний. Цей стан з'являється при плавленні кристалів деяких речовин. При їх плавленні з'являється рідкокристалічна фаза, яка відрізняється від звичайних рідин. Ця фаза існує в інтервалі від температури плавлення кристала до деякої більш високої температури, при нагріванні до якої рідкий кристал переходить у звичайну рідину[2]. Подібно до звичайної рідини, рідкий кристал володіє текучістю і приймає форму посудини, в яку він поміщений. Цим він відрізняється від відомих всім кристалів. Однак, не зважаючи на цю властивість, що об'єднує його з рідиною, він має властивість, характерну для кристалів – це упорядкування у просторі молекул, що утворюють кристал. Правда, це впорядкування не таке повне, як у звичайних кристалах, але, тим не менше, воно істотно впливає на властивості рідких кристалів, чим і відрізняється від звичайних рідин. Неповне просторове впорядкування молекул, що утворюють рідкий кристал, проявляється у тому, що у рідких кристалах нема повного порядку у просторовому розташуванні центрів тяжіння молекул, хоча частковий порядок може бути. Це означає, що у них немає жорсткої

кристалічної решітки. Тому рідкі кристали, подібно до звичайних рідин, володіють властивістю текучості [15].

Дослідження з фізики рідких кристалів та їх застосування в даний час ведуться широким фронтом у всіх найбільш розвинутих країнах світу. Вітчизняні дослідження зосереджені як в академічних, так і галузевих науково-дослідних установах. Широку популярність і визнання отримали виконані ще у тридцяті роки роботи В. К. Фредерікса і В. Н. Цветкова. В останні роки бурхливого вивчення рідких кристалів вітчизняні дослідники також зробили вагомий внесок у розвиток вчення про рідкі кристали в цілому і, зокрема, оптику рідких кристалів. Отже, детальне дослідження рідких кристалів як з точки зору оптики, так і з точки зору новітніх інформаційних технологій представляє надзвичайно великий інтерес для сучасної науки.

Актуальність теми дослідження:

- ✓ на даний час використання нематичних рідких кристалів в техніці базується на їх оптичних властивостях, що робить їх досить перспективними середовищами для практичних використань в оптичних приладах;
- ✓ швидкий розвиток розробки різноманітних пристроїв, в яких використовуються нематичні рідкі кристали.

Експериментальні методи: оптична спектроскопія (вимірювання спектрів поглинання).

Досліджувані зразки: комірки із нематичним рідким кристалом товщиною $2 \cdot 10^{-5}$ м.

Предмет дослідження: дослідження спектральної залежності коефіцієнта пропускання в рідкому кристалі 5CB.

Об'єкт дослідження: нематичний рідкий кристал 5CB.

Мета дослідження: експериментально дослідити коефіцієнт пропускання нематичного рідкого кристалу 5CB при наявному в ньому наночастинок на основі дослідження спектрів поглинання рідких кристалів.

Відповідно до предмета та мети визначено основні **завдання** дослідження:

- ✓ огляд літератури щодо будови і властивостей рідких кристалів;
- ✓ провести експериментальне дослідження нематичного рідкого кристалу 5CB;
- ✓ розглянути та проаналізувати особливості спектрів поглинання даного рідкого кристалу;
- ✓ визначити спектральну залежність коефіцієнта пропускання в рідкому кристалі 5CB при наявному в ньому наночастинок.

Наукова новизна: встановлено, що:

- 1) в області 700-600 нм коефіцієнт пропускання залишається практично сталим;
- 2) в області 600-570 нм спостерігається різке зростання коефіцієнта пропускання при температурах $T_1 = 300$ К, $T_2 = 310$ К, $T_3 = 320$ К;
- 3) після 570 нм – коефіцієнт пропускання практично прямує до $+\infty$.

При підвищенні температури спостерігається зміщення залежності коефіцієнта пропускання в область коротких хвиль.

Практичне значення: розвиток сучасної науки і техніки неможливо уявити без систем обробки і відображення інформації. Зокрема, важливе значення має індикаторна техніка: від простого пристрою, що відображає два стійких стани системи до телевізійних екранів, великих екранів колективного використання, дисплеїв ЕОМ, що можуть відображати велику кількість інформації, яка швидко змінюється, і т.д.

Структура та обсяг дипломної роботи. Дана дипломна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, додатку та списку використаних джерел. Повний обсяг дипломної роботи – 53 сторінки, в тому числі 13 рисунків, 4 графіка.

РОЗДІЛ 1. ІСТОРІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РІДКИХ КРИСТАЛІВ

1.1. ІСТОРІЯ ВІДКРИТТЯ РК

Не володіючи сучасною величезною інформацією про будову матерії, дуже важко повірити, що такі, здавалося б, властивості, що взаємно виключають один одного, можуть виявлятися у однієї речовини. Тому, ймовірно, дослідники вже дуже давно стикалися з рідкокристалічним станом, але не віддавали собі в цьому звіту. Проте існування рідких кристалів було встановлене дуже давно, майже сторіччя тому, а саме в 1888 році [13].

Вперше рідкі кристали отримав австрійський учений-ботанік Фрідріх Рейнітцер [3], спостерігаючи дві точки плавлення складного ефіру холестерину – холестерилбензоата (рис.1).

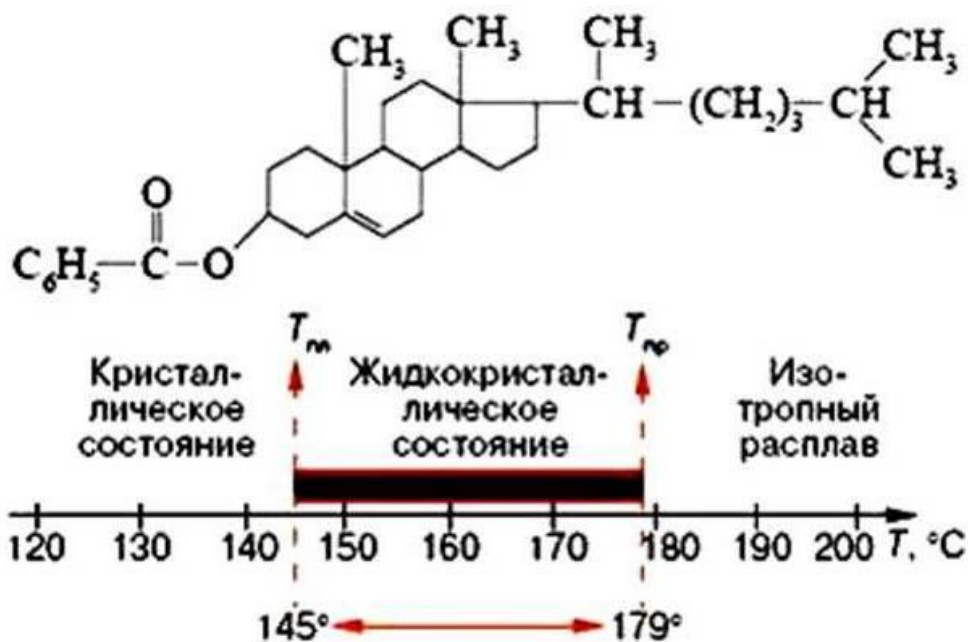


Рис.1. Перша рідкокристалічна сполука – холестерилбензоат і діаграма, що ілюструє температурну область існування РК-фази

При температурі плавлення ($T_{\text{пл}}$), 145°C , кристалічна речовина перетворювалося на мутну, сильно розсіюючи світло рідину, яка при 179°C ставала прозорою. На відміну від точки плавлення температуру, при якій відбувалося просвітлення зразка, Рейнітцер назвав точкою просвітління ($T_{\text{пр}}$) [9]. Вражений цим надзвичайним явищем, що свідчить нібито про подвійне

плавлення, Рейнітцер відправив свої зразки німецькому кристалографу Отто Леману з проханням допомогти розібратися в дивній поведінці холестерилбензоата. Досліджуючи їх за допомогою поляризаційного мікроскопа, Леман встановив, що мутна фаза, яка спостерігається Рейнітцером, є анізотропною. Оскільки властивості анізотропії притаманні твердому кристалу, а речовина у мутній фазі була рідкою, Леман назвав її рідким кристалом [14].

З тих пір речовини, здатні в певному температурному інтервалі вище точки плавлення поєднувати одночасно властивості рідин (текучість, здатність до утворення крапель) і властивості кристалічних тіл (анізотропію), стали називатися *рідкими кристалами* або *рідкокристалічними*. РК- речовини часто називають мезоморфними, а утворену ними РК-фазу – мезофазою (від грец. «мезос» - проміжний) [12].

Однак розуміння природи РК-стану речовин, встановлення і дослідження їх структурної організації приходить значно пізніше . Серйозна недовіра до самого факту існування таких незвичайних сполук у 20-30-х роках змінилося їх активним дослідженням. Роботи Д. Форлендера в Німеччині багато в чому сприяли синтезу нових РК -сполук. Французький учений Ж. Фрідель запропонував першу класифікацію рідких кристалів, голландець С. Озеен і чех Х. Цохер створили теорію пружності, російські вчені В.К. Фредерікс і В.М. Цветков у 30-х роках вперше досліджували поведінку рідких кристалів в електричних і магнітних полях. Однак до 60-х років вивчення рідких кристалів не представляло істотного практичного інтересу, і всі наукові дослідження мали досить обмежений, чисто академічний інтерес [8].

Ситуація різко змінилася в середині 60-х років, коли у зв'язку з бурхливим розвитком мікроелектроніки та мікромініатюризації приладів потрібними стали речовини, здатні відображати і передавати інформацію, потребуючи при цьому мінімум енергії. І ось тут на допомогу прийшли рідкі кристали, подвійний характер яких (анізотропія властивостей і висока

молекулярна рухливість) [16] дозволив створити керовані зовнішнім електричним полем швидкодіючі і економічні РК-індикатори, що є по суті основним елементом багатомільйонної «армії» годинників, калькуляторів, плоских екранів телевізорів, електричних приладів технічного й побутового призначення та ін.

Рідкокристалічний бум, в свою чергу, стимулював активну наукову діяльність: скликалися міжнародні симпозіуми та конференції по рідким кристалам, організовувалися школи для молодих вчених, випускалися збірники та монографії.

1.2. ДОСЛІДЖЕННЯ РК НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ

Сучасний етап вивчення рідких кристалів, який почався в 60-і роки і додав науці про РК сьогоднішні форми, методи досліджень, широкий розмах робіт сформувався під безпосереднім впливом успіхів в технічних додатках рідких кристалів, особливо в системах відображення інформації. В цей час зрозуміло і практично доведено, що в наше століття мікроелектроніки, що характеризується впровадженням мікромініатюрних електронних пристроїв, споживаючих нікчемні потужності енергії для пристроїв індикації інформації, тобто зв'язки приладу з людиною, найбільш відповідними виявляються індикатори на РК. Річ у тому, що такі пристрої відображення інформації на РК природним чином вписуються в енергетику і габарити мікроелектронних схем. Вони споживають невелику кількість потужності і можуть бути виконані у вигляді мініатюрних індикаторів або плоских екранів. Все це зумовлює масове впровадження рідкокристалічних індикаторів в системи відображення інформації, свідками якого ми є в теперішній час. Щоб усвідомити цей процес, досить пригадати годинник або мікрокалькулятори з рідкокристалічними індикаторами. Але це тільки початок. На зміну традиційним і звичним пристроям йдуть рідкокристалічні системи відображення інформації. Часто буває, технічні потреби не тільки стимулюють розробку проблем, пов'язаних з практичними застосуваннями,

але і часто примушують переосмислити загальне відношення до відповідного розділу науки. Так відбулося і з рідкими кристалами. Зараз зрозуміло, що це найважливіший розділ фізики стану, що конденсує.[1]

РОЗДІЛ 2. РІДКІ КРИСТАЛИ ТА ЇХ ОСНОВНІ ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

2.1. СТРУКТУРА І КЛАСИФІКАЦІЯ МЕЗОФАЗ

Рідкий кристал — це проміжна фаза (мезофаза) між ізотропною рідиною і кристалічним твердим тілом [11]. Рідкі кристали являють собою флюїди, молекули яких певним чином впорядковані, тобто існує певна симетрія. Як наслідок, існує анізотропія механічних, електричних, магнітних та оптичних властивостей речовин цього класу. Поєднуючи властивості рідин та твердих тіл (текучість, анізотропія), рідкі кристали проявляють специфічні ефекти, багато з яких не спостерігаються у рідинах та твердих тілах. Зокрема, в рідких кристалах спостерігається подвійне променезаломлення, флексоелектричний ефект, перехід Фредерікса [17].

