**В І Д З И В**

офіційного опонента на дисертаційну роботу Леднея Михайла Федоровича   
«Орієнтаційна нестійкість та впорядкування   
у зовнішніх полях обмежених рідких кристалів»,

яку подано на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук   
зі спеціяльности 01.04.02 – теоретична фізика

Ця дисертаційна робота стосувалася теоретичного дослідження тих аспектів фізики просторово обмежених і наповнених домішкою мезоморфних фаз, що важливі для технологій дизайну електрооптичних приладів. Здатність мезофаз змінювати структуру під дією зовнішніх збурень (особливо під дією магнетних та електричних полів) знайшла прояв у різного роду орієнтаційних ефектах, завдяки яким рідкокристалічні системи використовуються в засобах відображення й оброблення інформації. Цікавими є явища порогової переорієнтації рідкокристалічного директора зовнішніми електричними і магнетними полями та світловими жмутами. Хоча порогова переорієнтація директора є об’ємним ефектом, її характеристики залежать від крайових умов для поля директора на поверхнях, що обмежують зразок, та наявности домішки у мезофазі. Власне поверхні комірок, а за наявности і домішкових частинок, змінюючи структуру та властивості шарів мезофази, що межують з ними, впливають і на структурні характеристики всього об’ємного зразка і тим самим визначають його поведінку в зовнішніх полях. Тому важливим є дослідження впливу неоднорідних межових умов для розподілу директора на поверхні комірки на його порогову просторово неоднорідну переорієнтацію зовнішніми полями. Так, у наповненій домішкою мезофазі за певної об’ємної концентрації домішкових частинок може виникати аеросильна сітка, що спричинює унікальні електрооптичні властивості змішаної рідкокристалічної системи і робить її перспективною для використання в системах реґульованої прозорости (оптичними затворами тощо). Застосування ж мезофаз як дефектних шарів фотонних кристалів розширює спектральні можливості останніх; так, чутливість мезофаз до зовнішніх впливів відкриває можливості ефективного реґулювання оптичних характеристик фотонних кристалів. Порогова переорієнтація директора мезофази світловими жмутами за певних умов може супроводжуватися гістерезою. Передбачення наявности чи відсутности гістерези такої переорієнтації може стати в нагоді на практиці при конструюванні рідкокристалічних комірок як елементної бази оптичних дисплеїв тощо.

Таким чином, дослідження орієнтаційної нестійкости змішаних мезофаз у зовнішніх електричних, магнетних і світлових полях має виняткове значення для розвитку фізики мезоморфних фаз і для практичного використання при розроблянні приладів відображення інформації на їхній основі.

Дисертаційна робота пана М. Ф. Леднея мала за мету побудову (напів)феноменологічної теорії орієнтаційної нестійкости і впорядкування обмежених у просторі нематиків з домішкою у зовнішньому електромагнетному полі, зокрема просторово-модульованому (світловому). Систематичні дослідження в цьому напрямі в Україні впродовж останніх трьох десятиріч були і залишаться актуальними, бостосуються тих фундаментальних проблем фізики рідких кристалів і колоїдних систем на їх основі, розв’язання яких є затребуваним з наукової та прикладної точок зору.

Маю відзначити, що роботу пана М. Ф. Леднея виконано у знаній групі проф. І. П. Пінкевича (КНУ), завдяки представникам якої дослідження нестійкости та самоорганізації змішаних рідкокристалічних систем в умовах зовнішніх впливів закономірно одержали належний розвиток у логічній відповідності й поряд з якісно успішними спробами розроблення аналітичного опису й комп’ютерного моделювання різних аспектів зазначених явищ декількома теорфізичними школами у пострадянських країнах, зокрема, у Москві (ІК РАН), Черноголовкі (ІФТТ РАН), Харкові (ІСМ НАНУ) і Києві (ІФ, ІЯД і ІТФ НАНУ).

Треба також зазначити, що за результатами планових держбюджетних науково-дослідних робіт кафедри теоретичної фізики фізичного факультету КНУ імені Тараса Шевченка, виконаних за понад 17 років в рамках Комплексної наукової програми «Конденсований стан — фізичні основи новітніх технологій» та інших тем за участю пана М. Ф. Леднея, під його керівництвом паном О. С. Тарнавським було захищено дисертацію «Теорія орієнтаційної нестійкості рідких кристалів в електричному полі та обмежених світлових пучках» на здобуття наукового ступеня канд. фіз.-мат. наук зі спеціяльности 01.04.02 – теоретична фізика (на засіданні 22.05.2012 р. у спеціялізованій вченій раді Д 26.001.08 КНУ імені Тараса Шевченка).

Докторська ж дисертація пана М. Ф. Леднея має прийнятну міру опрацьованости своїх структурних елементів, повноти, поглиблености і конкретности викладення та містить елементи *новизни*, що віддзеркалюється у наявності серед одержаних результатів нової наукової інформації щодо особливостей орієнтаційної нестійкости та впорядкування просторово обмежених і наповнених домішкою нематиків у зовнішніх електромагнетних полях. Вирішення задач, поставлених у даній дисертаційній роботі, уможливило одержати наступні *нові* (й цікаві з моєї точки зору) результати з елементами фундаментальности.

