

КИЇВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

На правах рукопису

ШИЯНОВСЬКИЙ Сергій Владиславович

ЕФЕКТИ ВЗАЄМОДІЇ ЯДЕРНИХ І ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ
ВИПРОМІНОВАНЬ З РІДКИМИ КРИСТАЛАМИ

01.04.02 - теоретична фізика

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора фізико-математичних наук

Київ - 1994



Робота виконана в Інституті ядерних досліджень
Академії наук України

Офіційні опоненти член-кореспондент АН України,
доктор фізико - математичних наук,
професор Соскін Марат Самуїлович
доктор фізико - математичних наук,
професор Пінкевич Ігор Павлович
доктор фізико - математичних наук,
старший науковий співробітник
Серіков Олександр Олександрович

Провідна установа Інститут кристалографії
Російської Академії наук

Захист відбудеться "22" березня 1994 р. о 14³⁰
на засіданні Спеціалізованої ради Д.068.1822 Київського
університету ім. Тараса Шевченка за адресою: 252022, Київ - 22,
проспект академіка Глушкова 6, фізичний факультет, ауд.500

З дисертацією можна ознайомитися в Науковій бібліотеці
Київського університету ім. Тараса Шевченка.

Автореферат розіслано " 21 " лютого 1994 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої ради

Верлан

Верлан Е.М.

AB - 29.2.78

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Фізика рідких кристалів (РК) є однією з областей фізики конденсованого стану, що найбільш швидко розвивається. Поєднання таких властивостей, як плинність з одного боку, і анізотропія фізичних властивостей, зумовлена орієнтаційною впорядкованістю неферичних молекул, з іншого боку, дає можливість зміни макроскопічних характеристик РК-зразків при відносно слабких зовнішніх впливах. Тому РК вже знайшли широке практичне застосування в медичній діагностиці, при розробці систем відображення інформації та в інших областях науки і техніки. Створені дисплеї, термоіндикатори і елементи пам'яті на РК, причому інтенсивні дослідження РК дозволяють сподіватися на ще більш широке їх застосування.

Крім того, РК дуже цікаві з наукової точки зору, що обумовлено кількома причинами. По-перше, РК являє собою орієнтаційно впорядковану рідину, і фізика РК є логічним продовженням фізики рідкого стану. По-друге, деякі властивості РК не мають аналогів серед властивостей твердих кристалів або рідин. Нарешті, РК-структури грають виключно важливу роль у молекулярній біології, оскільки для реалізації більшості життєвих процесів необхідна рухливість орієнтаційно впорядкованих функціональних груп.

За останні тридцять років накопичено багатий фактичний матеріал і досягнуто значного прогресу в розумінні фізики рідкокристалічного стану. Проте, незважаючи на великий обсяг досліджень РК і їх різноплановий характер, усе ж недостатньо вивчені питання про взаємодію ядерних та рентгенівського випромінювань з РК, які викликають інтерес з двох точок зору. По-перше, це процеси розсіювання, що характерні для нейтронів і рентгенівських променів і відображають структурні і динамічні характеристики РК. По-друге, це процеси іонізації, що відбуваються при опроміненні швидкими зарядженими частинками, рентгенівськими та гама квантами.

Взаємодія іонізуючих випромінювань з мезогенними молекулами відбувається так само, як і в інших органічних речовинах. Основними процесами є іонізація і дисоціація молекул з наступною, як правило, многостадійною рекомбінацією іонів і радикалів, що приз-

водить до виникнення більш менш стійких домішок. Особливості рідкокристалічного стану проявляються у великій чутливості термодинамічних, електричних і оптичних властивостей до виникаючих іонів і домішок та в існуванні деяких специфічних ефектів, що спостерігаються тільки в РК. З практичної точки зору дослідження в цьому напрямку перспективні для визначення радіаційної стійкості РК, а також для розробки шляхів бажаних змін властивостей РК.

Метов дисертації є теоретичне дослідження явищ і ефектів, пов'язаних із взаємодією ядерних та рентгенівського випромінювань з РК, а саме:

- 1) пружного і непружного розсіяння нейтронів в РК;
- 2) впливу іонізуючого опромінювання на електричні і електрооптичні властивості рідких кристалів;
- 3) процесів розповсюдження та збудження електромагнітних хвиль у холестеричних РК (ХРК), зумовлених періодичною структурою;
- 4) спонтанних та індукованих процесів дерацемізації в нематичних РК (НРК), що призводять до виникнення холестеричної спіралі.

Наукова новизна. В дисертаційній роботі вперше отримані такі основні результати:

1. Отримано точний вираз для перерізу малокутового когерентного пружного розсіяння нейтронів в нематичних рідких кристалах, який дозволяє визначити параметри просторової дисперсії макроскопічних флуктуацій густини через експериментальні дані.

2. Розвинута теорія непружного розсіяння нейтронів у нематичних рідких кристалах зі збудженням одного і багатьох внутрішньомолекулярних коливань. Знайдений вираз для перерізу однофононого розсіяння дозволяє визначити орієнтаційну впорядкованість окремих частин молекули і оцінити її гнучкість. Показано, що при багатофононному розсіянні нейтронів орієнтаційна впорядкованість молекул і квантовий характер внутрішньомолекулярних коливань (основний внесок дають нульові коливання) призводять до анізотропії напівширини піків.

3. Розвинута теорія електричних властивостей НРК при опромінюванні з урахуванням процесів генерації і рекомбінації іонів. Запропонована модель взаємодії між домішковими і радіаційно-

індукованими власними іонами, що дозволяє пояснити експериментально знайдену немонотонну залежність провідності від інтенсивності опромінювання та відтворити якісні особливості залежності провідності від концентрації домішок і температури.

4. Досліджено вплив опромінювання на ефект Фредерікса. Знайдене збільшення порогової напруги ефекту Фредерікса обумовлено самоузгодженою неоднорідністю електричного поля при врахуванні процесів генерації і рекомбінації іонів.

5. Знайдені умови існування поверхневих електромагнітних хвиль (ПЕХ) на межі однорідного середовища і двошарової надгратки. Показано, що у надгратках ПЕХ зникають в точках колапсу заборонених зон, що виникають при кутах Брюстера для ТМ мод і умовах інтерференційного просвітлення для зон вищого порядку.

6. Передбачено існування поверхневих електромагнітних хвиль на межі однорідного середовища і ХРК. Знайдені умови розповсюдження ПЕХ показують, що в цьому випадку:

а) ПЕХ головним чином існують в областях, в яких обидва розв'язки хвильового рівняння є згасаючими,

б) дисперсійні криві залежать від напрямку розповсюдження ПЕХ, причому при частотах, близьких до брегівської, існують заборонені сектори напрямків для розповсюдження ПЕХ.

7. Зроблений розрахунок спектрів порушеного повного внутрішнього відбиття (ПШВВ) в схемі для збудження ПЕХ в ХРК. Виявлені провали в спектрах, що відповідають ПЕХ, причому глибина провалів виявилася значно більшою, ніж для звичайних поляритонів, що свідчить про ефективність методу ПШВВ для збудження ПЕХ.

8. Розв'язана задача про дипольне випромінювання ПЕХ у надгратках. Отримано аналітичний вираз, який показує, що залежність інтенсивності випромінювання ПЕХ від положення диполя визначається інтерференційним множником, який може повністю подавити випромінювання ПЕХ.