Речовини, молекули яких за певних умов здатні утворювати рідкокристалічні фази, називаються мезогенами [10]. Як правило, ці молекули є певною мірою жорсткими та анізотропними (суттєво довші або коротші в одному напрямі, ніж в інших). Більшість мезогенів — це продовгуваті стрижнеподібні молекули. Менш поширені дископодібні молекули, хоча існують ще більш екзотичні форми молекул рідких кристалів. Деякі мезогени можуть утворювати кілька мезофаз. В залежності від способу утворення мезофаз рідкі кристали поділяються на ліотропні та термотропні. Ліотропні рідкі кристали проявляють властивості мезофаз при певних концентраціях мезогену у розчиннику, в той час як термотропні рідкі кристали є мезофазами в певних температурних межах. Останні в свою чергу поділяються в залежності від способу впорядкування молекул (в залежності від симетрії) на нематичні рідкі кристали (нематики) та смектичні рідкі кристали (смектики) [4]. Нематики, молекули яких мають продовговату стержневидну форму, характеризуються дальнім орієнтаційним порядком, проте не мають дальнього трансляційного порядку (рис.2б). Тобто, існує

певний переважний напрям орієнтації довгих осей молекул нематика, який характеризується одиничним вектором \vec{n} і називається директором [6].

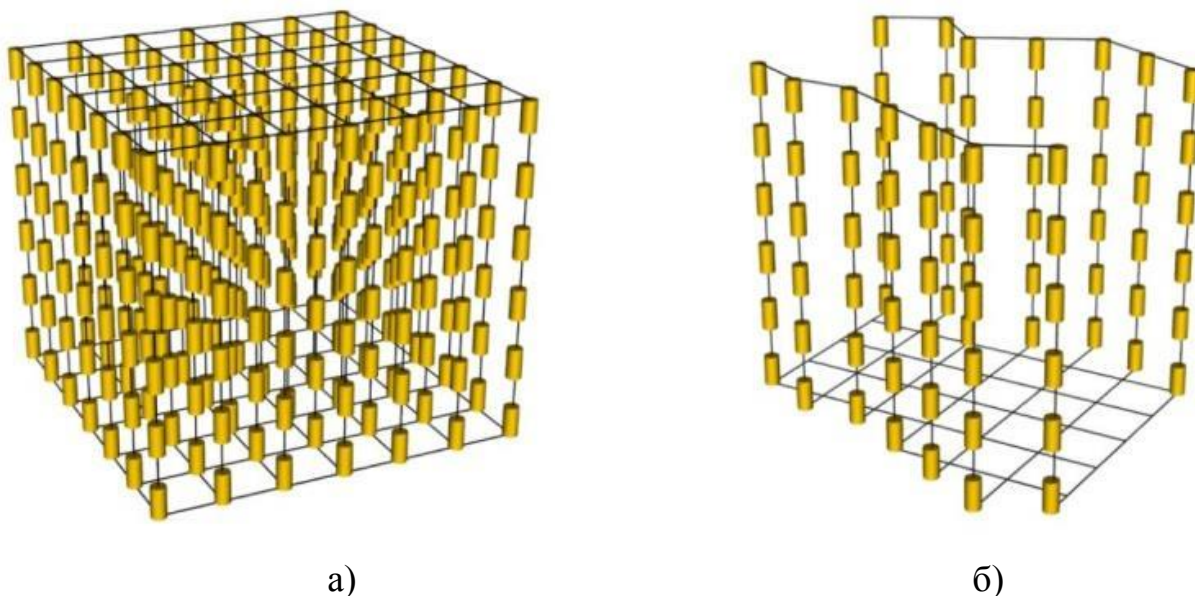


Рис.2. Структура смектичної мезофази (а) і нематичної мезофази (б)

Смектична мезофаза (рис.2а) відрізняється від нематичної наявністю дальнього трансляційного порядку. Таким чином, молекули смектиків розміщуються шарами.

Холестеричні рідкі кристали (холестерики) складаються з оптично активних молекул, тобто несиметричних молекул із хіральністю (рис.3). Холестеричні рідкі кристали характеризуються далеким порядком в одному напрямку, в якому директор є періодичною функцією [7]. Період зміни напрямку директора називається кроком спіралі.

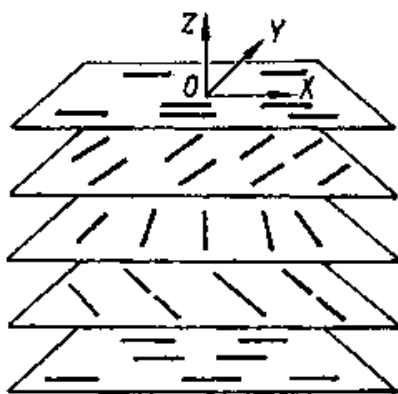


Рис.3.Схема холестеричної мезофази

Оскільки крок спіралі для різних холестеричних рідких кристалів має величину від десятих долей мікрометра до нескінченності, то видиме та інфрачервоне світло дифрагує на таких структурах, що зумовлює селективне відбивання світлових хвиль [3]. За межами інтервалу довжин хвиль, для яких має місце селективне відбивання, холестерині рідкі кристали мають значну оптичну активність (у 10^2 - 10^3 разів більшу, ніж у органічних рідин у твердих кристалів). Прикладом холестеричних рідких кристалів є ефіри холестерину.

2.2. ОСНОВНІ ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РІДКИХ КРИСТАЛІВ

Рідким кристалам притаманні незвичайні властивості. Зокрема, нематика і смектики є оптично одноосними кристалами. Холестеричним рідким кристалам внаслідок періодичності структури притаманне брегівське відбивання у видимій області [8]. У нематиках і холестериках носієм властивостей є рідина (середовище легко деформується), тому вони надзвичайно чутливі до зовнішніх подразнень.

Крок спіралі, і відповідно, довжина хвилі світла може різко змінюватися в температурному інтервалі в декілька градусів. Цей факт має велике прикладне значення: знаходження гарячих точок у мікроланцюгах, локалізації переломів і пухлин у людини, візуалізація зображення в інфрачервоних променях. Крок спіралі також чутливий до інших параметрів: тиск, хімічний склад тощо [2].

У нематичному рідкому кристалі напрямок переважної орієнтації в середовищі змінюється від точки до точки, однак, якщо орієнтація в зразку однорідна, то він оптично одноосний і має сильне, позитивне подвійне променезаломлення. У смектиках сили протягування між шарами слабкі, і, як наслідок, шари можуть ковзати один відносно одного. Така мезофаза має властивості рідини, хоча і характеризується значною в'язкістю порівняно із нематиками. Енергія, необхідна для деформації рідкого кристала настільки мала, що найменше збудження (пил, неоднорідність поверхні) можуть сильно

спотворити структуру. Тому, якщо рідкий кристал помістити між скляними пластинками в поляризаційний мікроскоп, то можна буде побачити складну оптичну картину [16]. Наприклад, плівка нематика виявляє характерну ниткоподібну структуру, а смектика – дає конфокальну структуру. Ці структури корисні при оптичній ідентифікації мезофаз.

Подвійне променезаломлення

Спонтанна орієнтація молекул в рідких кристалах наводить до того, що ці речовини проявляють оптичне двопроменезаломлення, властиве деяким твердим кристалам. Світло, що проходить через однорідно-упорядковані шари рідких кристалів, розпадається на два променя: незвичайний, напрямком поляризації якого співпадає з напрямком оптичної осі рідкого кристала, й, звичайний, з напрямком поляризації, перпендикулярним цій осі. Кристал вважається оптично позитивним, якщо $n_e - n_o > 0$, й оптично негативним, якщо $n_e - n_o < 0$; n_e та n_o – коефіцієнти переломлення незвичайного й звичайного променів [13].

Нематичні та смектичні рідкі кристали оптично позитивні й напрямком довгих осей молекул співпадає з напрямком оптичної осі. Холестерині рідкі кристали, в яких довгі осі молекул перпендикулярні осі холестеричної спіралі, яка, в свою чергу, паралельна оптичній осі зразка, - оптично негативні [10]. Ця особливість часто служить критерієм відмінності холестеричних рідких кристалів від смектичних.

Знак двопроменезаломлювання та напрямком оптичної осі в рідкокристалічному зразку, як і в твердому кристалі, можна визначити при спостереженні в мікроскопі в світлі, що сходиться.

Орієнтовані шари рідкокристалічних холестериків, нематиків і смектиків оптично одновісні, тобто для рідких кристалів характерний тільки один напрямок, в якому світло проходить з однаковою швидкістю незалежно від стану поляризації. В смектиках є два таких напрямки, вони двоосні. Двоосний стан можна отримати деформацією холестеричних і нематичних рідких кристалів [11].

Двопроменезаломлювання нематиків монотонно спадає з ростом температури й різко падає до нуля в точці фазового переходу в ізотропну рідину. Коефіцієнт заломлення для незвичайного проміння n_e різко зменшується з ростом температури, а коефіцієнт заломлення звичайного проміння n_o повільно росте [4]. Показано, що термічна залежність двопроменезаломлювання нематиків визначається дисперсійними силами й силами відштовхування.

Директор

Напрямок переважаючої орієнтації молекул прийнято характеризувати одиничним вектором \vec{L} , для якого напрямки \vec{L} і $-\vec{L}$ є еквівалентними. Такий вектор називається директором [18]. В нематичних рідких кристалах директор співпадає з напрямком оптичної осі z . В холестеричних рідких кристалах директор повертається при уявному русі вздовж осі холестеричної спіралі z так, що його компоненти можна записати наступним чином:

$$L_x = \cos\varphi, L_y = \sin\varphi, L_z = 0,$$

де кут закручування можна виразити через величину хвильового вектора спіралі:

$$\varphi = q_0 z + \text{const.}$$

Ступінь упорядкованості

Директор вказує лише напрям переважної орієнтації молекул, однак нічого не говориться наскільки досконала упорядкованість мезофази. Мірою дальнього орієнтаційного порядку є ступінь упорядкованості, що був введений В. М. Цветковим [7]:

$$S = \frac{1}{2} (3 \cos^2 \theta - 1),$$

де θ - кут між віссю окремої молекули і директором рідкого кристала, а усереднення береться по всьому ансамблю. В ідеальному кристалі $S=1$, а в ізотропній фазі $S=0$. Величина S характеризує упорядкованість рідкого

кристала і в першому наближенні не залежить від зовнішніх подразнень і є лише функцією температури речовини і складу.

В смектичних рідких кристалах ступінь упорядкованості вищий, ніж у нематичних.

Перехід Фредерікса

Анізотропія електричних і оптичних властивостей поряд з властивістю плинності рідких кристалів зумовлює різноманітність електрооптичних ефектів. Найбільш важливі орієнтаційні ефекти, зумовлені впливом зовнішнього електричного поля на орієнтацію молекул у рідких кристалах. Ці явища вперше виявив В.К.Фредерікс і їх називають переходами Фредерікса [1].

Електрооптичні властивості рідких кристалів лежать в основі широкого їх застосування. Зміна орієнтації L у нематичному рідкому кристалі вимагає електричної напруги порядку 1В і потужності порядку 1мкВт , що можна забезпечити безпосереднім передаванням сигналів з інтегральних схем без їхнього додаткового підсилення. Тому рідкі кристали широко застосовуються в малогабаритних електронних годинниках, калькуляторах, вимірювальних приладах як індикатори і табло для відображення відповідної інформації. В комбінуванні з фото чутливими напівпровідниковими шарами рідкі кристали застосовуються як підсилювачі і перетворювачі зображень, а також як пристрої оптичної обробки інформації.

Залежність кроку спіралі холестеричного рідкого кристала від температури дає можливість використовувати плівки цих речовин для спостереження розподілу температури на поверхні різних тіл. Цей метод застосовується також у медицині для діагнозу запальних процесів, візуалізації теплового вимірювання тощо [12].