1. Теоретично встановлено області припустимих значень параметрів плянарної комірки нематика з однорідним або просторово-періодичним розподілами енергії зчеплення в електричному чи світловому полях, за яких при пороговому за характером Фредеріксовому переході виникає просторово-періодична структура поля директора.
2. Показано, що у плянарно орієнтованому нематику можлива порогова просторово-періодична переорієнтація поля директора світловим полем.
3. З’ясовано залежність величини порогу Фредеріксового переходу, індукованого світлом, від форми і розміру поперечного перерізу та напрямку поляризації світлового жмута, значення енергії однорідного зчеплення нематика з поверхнею гомеотропної комірки, напружености й орієнтації сталого зовнішнього електричного поля.
4. Встановлено залежність інтенсивности сиґнальної моди на виході з пласких діелектричного чи металевого хвилеводів з просторово обмеженим шаром нематика від типу хвилеводу, лінійних розмірів шару нематика, амплітуди і періоду модуляції енергії зчеплення його з поверхнею, напружености зовнішнього електричного поля; розраховано енергообмін між зв’язаними електромагнетними *TE*-хвилями на дифракційній ґратниці директора нематика в зазначених хвилеводах.
5. У наближеннях Релея–Ґанса і аномальної дифракції проаналізовано залежності диференційного і повного перерізів розсіяння світла на статичних флюктуаціях директора нематика з кулястими та циліндричними домішковими частинками у зовнішньому електричному полі від типу розсіяння, форми і розміру частинок, характеру і сили зчеплення директора з їхніми поверхнями та наявности флексоелектричних властивостей у нематика.
6. Показано, що домішкові частинки у флексоелектричному нематику пригнічують кореляцію теплових флюктуацій орієнтації директора та (за інтенсивністю) Релейове розсіяння світла на них.

Структура дисертації та логіка подання матеріялу відображає послідовність розв’язання задач здійсненого дослідження. Дисертація на 337 сторінках містить 83 рисунки і складається зі вступу, сімох розділів, переліку результатів і висновків та списку використаних джерел із 568 найменувань (на 63 сторінках).

У*Вступі*обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено предмет і методи дослідження, висвітлено наукову новизну та практичну значимість одержаних при цьому результатів, наведено інформацію про зв’язок роботи з відповідними науковими програмами і темами; також зазначено особистий внесок здобувача.

У *першому*розділі дисертації зроблено огляд літератури за темою дисертаційної роботи, а також коротко сформульовано основні поняття та принципи фізики мезоморфних фаз. Тут розглянуто особливості орієнтаційної нестійкости просторово обмежених мезофаз, зокрема нематиків, у зовнішніх електричному, магнетному і світловому полях; обговорено вплив поверхні на орієнтаційну структуру обмежених мезофаз; проаналізовано особливості домішкових ефектів у орієнтаційному порядку нематиків і пов’язаних з ним можливих оптичних явищах; вказано на неповноту аналітичного опису певних орієнтаційних явищ у мезофазах, що потребує удосконалення теорії.

*До першого розділу принципових зауважень немає.* Втім зазначу, що з огляду на наступні основні розділи дисертації, де обговорюються структурні та фізичні характеристики змішаних мезоморфних фаз, було б корисно вже в цьому оглядовому розділі детальніше описати відомості про параметри їхньої (над)молекулярної структури та термодинаміки в широкому сенсі і, насамперед, компактно проілюструвати наявні кількісні дані про відповідні адгезійні, в’язко-пружні, діелектричні й електрооптичні властивості різних нематиків задля порівняння їх.

Також наводжу певні недогляди здебільш редаґувального характеру; у визначених місцях цього розділу (та Вступу й наступних розділів) застосовано не найкращу українськомовну наукову термінологію і жарґонові словосполуки, наприклад, деінде чомусь «граничні умови» (а не «межові (або крайові) умови»), «напилена речовина» (а не «напорошена речовина»), «температура плавлення» (а не «температура топлення»), «підкладка» (замість «підложжя»), «взаємодія з випромінюванням» (замість «взаємодія з випроміненням»), «обмежуюча поверхня» (а не «обмежувальна поверхня»), «гратка» (замість терміну «ґратниця» за фізичним лексиконом, що дотримується питоменного Українського назовництва і так званого «харківського», практично останнього правдивого, Українського правопису).

У*другому*розділі дисертаційної роботи досліджено пороговий за характером Фредеріксів перехід до просторово-періодичної структури поля директора нематичної мезофази з однорідним зчепленням, скінченним за азимутально- або полярнозалежною складовими енергії, у плянарній комірці в однорідному електричному чи світловому полях.