9. В рамках моделі самоузгодженого поля побудована теорія спонтанної дерацемізації нематичних рідких кристалів, які є рацемічною сумішшю енантімерів. Показано, що анізотропна частина міжмолекулярної взаємодії забезпечує кореляцію між дерацемізацією і орієнтаційним упорядкуванням енантімерів і може істотно розширити можливі типи фазових діаграм.

10. Показано, що циркулярний дихроїзм енантіомерів і інтенсифікація конформаційних переходів у процесі безвипромінювальної релаксації електронного збудження можуть бути причиною індукованої дерацемізації НРК при опромінуванні циркулярно-поляризованим світлом. В цьому випадку величина дерацемізації визначається кінетикою переходів між конформаціями і обернено пропорційна швидкості релаксаційних переходів між енантіомерними станами.

11. Запропоновано механізм дерацемізації нематичної компоненти в немато-холестеричній суміші внаслідок різної взаємодії енантіомерів з хіральною домішкою, який дозволяє пояснити нелінійні концентраційні залежності і інверсію знака кроку спіралі.

Практична цінність роботи. Результати роботи можуть бути використані для постановки нових експериментів по виявленню передбачених поверхневих електромагнітних хвиль і процесів дерацемізації, для знаходження параметрів орієнтаційного і ближнього трансляційного порядку із спектрів розсіювання нейтронів, для інтерпретації вимірювань властивостей РК при опромінуванні. Вдалося пояснити зменшення провідності РК при малих інтенсивностях і якісні особливості залежності провідності від інтенсивності опромінування, концентрації домішок та температури. Зроблені в дисертації оцінки інтенсивності збудження і просторового згаювання поверхневих електромагнітних хвиль дозволяють сподіватися, що передбачені хвилі зможуть знайти застосування в приладах оптоелектроніки.

На захист виставляються:

1. Теоретичний розрахунок перерізів пружного і непружного розсіювання нейтронів у нематичних рідких кристалах, який показує, що 1) малокутове пружне розсіювання нейтронів відбувається на флуктуаціях густини, директора та параметра орієнтаційного порядку і може бути використане для визначення характеристик ближнього порядку; 2) інтенсивність непружних піків залежить від орієнтаційної впорядкованості окремих частин молекул і дозволяє визначити конформаційну рухливість молекули.

2. Теоретичний опис електричних властивостей і ефекта Фредерікса в нематичних рідких кристалах при опромінуванні, який

1) пояснює зменшення провідності при малих інтенсивностях і якісні особливості залежності провідності від інтенсивності опромінювання, концентрації домішок та температури, 2) передбачає збільшення порогової напруги ефекту Фредерікса при опромінюванні.

3. Передбачення існування поверхневих електромагнітних хвиль на межі холестеричний рідкий кристал - однорідне середовище, умови розповсюдження поверхневих електромагнітних хвиль, розрахунок збудження поверхневих електромагнітних хвиль у холестеричних рідких кристалах методом порушеного повного внутрішнього відбиття.

4. Теоретичний розв'язок проблеми збудження поверхневих електромагнітних хвиль точковим диполем, що знаходиться поблизу межі надгратка - однорідне середовище, який передбачає можливість повного інтерференційного подавлення дипольного випромінювання поверхневих електромагнітних хвиль.

5. Теорія спонтанної та індукованої дерацемізації нематичних рідких кристалів, що є рацемічної сумішшю енантіомерів, яка 1) передбачає можливість зміни роду фазового переходу нематик - холестерик внаслідок кореляції між спонтанною дерацемізацією та орієнтаційним впорядкуванням енантіомерів; 2) передбачає індукований циркулярно-поляризованим світлом фазовий перехід нематик - холестерик; 3) пояснює нелінійність концентраційних залежностей і інверсію знаку кроку спіралі в немато-холестеричних сумішах дерацемізацією нематичної компоненти.

Апробація роботи.

Основні результати дисертаційної роботи були представлені на 11-ій (Берклі, 1986), 13-ій (Ванкувер, 1990), 14-ій (Піза, 1992) Міжнародних конференціях з рідких кристалів, Європейській конференції з рідких кристалів (Флімс, 1993), Літній Європейській конференції з рідких кристалів (Вільнюс, 1991), 4-ій (Тобіліо, 1981), 5-ій (Одеса, 1983), 7-ій (Пардубіце, 1987), 8-ій (Краків, 1989) конференціях соціалістичних країн з рідких кристалів, 5-ій (Іваново, 1985), 6-ій (Чернігів, 1988) Всесоюзних конференціях "Рідкі кристали і їх практичне застосування", 5-ій Всесоюзній нараді з мікродозиметрії (Усть-Нарва, 1986), 1-му (Москва, 1987) і 2-му (Красноярськ, 1990) Всесоюзних семінарах "Оптика рідких кристалів", 18-ій Міжнародній конференції з статистичної фізики (Берлін,

1992), Київському та Московському семінарах з рідких кристалів, в також на наукових семінарах в Інституті фізики АН України, Київському університеті імені Тараса Шевченка, Інституті кристалографії РАН, Фізико-хімічному інституті АН України, Інституті ядерної фізики (Краків), Науково-дослідному інституті органічних напівпродуктів і барвників (Москва), Інституті фізики твердого тіла РАН та інших установах.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 40 друкованих робіт.

Об'єм роботи. Дисертація викладена на 149 сторінках друкованого тексту і містить 25 малюнків. Бібліографія містить 68 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ.

Дисертація складається з вступу, п'яти глав, закінчення і списку цитованої літератури.

У вступі обґрунтовується актуальність теми досліджень, сформульована мета і вказані задачі роботи, показана новизна отриманих результатів та викладені положення, що захищаються.

Перший розділ присвячений розвитку теорії розсіяння нейтронів у НРК. Експерименти по розсіянню нейтронів містять в собі багато інформації про структуру і динамічні властивості РК, проте трудності з інтерпретацією стають на перешкоді їх широкому використанню. Теорія квазіпружного розсіяння нейтронів у НРК була розвинута Пінном [1,2], проте отриманий ним вираз для інтенсивності квазіпружного піка не може бути використаний для безпосереднього порівняння з експериментальними даними, оскільки містить у собі багато невідомих параметрів. Теоретичні дослідження непружного розсіяння нейтронів із збудженням внутрішньомолекулярних коливань у РК до цього часу не проводились.

В цьому розділі розглянуто пружне і непружне розсіяння нейтронів у НРК, причому основна увага приділена отриманню виразів, придатних для безпосереднього порівняння з експериментальними даними.

В § 1.1 наведені широко відомі формули, які далі використо-

вуються для розвитку теорії розсіяння нейтронів в НРК.

Якщо енергія падаючих нейтронів досить мала, то основним процесом є квазіпружне розсіяння. В цьому випадку суттєвою є величина хвильового вектору розсіяння Q , який визначає переданий імпульс $p = \hbar Q$. Для малокутового розсіяння (§ 1.2) отримано вираз для інтенсивності квазіпружного піка у вигляді ряду по степенях вектора розсіяння:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right) = \rho V k T \left\{ \left(\frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_T - Q^2 \left[\left(\frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_T (r_{\parallel}^2 \cos^2 \theta + r_{\perp}^2 \sin^2 \theta) + 2 a_2^2 \left(\frac{\partial(\rho S_{20})}{\partial p} \right)_T P_2(\cos \theta) - \frac{9 \rho a_2^4 S_{20}^2 \cos^2 \theta \sin^2 \theta}{K_{11} \cos^2 \theta + K_{22} \sin^2 \theta} \right] \right\} \quad (1)$$

де ρ - густина молекул, V - розсіючий об'єм, T - температура, a_2 - структурна характеристика молекули, яка приблизно дорівнює її довжині, θ - кут між хвильовим вектором розсіяння і директором, r_{\parallel} і r_{\perp} характеризують кореляцію густини вздовж і перпендикулярно директору.