Флексоелектричний ефект

Говорячи про форму молекул рідкого кристала, ми можемо апроксимувати її жорсткою паличкою. Розглядаючи моделі структур

молекул, можна прийти до висновку, що не для всіх з'єднань наближення молекула-паличка відповідає їх формі. З формою молекул пов'язана низка цікавих, які спостерігаються на досліді, властивостей рідких кристалів. Особливої уваги заслуговують властивості рідких кристалів, пов'язані з відхиленням його форми від найпростішої молекули-палички, що проявляється в існуванні флексоелектричного ефекту.

Мейєр припустив, що молекули мають грушоподібну або бананоподібну форми. Далі він припустив, що відхилення форми молекули від найпростішої, що розглядалася раніше, супроводжується виникненням у неї електричного дипольного моменту [5].

Виникнення дипольного моменту у молекули несиметричної форми - типове явище і пов'язане воно з тим, що розташування «центра ваги» негативного електричного заряду електронів в молекулі може бути кілька зміщене щодо «центра ваги» позитивних зарядів атомних ядер молекули. Це відносне зміщення негативних і позитивних зарядів відносно один одного і призводить до виникнення електричного дипольного моменту молекули. При цьому в цілому молекула залишається нейтральною, оскільки величина негативного заряду електронів в точності дорівнює позитивному заряду ядер. Величина дипольного моменту дорівнює добутку заряду одного із знаків на величину їх відносного зсуву. Спрямований дипольний момент вздовж напрямку зсуву від негативного заряду до позитивного. Для грушоподібної молекули напрямок дипольного моменту має збігатися з віссю обертання, для бананоподібної молекули - направлено поперек довгої осі [15].

Розглядаючи рідкий кристал таких молекул, легко зрозуміти, що без впливу на нього зовнішніх впливів дипольний момент макроскопічно малий, але, зрозуміло, що містить велику кількість молекул рідкого кристала, дорівнює нулю. Це пов'язано з тим, що напрям директора в рідкому кристалі задається орієнтацією довгих осей молекул, кількість самих молекул, дипольний момент яких спрямований по директорові в ту й іншу сторону - для грушоподібних молекул, або для бананоподібних молекул - поперек

напрямку директора в той та інший бік, однаково. У результаті дипольний момент будь-якого макроскопічного обсягу рідкого кристала дорівнює нулю, так як він дорівнює сумі дипольних моментів окремих молекул. Виникає переважний напрямок орієнтації дипольних моментів окремих молекул і, як наслідок, з'являється макроскопічний дипольний момент в об'ємі рідкого кристала. Причиною такого вибудовування є сферичні чинники, тобто чинники, що забезпечують щільніше упакування молекул. Щільнішому упакуванню молекул саме і відповідає таке вибудовування молекул, при якому їх дипольні моменти «дивляться» переважно в одну сторону.

З макроскопічної точки зору розглянутий ефект проявляється у виникненні в шарі рідкого кристала електричного поля при деформації [6]. Це пов'язано з тим, що при вибудовуванні диполів на одній поверхні деформованого кристала виявляється надлишок зарядів одного, а на протилежній поверхні - іншого знака. Таким чином, наявність або відсутність флексоелектричного ефекту несе інформацію про форму молекул та її дипольний момент.

Електропровідність

При протіканні іонного струму через рідкий кристал відбувається перенесення маси речовини (гідродинамічний потік). Наявність потоку рідини викликає певну орієнтацію директора за рахунок моменту, викликаного тертям. Цей момент діє в додаток до діелектричного і флексоелектричного моментів.

В загальному, з точки зору генерації і рекомбінації носіїв заряду, їх руху, процесів інжекції носіїв з електродів і т.д. рідкі кристали не мають певної специфіки і в першому наближенні можуть розглядатися як звичайні слабкі електроліти. А анізотропію рідких кристалів в даному випадку можна розглядати в другому наближенні як велику поправку до їх характеристик. Саме цією «поправкою» визначається електрооптична поведінка рідких кристалів [9].

Ефект Кера

Якщо до звичайної рідини прикласти електричне поле перпендикулярно напрямку світлового променя, то в рідині виникає подвійне променезаломлення:

$$\Delta n = KE^2,$$

де K – постійна Кера.

Під дією зовнішнього поля дипольні моменти μ частково розташовуються у напрямку поля. Внаслідок анізотропії електронної поляризованості молекул виникає подвійне променезаломлення [17]. При температурах, що суттєво перевищують точку переходу із нематичної в ізотропно-рідку фазу, речовини, що утворюють рідкі кристали, поведуть себе як рідини. В електричному полі виникає ефект Кера [14]. Зі зниженням температури постійна Кера в одних випадках змінює знак, а в інших – різко зростає.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. ДОСЛІДЖУВАНИЙ ЗРАЗОК

4-ціано-4'-пентил біфеніл (4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) є широко використовуваним нематичним рідким кристалом з хімічною формулою:

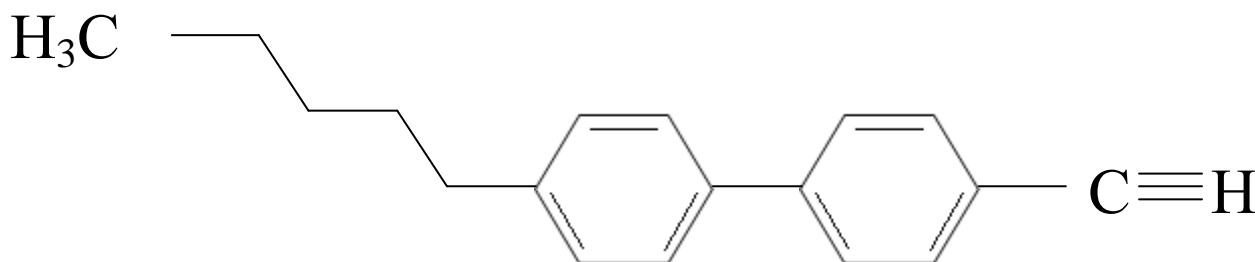


Рис.4. Схема зв'язків в молекулі рідкого кристалу 5CB

Дуже часто використовують загальну назву 5CB. Цей рідкий кристал був вперше синтезований Джорджем Вільямом Греєм, Кеном Харрісоном і Дж. Нешом в університеті Халла в 1972 році. В той час це був перший кристал, що відносився до ціанобіденілів. Рідкий кристал був виявлений після того, як група Грея отримала грант від Міністерства оборони Великобританії, щоб знайти рідкий кристал із рідкокристалічною фазою близькою до кімнатної температури, з конкретною метою їх використання в рідкокристалічних дисплеях. Довжина молекули становить близько 20 Å (ангстрем). В рідкому кристалі 5CB відбувається фазовий перехід з кристалічного стану в нематичний при температурі +18°C. Далі, з підвищенням температури, відбувається перехід із нематичного стану в ізотропний при температурі +35°C [11].

ВИРОБНИЦТВО

5CB виготовляється шляхом зміни біфенілів у лінійному порядку. Перший Br_2 додається до біфенілу для того, що ввести атом бром у кінці фрагменту. Наступним до зразка додається хлорид алюмінію і ацилгалогеніду $\text{C}_4\text{H}_9\text{COCl}$, з подальшим додаванням гідроксиду калію (KOH) і гідразину NH_2NH_2 . На цей момент молекули будуть мати атом бром на

одному кінці жорсткого ядра і аміл – алкільний радикал C_5H_{11} в іншому кінці. Введення міді (I), ціаніду і ДМФА (Диметилформаїд $(CH_3)_2NC(O)H$) призводить до видалення бромів і його заміни на CN. Це останній крок у виробництві 5CB [16].

3.2. ВИГОТОВЛЕННЯ КОМІРКИ З РІДКИМ КРИСТАЛОМ

Для дослідження було виготовлено компланарну комірку із нематичним рідким кристалом 5CB.

Матеріали, необхідні для виготовлення рідкокристалічної комірки: клей, рідкий кристал, піпетка, мікронний порошок, комірки рідких кристалів, скельця, індій, паяльник, провідники (рис.5-8).



Рис.5.

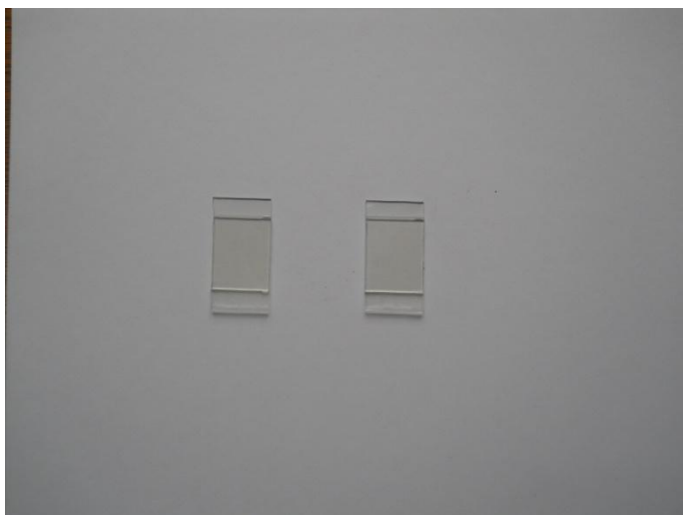


Рис.6.

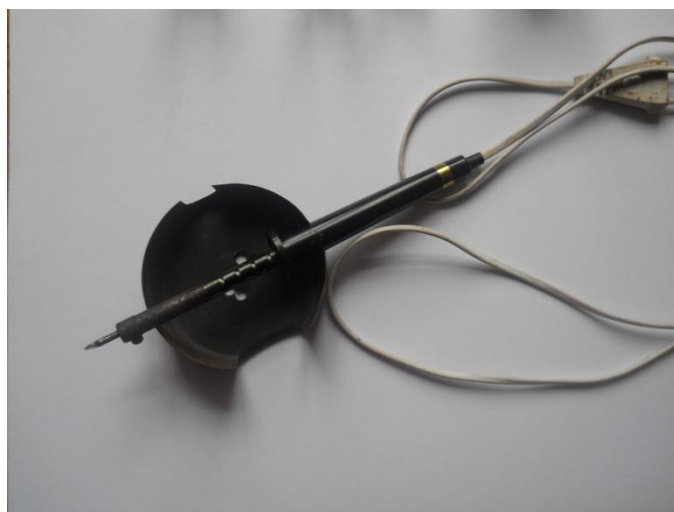


Рис.7.

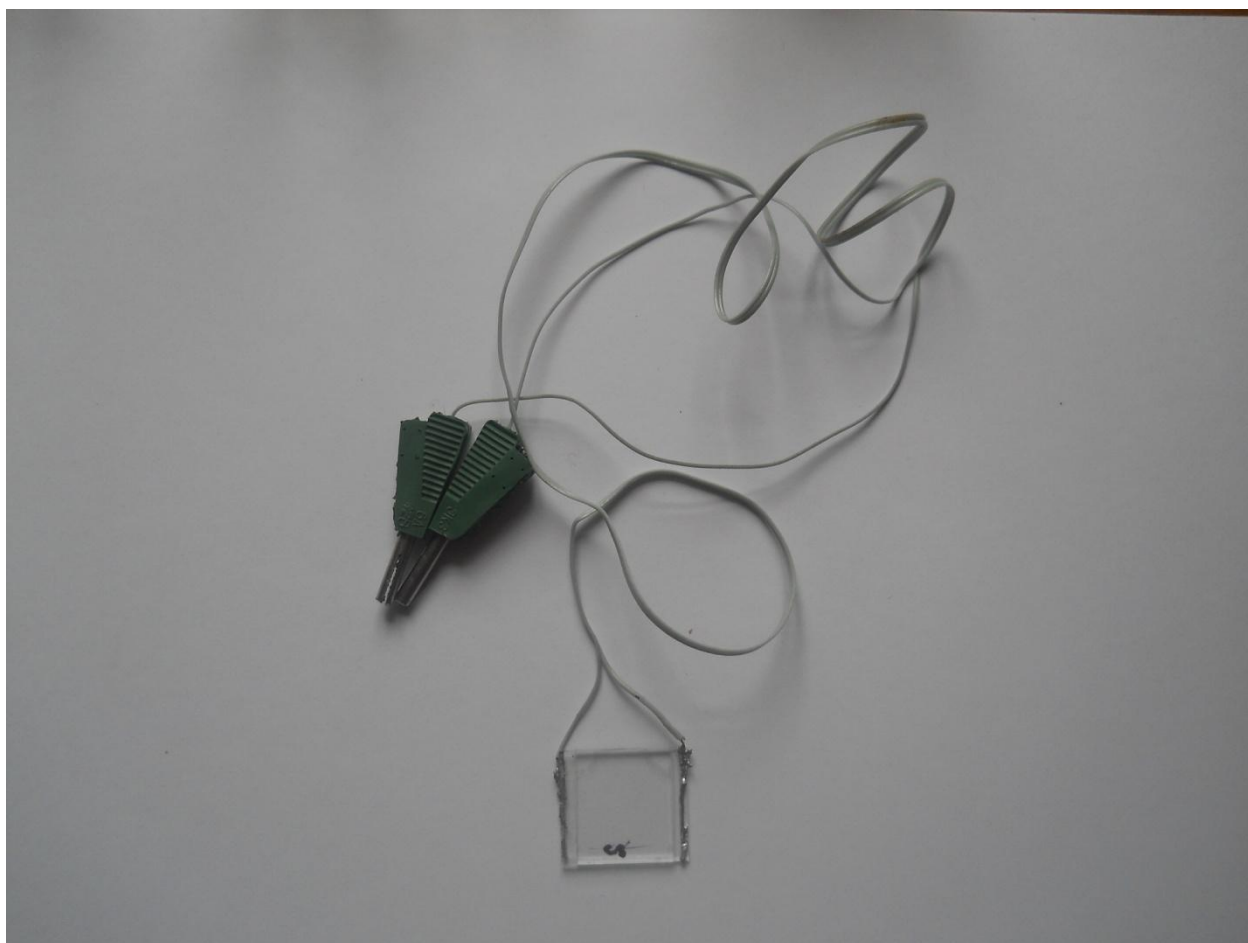


Рис.8.