Для визначення порогу орієнтаційної нестійкости розв’язано лінеаризовані стаціонарні варіяційні рівняння для поля директора, що описують його непласкі деформації, з відповідними межовими умовами. Знайдено величини порогового поля і відповідного йому хвильового числа періодичної структури директора, що виникає, при плянар-гомеотропному і плянар-плянарному Фредеріксових переходах нематичної мезофази у комірці в електричному полі. Визначено зони припустимих значень параметрів мезофази, величин азимутально- та полярнозалежної складових енергії зчеплення, за яких має місце порогова просторово-періодична орієнтаційна нестійкість поля директора. Встановлено, що при плянар-гомеотропній переорієнтації поля директора зона існування просторово-періодичної структури директора по величинах відношення Франкових коефіцієнтів пружности *K*скруч./*K*поп.виг. і флексоелектричного параметра  розширюється з пониженням азимутальнозалежної енергії зчеплення і звужується з пониженням її полярнозалежної складової. При плянар-плянарній переорієнтації зона існування просторово-періодичної структури поля директора по значеннях параметрів *K*скруч./*K*поп.виг. і  звужується з пониженням азимутальної складової енергії зчеплення, тоді як з пониженням її полярної складової інтервал значень *K*скруч./*K*поп.виг. розширюється, а інтервал значень  змінюється немонотонно. Флексополяризація нематичної мезофази приводить до розширення зони існування порогової просторово-періодичної структури поля директора за його плянар-гомеотропної переорієнтації і, навпаки, до звуження — за плянар-плянарної переорієнтації. Розвинута феноменологічна теорія порогової просторово-періодичної орієнтаційної нестійкости узгоджується з результатами експериментів і теоретичних робіт інших авторів. Також показано, що й у світловому полі можлива порогова просторово-періодична переорієнтація директора в нематичній комірці із одного плянарного стану в інший, якщо відношення її Франкових коефіцієнтів пружности *K*скруч./*K*поп.виг.3,3; цей результат вартий уваги експериментаторів.

Нерідко задля того щоб оцінити те, що зроблено, корисно не тільки проаналізувати те, що в дисертаційній роботі вже є, а й окреслити те, чого в ній ще нема. Отож, хоча в мене *до розд. 2 принципових зауважень також немає*, зазначу, що у граничних випадках нескінченно цупкого (азимутально- чи то полярнозалежного) зчеплення нематика з поверхнею комірки, розглянутих тут у наближенні за Рапіні–Папуларом для поверхневої вільної енергії, поза увагою феноменологічної аналізи (на жаль, без пояснень і посилань) залишився диверґентний внесок *K*13div{[div**n**(**r**)]**n**(**r**)} (взагалі-то порівняно немалих) викривленостей поля директора **n**(**r**), зумовлений «підповерхневою» пружністю щодо згинання з вивертанням (це — сумнозвісна, але важлива й цікава так звана «проблема *K*13-пружности» для застосованого тут континуального опису), у термодинаміку статичної нестійкости скінченної нематичної плівки, що, як очікується, може впливати на Фредеріксів перехід її у відповідній пласкій комірці до рівноважної просторово-періодичної структури (наприклад, вивертання–скручування) або до поперечно перелаштованого однорідного об’ємного поля директора. Ба, як виявилося наразі, в розглянутих випадках абсолютно цупкого зчеплення відсутній навіть стабілізувальний внесок *K*24{Tr[**∇n**(**r**)]2–[div**n**(**r**)]2}, пов’язаний із Франковим коефіцієнтом пружности *K*24 нематика, у термодинаміку взаємочину зовнішнього електричного поля з підповерхневими сідловидними згинальними спотвореннями директора у нематичній плівці. Либонь, для цього неявно зроблено додаткове сильне припущення (навіть за флексоелектричного ефекту) про збереження однорідности деформації та/або однаковости параметра *S* орієнтаційного порядку в об’ємі і на поверхні зразка нематика!

До речі в останній частини цього розділу для випадку світлоіндукованого Фредеріксового переходу наближені чисельні розрахунки у класі непереривних й плавних функцій виконано тільки для тонких комірок нематичної мезофази (товщиною у кілька мкм). Але ж саме для них зазначені вище «підповерхневі» внески здаються кількісно найістотнішими (тобто «проблемними»). Тому було б варто запропоновану феноменологічну теорію поширити на випадок комірок більшої товщини. Як на мене, саме для такого випадку запропонована якісна картина порогового явища може зберегтися.

Крім того, недогляди редаґувального характеру також виявлено і в цьому розділі; наприклад, в деяких місцях цього розділу застосовано жарґонове словосполучення «плоска хвиля» замість «пласка хвиля».

У*третьому*розділі розглянуто вплив форми й обмежености поперечного перерізу світлового жмута на параметри порогового світлоіндукованого Фредеріксового переходу в гомеотропній комірці нематичної мезофази з однорідним і скінченним за енергією зчепленням, зокрема й у ввімкненому зовнішньому статичному електричному полі.

Задля визначення порогу орієнтаційної нестійкости розв’язано варіяційне рівняння для директора з відповідними межовими умовами. Для цього: враховано розв’язок Максвеллових рівнянь для електричного поля падної світлової хвилі та зовнішнього статичного електричного поля у об’ємі неоднорідного тематика; шукані функції й інтенсивність падного на комірку світла розвинено в ряди за малим параметром — максимальним кутом відхилу директора, а також одержано систему лінійних диференційних рівнянь, що уможливлює розрахувати відповідні коефіцієнти рядів. Коефіцієнти розвинення інтенсивности світла в ряд за малим параметром визначають характер світлоіндукованого Фредеріксового переходу (наявність або відсутність гістерези) та його параметри (величини порогів і ширину петлі гістерези, стрибки максимального кута відхилу директора тощо).