Нульовий член обумовлений розсіянням на макроскопічних флуктуаціях густини. Квадратичний член складається із трьох доданків, які мають різну природу. Перший доданок описує вплив просторової дисперсії флуктуацій густини. Кореляція між макроскопічними флуктуаціями густини і параметром порядку S_{20} призводить до появи другого доданку. Третій доданок є внеском сингулярних флуктуацій директора, які грають головну роль при розсіянні світла. Він досить легко виділяється завдяки специфічній залежності від θ (дорівнює нулю при $\theta = 0$ і $\theta = \pi/2$). Отже, порівняння цієї формули з експериментальними даними дозволяє визначити r_{\parallel} і r_{\perp} , які є важливими характеристиками ближнього порядку в НРК.

При подальшому збільшенні Q помітний внесок у розсіяння дає член $\sim Q^4$, в якому окрім вказаних вище флуктуацій проявляються ще повздовжні і двовісні флуктуації параметрів S_{2m} . Проте велика кількість невідомих параметрів не дозволяє в експериментальних даних повністю розділити внески різних флуктуацій.

При квазіпружному розсіянні на великі кути основний внесок дає розсіяння на окремих молекулах. Тому § 1.3 присвячений дослідженню впливу нециліндричності молекул на квазіпружне розсіяння.

Якщо енергія падаючих нейтронів достатня для збудження внутрішньомолекулярних коливань, то непружні процеси починають грати суттєву роль (§ 1.4). В цьому випадку вираз для інтенсивності непружних піків має вигляд:

$$\left[\frac{d\sigma}{d\Omega} \right]_p = \rho V \frac{k}{R_0} \sum_{LM} S_{LM} U_{LM}^{(p)}(Q) P_L(\cos\theta), \quad (2)$$

де $U_{LM}^{(p)}(Q)$ визначається структурою и коливним спектром молекули. В більшості РК головний внесок у переріз дає некогерентне розсіяння на водні, яке при квазіпружному розсіянні є ізотропним і не містить інформації про орієнтаційний порядок молекул. Тому доводиться використовувати дейтеровані зразки, що ускладнює експериментальні дослідження, не кажучи вже про те, що параметри орієнтаційного порядку можуть відрізнятися в дейтерованих і звичайних РК. При непружному розсіянні на водні некогерентний доданок є анізотропним і має вигляд:

$$\left[\frac{d\sigma}{d\Omega} \right]_p^H = \frac{\rho V \hbar k Q^2 \left(b_H^1 \right)^2}{6k_0 N_D M_H \left[1 - \exp(-\hbar\omega_p / k_B T) \right]} \left[w_{00} + 2P_2(\cos\theta) \sum_m w_{2m} S_{2m} \right]$$

$$\text{где } w_{Lm} = \sqrt{4\pi / (2L+1)} \sum_{\mu}^H c_{p\nu}^2 Y_{Lm}^*(c_{p\nu}) \quad (3)$$

Таким чином, виміри перерізів непружного розсіяння нейтронів в РК дають можливість визначити параметри орієнтаційного порядку S_{LM} . Слід зауважити, що S_{LM} відноситься до тієї частини молекули, де локалізовано коливання. Тому порівняння значень S_{LM} , отриманих при збудженні різних коливань дозволяє визначити орієнтаційну впорядкованість частин молекул і оцінити її гнучкість.

При розсіянні нейтронів з енергіями, що набагато перевищують енергії внутрішньомолекулярних коливань, головну роль відіграють процеси, в яких енергія передається одному атому (§ 1.5). В цьому випадку спектр складається з піків, що відповідають квазівільному розсіянню на атомах певного сорту, а півширини цих піків є анізотропними і дозволяють визначити орієнтаційну впорядкованість молекул.

Другий розділ присвячений теоретичному опису електричних і електрооптичних властивостей НРК при опромінюванні. Провідність

ПК є одним з найбільш радіаційно чутливих властивостей, оскільки опромінювання генерує додаткові іони, які виникають завдяки двом процесам: 1) іонізації власних молекул 2) термоіонізації утворених продуктів радіолізу. Перший канал реалізується під час опромінювання і визначається його інтенсивністю, а другий є причиною необоротної зміни провідності і залежить від поглинутої дози.

Оскільки при вивченні електричних і електрооптичних властивостей ПК часто використовуються тонкі зразки і необхідно обґрунтувати справедливості використання тензора електропровідності, в § 2.1 розвинута теорія електричних процесів у ПК, в яких домінує один механізм генерації іонів. Така ситуація, як правило, реалізується в ПК у звичайних умовах при термоіонізації домішок, а також при ядерному опромінюванні у заздалегідь очищених ПК.

Якщо у ПК існує кілька конкуруючих процесів генерації і рекомбінації іонів (наприклад, при опромінюванні ПК з достатньо великою домішковою провідністю), то опис електричних властивостей значно ускладнюється. В цьому випадку навіть для малих прикладених напруг, коли виконується закон Ома, може спостерігатися немонотонна залежність провідності від інтенсивності опромінювання, тобто зменшення провідності при малих інтенсивностях [3,4]. В § 2.2 запропонована модель, яка враховує взаємодію радіаційно-індукованих власних іонів та іонів, виникаючих при термодисоціації домішок. Ця модель дозволяє пояснити це зменшення, а також якісні особливості залежності провідності від кількості домішок і температури.

В § 2.3 розглянуто альтернативний донорно-акцепторний механізм термоіонізації домішок. Ця модель теж дозволяє пояснити зменшення провідності при опромінюванні, але передбачає іншу залежність додаткової провідності від інтенсивності опромінювання.

Анізотропія властивостей ПК є причиною нових у порівнянні з ізотропними рідинами електрооптичних ефектів, умови виникнення яких у більшості випадків залежать від середнього значення і анізотропії провідності. В § 2.4 розглянуто вплив опромінювання на ефект Фредерікса, який полягає у зміні орієнтації директора при накладанні електричного поля і не залежить від провідності НПК. Передбачене збільшення порогової напруги при опромінюванні обумовлено зростанням неоднорідності поля у зразку.

Третій розділ присвячений дослідженню поверхневих електромагнітних хвиль (ПЕХ), які можуть існувати на межі однорідного і просторово-періодичного середовищ.

Загальновідомо, що існування ПЕХ на межі двох однорідних середовищ можливе, якщо діелектрична проникність одного з них від'ємна. Базуючись на подібності хвильового рівняння та рівняння Шредінгера Коссель передбачив [5], що на межі середовища з макроперіодичною структурою і однорідного середовища можуть існувати ПЕХ іншого типу, які є аналогом тамівських поверхневих станів для електронів і не потребують від'ємності діелектричної проникності. Причинами локалізації цих ПЕХ є повне внутрішнє відбиття в однорідному середовищі та брегівська дифракція в періодичному середовищі. Вперше ці ПЕХ спостерігалися в експериментах Яріва з співробітниками на межі двохшарова надгратка - повітря у вигляді ТЕ мод [6].