Рис.9. Досліджуваний зразок нематичного рідкого кристалу 5CB

3.3. ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРІВ ПОГЛИНАННЯ

Нами були проведені експериментальні дослідження спектральної залежності коефіцієнта пропускання в рідкому кристалі 5CB при наявному в ньому наночастинок. Всі досліди проводились на спектрографі ДФС-8.

Спектрограф ДФС-8 із плоскою дифракційною решіткою призначений для виступу спектра ділянками по 1000 \AA на пластинці $13 \times 18 \text{ см}$ у діаметрі спектра $2000\text{-}10000 \text{ \AA}$. Прилад випускається у варіантах: з решіткою 600 і 1200 шт/мм. Прилад побудований по автоколімаційному принципу. Оптична схема ДФС-8 представлена на рис.10.

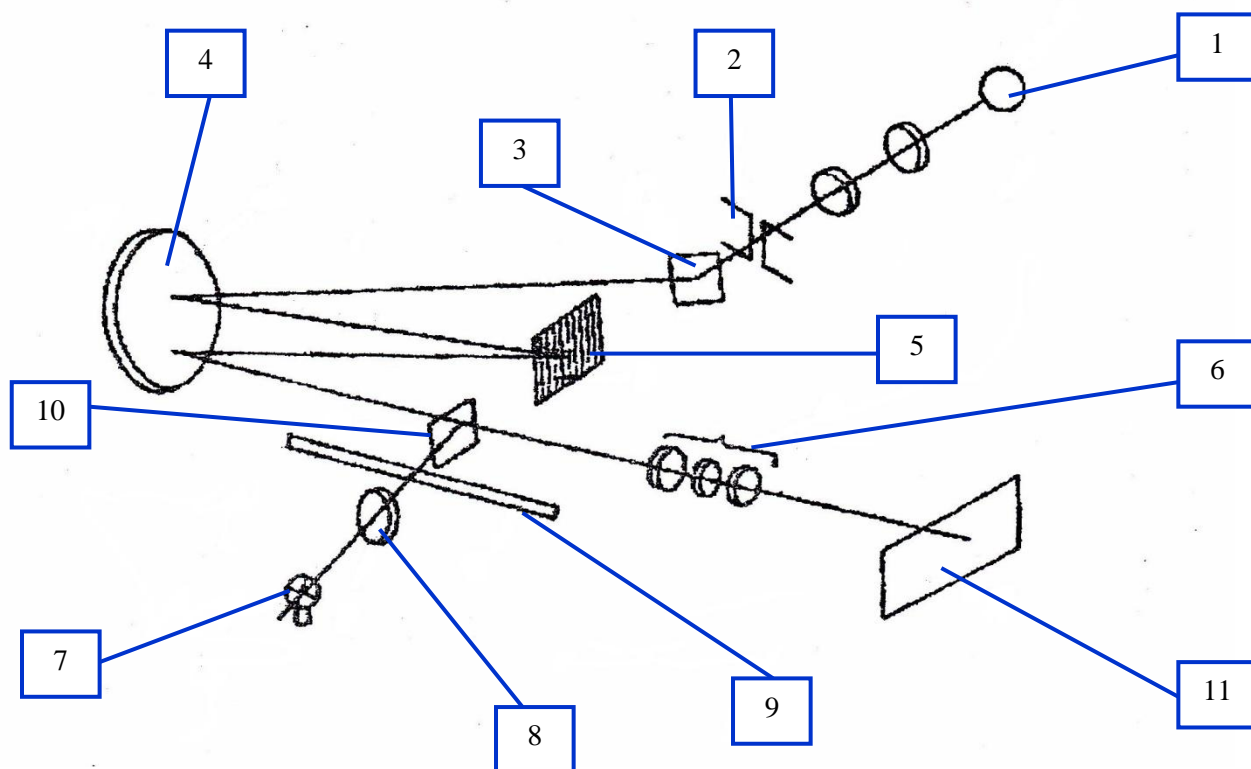


Рис.10. Оптична схема спектрографа ДФС-8:

1 – джерело світла; 2 – вхідна щілина; 3 – поворотне дзеркало; 4 – дзеркальний об’єктив; 5 – решітка; 6 – об’єктив, що проектує шкалу на площину пластинки 11; 7 – лампочка для підсвічування шкали; 8 – освітлювальна лінза; 9 – шкала довжин хвиль; 10 – поворотне дзеркало; 11 – фокальна поверхня.

Основні характеристики приладу:

Фокусна відстань дзеркального об’єктива	2650 мм
Світловий діаметр	264 мм
Відносний отвір	1:35

Для приведення різних ділянок спектра в центр пластинки решітка повертається навколо вертикальної осі. Освітлювальна система – трьохлінзова. Загальний вигляд приладу представлений на рис. 11.

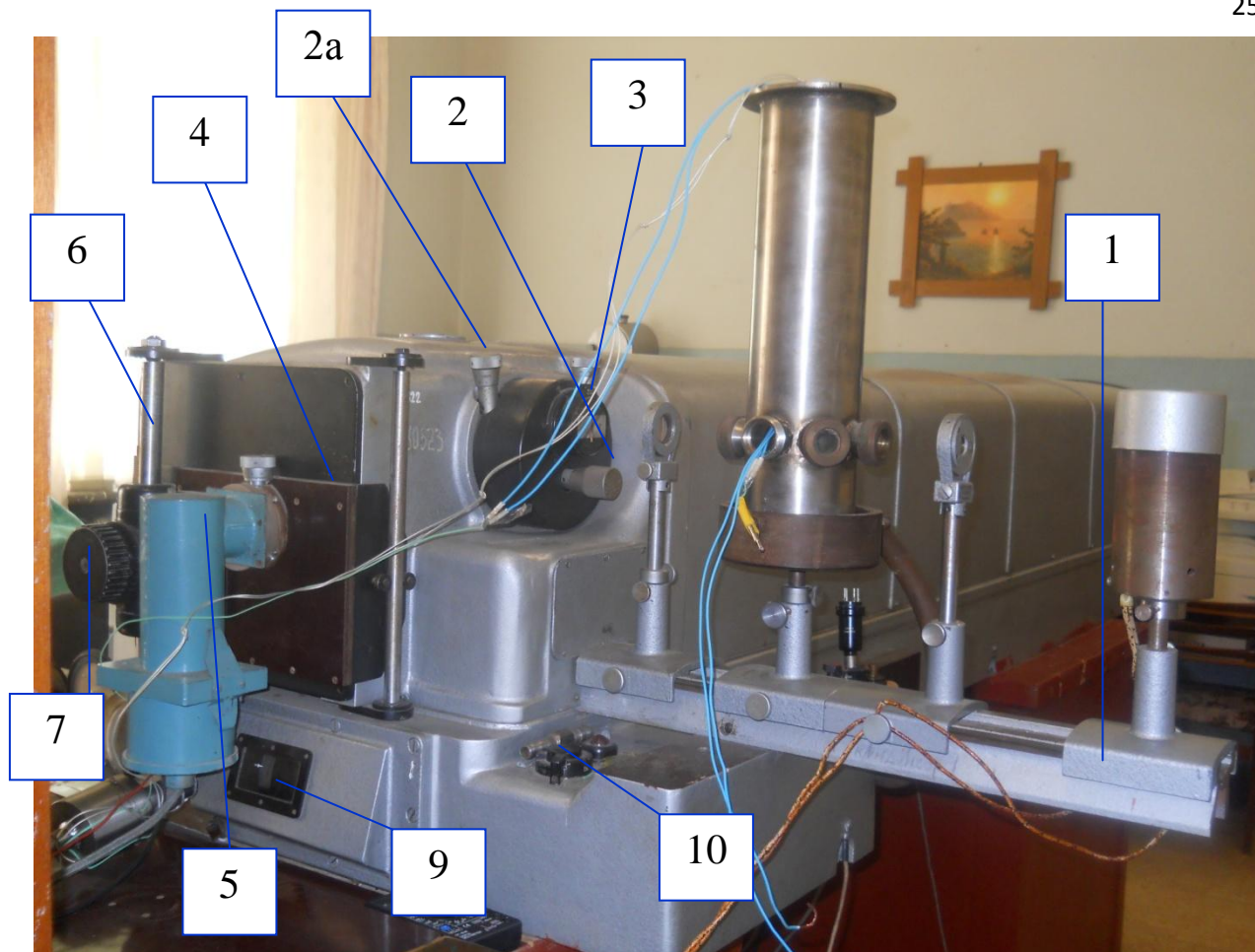


Рис.11. Загальний вигляд спектрографа ДФС-8

На масивній литій статині 1 укріплені на одному кінці сферичне дзеркало шкали довжини хвиль, на іншому – касетна частина 4 і механізм вхідних щілини 3. Щілинний механізм 3 приладу може переміщуватися вздовж оптичної осі за допомогою барабанчика 2 і повертатися навколо оптичної осі за допомогою барабанчика 2а. На рамці касетної частини 4 кріпиться фотоелектричний помножувач 5. Переміщення рамки разом з касетою по вертикальним напрямних стовпчиках 6 відбувається за допомогою маховичка 7. Переміщення рахується по шкалі. Рух шкали довжини хвиль вздовж осі приладу за допомогою гвинта й карданного валика пов'язане з вузлом решітки, що повертається навколо вертикальної осі за допомогою черв'ячної пари від маховичка 8.

Кути повороту решітки змінюються від 6° до 37° . У вікно 9 виведена шкала, що вказує, яка довжина хвилі перебуває у центрі; шкала зв'язана з механізмом повороту решітки.

Рукоятка 10 служить для включення лампочки, розташованої всередині приладу і необхідної для підсвічування шкали довжин хвиль. Живлення лампочки відбувається від трансформатора, що розташований усередині приладу й підключається до мережі через штепсельну вилку, що знаходиться на корпусі приладу. Прилад закритий змінним кожухом.

Перед проведенням дослідження була проведена установка і юстування джерела світла і освітлювальних систем для спектрографа ДФС-8.

Юстування джерела світла і освітлювальної системи полягає у правильному розміщенні джерела світла і освітлювальних лінз на рейці приладу. Для цього необхідно, по-перше, так розмістити освітлювальну систему, щоб вісь коліматора спектрографа являлась продовженням осі освітлювальної системи. По-друге, потрібно вірно розмістити освітлювальні лінзи на рейці приладу.

3.4. УСТАНОВКА І ЮСТУВАННЯ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА І ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ СПЕКТРОГРАФА ДФС-8

Перш за все необхідно перевірити, чи являється вісь, задана розміщенням рейки, продовженням осі спектрографа. Для цього штатив з електродами і показчик висоти для електродів розміщують по можливості ближче до щілини спектрографа. Встановлюють спіраль лампи точно навпроти центра перехрестя, що знаходиться на кришці вхідної щілини. Потім відсовують штатив на протилежний кінець рейки і включають лампу. Далі потрібно широко відкрити щілину спектрографа і розглянути зображення світної області на діючому отворі приладу через вікно касетної частини.