Розглянуто одновимірно обмежені світлові жмути з однорідним і неоднорідним просторовим розподілом інтенсивности та обмежені у двох вимірах жмути. Проведено розрахунки величин порогу світлоіндукованого Фредеріксового переходу при висхідній і спадній інтенсивностях світла залежно від поперечного розміру жмута, величини енергії зчеплення нематика з поверхнею комірки, орієнтації і напружености додаткового постійного електричного поля. Одержані порогові залежності від поперечного розміру жмута мають якісно подібний характер. Проте залежність ширини петлі гістерези від поперечного розміру жмута може мати як монотонний, так і немонотонний характери. Форма світлового жмута і скінченність розміру його поперечного перерізу впливають не тільки на величини порогів світлоіндукованого Фредеріксового переходу, але й на умови спостереження самої гістерези: перехід супроводжується нею, якщо поперечний розмір жмута перевищує деяке граничне значення, причому зона існування гістерези та ширина петлі гістерези розширюються при збільшенні напружености зовнішнього постійного електричного поля перпендикулярного до поверхні комірки і звужуються, якщо електричне поле паралельне поверхні комірки. В цьому запропонована феноменологічна теорія узгоджується з експериментом. Тут також показано, що в одновимірно обмеженому світловому жмуту світлоіндукований Фредеріксів перехід супроводжується гістерезою лише за енергії зчеплення, меншої, аніж деяке граничне значення, залежне від параметрів комірки нематика і ширини світлового жмута; це значення енергії зчеплення монотонно зростає з ростом ширини світлового жмута майже від нульового для вузьких жмутів до «нескінченного» для широких, а зона існування гістерези такого переходу розширюється зі зменшенням енергії зчеплення мезофази з поверхнею.

Практична стійність запропонованої тут феноменологічної теорії полягає в тім, що за нею можна було б для реальної нематичної мезофази передбачити умови спостереження й оцінити параметри гістерези Фредеріксового переходу в світловому жмуту із заданим просторовим розподілом інтенсивности. Тому перелічені вище результати розд. 3 дисертації пана М. Ф. Леднея варті уваги експериментаторів.

*Натомість маю зауважити* з приводу неповноти виконаного модельного розгляду в тому сенсі, що, мабуть через складність аналітичного опису, тут розраховано взаємочин комірки нематика зі світловими жмутами з дещо ідеалізованими за формою перерізами та розподілами інтенсивности по них. Як на мене, варто було б розглянути цікаву проблему світлоіндукованого Фредеріксового переходу для більш реалістичного випадку світлового жмута з нормальним (тобто Ґаусовим) розподілом інтенсивности у поперечному перерізі хоча б чисельним моделюванням. (Надіюся, що ніщо не стане на перепоні такому способу.) Крім того, як і стосовно розд. 2, *маю зауважити*, що й тут розгляд порогового Фредеріксового переходу виконано без врахування зазначених вище підповерхневих внесків у пружній частині вільної енергії комірки нематика, а обґрунтування такого наближення не наведено.

У *четвертому* розділі дисертації досліджено вплив періодичности просторового розподілу енергії зчеплення нематичної мезофази з поверхнею комірки на порогову орієнтаційну нестійкість директора в статичному електричному полі чи то світловому з просторово-модульованою інтенсивністю.

У першій частині розділу розглянуто плянар-гомеотропний пороговий Фредеріксів перехід в комірці нематичної мезофази, зчепленої за просторово-періодичним розподілом енергії, у постійному електричному полі. Задля визначення порогу такого переходу розглянуто лінеаризовані варіяційні рівняння, що описують непласкі викривлення директора, але із періодичними межовими умовами (періодичність межових умов враховано й у періодичності розподілу полярнозалежної енергії зчеплення нематика з поверхнею комірки по її довжині). При малих значеннях амплітуди модуляції енергії зчеплення одержано аналітичний вираз для порогу Фредеріксового переходу, а при великих значеннях амплітуди виконано чисельний розрахунок значень порогу. Досліджено залежність величини порогу від амплітуди та періоду модуляції енергії зчеплення, лінійних розмірів комірки та величин коефіцієнтів пружности нематика. Так, значення порогового електричного поля осцилює з ростом числа періодів енергії зчеплення, що вкладаються на довжині комірки, прямуючи за великого такого числа періодів до значення порогу, що визначається середньою за довжиною комірки величиною енергії зчеплення. Поріг Фредеріксового переходу завжди менший його значення при однорідному за енергією зчепленні, якщо на довжині комірки вкладається не менше одного періоду розподілу енергії зчеплення. Величина порогу монотонно спадає з ростом амплітуди модуляції енергії зчеплення і набуває найменшого значення за амплітуди, що дорівнює значенню енергії однорідного зчеплення.

Тут також встановлено форму просторово неоднорідного профілю порогового розподілу директора. Показано, що Фредеріксів перехід супроводжуватиметься непласкими деформаціями поля директора з утворенням його просторово неоднорідної структури в напрямку періодичности розподілу енергії зчеплення, якщо Франкові коефіцієнти пружности *K*поп.виг. і *K*скруч. різні. Просторовий період порогової структури поля директора істотно залежить від величини відношення коефіцієнтів пружности *K*скруч./*K*поп.виг., числа періодів розподілу енергії зчеплення, що вкладаються на довжині комірки, і слабко залежить від амплітуди модуляції енергії зчеплення. З’ясовано умови, за яких порогова структура поля директора в напрямку зміни енергії зчеплення нагадує просторову ґратницю, період якої збігається з періодом енергії зчеплення. А в «одноконстантному» наближенні (*K*скруч.*K*поп.виг.) одержано запороговий просторовий розподіл директора в електричному полі, коли деформації поля директора виявляються пласкими. Встановлено, що запороговий розподіл директора «відстежує» періодичну зміну енергії зчеплення, якщо на довжині комірки вкладається ціле число періодів енергії зчеплення. Амплітуда ж періодичного відхилу директора зростає зі зменшенням відношення товщини комірки до періоду енергії зчеплення.