В § 3.1 розглянуті ПЕХ на межі надгратки, основний період якої складається з двох ізотропних шарів з товщинами d_j і діелектричними сталими ϵ_j . Узгаляючи результати Яріва, припускається, що найближчий до межі з однорідним середовищем шар має іншу товщину $\tilde{d} \neq d_1$, тобто є дефектним. Знайдений локалізований розв'язок хвильового рівняння при умові неперервності тангенціальних компонент електричного і магнітного полів на границі розділу

$$E(R) = \exp(i(qx - \omega t)) \mathcal{E}(q, z) \quad (4)$$

показує, що ПЕХ можуть існувати в заборонених зонах, обумовлених брегівською дифракцією різного порядку, причому для кожної зони існує довгохвильовий край існування ПЕХ, пов'язаний з одночасним виконанням умов повного внутрішнього відбиття в однорідному середовищі та брегівської дифракції в періодичному середовищі. ТЕ - і ТМ - моди є незалежними і дисперсійні криві ПЕХ задовільняють рівнянню:

$$\beta_{E, n} + k_1(2\tilde{d} - d_1) - 2\alpha_{E, n} = (2n-m)\pi, \quad (5)$$

де $k_j^2 = (\epsilon_j \omega^2 / c^2) - q^2$, $\alpha_E = \arctg(\mu/k_1)$, $\alpha_M = \arctg(\epsilon_1 \mu / \epsilon_0 k_1)$, $\mu^2 = q^2 - \epsilon_0 \omega^2 / c^2$, m - порядок брегівської зони, фаза $\beta_{E, n}$ змінюється при скадуванні по зоні від 0 до π або від π до 2π .

Аналіз цього рівняння свідчить, що ПЕХ існують не за

будь-якої товщини дефектного шару \tilde{d} , а тільки тоді, коли похідні тангенціальних компонент електричного поля для ТЕ-моди і магнітного поля для ТМ-моди додатні на межі надгратки. Ці умови виконуються приблизно для половини можливих товщин \tilde{d} і залежать від частоти.

В § 3.2 розглянуті ПЕХ на межі однорідне середовище - ХРК, який з оптичної точки зору є одновісним кристалом, закрученим у спіраль. ПЕХ у ХРК не можуть бути ні ТЕ - ні ТМ - модами, оскільки брегівські зони мають значно більш складний вигляд [7], а відповідні локалізовані розв'язки хвильового рівняння еліптично поляризовані. На мал.1.а показана структура брегівської зони першого порядку, коли $q \approx q_B = \frac{2\pi}{p} \operatorname{ctg} \vartheta_B$, а брегівський кут ϑ_B визначається із умови

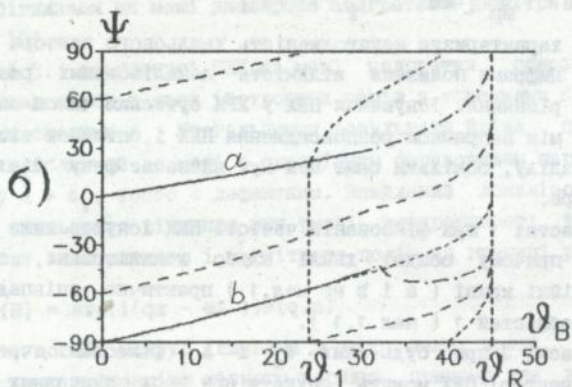
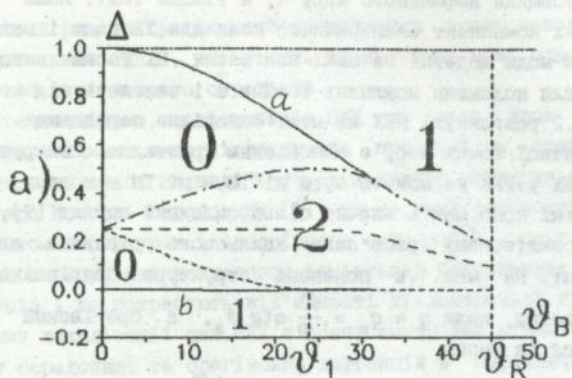
$$\sin \vartheta_B = \frac{2\pi c}{\omega p} \left[\epsilon_{\text{як}} \left(1 - \frac{\delta}{2} \cos^2 \vartheta_B \right) \right]^{-1/2} \quad (8)$$

Параметр Λ характеризує неузгодженість хвильового вектора з умовою Бреґа. Цифрами показана кількість локалізованих розв'язків хвильового рівняння. Існування ПЕХ у ХРК суттєвим чином залежить від кута Ψ між напрямком розповсюдження ПЕХ і оптичною віссю ХРК на межі розділу, оскільки саме цей кут визначає фазу діелектричного тензора.

В областях 1 при фіксованій частоті ПЕХ існують лише в двох напрямках, причому обидві хвилі слабо локалізовані, оскільки їх дисперсійні криві (а і б на мал.1) практично співпадають з границями областей 1 (мал.1.1).

В області 2 при будь-яких ϑ_B і Λ (фіксовані частота і хвильовий вектор) ПЕХ можуть існувати при двох значеннях Ψ . Як видно з мал.1.б, при великих частотах (малих ϑ_B) розповсюдження ПЕХ можливе у всіх напрямках, при менших частотах ($\vartheta_B > \vartheta_1$) з'являються заборонені сектори, а при $\vartheta_B > \vartheta_B$ ПЕХ зникають внаслідок відсутності повного внутрішнього відбиття в однорідному середовищі.

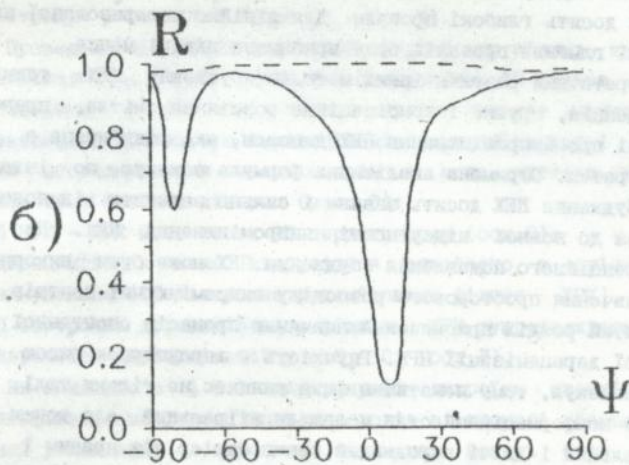
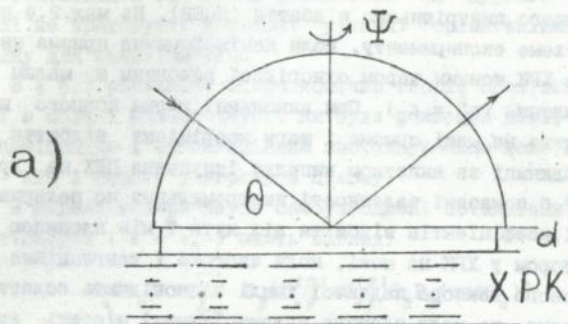
Четвертий розділ присвячений дослідженню можливостей збудження ПЕХ. В перших експериментах [6] ПЕХ збуджувались з бокового краю надгратки, проте цей метод не дуже зручний для вимірів дисперсійних кривих ПЕХ і дисперсійні криві не були визначені.