Якщо світна область на об'єктиві камери розміщена вірно і не зміщується в сторони при установці джерела на різних відстанях від щілини,

то це означає, що вісь рейки складає продовження осі коліматора спектрографа, і штатив з лампочкою можна встановити на розрахункову відстань від щілини. Якщо світна область на об'єктиві камери зміщується в сторону при установці штативу на різних ділянках рейки, це означає, що вісь рейки розміщена під кутом до осі коліматора. В цьому випадку потрібно встановити штатив з електродами на розрахункову відстань від щілини і, маніпулюючи гвинтами лампотримача, привести зображення джерела, що спостерігається на об'єктиві камери у вірне положення. Така установка буде вірною лише для даного положення штатива з лампочкою.

Установка освітлювальних лінз

I. Однолінзове освітлення

При одно лінзовому освітленні щілини спектрографа лінза ставиться на рейку на такій відстані, яка відповідає чіткому зображенню джерела в площі щілини або рівномірно розмитому кружку в площі щілини. Джерело світла в другому випадку розміщують на такій відстані від лінзи, щоб на об'єктиві коліматора було видно чітке зображення джерела. Спостерігаючи з боку касетної частини, контролюють вірне заповнення діючого отвору спектрального приладу. Об'єктив коліматора повинен бути рівномірно заповнений світлом, або зображення джерела повинно знаходитись в центрі об'єктиву коліматора при розмитій світній області в площі щілини.

II. Трьохлінзове освітлення

Розглянемо два випадки устаткування таких систем:

- 1) оптична вісь, задана рейкою, являється продовженням оптичної осі коліматора;
- 2) оптична вісь, задана рейкою, не являється продовженням оптичної осі коліматора.

В першому випадку установка лінз здійснюється за принципом зменшеного і збільшеного зображення світної плями джерела світла.

Штатив з лампочкою, виставлений по перехрестю кришки щілини, встановлюють на розрахункову відстань від щілини і закріплюють на рейці.

Першу лінзу L1, яка повинна знаходитись найближче до джерела світла, переміщують по напрямку до щілини з метою одержання зменшеного зображення джерела світла на кришці щілини. Це зображення приводять до центру перехрестя за допомогою гвинтів, що є в оправі. Лінзу переміщують в горизонтальному напрямі перпендикулярно до рейки і у вертикальному напрямі шляхом зміни положення штиря з лінзою в рейтері.

Потім лінзу віддаляють від щілини до одержання збільшеного зображення. Зображення джерела знову приводять в центр перехрестя, але тепер уже за допомогою механізмів штативу для лампочки. Лінзу L1 знову переміщують в положення зменшеного зображення і зміщенням лінзи в рейтері та оправі знову встановлюють зображення по центру перехрестя. Нарешті, лінзу необхідно встановити на розраховану відстань від щілини.

Другу лінзу L2 освітлювальної системи потрібно встановити на оптичну вісь таким чином, як і першу. Всі операції встановлення необхідно здійснювати переміщенням лінзи в рейтері та оправі, а переміщення лампочки повинні бути дуже незначними. Потім лінза L2 встановлюється на розраховану відстань від щілини.

В діючому отворі приладу з боку фотопомножувача повинно бути видно спіраль лампочки розжарення.

В другому випадку оптична вісь, що задається рейкою, не являється подовженням оптичної осі коліматора спектрографа. При цій умові освітлювальну систему встановлюють в тій же послідовності, що й у першому випадку, але вірність установки кожного елементу системи перевіряють візуально, спостерігаючи з боку фотопомножувача зображення джерела в діючому отворі.

Якщо освітлення після виконання юстування системи одержиться не досить якісним, необхідно повторити всі операції, починаючи з установки електродів.

Установка освітлювальних систем для автоколімаційних систем

При роботі з автоколімаційною схемою спектрального приладу ДФС-8 контроль положення освітлювальних лінз здійснюється за положенням світлового зайчика відносно перехрестя, нанесеного із зворотного боку поворотного дзеркала освітлювальної системи. Перш за все, центр перехрестя поворотного дзеркала встановлюється на одній горизонтальній прямій з центром перехрестя кришки щілини за допомогою спеціального вістря, закріпленого на рейтері. Після цього дзеркало повертається стороною з перехрестям до освітлювальної системи.

Установку лампочки і двох лінз L1 та L2 необхідно провести за принципом зменшеного і збільшеного зображення, спостерігаючи зображення джерела відносно перехрестя поворотного дзеркала.

Після вірної установки лінз L1 та L2 відносно перехрестя дзеркала, останнє встановлюється навпроти щілини під кутом 45° до падаючого на нього променя світла і таким чином освітлюється щілина приладу. Далі спостерігається заповнення об'єктива камери з боку фотопомножувача: світна область на об'єктиві повинна бути рівномірною і розміщеною симетрично відносно діючого отвору приладу. Якщо вона зсунута в горизонтальному напрямі, то це положення зміниться переміщенням рейтера із дзеркалом і розворотом дзеркала в рейтері.

Якщо світна область зсунута у вертикальному напрямі, то це положення виправляється нахилом оправи дзеркала відносно тримача за допомогою двох штифтів. При цьому світна область на вхідній щілині приладу повинна розміщуватись симетрично відносно ножів щілини.

Якщо при юстуванні освітлювальної системи виявиться, що після декількох операцій із дзеркалом не вдалося досягти симетричного заповнення діючого отвору приладу світлом, то необхідно ще раз більш ретельно проробити всі операції установки лампочки і лінз.

Якщо після всіх проведених операцій юстування освітлювальної системи вірне, то на другій лінзі будемо мати чітке і симетричне зображення

джерела світла, а на дзеркалі буде спостерігатись симетрична овальна світна область, а щілина при цьому виявиться рівномірно освітленою.

Схема, використана при проведенні дослідження, зображена на рисунку 12.

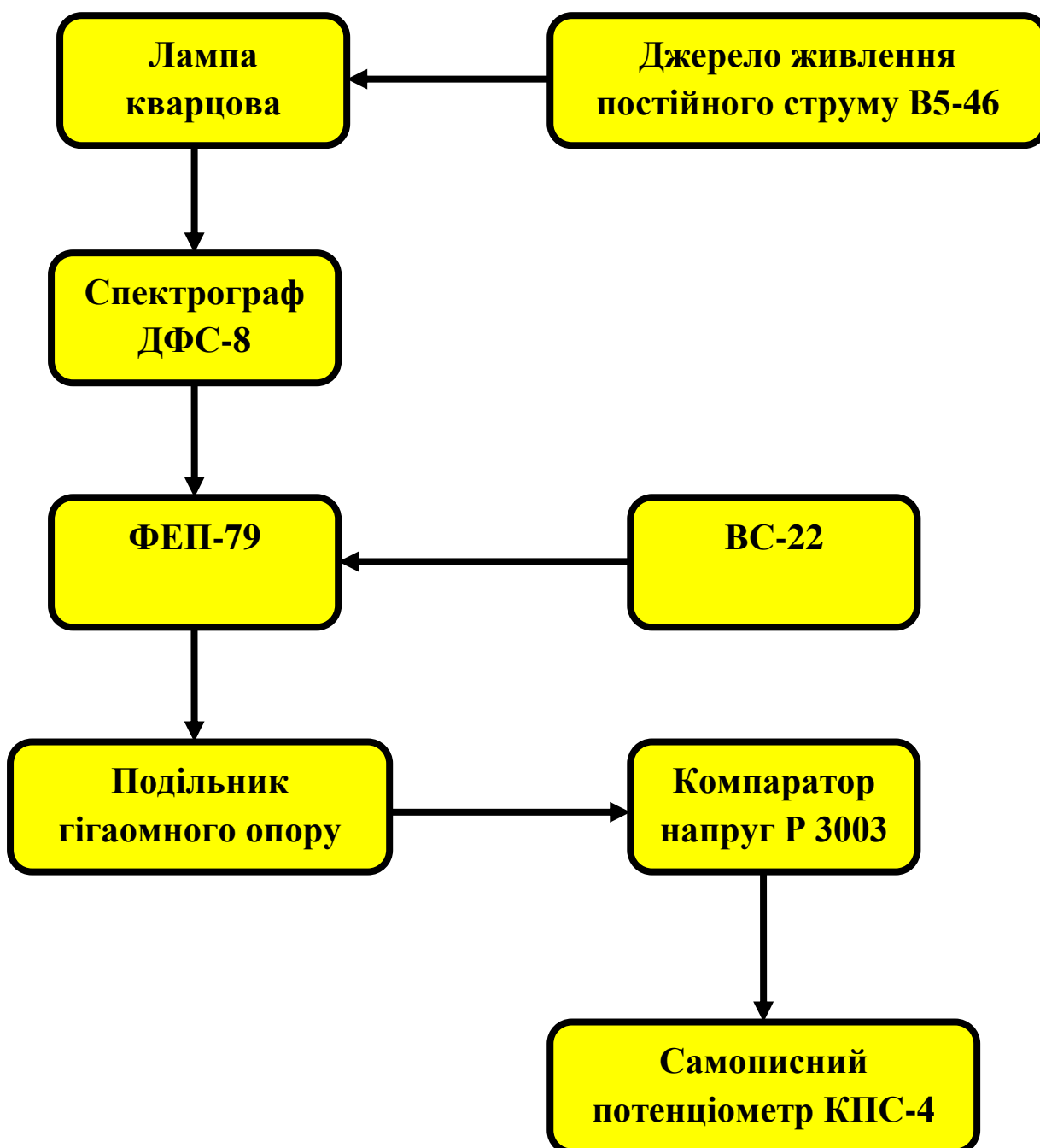


Рис.12. Схема приладу, що використовувалась при дослідженні

- 1) лампа кварцова – є джерелом світла;

- 2) джерело живлення постійного струму В5-46 – використовувалось для живлення кварцової лампи;
- 3) ВС-22 – високовольтне джерело струму, призначене для живлення ФЕП-79;
- 4) ФЕП-79 – вакуумний діод, який складається із 79 пар катодів та анодів, призначений для приймання світла, яке пропущене нематиком;
- 5) подільник гігаомного опору – опір, встановлений на подільнику, становить 10^9 Ом;
- 6) компаратор напруг Р3003 – призначений для стабілізації напруги після подільника;
- 7) самописний потенціометр КПС-4 – використовується для фіксування кількості фононів світла, які пропускає рідкий кристал.

3.5. ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ КОЕФІЦІЄНТА ПРОПУСКАННЯ В РІДКОМУ КРИСТАЛІ 5СВ ПРИ НАЯВНОМУ В НЬОМУ НАНОЧАСТИНОК

Коефіцієнт пропускання (transmission coefficient) – величина, яка визначається відношенням пройденого потоку випромінювання до падаючого потоку випромінювання. Світловий коефіцієнт пропускання:

$$\tau = \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi_i}$$

де Φ_{τ} – світловий потік, що вступив у досліджуваний шар;

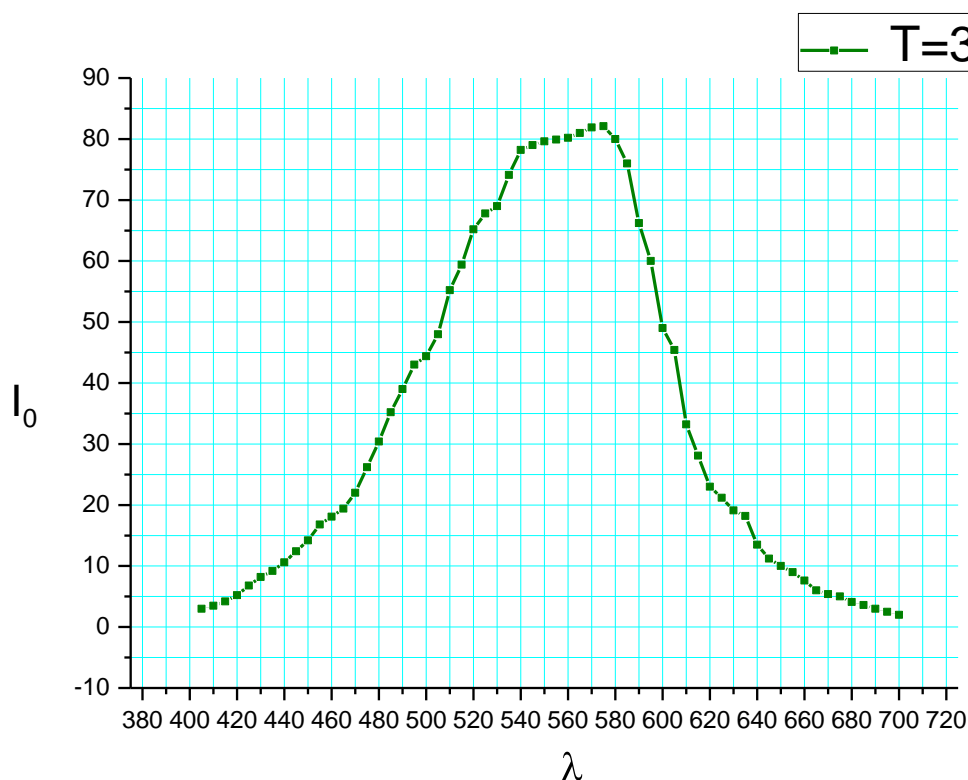
Φ_i – світловий потік, що покидає досліджуваний шар.