Одержані результати є цікавими і важливими (як з теоретичної, так і експериментальної точок зору).

*Але стосовно першої частини четвертого розділу є три непринципових зауваження.* *По-перше*, при розгляді орієнтаційної нестійкости в електричному полі знехтувано флексоелектричну поляризацію нематика, хоча очікується, що за непласких деформацій поля директора флексополяризація може бути відчутною. *По-друге*, було б цікаво розглянути пороговий Фредеріксів перехід на основі варіяційних рівнянь для непласких викривлень директора без нехтування крайовими ефектами на бічних поверхнях комірки, тобто без накладання надто сильних періодичних межових умов, які у поєднанні з абсолютно цупким азимутальнозалежним зчепленням наразі виключають стабілізувальний внесок, пов’язаний у континуальному описі із Франковим коефіцієнтом пружности *K*24 нематика, у термодинаміку взаємочину зовнішнього електричного поля з підповерхневими сідловидними згинальними спотвореннями директора у пласкопаралельній нематичній комірці. *По-третє*, було б корисно хоча б якісно порівняти теоретичні результати (зокрема, стосовно того ж порогу орієнтаційної нестійкости директора) з експериментальними даними (звісно, за наявности таких).

У другій частині розд. 4 розглянуто пороговий Фредеріксів перехід у гомеотропній комірці нематичної мезофази також з просторово-періодичним розподілом енергії зчеплення з поверхнею комірки, але у світловому полі з просторово-модульованою інтенсивністю. Для випадку однорідного розподілу інтенсивности світлового поля в «одноконстантному» наближенні одержано аналітичний вираз для величини порогу, а для світлового поля з просторово-модульованою інтенсивністю проведено чисельні розрахунки значень порогу і досліджено його залежність від параметрів неоднорідности розподілу енергії зчеплення. Встановлено, що поріг переходу зростає зі збільшенням числа періодів як енергії зчеплення, так і модуляції інтенсивности світла, що вкладаються на довжині комірки, прямуючи при великих таких числах тих періодів до його значення, яке визначається середньою за довжиною комірки величиною енергії зчеплення.

*Щодо другого, третього та й четвертого розділів маю загальне стилістичне зауваження* стосовно надмірної частоти застосування тут дисертантом поняття роду (першого чи то другого) фазового переходу (напевно ж не всюди в термодинамічному розумінні!).

У *п’ятому* розділі роботи досліджено пороговий світлоіндукований Фредеріксів перехід і взаємодію електромагнетних хвиль у нематичних рідкокристалічних (НРК) хвилеводах.

Так, для пласких діелектричного і металевого хвилеводів на основі нематичної мезофазної комірки з просторово-періодичним розподілом поля директора розглянуто ефект обміну енергією між двома зв’язаними модами електромагнетної *ТЕ*-хвилі. Дифракційна ґратниця поля директора створюється в просторово обмеженому шарі мезофази зовнішнім постійним електричним полем внаслідок періодичности межових умов. Розглянуто випадок, коли на довжині нематика вкладається ціле число періодів модуляції полярнозалежної енергії зчеплення. Тензор діелектричної проникности шару нематика є просторово-модульованою функцією в напрямку періодичної зміни енергії зчеплення. Електричне поле *ТЕ*-хвилі в об’ємі неоднорідного нематика знайдено з Максвеллових рівнянь. За виконання умови фазового синхронізму для амплітуд двох *ТЕ*-мод одержано систему зв’язаних рівнянь типу Коґелнікових. Показано, що коефіцієнт зв’язку між модами істотно залежить від типу хвилеводу, параметрів нематика (зокрема його лінійних розмірів), напружености зовнішнього електричного поля, амплітуди і періоду модуляції розподілу полярнозалежної енергії зчеплення. Чисельно розраховано інтенсивности сиґнальної моди на виході діелектричного та металевого хвилеводів, досліджено її залежність від хвилевідних характеристик. Розглянуто випадки односпрямованих і протилежно напрямлених мод. Для головного максимуму інтенсивности сиґнальної моди на виході з хвилеводів одержано аналітичні вирази, за якими такий максимум як функція довжини нематичного шару зростає зі збільшенням напружености зовнішнього електричного поля незалежно від типу хвилеводу і напрямків поширення зв’язаних мод електромагнетної *TE*-хвилі. Якщо моди антипаралельні, головний максимум інтенсивности сиґнальної моди як функція довжини нематичного шару монотонно зростає зі збільшенням амплітуди модуляції енергії зчеплення і числа її періодів, що вкладаються на довжині нематика; найбільше можливе значення інтенсивности досягається при таких числах періодів енергії зчеплення порядку кількох десятків для металевого і тисячі для діелектричного хвилеводу. А для паралельних мод головний максимум інтенсивности сиґнальної моди як функція довжини нематика зі збільшенням числа періодів енергії зчеплення змінюється немонотонно; тільки за певних значень довжини нематичного шару і числа періодів енергії зчеплення має місце повна передача енергії сиґнальній моді на виході. З’ясовано принципову ріжницю між металевим і діелектричним хвилеводами: у металевому режим насичення досягається за менших перевищень напруженістю електричного поля її порогового значення, аніж у діелектричному. Зазначені результати можуть бути використані для оцінювання (в «одноконстантному» наближенні) параметрів нематичних мезофазних хвилеводів заради одержання потрібного підсилення сиґнальної моди. І це варте уваги експериментаторів.