Мал. 1. Поверхневі електромагнітні хвилі на границі однорідного середовища і холестеричного РК.

а) області брегівської дифракції, в яких обидва розв'язки хвильового рівняння є локалізованими (цифри вказують на їх кількість) і дисперсійні криві ПЕХ *a* і *b* в областях 1 (майже співпадають з границями областей).

б) напрямки розповсюдження ПЕХ при $\epsilon_B/\epsilon_{жк} = 0.5$. (.....), (-----) і (-----) відповідають ПЕХ на нижній та верхній границях та посередині області 2.



Мал.2. Збудження ПЕХ в ХРК методом ПНВВ:

а) схема запропонованого експерименту;

б) кутові залежності екстремальних значень коефіцієнта відбиття

R_{\max} (- - -) і R_{\min} (———), які розраховані при

$\epsilon_{\text{рн}} = \epsilon_{\text{LC}} = 2$, $\epsilon_{\text{в}} = 1$, $\vartheta = \vartheta_{\text{в}} = 40^\circ$, $\Delta = 0.12$, $d/p = 4$, $\gamma/\delta = 0.01$

В § 4.1 вивчена можливість збудження ПЕХ на межі ХРК методом порушеного повного внутрішнього відбиття (ПВВ). На мал.2.а показана можлива схема експерименту, коли напівсферична призма зв'язку розділена з ХРК тонким шаром однорідної речовини з малим показником заломлення ($n_0^2 = \epsilon_0$). При виконанні умови повного внутрішнього відбиття на межі призми і шару коефіцієнт відбиття дорівнює майже одиниці за винятком випадку існування ПЕХ на другій межі. На мал.2.б показані залежності екстремальних по поляризації падаючої хвилі коефіцієнтів відбиття від кута Ψ між площиною падіння і директором у ХРК на межі, коли частота і тангенціальна компонента хвильового вектора падаючої хвилі відповідають області 2 на мал.1.а. Видно, що коли площина падаючої хвилі містить напрямки існуючої ПЕХ (Ψ співпадає з Ψ_1 для ПЕХ на мал.1.б), для спеціально підібраної поляризації падаючої хвилі повинні спостерігатися досить глибокі провали. Для лінійно поляризованої падаючої хвилі глибина провалів буде приблизно вдвічі менша.

Теоретичний розгляд інших методів збудження ПЕХ, таких як люмінесценція, пружне і комбінаційне розсіяння світла, приводить до задачі про випромінювання ПЕХ диполем, яка розв'язана в § 4.2 для надгратки. Отримана аналітична формула показує, що інтенсивність збудження ПЕХ досить значна і сильно залежить від положення диполя аж до повної відсутності випромінювання ПЕХ. Це явище інтерференційного подавлення збудження ПЕХ може бути використано для визначення просторового розподілу випромінюючих центрів.

П'ятий розділ присвячений вивченню процесів спонтанної і індукованої дерацемізації НРК. Гнучкість є характерною рисою мезогенних молекул, тому нематична фаза виникає не тільки тоді, коли основний конформаційний стан молекули акіральний, але також коли він кіральний і двічі вироджений, якщо бар'єр між правим і лівим енантіомерами досить низький, щоб забезпечити вирівнювання їх концентрацій, тобто рацемізацію. Дерацемізація еквівалентна введенню кіральної домішки і призводить до переходу у холестеричну фазу.

На можливість спонтанної дерацемізації внаслідок міжмолекулярної взаємодії вперше вказав Я.Б.Зельдович [8]. Якщо взаємодія між однаковими енантіомерами більша, ніж між різними, то в системі можливий фазовий перехід (ФП), аналогічний точці Кюрі в феромагнетиках. Самоузгоджений розрахунок впливу виникнення спіралі

на дерацемізацію [9] також передбачає ФП другого роду. Обидві моделі не враховують можливої різниці орієнтаційних параметрів порядку для енантіомерів.

В § 5.1 розвинута мікроскопічна теорія спонтанної дерацемізації в моделі Майєра-Заупе. Як буде показано далі, кореляція між дерацемізацією і орієнтаційним впорядкуванням може змінити рід ФП НРК - ХРК і фазову діаграму в цілому.

В моделі Майєра-Заупе самоузгоджені потенціали W_{α} для двох енантіомерів ($\alpha = +, -$) мають вигляд:

$$W_{\alpha}(\theta_{\alpha}) = - \sum_{\beta=+,-} C_{\beta} [U_{\alpha\beta}^{(0)} + U_{\alpha\beta}^{(2)} S_{\beta} P_2(\cos\theta_{\alpha})] \quad (7)$$

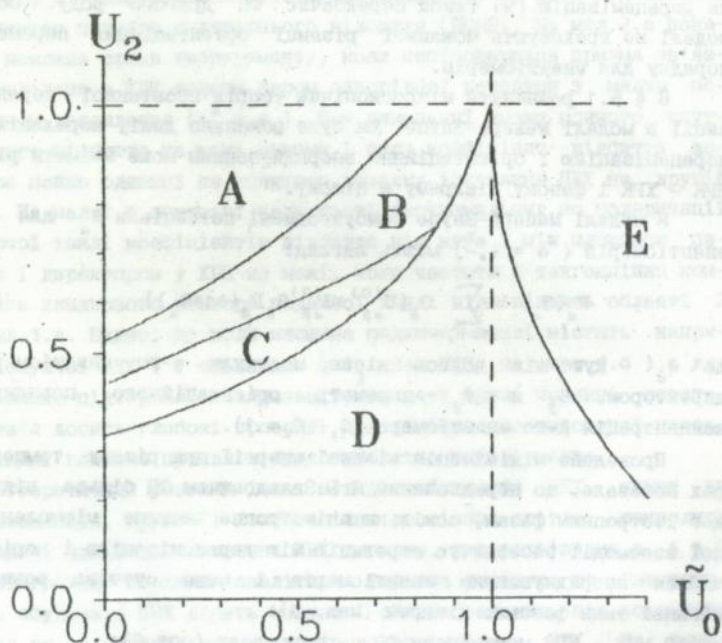
де θ_{α} - кут між довгою віссю молекули α -го енантіомера і директором, S_{β} і C_{β} - параметр орієнтаційного порядку і концентрація β -го енантіомера ($C_{+} + C_{-} = 1$).

Проведена мінімізація вільної енергії при різних температурах показала, що передбачений Я.Б.Зельдовичем ФП більше відповідає ізотропним фазам, оскільки анізотропна частина міжмолекулярної взаємодії забезпечує кореляцію між дерацемізацією і орієнтаційним впорядкуванням енантіомерів і може суттєво розширити можливі типи фазових діаграм (мал. 3):

- а) ФП НРК - ХРК може стати ФП першого роду (обл.С);
- б) дерацемізація може відбуватися одночасно з орієнтаційним впорядкуванням (ФП ізотропна рацемізована рідина - ХРК), (обл.Д);
- в) ФП ізотропна дерацемізована рідина - ХРК супроводжується скачком параметра дерацемізації $y = C_{+} - C_{-}$ (обл.Е).

Як показано в § 5.2 циркулярний дихроїзм енантіомерів і інтенсифікація конформаційних переходів в процесі безвипромінювальної релаксації електронного збудження можуть бути причиною індукованої дерацемізації при опромінюванні циркулярно поляризованим світлом. В цьому випадку величина дерацемізації визначається кінетикою переходів між конформаціями і обернено пропорційна швидкості релаксаційних переходів між енантіомерними станами.