Коефіцієнт пропускання характеризує властивості речовини і залежить від довжини хвилі світла λ .

Першим етапом у проведенні дослідження було вимірювання спектра лампи (вимірювання спектра кварцової лампи та отримання залежності I_0 від λ). Другий етап – вимірювання спектра нематичного рідкого кристала 5CB при різних температурах (зразок закріплюється на тримачі і знімається спектр поглинання РК 5CB. За допомогою самозаписуючого потенціометра КСП-4 визначається залежність $\tau(\lambda)$ при температурах $T_1=300$ K, $T_2=310$ K, $T_3=320$ K).

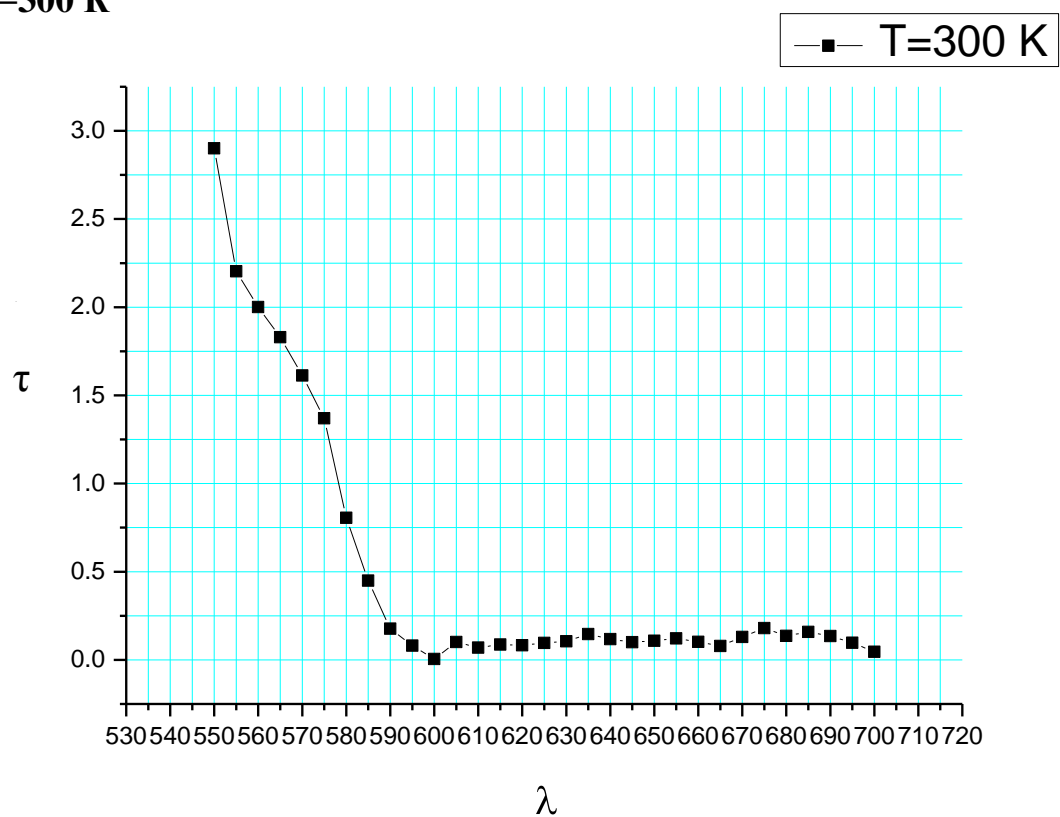
Після проведення дослідження були отримані наступні результати:

1. Спектр кварцової лампи

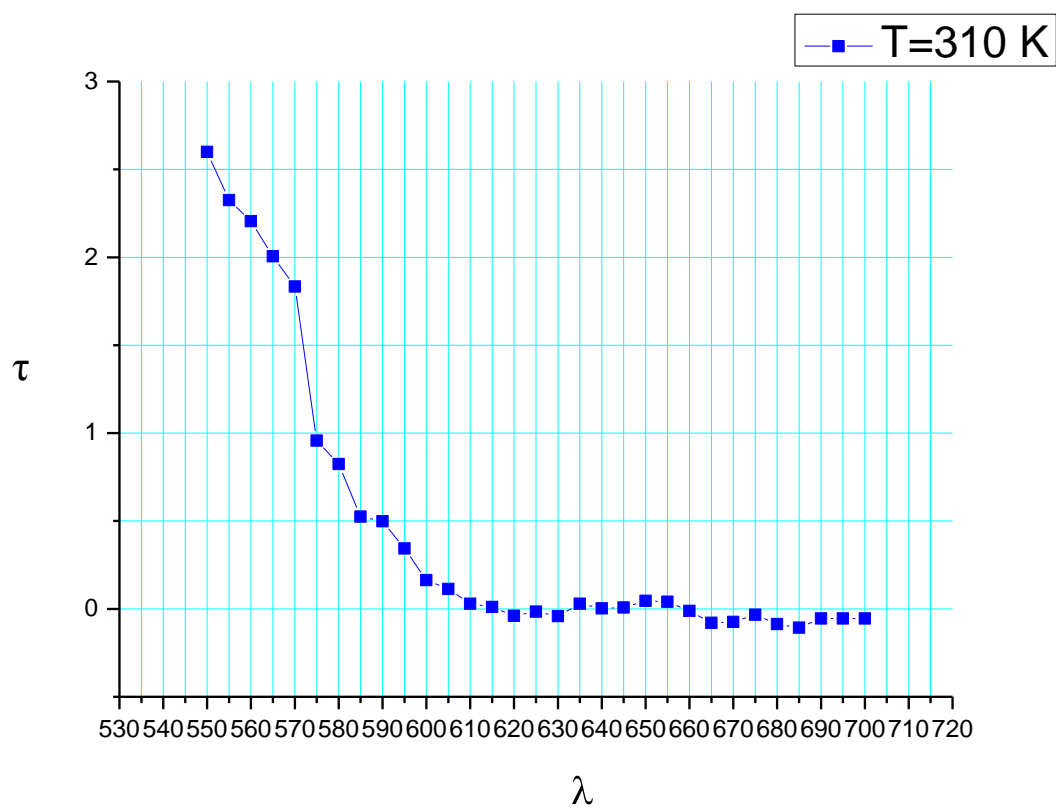


2. Дослідження спектральної залежності коефіцієнта пропускання 5СВ при наявному у ньому наночастинок

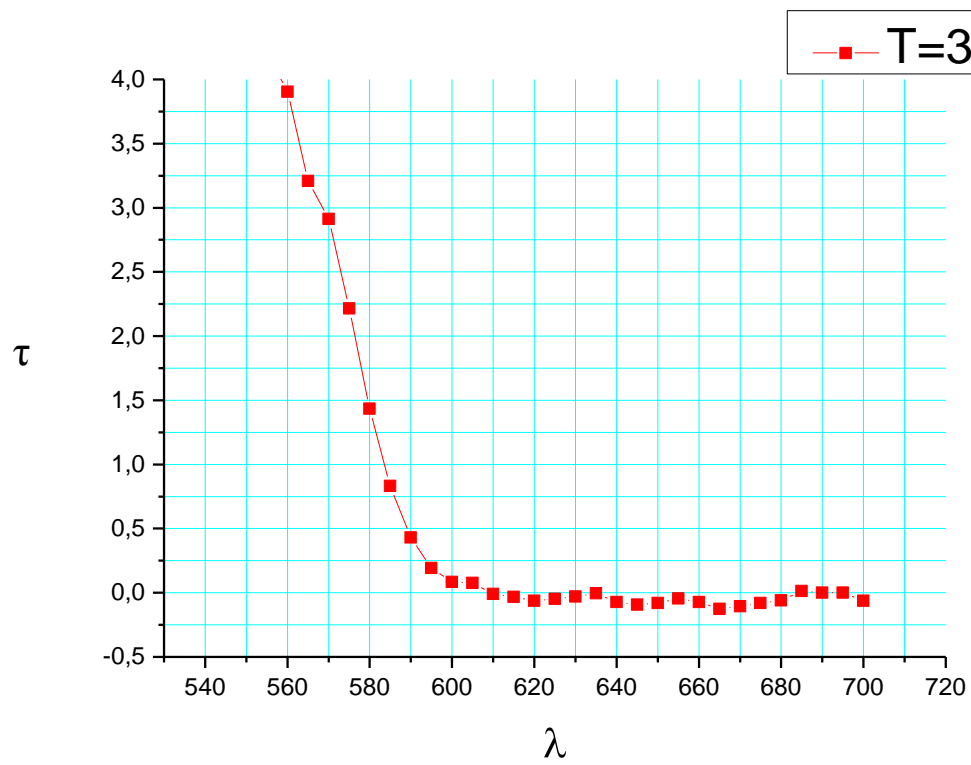
А) $T=300\text{ K}$



Б) $T=310\text{ K}$



B) T=320 K



РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ

Багато оптичних ефектів в рідких кристалах, про які розповідалося вище, вже освоєні технікою і використовуються у виробках масового виробництва. Наприклад, всім відомий годинник з індикатором на рідких кристалах, але не всі ще знають, що ті ж рідкі кристали використовуються для виробництва наручного годинника, в який вбудований калькулятор. Тут вже навіть важко сказати, як назвати такий пристрій, чи то годинник, чи то комп'ютер. Але це вже освоєні промисловістю вироби, хоча всього десятиліття тому подібне здавалося нереальним. Перспективи ж майбутніх масових і ефективних застосувань рідких кристалів ще дивовижніші.

Електронна гра, електронний словник і телевізор на РК

Відомо, якою популярністю у молоді користуються різні електронні ігри, що зазвичай встановлюються в спеціальній кімнаті атракціонів в місцях суспільного відпочинку або фойє кінотеатрів. Успіхи в розробці матричних рідкокристалічних дисплеїв зробили можливим створення і масове виробництво подібних ігор в мініатюрному, так би мовити, кишенькового виконання. Наприклад, всім відома гра «Ну, постривай!», освоєна вітчизняною промисловістю. Габарити цієї гри, як у записника, а основним його елементом є рідкокристалічний матричний дисплей, на якому висвічуються зображення вовка, зайця, курей і яєчок, що котилися по жолобах. Завдання гравця, натискаючи кнопки управління, примусити вовка, переміщаючись від жолоба до жолоба, ловити яєчка, що скочуються з жолобів, в корзину, щоб не дати їм впасти на землю і розбитися. Тут же відзначимо, що, крім розважального призначення, ця іграшка виконує роль годинника і будильника, тобто в іншому режимі роботи на дисплеї «висвічується» час і може подаватися звуковий сигнал в необхідний момент часу.

Ще один вражаючий приклад ефективності союзу матричних дисплеїв на рідких кристалах і мікроелектронної техніки дають сучасні електронні словники, які почали випускати в Японії. Вони є мініатюрні обчислювальні

машинки розміром із звичайний кишеньковий мікрокалькулятор, в пам'ять яких введені слова на двох (або більше) мовах і які забезпечені матричним дисплеєм і клавіатурою з алфавітом. Набираючи на клавіатурі слово на одній мові, ви вмить отримуете на дисплеї його переклад іншою мовою. Уявіть собі, як покращає і полегшить процес навчання іноземних мов в школі і уВУЗі, якщо кожен учень буде забезпечений подібним словником. А спостерігаючи, як швидко вироби мікроелектроніки упроваджуються в наше життя, можна з упевненістю сказати, що таке час не за горами. Легко уявити і шляхи подальшого вдосконалення таких словників-перекладачів: перекладається не одне слово, а ціле речення. Крім того, переклад може бути і озвучений. Словом, впровадження таких словників-перекладачів обіцяє революцію у вивченні мов і техніці перекладу.