*Але до першої частини цього розділу дисертації є непринципове зауваження:* тут розглянуто тільки моди *TE*-хвилі у пласких НРК-хвилеводах, але нічого не сказано про *TM*-хвилю; проте, корисно було б хоч би перелічити на якісному рівні особливості розглядуваних явищ для зв’язаних *TM*-мод у зазначених пласких НРК-хвилеводах.

В другій частині розд. 5 досліджено пороговий світлоіндукований Фредеріксів перехід і у прямому циліндричному металевому хвилеводі, заповненому нематичною мезофазою, однорідно зчепленою з поверхнею зі скінченною енергією. Для початкових плянарної вздовж осі хвилеводу, гомеотропної радіяльної та циркулярної орієнтацій поля директора розглянуто поширення симетричних електромагнетних *ТЕ*- і *ТМ*-хвиль у хвилеводі. Проаналізовано розв’язки задачі, яких знайдено з лінеаризованого варіяційного рівняння для директора разом з відповідною межовою умовою. Показано, що величина порогу орієнтаційної нестійкости істотно залежить від типу й енергії зчеплення нематика з поверхнею хвилеводу, частоти і типу (*ТЕ*-, *ТМ*-) електромагнетної хвилі та розподілу енергії між її модами. Залежність порогу від величини енергії зчеплення виявилася передбачуваною, а от наступні одержані результати — нетривіяльними: поріг Фредеріксового переходу на фіксованих модах зростає зі збільшенням частоти *ТЕ*-хвилі; для *ТМ*-хвилі частотна залежність порогу істотно залежить від початкової орієнтації директора і площини його переорієнтації. Зазначимо, що тут аналітично (в «одноконстантному» наближенні) оцінено допустимі інтервали значень частот здійснення порогового світлоіндукованого Фредеріксового переходу в багатомодовому режимі *ТЕ*- і *ТМ*-хвиль. Такі результати є цікавими, можуть бути перевірені експериментально і мають наукову цінність.

*Та стосовно другої частини розділу 5 є непринципове зауваження.* Автором розглянуто стаціонарну задачу, тоді як важливою є й поведінка хвильових мод з плином часу за орієнтаційної нестійкости поля директора нематика. Наприклад, цікаво, наскільки швидко відбувається переорієнтація директора у часі? Адже, в першу чергу, цим визначається швидкодія електрооптичних пристроїв на основі мезофазних хвилеводів. І такі теоретичні дослідження можуть привести до розширення ряду практичних застосувань НРК-хвилеводів!

У найбільшому й, як на мене, принадному, *шостому* розділі дисертації досліджено розсіяння світла на статичних неоднорідностях поля директора нематичної мезофази, спричинених втіленими у неї макроскопічними домішковими частинками.

Вивчено рівноважні конфіґурації поля директора, які виникають навколо кулястої або циліндричної домішкових частинок у нематичній мезофазі в зовнішньому електричному полі, залежно від типу та енергії зчеплення директора з поверхнею частинки. Розглянуто перпендикулярну та паралельну орієнтації осі циліндричної частинки відносно директора однорідного нематика. Для слабкого зчеплення нематичної мезофази, що знаходиться у зовнішньому електричному полі, з поверхнею втіленої частинки розподіл поля директора навколо кулястої або циліндричної частинок одержано аналітично. Досліджено вплив флексополяризації на орієнтаційне впорядкування нематика із частинкою домішки у випадку слабкого зчеплення директора з її поверхнею. Для випадку сильного зчеплення директора з бічною поверхнею циліндричної частинки, коли в структурі нематика утворюються топологічні дефекти, розподіл поля його директора одержано аналітично. Знайдено параметричну залежність рівноважної віддалі лінії дисклінації до осі частинки від енергії зчеплення.

Одержані вирази для просторового розподілу директора використано для розрахунків (у наближеннях Релея–Ґанса й аномальної дифракції) кутового розподілу перерізу розсіяння світла на статичних неоднорідностях структури поля директора, які виникають у нематичній мезофазі з макроскопічними частинками домішки. Розраховано повний і диференційний перерізи розсіяння світла та досліджено залежність їх від форми і розміру домішкових частинок, типу і енергії зчеплення нематика з їхніми поверхнями, наявности флексоелектричних властивостей у мезофази та величини напружености зовнішнього електричного поля. Встановлено, що при слабкому зчепленні директора з поверхнею кулястої або бічною поверхнею циліндричної частинки, перпендикулярної однорідному директору, величина перерізу розсіяння не залежить від типу зчеплення (гомеотропне або циркулярне); при цьому розсіяння на великі кути (ϑ≅1) домінує над малокутовим розсіянням. Зі збільшенням напружености |**E**| зовнішнього електричного поля інтенсивність розсіяння монотонно спадає трохи швидше, ніж 1/|**E**|. При сильному зчепленні переріз малокутового розсіяння на порядок величини менший перерізу розсіяння на великі кути для кулястої частинки і на кілька порядків величини перевищує останній для циліндричної. Переріз розсіяння світла, віднесений до одиниці об’єму розсіювальної частинки, практично однаковий для кулястої частинки і циліндричної, перпендикулярної однорідному директору, при слабкому зчепленні нематика з їхніми поверхнями, але значно більший для циліндричної частинки — при сильному зчепленні. Для довільної енергії зчеплення мезофази з бічною поверхнею циліндричної частинки, паралельної однорідному директору, перерізи розсіяння є малокутовими.