В § 5.3 запропонований механізм дерацемізації нематичної компоненти в немато-холестеричних сумішах внаслідок взаємодії з хіральною домішкою, який дозволяє пояснити нелінійні концентраційні залежності і інверсію знаку спіралі, що спостерігаються на експерименті [7].



Мал.3. Вплив спонтанної дерацемізації на фазові діаграми:
 А - РІР - НРК - кристал; В - РІР - НРК ² ХРК - кристал;
 С - РІР - НРК ¹ ХРК - кристал; D - РІР ¹ ХРК - кристал;
 Е - РІР ² ДІР ¹ ХРК - кристал; РІР - рацемізована ізотропна
 рідина, ДІР - дерацемізована ізотропна рідина; параметри
 $\tilde{U}_0 = (U_{++}^{(0)} - U_{+-}^{(0)})/2T_{IN}$ і $U_2 = U_{+-}^{(2)}/U_{++}^{(2)}$ характеризують різницю
 у взаємодії енантімерів.

В закінченні приведений список публікацій автора по темі дисертації та викладені основні результати і висновки дослідження, виконаного в дисертаційній роботі:

1. Отримано вираз для перерізу малокутового когерентного пружного розсіяння нейтронів, який показує, що цей процес доцільно розглядати як сукупність незалежних процесів розсіяння на флуктуаціях густини, директора і параметра порядку S_{20} . При цьому поряд з макроскопічними (нульового порядку по хвильовому вектору) внесками цих флуктуацій суттєвий внесок дає просторова дисперсія флуктуацій густини. Цей внесок може бути виділений завдяки орієнтаційній залежності перерізу квазіпружного розсіяння і дозволяє визначити важливі характеристики ближнього порядку із експериментальних даних.

2. Розвинута теорія непружного розсіяння нейтронів у немагнітних рідких кристалах зі збудженням одного і багатьох внутрішньомолекулярних коливань. Знайдений вираз для перерізу однофонованого розсіяння дозволяє визначити орієнтаційну впорядкованість окремих частин молекули і оцінити її гнучкість. Багатофоноване розсіяння нейтронів з $E > 1$ еВ відбувається на окремих атомах. В цьому випадку орієнтаційна впорядкованість молекул і квантовий характер внутрішньомолекулярних коливань (основний внесок дають нульові коливання) призводять до анізотропії напівширини піків.

3. Розвинута теорія електричних властивостей НРК при опромінюванні з урахуванням процесів генерації і рекомбінації іонів. Визначені умови застосування закону Ома і тензора провідності. Запропонована модель взаємодії між домішковими і радіаційно-індукованими власними іонами, що дозволяє пояснити експериментально знайдену немонотонну залежність провідності від інтенсивності опромінювання і відтворити якісні особливості залежності провідності від концентрації домішок і температури.

4. Досліджено вплив опромінювання на ефект Фредерікса. Знайдене збільшення порогової напруги ефекту Фредерікса обумовлено самоузгодженою неоднорідністю електричного поля при врахуванні процесів генерації і рекомбінації іонів. Вплив опромінювання в цьому випадку менше, ніж для електрогідродинамічних ефектів, що залежать від середнього значення і анізотропії провідності, але достатній для експериментального виявлення.

5. Знайдені умови існування поверхневих електромагнітних хвиль на межі однорідного середовища і двошарової надгратки. В цьому випадку ПЕХ можуть існувати у вигляді незалежних ТЕ і ТМ мод, причому важливу роль відіграє фаза відповідної гармоніки тензора діелектричної проникності (у випадку надгратки ця фаза визначається товщиною найближчого до межі "дефектного" шару), оскільки існування ТЕ ПЕХ і ТМ ПЕХ можливе тільки при умові додатності нормальної похідної електричного і магнітного полів, відповідно. Показано, що в надгратках ПЕХ зникають в точках колапсу заборонених зон, що виникають при кутах Брюстера для ТМ мод і умовах інтерференційного просвітлення для зон вищого порядку.

6. Передбачено існування поверхневих електромагнітних хвиль на межі однорідного середовища і холестеричного РК. Знайдені умови розповсюдження ПЕХ показують, що в цьому випадку:

- а) ПЕХ головним чином існують в областях, в яких обидва розв'язки хвильового рівняння є згасаючими. При цьому ПЕХ мають складну поляризаційну структуру, обумовлену інтерференцією цих розв'язків.
- б) Дисперсійні криві залежать від напрямку розповсюдження ПЕХ, причому при частотах, близьких до брегівської, існують заборонені сектори напрямків для розповсюдження ПЕХ.

7. Зроблений розрахунок спектрів порушеного повного внутрішнього відбиття (ППВВ) в схемі для збудження ПЕХ у ХРК. Знайдені провали в спектрах, що відповідають ПЕХ, причому глибина провалів виявилася значно більшою, ніж для звичайних поларитонів, що свідчить про ефективність методу ППВВ для збудження ПЕХ.

8. Розв'язана задача про дипольне випромінення ПЕХ у надгратках. Отримані аналітичні вирази для електромагнітного поля випромінення точкового диполя, що знаходиться в дефектному шарі надгратки поблизу межі з однорідним середовищем. Залежність інтенсивності випромінення ПЕХ від положення диполя визначається інтерференційним множником, який може повністю подавити випромінення ТЕ-ПЕХ. Для ТМ-ПЕХ повне подавлення можливе тільки у напрямку перпендикулярному диполь, або у випадках, коли диполь орієнтований перпендикулярно або паралельно шарам надгратки.

9. В рамках моделі самоузгодженого поля побудована теорія спонтанної деривації нематичних рідких кристалів, які є раце-

мічною сумішшю енантімерів. Показано, що анізотропна частина міжмолекулярної взаємодії забезпечує кореляцію між дерацемізацією і орієнтаційним упорядкуванням енантімерів і може істотно розширити можливі типи фазових діаграм:

- а) фазовий перехід НРК - ХРК може стати фазовим переходом першого роду;
- б) дерацемізація може відбуватись одночасно з орієнтаційним упорядкуванням (фазовий перехід $PIR \stackrel{1}{\perp} ХРК$);
- в) фазовий перехід $DIR \stackrel{1}{\perp} ХРК$ супроводжується скачком параметра дерацемізації.

10. Показано, що циркулярний дихроїзм енантімерів і інтенсифікація конформаційних переходів у процесі безвипромінювальної релаксації електронного збудження можуть бути причиною індукованої дерацемізації НРК при опромінюванні циркулярно-поляризованим світлом. В цьому випадку величина дерацемізації визначається кінетиком переходів між конформаціями і обернено пропорційна швидкості релаксаційних переходів між енантімерними станами.

11. Запропоновано механізм дерацемізації нематичної компоненти в немато-холестеричних сумішах внаслідок різної взаємодії енантімерів з хіральними домішками і конформаційна рухливість молекул НРК, який може бути причиною нелінійних концентраційних залежностей і інверсії знака кроку спіралі.

Публікації по темі дисертаційної роботи:

1. Сугаков В.И., Шияновский С.В. Влияние дальнего действия в межмолекулярном взаимодействии на оптические спектры жидких кристаллов // Оптика и спектроскопия.- 1980. - Т.48, вып.3. -С.298-301.
2. Шияновский С.В. О форме полос поглощения в оптических спектрах одноосных жидких кристаллов. // Укр. Физ. Журн. -1981. - Т.26, N 1. -С.137-144.
3. Сугаков В.И., Шияновский С.В. Теоретическое исследование когерентного рассеяния медленных нейтронов в нематических жидких кристаллах. Киев, 1993.- 20 с.- (Препр./АН УССР. Ин-т ядерных исслед.; КИЯИ-82-10).