Вимоги до матричного дисплея, використовуваного як екран телевізора, виявляються значно вищими як по швидкодії, так і по числу елементів, чим в описаних вище електронній іграшці і словнику-перекладачі. Це стане зрозумілим, якщо пригадати, що відповідно до телевізійного стандарту зображення на екрані формується з 625 рядків (і приблизно з такого ж числа елементів складається кожен рядок), а час запису одного кадру 40 мс. Тому практична реалізація телевізора з рідкокристалічним екраном виявляється важчим завданням. Проте відомі перші успіхи в технічному рішенні і цього завдання. Так, японська фірма «Соні» налагодила виробництво мініатюрного, такого, що уміщається практично на долоні телевізора з розміром екрану 3,6 дюймів. Вже створені телевізори на РК як з крупнішими екранами, так і з кольоровим зображенням.

Керовані оптичні транспаранти

Розглянемо приклад досягнення наукових досліджень в процесі створення рідкокристалічних екранів, відображення інформації, зокрема рідкокристалічних екранів телевізорів. Відомо, що масове створення великих плоских екранів на рідких кристалах стикається з труднощами не принципового, а чисто технологічного характеру. Хоча принципово

можливість створення таких екранів продемонстрована, проте в зв'язку з складністю їх виробництва при сучасній технології їх вартість виявляється дуже високою. Тому виникла ідея створення проєкційних пристроїв на рідких кристалах, в яких зображення, отримане на рідкокристалічному екрані малого розміру могло б бути спроектовано в збільшеному вигляді на звичайний екран, подібно до того, як це відбувається в кінотеатрі з кадрами кіноплівки. Виявилось, що такі пристрої можуть бути реалізовані на рідких кристалах, якщо використовувати «сендвічеві» структури, в які разом з шаром рідкого кристала входить шар фотонапівпровідника. Причому запис зображення в рідкому кристалі, здійснюваний за допомогою фотонапівпровідника, проводиться променем світла.

Принцип запису зображення дуже простий. У відсутність підсвічування фотонапівпровідника його провідність дуже мала, тому практично вся різниця потенціалів, подана на електроди оптичного осередку, в який ще додатково введений шар фотонапівпровідника, падає на цьому шарі фотонапівпровідника. При підсвічуванні фотонапівпровідника його провідність різко зростає, оскільки світло створює в нім додаткові носії струму (вільні електрони і дірки). В результаті відбувається перерозподіл електричної напруги в осередку — тепер практично вся напруга падає на рідкокристалічному шарі, і стан шаруючи, зокрема, його оптичні характеристики змінюються відповідно величині поданої напруги. Таким чином змінюються оптичні характеристики рідкокристалічного шару в результаті дії світла. Ясно, що при цьому в принципі може бути використаний будь-який електрооптичний ефект з описаних вище. Практично, звичайно, вибір електрооптичного ефекту в такому «сендвічевому пристрої», званому електрооптичним транспарантом, визначається разом з необхідними оптичними характеристиками і чисто технологічними причинами.

Важливо, що в описуваному транспаранті зміна оптичних характеристик рідкокристалічного шару відбувається локально — в точці

засвічення фотонапівпровідника. Тому такі транспаранти володіють дуже високою роздільною здатністю. Так, об'єм інформації, що міститься на телевізійному екрані, може бути записаний на транспаранті розмірами менше 1х1 см.

Описаний спосіб запису зображення, крім всього іншого, володіє великими перевагами, оскільки він робить непотрібною складну систему комутації, тобто систему підвода електричних сигналів, яка застосовується в матричних екранах на рідких кристалах.

Просторово-часові модулятори світла

Керовані оптичні транспаранти можуть бути використані не тільки як елементи проекційного пристрою, але і виконувати значне число функцій, пов'язаних з перетворенням, зберіганням і обробкою оптичних сигналів. У зв'язку з тенденціями розвитку методів передачі і обробки інформації з використанням оптичних каналів зв'язку, що дозволяють збільшити швидкодію пристроїв і об'єм передаваної інформації, керовані оптичні транспаранти на рідких кристалах представляють значний інтерес і з цієї точки зору. В цьому випадку їх ще прийнято називати просторово-часовими модуляторами світла (ПЧМС), або світловими клапанами. Перспективи і масштаби застосування ПЧМС в пристроях обробки оптичної інформації визначаються тим, наскільки сьогоденні характеристики оптичних транспарантів можуть бути покращені у бік досягнення максимальної чутливості до випромінювання, що управляє, підвищення швидкодії і просторового дозволу світлових сигналів, а також діапазону довжин хвиль випромінювання, в якому надійно працюють ці пристрої. Як вже наголошувалося, одна з основних проблем — це проблема швидкодії рідкокристалічних елементів, проте вже досягнуті характеристики модуляторів світла дозволяють абсолютно безумовно стверджувати, що вони займуть значне місце в системах обробки оптичної інформації.

При відповідному підборі режиму роботи модулятора вони можуть виділяти контур проектованого на нього зображення. Якщо контур

переміщається, то можна візуалізувати його рух. При цьому істотно, що довжина хвилі записуючого зображення випромінювання і прочитуючого випромінювання можуть відрізнятися. Тому модулятори світла дозволяють, наприклад, візуалізувати інфрачервоне випромінювання, або за допомогою видимого світла модулювати пучки інфрачервоного випромінювання, або створювати зображення в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль.

У іншому режимі роботи модулятори світла можуть виділяти області, піддані нестаціонарному освітленню. У цьому режимі роботи зі всього зображення виділяються, наприклад, світлові крапки, що тільки переміщуються по зображенню, або мерехтливі його ділянки. Модулятори світла можуть використовуватися як підсилювачі яскравості світла. В зв'язку ж з їх високою просторовою роздільною здатністю їх використання виявляється еквівалентним підсилювачу з дуже великим числом каналів. Перераховані функціональні можливості оптичних модуляторів дають підставу використовувати їх в численних завданнях обробки оптичної інформації, таких як розпізнавання образів, придушення перешкод, спектральний і кореляційний аналіз, інтерферометрія, зокрема запис голограм в реальному масштабі часу, і т.д.

Як зробити стереотелевізор

Як ще одне принаadne, несподіване і таке, що стосується практично всіх застосувань рідких кристалів варто назвати ідею створення системи стереотелебачення із застосуванням рідких кристалів. Причому, що представляється особливо принаadним, така система «стереотелебачення на рідких кристалах» може бути реалізована ціною дуже простій модифікації телекамери, що передає, і доповненням звичайних телевізійних приймачів спеціальними окулярами, скельця яких забезпечені рідкокристалічними фільтрами.

Ідея цієї системи стереотелебачення надзвичайно проста. Якщо врахувати, що кадр зображення на телеекрані формується порядково, причому так, що спочатку висвічуються непарні рядки, а потім парні, то за

допомогою окулярів з рідкокристалічними фільтрами легко зробити так, щоб праве око, наприклад, бачило тільки парні рядки, а лівий — непарні. Для цього досить синхронізувати включення і виключення рідкокристалічних фільтрів, тобто можливість сприймати зображення на екрані поперемінно то одним, то іншим оком, роблячи поперемінно прозорим то одне, то інше скло окулярів з висвіченням парних і непарних рядків.

Тепер абсолютно ясно, яке ускладнення телекамери, що передає, дасть стереоефект телеглядачеві. Треба, щоб телекамера, що передає, була стерео, тобто щоб вона володіла двома об'єктивами, відповідними сприйняттю об'єкту лівим і правим оком людини, парні строчки на екрані формувалися за допомогою правого, а непарні — за допомогою лівого об'єктиву камери, що передає.

Система окулярів з рідкокристалічними фільтрами-затворами, синхронізованими з роботою телевізора, може виявитися непрактичною для масового застосування. Можливо, що більш конкурентоздатною виявиться стереосистема, якій скло окулярів забезпечені звичайними поляроїдами. При цьому кожне із скелець окулярів пропускає лінійно-поляризоване світло, площина поляризації якого перпендикулярна площині поляризації світла, що пропускається другим склом. Стерео ж ефект в цьому випадку досягається за допомогою рідкокристалічної плівки, нанесеної на екран телевізора і проникної від парних рядків світло однієї лінійної поляризації, а від непарних — іншої лінійної поляризації, перпендикулярної до першої.

Окуляри для космонавтів

Знайомлячись раніше з маскою для електрозварника, а зараз з окулярами для стереотелебачення, відмітили, що в цих пристроях керований рідкокристалічний фільтр перекриває відразу все поле зору одного або обох очей. Тим часом існують ситуації, коли не можна перекривати все поле зору людини і в той же час необхідно перекрити окремі ділянки поля зору.

Наприклад, така необхідність може виникнути у космонавтів в умовах їх роботи в космосі при надзвичайно яскравому сонячному освітленні, не

ослабленому ні атмосферою, ні хмарністю. Це завдання як у разі маски для електрозварника або окулярів для стереотелебачення дозволяють вирішити керовані рідкокристалічні фільтри.

Ускладнення окулярів в цьому випадку полягає в тому, що поле зору кожного ока тепер повинен перекривати не один фільтр, а декілька незалежно керованих фільтрів. Наприклад, фільтри можуть бути виконані у вигляді концентричних кілець з центром в центрі скелець окулярів або у вигляді смужок на склі окулярів, кожна з яких при включенні перекриває тільки частину поля зору ока.

Такі окуляри можуть бути корисні не тільки космонавтам, але і людям інших професій, робота яких може бути пов'язана не тільки з яскравим нерозсіяним освітленням, але і з необхідністю сприймати великий об'єм зорової інформації.

Наприклад, в кабіні пілота сучасного літака величезна кількість панелей приладів. Проте не всі з них потрібно пілотові одночасно. Тому використання пілотом окулярів, що обмежують поле зору, може бути корисним і таким, що полегшує його роботу, оскільки допомагає зосереджувати його увагу тільки на частини потрібних в даний момент приладів і усуває відволікаючий вплив не потрібної у цей момент інформації. Звичайно, у разі пілота можна піти і по іншому шляху — поставити РК-фільтри на індикатори приладів, щоб мати можливість екранувати їх показники.

Подібні окуляри будуть дуже корисні також в біомедичних дослідженнях роботи оператора, пов'язаної із сприйняттям великої кількості зорової інформації. В результаті таких досліджень можна виявити швидкість реакції оператора на зорові сигнали, визначити найбільш важкі і утомливі етапи в його роботі і зрештою знайти спосіб оптимальної організації його роботи. Останнє означає визначити якнайкращий спосіб розташування панелей приладів, тип індикаторів приладів, колір і характер сигналів різного ступеня важливості і т.д.

Фільтри подібного типу і індикатори на рідких кристалах, поза сумнівом, знайдуть (і вже знаходять) широке застосування в кіно-, фотоапаратурі. У цих цілях вони привабливі тим, що для управління ними потрібна нікчемна кількість енергії, а у ряді випадків дозволяють виключити з апаратури деталі, що здійснюють механічні рухи. А як відомо, механічні системи часто виявляються найбільш громіздкими і ненадійними.

Які механічні деталі кіно-, фотоапаратури мається на увазі? Це перш за все діафрагми, фільтри — ослаблювачі світлового потоку, нарешті, переривники світлового потоку в кінознімальній камері, синхронізовані з переміщенням фотоплівки і що забезпечують покадрове її експонування.

Принципи пристрою таких РК-елементів ясні з попереднього. Як переривники і фільтри-ослаблювачі природно використовувати РК-осередки, в яких під дією електричного сигналу змінюється пропускання світла за всією їх площею. Для діафрагм без механічних частин — системи осередків у вигляді концентричних кілець, яких можуть під дією електричного сигналу змінювати площу проникного світло прозорого вікна. Слід також відзначити, що шаруваті структури, що містять рідкий кристал і фотонапівпровідник, тобто елементи типу керованих оптичних транспарантів, можуть бути використані не тільки як індикатори, наприклад, експозиції, але і для автоматичної установки діафрагми в кіно-, фотоапаратурі.