У наближенні аномальної дифракції домінує малокутове розсіяння, і для циліндричних частинок воно зосереджене в зоні кутів розсіяння, менших, ніж для кулястих частинок такого ж об’єму. Показано, що переріз розсіяння світла, поляризованого в площині розсіяння, на порядок величини більший, ніж у випадку світла, поляризованого перпендикулярно цій площині, для циліндричних частинок і залишається величиною того самого порядку для кулястих.

Також у наближенні аномальної дифракції досліджено розсіяння світла в нематичній мезофазі з сіткою домен, яка може виникати при збільшенні об’ємної концентрації домішкових частинок. Проаналізовано три види функцій розподілу орієнтації домен у сітці. Встановлено, що вигляд функції розподілу, головним чином, визначає величину перерізу розсіяння світла на доменах і практично не впливає на характер його кутової залежности. Переріз розсіяння осцилює з ростом лінійного розміру сітки домен і практично перестає залежати від функції розподілу, якщо лінійний розмір сітки у кілька десятків разів перевищує довжину хвилі світла.

Запропонована як у наближенні Релея–Ґанса, так і аномальної дифракції напівфеноменологічна теорія розсіяння світла на статичних флюктуаціях поля директора нематика, зумовлених макроскопічними домішковими частинками, забезпечує узгодженість з наявними результатами експериментів і має цілком певну наукову цінність.

*До цього розділу у мене є три непринципових зауваження.* 1) Тут також поза увагою феноменологічної аналізи (на жаль, без жодного коментаря та посилань) залишився вплив диверґентного внеску викривленостей поля директора, зумовлений «приповерхневою» пружністю нематика щодо згинання з вивертанням, на кутовий розподіл директора поблизу поверхні втіленої частинки домішки (тобто йдеться про зазначену вище «проблему *K*13-пружности» для застосованого тут континуального опису у класі непереривних функцій). 2) В переважній частці розділу автором мається на думці ідеалізований випадок, коли області спотворень поля директора, спричинені різними втіленими частинками домішки, не перекриваються. Але реалістичним є той стан, коли домішкові частинки навіть взаємодіють між собою непрямо, а саме, через далекосяжні поля статичних спотворень директора, що може вплинути на упорядкування (розупорядкування) взаємного просторового розміщення домішкових частинок і, в свою чергу, перелаштувати орієнтаційне поле директора. (До речі, на стор. 218 і 241 наведено певне значення ≅0,4 для об’ємної концентрації кулястих частинок домішки, до якого вже, як вважається, «… області деформації директора, створені різними частинками, не перекриваються …»; однак ніде в даній дисертації не зазначено, який же стосунок така критеріяльна оцінка має до розглядуваних колоїдних систем та й звідки вона взялася.) 3) З іншого боку, тут не зазначено ту критичну концентрацію домішкових частинок, за якої уможливлюється утворення сітки тривимірних домен з різними, але практично однорідними орієнтаціями директорів, і на жаль, не з’ясовано, від чого ж ця критична концентрація залежить.

У найменшому, але, як на мене, найцікавішому (в сенсі формулювання перспективної концепції), *сьомому* розділі дисертаційної роботи розглянуто вплив на кореляцію теплових флюктуацій директора нематичної мезофази з боку флексоелектричного поля, зумовленого статичними спотвореннями директора поблизу поверхонь втілених макроскопічних частинок домішки.

У довгохвильовому й «одноконстантному» наближеннях одержано вираз для просторової кореляційної функції теплових флюктуацій директора у флексоелектричній нематичній мезофазі з макроскопічними частинками домішки. Встановлено, що флексоелектричне поле в наповненому домішкою нематику, зумовлене статичними спотвореннями директора поблизу поверхонь домішкових частинок, призводить до пригнічення кореляцій теплових флюктуацій директора і, відповідно, до зменшення інтенсивности Релейового розсіяння світла на цих флюктуаціях. Показано, що за відносно невеликої об’ємної концентрації домішкових частинок (порядку 1%) диференційні перерізи розсіяння світла на теплових і статичних флюктуаціях директора виявляються величинами практично одного порядку. Внесок у пригнічення кореляцій від такого флексоелектричного поля зростає зі збільшенням енергії зчеплення нематика з поверхнями домішкових частинок і може на порядок величини домінувати над внеском від взаємочину теплових флюктуацій директора з поверхнями домішкових частинок за відсутности у нематика флексополяризації. Цей результат дисертаційної роботи ще раз підтверджує відомий експериментально одержаний факт: за достатньої об’ємної концентрації домішкових частинок у нематику, абсолютно цупко зчепленому з їхніми поверхнями, теплові флюктуації директора, відповідальні за сильне Релейове розсіяння світла у гомогенних нематичних мезофазах, можуть бути істотно пригнічені в нематиках з домішковими частинками. Проведені тут теоретичні дослідження є на мою думку важливими і актуальними.

*Маю зауваження-побажання до розділу 7.* Тут також поза увагою напівфеноменологічної аналізи залишився вплив диверґентного внеску викривленостей директора, зумовлений «приповерхневою» пружністю щодо згинання з вивертанням (тобто та ж «проблема *K*13-пружности» для застосованого тут континуального опису!), на статистичну термодинаміку кореляції теплових флюктуацій директора нематика, зокрема, поблизу поверхонь частинок домішки, що, як очікується, може спричиняти спостережні ефекти при розсіянні світла, в тому числі через домінувальну температурну залежність коефіцієнта пружности *K*13 ∝ *S*(*T*).