4. Skripnik K.S., Sugakov V.I., Shiyanovskii S.V. Neutron scattering by nematic liquid crystals. // Abstracts of 5th Liquid Crystal Conference of Socialist Countries, Odessa, -1983. Vol.1, chap.2. P.6-7.
5. Скрипник К.С., Шияновский С.В. Неупругое рассеяние медленных нейтронов в нематических жидких кристаллов // Физ. Твёрдого Тела - 1983. - Т.25, N 6. -С.1857-1859;
6. Скрипник К.С., Сугаков В.И., Шияновский С.В. Использование нейтронов для исследования жидких кристаллов. // Материалы 3-го Всесоюзного совещания "Программа экспериментальных исследований на мезонной фабрике ИЯИ АН СССР", Москва. -1984. -С.342-346.
7. Skripnik K.S., Sugakov V.I., Shiyanovskii S.V. Neutron scattering by nematic liquid crystals. // Abstracts of 10th International Liquid Crystal Conference, York, UK. -1984. A32.
8. Скрипник К.С., Сугаков В.И., Шияновский С.В. К теории рассеяния нейтронов жидким кристаллами. // Тезисы 5-ой Всесоюзной конференции по жидким кристаллам, Иваново. -1985.- Т.1.-С.37.
9. Шияновский С.В., Резников Ю.А. Светоиндуцированная дерацемизация нематических жидких кристаллов. // Тезисы 5-ой Всесоюзной конференции по жидким кристаллам, Иваново. -1985. - Т.1. -С.46.
10. Шияновский С.В., Резников Ю.А. Светоиндуцированная хиральность нематических жидких кристаллов. // Докл.Акад.Наук СССР - 1985. - Т.285, N 5. -С.1123-1126; .
11. Shiyanovskii S.V. Surface electromagnetic waves in cholesteric liquid crystals // Abstracts of 11th International Liquid Crystal Conference, Berkeley, USA. -1986.
12. Шияновский С.В. Возбуждение поверхностных электромагнитных волн в холестерических жидких кристаллах. // Тезисы 1-го Всесоюзного совещания "Оптика жидких кристаллов", Москва. -1987. -С.28-29.
13. Шияновский С.В. Поверхностные электромагнитные волны в холестерических жидких кристаллах. // Журн. Техн. Физ. -1987. Т.57, N 7. -С.1448-1450;

14. Shiyanovskii S.V., Reznikov Yu.A. Light-induced nematic-to-cholesteric transition // Abstracts of 7th Liquid Crystal Conference of Socialist Countries, Pardubice, Czechoslovakia. -1987. В 36.
15. Skripnik K.S., Sugakov V.I., Shiyanovskii S.V. Radiation effects in electrical and optical properties of nematic liquid crystals. // Abstracts of 7th Liquid Crystal Conference of Socialist Countries, Pardubice, Czechoslovakia. -1987. С 66.
16. Скрипник К.С., Сугаков В.И., Шияновский С.В. Влияние ионизирующего излучения на эффект Фредерикса и ЭГД неустойчивость. // Тезисы 6-ой Всесоюзной конференции по жидким кристаллам, Чернигов. -1988. - Т.2. -С.177.
17. Шияновский С.В. Теория поверхностных электромагнитных волн в холестерических жидких кристаллах. // Тезисы 6-ой Всесоюзной конференции по жидким кристаллам, Чернигов. -1988. - Т.2. -С.162.
18. Герасимов А.А., Шияновский С.В. Индуцированная дерацемизация нематических жидких кристаллах. // Тезисы 6-ой Всесоюзной конференции по жидким кристаллам, Чернигов. -1988. - Т.3. -С.335.
19. Шияновский С.В. Исследование поверхностных электромагнитных волн в жидких кристаллах со спиральной структурой // Спектроскопия конденсированного состояния. Киев, Наукова думка -1988. -С.25-29.
20. Скрипник К.С., Сугаков В.И., Шияновский С.В. Образование области пространственного заряда и переход Фредерикса в нематических жидких кристаллах под действием ионизирующего излучения. // Укр. Физ. Журн. -1989. - Т.34, N 3. -С.397-403.
21. Герасимов А.А., Шияновский С.В. Дерацемизация нематического жидкого кристалла: индуцированная хиральной примесью. // Укр. Физ. Журн. -1989. - Т.34, N 10. -С.1527-1529.
22. Kurilo P.M., Lavrentovich O.D., Linev V.A., Shiyanovskii S.V., Skripnik K.S., Shulga S.Z., Sugakov V.I., Penik M.B. Radiation effects in liquid crystals. // Abstracts of 8th Liquid Crystal Conference of Socialist Countries, Krakow, Poland. -1989. В 43.

23. Shiyanovskii S.V. Theory of surface electromagnetic waves in liquid crystals with helical structure. // Abstracts of 8th Liquid Crystal Conference of Socialist Countries, Krakow, Poland. -1989. E18.
24. Gerasimov A.A., Shiyanovskii S.V. Deracemization of nematic liquid crystals induced by chiral dopants. // Abstracts of 8th Liquid Crystal Conference of Socialist Countries, Krakow, Poland. -1989. E23.
25. Sugakov V.I., Shiyanovskii S.V. Intrinsic band splitting in optical spectra of liquid crystals. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. -1990. Vol.179. P.119-124
26. Shiyanovskii S.V. Theory of surface electromagnetic waves in cholesteric liquid crystals // Mol. Cryst. Liq. Cryst. -1990. - Vol.179. P.133-138.
27. Lavrentovich O.D., Nastishin Yu.A., Kulishov V.I., Narkevich Yu.S., Tolochko A.S., Shiyanovskii S.V. Helical smectic A. Europhys. Lett. -1990. - Vol.13, n 4. P.313-318.
28. Шияновский С.В. Распространение и возбуждение поверхностных электромагнитных волн в холестерических жидких кристаллах. // Тезисы 2-го Всесоюзного совещания "Оптика жидких кристаллов". Красноярск. -1990. -С.120-121.
29. Линеv В.А., Сугаков В.И., Шияновский С.В. Радиационные эффекты в жидких кристаллах. // Укр. Физ. Журн. - 1991. - Т.36, N 1. - С.62-73;
30. Shiyanovskii S.V., Terentieva Ju.G. Deracemization of nematics under phase transitions. // Abstracts of Summer European Liquid Crystal Conference, Vilnius. -1991. Vol.1. P.183.
31. Shiyanovskii S.V. Theory of surface electromagnetic waves in liquid crystals with helical structure. // Abstracts of Summer European Liquid Crystal Conference, Vilnius. -1991. Vol.1. P.184.
32. Куксенок О.В., Сугаков В.И., Шияновский С.В. Об механизме отрицательного воздействия ионизирующего излучения на электропроводность жидких кристаллов. // Укр. Физ. Журн. -1992. - Т.37, N 4. -С.589-594.