При всій принциповій простоті обговорюваних пристроїв їх широке впровадження в масову продукцію залежить від ряду технологічних питань, пов'язаних із забезпеченням тривалого терміну роботи РК-елементів, їх роботи в широкому температурному інтервалі, нарешті, конкуренція з традиційними і сталими технічними рішеннями і т.д. Проте вирішення всіх цих проблем — це тільки питання часу, і скоро, напевно, важко буде собі уявити довершений фотоапарат, що не містить РК-пристрою.

Рідкокристалічний дисплей

Рідкокристалічний дисплей (англ. *Liquid crystal display* (LCD)) — електронний пристрій візуального відображення інформації (дисплей), принцип дії якого ґрунтується на явищі електричного переходу Фредерікса в рідких кристалах. Дисплей складається з довільної кількості кольорових або монохромних точок (пікселів), і джерела світла або відбивача (рефлектора).

Кожна з кольорових точок рідкокристалічного дисплея складається з кількох комірок (як правило, з трьох), попереду яких встановлюються світлові фільтри (найчастіше — червоний, синій і зелений). Тобто колір певної точки і її яскравість визначається інтенсивностями світіння комірок, з яких вона складається.

Керування кожною рідкокристалічною коміркою здійснюється з допомогою напруги, яку подає на комірку один з транзисторів тонкої підкладки.

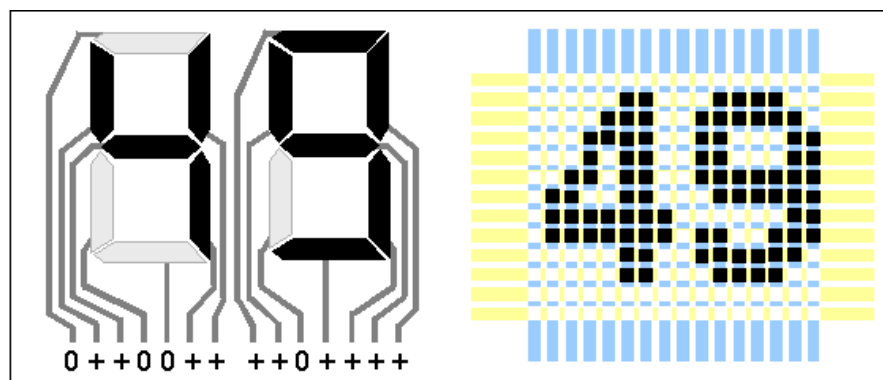


Рис.13. Сегментний і точковий рідкокристалічний дисплеї

Рідкокристалічні дисплеї мають низьке енергоспоживання, тому вони знайшли широке застосування, як в кишенькових пристроях (годинниках, мобільних телефонах, кишенькових комп'ютерах), так і в комп'ютерних моніторах, телевізорах тощо.

Піксель складається з: кольорового фільтра; горизонтального поляризатора; оточеного двома шарами скла рідкокристалічного шару, який здатен змінювати свою поляризацію; вертикального фільтра.

Екран LCD є масивом маленьких сегментів (пікселів), котрими можна маніпулювати для відображення інформації. LCD має кілька шарів, де ключову роль грають дві панелі, зроблені з вільного від натрію і дуже чистого скляного матеріалу, який називають субстратом або підкладкою. Проміжок між шарами заповнений тонким шаром рідкого кристалу. На панелях є борозенки, що надають їм спеціальної орієнтації. Борозенки розташовані паралельні між собою в межах кожної панелі, але борозенки однієї панелі перпендикулярні до борозенок іншої. Поздовжні борозенки утворюються внаслідок нанесення на скляну поверхню тонких плівок прозорого пластику, що потім спеціальним чином обробляється.

Борозенки орієнтують молекули рідкого кристалу однаково у всіх комірках. Молекули одного з типів рідких кристалів (нематиків) при відсутності напруги повертають вектори електричного (і магнітного) полів світлової хвилі на деякий кут у площині, перпендикулярній до напрямку поширення світлового променя. Нанесення борозенок на поверхню скла дозволяє забезпечити однаковий кут повороту площини поляризації для всіх комірок. Проміжок між панелями дуже тонкий.

Виготовлення інтегральних схем

Союз мікроелектроніки і рідких кристалів виявляється надзвичайно ефективним не лише в готовому виробі, але і на стадії виготовлення інтегральних схем. Як відомо, одним з етапів виробництва мікросхем є фотолітографія, яка полягає в нанесенні на поверхню напівпровідникового матеріалу спеціальних масок, а потім у витравленні за допомогою фотографічної техніки так званих літографічних вікон. Ці вікна в результаті подальшого процесу виробництва перетворюються в елементи і з'єднання мікроелектронної схеми. Від того, наскільки малі розміри відповідних вікон, залежить число елементів схеми, які можуть бути розміщені на одиниці площі напівпровідника, а від точності і якості витравлення вікон залежить якість мікросхеми.

Не менш корисним виявилось вживання рідких кристалів (тепер уже нематичних) на стадії контролю якості літографічних робіт. Для цього на напівпровідникову пластину з протравленими літографічними вікнами наноситься орієнтований шар нематика, а потім до неї прикладається електрична напруга. В результаті в поляризованому світлі картина витравлених вікон виразно візуалізується. Більш того, цей метод дозволяє виявити дуже малі по розмірах неточності і дефекти літографічних робіт, протяжність яких всього 0,01 мкм.

Рідкокристалічні лазери

Нові лазери на основі рідких кристалів і світловипромінюючих полімерів об'єднують всі переваги лазерів на барвниках, газових і напівпровідникових лазерів. Так, лазери на барвниках можуть налаштовуватися на різну довжину хвилі, але вони мають великий розмір. Газові лазери - потужні і стабільні, але вони не можуть перебудовуватися, і також великі. Нарешті, діодні лазери (які застосовуються в CD і DVD програвачах) малі, але теж працюють тільки на одній частоті. Водночас, нові лазери вкрай малі: вони мають товщину меншу від товщини людської волосини. Вони стабільні і не «перестрибують» між різними модами випромінювання. Також їх можна переналаштовувати в широкому діапазоні частот - від ультрафіолету до інфрачервоного випромінювання. Для цього достатньо подавати на них потрібний електричний сигнал. Нарешті, вони вкрай дешеві у виробництві.

Завдяки своїм перевагам, подібні лазери можуть знайти застосування в медичних дослідженнях. У комбінації з волоконною оптикою можливе їх використання в дерматології, діагностиці раку та діабету. Також вони можуть бути застосовані в так званій технології біочіпів («лабораторія на чіпі»). Біочіпи комбінують на одній мікросхемі спектроскопічні вимірювання та аналіз. Таким чином, медичні працівники, фахівці з охорони навколишнього середовища та інші люди можуть з їх допомогою виконувати складні хімічні

аналізи прямо «в польових умовах», не посилаючи зразки в лабораторію, і не чекаючи результатів .

Ще однією перспективною сферою застосування лазерів є ринок дисплеїв для телевізорів, комп'ютерів, мобільних телефонів і т.д. Лазери настільки малі , що можуть працювати як окремі пікселі екрану. Отже, з їх допомогою можливо отримувати яскраве і чітке зображення без використання фільтрів і задньої підсвічування. Крім того, подібні екрани будуть споживати менше енергії.

За всієї принципової простоти обговорюваних пристроїв їх широке впровадження у масову продукцію залежить від вирішення низки технологічних питань, що стосуються забезпечення тривалого терміну РК-елементів, його роботи у широкому температурному інтервалі, нарешті, конкуренції з традиційними і усталеними технічними рішеннями тощо. Проте, розв'язання цих проблем – це лише справа часу, і незабаром, напевно, важко буде собі уявити досконалий прилад без РК-пристрою.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі викладений матеріал про загальні властивості нематичного рідкого кристалу 5CB, його практичне застосування на даному етапі розвитку науки та досліджено спектральну залежність коефіцієнта пропускання.

Згідно проведених досліджень було встановлено, що спектр кварцової лампи має максимум випромінювання в області 510-600 нм, що задовольняє спектру пропускання досліджуваного рідкого кристала 5CB.

При дослідженні спектральної залежності коефіцієнта пропускання в рідкому кристалі 5CB спостерігається:

1) в області 700-600 нм коефіцієнт пропускання залишається практично сталим;

2) в області 600-570 нм спостерігається різке зростання коефіцієнта пропускання при температурах $T_1 = 300$ К, $T_2 = 310$ К, $T_3 = 320$ К;

3) після 570 нм – коефіцієнт пропускання практично прямує до $+\infty$.

При підвищенні температури спостерігається зміщення залежності коефіцієнта пропускання в область коротких хвиль.

Виходячи із результатів експериментальних досліджень можна припустити, що збільшення коефіцієнта пропускання пов'язане із міжмолекулярною взаємодією ближнього порядку.

Результати даної роботи будуть використані в моїй подальшій роботі вчителя фізики, зокрема у секції вчителів фізики, факультативних заняттях та при керівництві науковою роботою учнів-учасників МАН.

ДОДАТКИ

Додаток 1

1. Джерело живлення постійного струму В5-46



2. Самописний потенціометр КПС-4



3. Форвакуумный насос



4. Компаратор напряг Р3003



5. Високовольтне джерело струму ВС-22



6. Подільник гігаомного опору



7. Азотний кріостат



СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Адамчик А., Стругальский З. Жидкие кристаллы –М.: Советское радио, 1979. –С.34-35.
2. Aphonin O.A., Nazvanov V.F. Light transmission, linear dichroism and birefringence of nematic/polymer dispersions. //Liquid Crystals. -1997. – V. 23. –N. 6. - P.845 – 859.
3. Богацька І.Г., Головка Д.Б. Загальні основи фізики. - К.: Либідь, 1998.–С. 117-124.
4. Белиловский В.Д. Эти удивительные кристаллы: Кн. для внекл. чтения учащихся 8-10 кл. сред.шк. – М.: Просвещение, 1987.– С. 134.
5. Блинов Л.М., Пикин С.А. Жидкокристаллическое состояние вещества. – М.: Знание, 1986. – 64 с. – (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Физика»; №6). – С. 9.
6. Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов / Лев Михайлович Блинов. – М. : Наука, 1978. – С. 384.
7. Гарбовський Ю.А. Неленейно-оптичні властивості та електропровідність іонних ліотропних жидких кристалів // Вестник Карагандинського університету, серія фізика – 2005. – №4. –С. 30-35.
8. Гребенкин М.Ф., Иващенко А.В. Жидкокристаллические материалы. – М.: Химия, 1989. –С. 287.
9. Дущенко В.П., Кучерук І.М. Загальна фізика і термодинаміка: Навч. посібник. – 2-ге вид., перероб. і допов. – К.: Вища шк., 1993. –С. 386-389.
10. Kitzerow H.-S. Polymer-dispersed liquid crystals. From the nematic curvilinear aligned phase to ferroelectric films. //Liquid Crystals. –1994. -V. 16. - N 1. – P. 1-31.
11. Klosowicz S.J., Zmija J. Optics and electro-optics of polymer –dispersed liquid crystals: physics, technology, and application. // Optical Engineering. – 1995. - V. 34. - N 12. – P. 3440 –3450.
12. Капустин А.П. Электрооптические и акустические свойства жидких кристаллов. –М.: Наука, 1973. –С. 56-59.

13. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. Загальний курс фізики. Том 1. –С. 481-485.
14. Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учеб. пособие для вузов. – М. : Высшая школа, 1981. –С. 281-284.
15. Пикин С.А., Блинов Л.М. Жидкие кристаллы / Под ред. Л. Г.Асламазова / Библиотечка «Квант». Вып. 20. –М.: Наука.главная редакция физико-математической литературы, 1982. – С. 208.
16. Crawford G.P., Doane J.W., Zumer S. Polymer dispersed Liquid crystals: nematic droplets and related systems. //In: Handbook of Liquid Crystal Research.-Collins P.J. and Patel J.S, Editors in Chief.- New York,Oxford : Oxford University Press, 1997, Chapter 10 (pp. 347 – 412).
17. Сонін А.С. Введення в фізику рідких кристалів. – М. : Наука, 1983. –С. 14, 15, 18-20, 45.
18. Чандрасекар С. Жидкие кристаллы / С. Чандрасекар;[пер. с англ.Л.Г. Шалтыко, под ред. А.А. Веденова, И.Г. Чистякова]. – М.: Мир, 1980. – С.344.