На додачу до коментарів щодо розділів 2, 3, 6, 7 стосовно проблеми «приповерхневої» *K*13-пружности, що має місце у континуальному описі нематичної мезофази (тобто за межами молекулярних та мікроскопічних моделів і теорій її структури), можу звернути увагу на праці V. M. Pergamenshchik (1998, 2000, 2002), R. Stannarius (1998), M. Cestari, A. Bosco & A. Ferrarini (2009), A. Ferrarini (2010), R. L. B. Selinger, A. Konya, A. Travesset & J. V. Selinger (2011), E. G. Virga (2013), тобто опублікованих вже після відомої заперечувальної праці H. Yokoyama (1997), але чомусь не проаналізованих у огляді до даної дисертації!

Але на закінчення зазначу, що всі зауваження, яких наведено вище, слід розглядати як побажання стосовно оформлення вмісту дисертації та щодо врахування їх при майбутньому розвитку обраного наукового напряму і не можуть знизити загальної оцінки дисертаційної роботи.

Автор дисертаційної роботи одержав *ориґінальні* і *трудомісткі* наукові результати. Теоретичні моделі, яких застосовано в дисертаційній роботі пана М. Ф. Леднея, здаються мені фізичними і забезпечують обґрунтованість сформульованих наукових висновків. *Вірогідність* одержаних основних результатів та висновків дисертації забезпечується використанням адекватних фізичних моделів і математичного апарату, узгодженням ряду одержаних результатів з наявними експериментальними даними та висновками інших авторів.

Результати дослідження є новими, одержаними автором за допомогою сучасних методів дослідження орієнтаційної нестійкости мезофаз. Найціннішим в представленій дисертації є те, що одержані теоретичні результати або вже мають, або ще знайдуть своє експериментальне підтвердження. У цілому дисертація справляє враження роботи, виконаної на високому науковому рівні, а одержані результати будуть корисними не тільки для фахівців у фізиці нематиків.

Дослідження, виконані в даній дисертаційній роботі, поглиблюють уявлення про механізми впливу обмежувальної поверхні, зовнішніх електричного і світлового полів на перебудову орієнтацій поля директора в просторово обмежених мезофазах і його впорядкування в наповнених домішкою нематиках.

Результати виконаного дисертаційного дослідження можуть бути використані як у подальших теоретичних і експериментальних дослідженнях нематичних мезофаз, так і при конструюванні рідкокристалічних дисплеїв, оптичних затворів, нематичних рідкокристалічних хвилеводів, підсилювачів світлових сиґналів та в цілому тих електронно-оптичних пристроїв, де в якості елементної бази використовуються комірки нематиків.

Також одержані результати можна використати для завбачення властивостей рідкокристалічних матеріялів, адекватного трактування вже наявних експериментальних даних.

Теоретичні дослідження, проведені в даній дисертаційній роботі, можуть бути використані для подальшого розвитку фізики мезоморфних фаз в наукових установах України, наприклад, ІФ, ІСМ, ІФКС НАНУ та ін., а також можуть скласти основу відповідного розділу в межах навчального курсу «Теорія рідких кристалів».

Дисертацію побудовано логічно, написано науковою українською мовою і структуровано відповідно до вимог ДАК МОН України щодо оформлення дисертацій.

Результати дисертаційної роботи викладено, принаймні, в 37 статтях (з них 4 є одноосібними), опублікованих у фахових вітчизняних і міжнародних наукових журналах з високими імпакт-факторами. До опублікованих праць, які відображають наукові результати дисертації та є свідченням апробації роботи, відносяться 49 матеріялів і тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Зміст та основні положення дисертації цілком і вірно відображено в авторефераті дисертації. (Хоча маю зазначити, що тут також часто-густо застосовано не найкращу українськомовну фізичну термінологію та жарґонові словосполучення, наприклад, «приймає значення» замість «набуває значення», «розсіююча частинка» замість «розсіювальна частинка» тощо.)

ВИСНОВОК

Отже, дисертаційна робота пана М. Ф. Леднея являє собою самостійне, в цілому (у межах поставлених задач) завершене дослідження з істотним внеском у розвиток (напів)феноменологічної теорії контрольованих орієнтаційних явищ і впорядкування у просторово обмежених і наповнених домішкою нематичних мезофазах.

За актуальністю вибраної теми, науковою новизною та значимістю одержаних результатів, адекватністю обраних метод розрахунків, ступенем обґрунтованості й вірогідністю сформульованих наукових висновків і рекомендацій, повнотою їх викладу в опублікованих працях дисертаційна робота «Орієнтаційна нестійкість та впорядкування у зовнішніх полях обмежених рідких кристалів» задовольняє встановленим критеріям ДАК МОН України щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, а саме, пп. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 із змінами (окрім п. 3), що внесені до постанов Кабміну України, затвердженими постановою Кабміну України від 12.09.2011 р. № 955. Тому я вважаю, що автор дисертації, Михайло Федорович Ледней, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук із спеціяльности 01.04.02 – теоретична фізика.

Заст. директора з наукової роботи   
Інституту металофізики   
ім. Г. В. Курдюмова НАН України,  
д-р фіз.-мат. наук, проф. В. А. Татаренко