33. Shiyanovskii S.V. Propagation and excitation of surface electromagnetic waves in cholesteric liquid crystals // Abstracts of 14th International Liquid Crystal Conference, Pisa, Italy. -1992. Vol.1. P.133.
34. Shiyanovskii S.V., Terentieva Ju.G. Spontaneous deracemization of nematics under phase transitions. // Abstracts of 14th International Liquid Crystal Conference, Pisa, Italy. -1992. Vol.1. P.475.
35. Shiyanovskii S.V., Terentieva Ju.G. Spontaneous deracemization of nematics under phase transitions. Abstracts of 18-th IUPAP International Conference on Statistical Physics, Berlin. -1992. P.274.
36. Терентьева Ю.Г., Шияновский С.В. Спонтанная дерацимизация ЖК при фазовых переходах. // Журн. Эксп. Теор. Физ. -1992. - Т.102, N 4(10). -С.1189-1196.
37. Shiyanovskii S.V., Terentieva Ju.G. Spontaneous Nematic to Cholesteric Phase Transition. // Abstracts of Ukrainian-French Symposium "Condensed Matter : Science & Industry", Lviv. -1993. P.213.
38. Shiyanovskii S.V. Surface Electromagnetic Waves in Liquid Crystals with Helical Structure.// Abstracts of European Liquid Crystal Conference: Science & Technology, Flims, Switzerland. -1993. P.36.
39. Шияновский С.В., Яцкевич С.А.. Дипольное излучение поверхностных электромагнитных волн в сверхрешетках. // Журн. Эксп. Теор. Физ. -1993. - Т.103, N 4. -С.338-349.
40. Shiyanovskii S.V., Terentieva Ju.G. "Nematic - cholesteric mixture in a magnetic field: A change in the critical behavior" // Phys. Rev. E. -1994. Vol.49, N 1. P.916-918.

Література

1. Pynn R. X-ray and Neutron diffraction by nematic liquid crystals. // Acta Cryst. -1975. Vol.A31, N 3. P.323-327.
2. Kohli M., Otnes K., Pynn R., Riste P. Investigation of nematic order by coherent neutron scattering. // Z.Phys. -1976. Vol.B24, N 2. P.137-152.

3. Бабаев А.С., Шухиев С., Сабуров Б.С., Стафеев В.И. Влияние рентгеновского излучения на электропроводность жидких кристаллов. // Журн. Физ. Хим. -1983. Т.56, N 6. -С.1797.
4. Адхамов А.А., Рюмцев Е.И., Сабуров Б.С., Шухиев С.Ш. Воздействие рентгеновского излучения на термотропные жидкие кристаллы // ДАН СССР. - 1990. Т.313, N.5. -С.1142-1145.
5. Kossel D. Analogies between thin-films optics and electron-band theory of solids.// J. Opt. Soc. Amer. Vol.56. -1966. P.1434.
6. Яриш А., Ких П. "Оптические волны в кристаллах.". - М.: Мир, гл.6. -1987.
7. Беляков В.А., Сонин А.С. Оптика холестерических жидких кристаллов. - М.: Наука. -1982. 360 с.
8. Зельдович Я.Б. Псевдоскалярные жидкие кристаллы // ЖЭТФ -1974. - Т.67, вып.6. -С.2357-2358
9. Кац Е.И. Об оптической активности в смесях жидких кристаллов // ЖЭТФ -1978. - Т.74, вып.6. -С.2320-2330.

План до друку 1402/94

Формат 60×84^{1/16}.

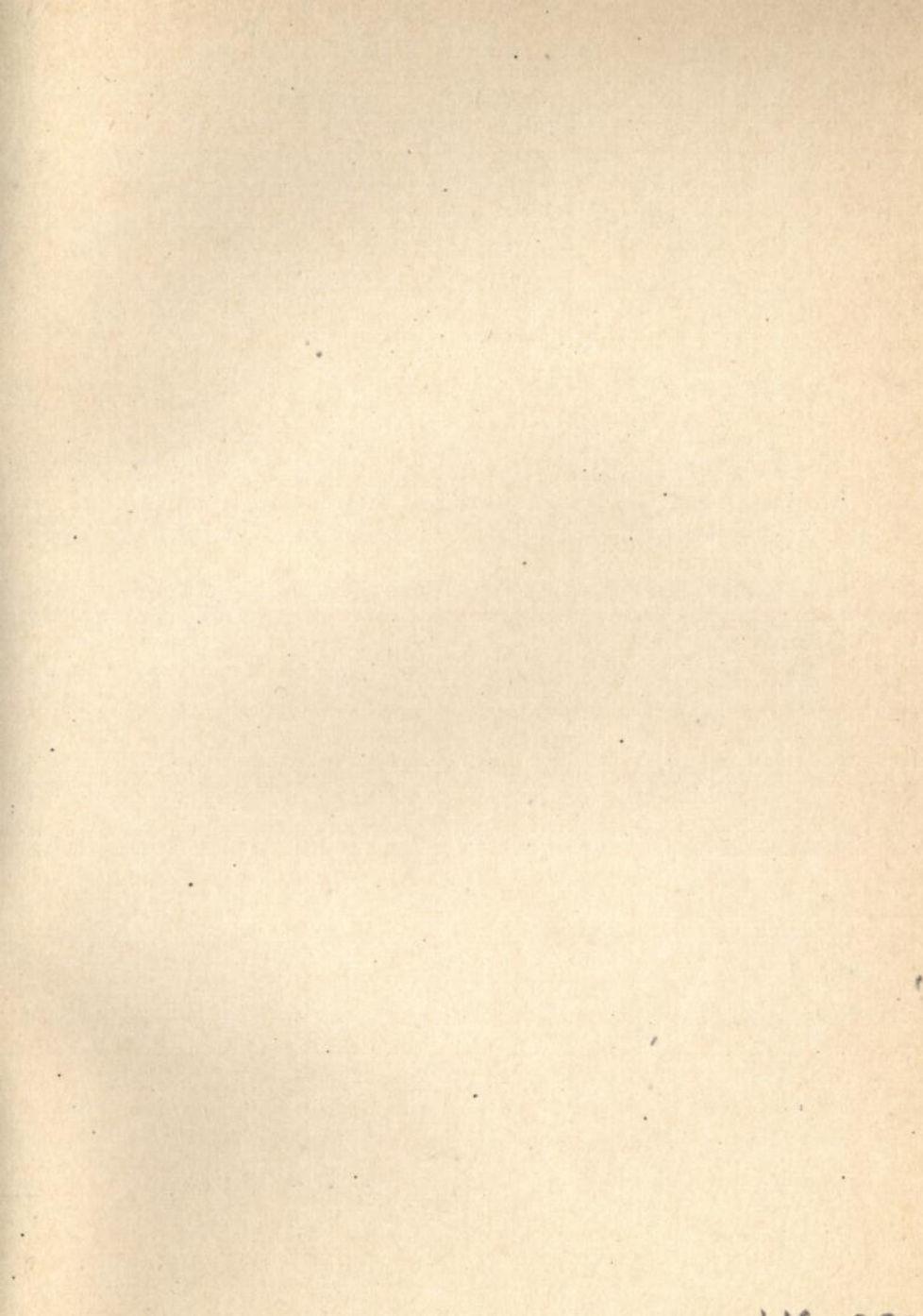
Папір друк. № 3. Сносіб друку офсетний. Умовн. друк. арк. 139.

Умовн. фарбо-відб. 1,5. Обл.-вид. арк. 2,0.

Тираж 100. Зам. № 4-665

Фірма «ВІПОЛ»

252151, Київ, вул. Волинська, 60.



AB 29.248