МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

на правах рукопису

ТУРЧИН ЯРОСЛАВ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

САМОВПЛИВ ПОЛЯРИЗОВАНОГО ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В НЕЛІНІЙНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

01.04.03 - Радіофізика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Київ - 1993

АВ 27.915

Робота виконана в Київському університеті ім. Тараса Шевченка

Науковий керівник - доктор фізико-математичних наук,
професор Стрижевський Володимир Леонідович.

Офіційні опоненти :
доктор фізико-математичних наук, професор Борщ А.О.;
доктор фізико-математичних наук, зав. відділом Тарасов Г.Г.

Провідна організація - Інститут теоретичної фізики АН України, м. Київ.

Захист відбудеться "20" вересня 1993 р.
об 16^30 год. на засіданні спеціалізованої ради К 068.18.01.
при Київському університеті ім. Тараса Шевченка.
252127, Київ-127, просп. акад. Глушкова, 6,
радіофізичний факультет Київського університета.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці
Київського університету.

Автореферат розіслано 6 серпня 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
канд. фіз.-мат. наук,
доцент Шкавро А.Г.

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00815523 (О)

ЛНБ ім. В. Стефа
АН Україн

З А Г А Л Ь Н А Х А Р А К Т Е Р И С Т И К А Р О Б О Т И

Актуальність теми.

Серед численних нелінійно-оптичних явищ, які спостерігаються в рідинах, кристалах, волоконно-оптичних хвильоводах та інших об'єктах, що мають кубічну нелінійність поляризуємості, значне місце належить ефектам, зумовленим станом поляризації вектора електричної напруженості випромінювання. Характерною особливістю нелінійних поляризаційних ефектів, зумовлених наведеною полем анізотропією, є самоіндукована зміна поляризації (СЗП).При цьому, поряд з просторово-часовим перетворенням амплітуд взаємодіючих хвиль, змінюється стан поляризації випромінювання. Вивчаючи закономірності поведінки стану поляризації оптичного випромінювання в нелінійних середовищах, можна одержувати багату інформацію про їх властивості. З іншого боку, нелінійні поляризаційні ефекти можуть бути покладені в основу різноманітних пристроїв оптоелектроніки та інтегральної оптики. Такі можливості зростають особливо в тому випадку, коли нелінійне середовище являється до того ж анізотропним, або лазерно-активним. При цьому стають різноманітнішими в порівнянні з нелінійним, ізотропним випадком варіанти поляризаційної структури випромінювання, що розповсюджується в такому середовищі. Виникнення нових закономірностей просторово-часової та поляризаційної динаміки лазерного випромінювання має місце також у випадку, коли середовище поряд з нелінійністю 3-го порядку також має нелінійність 5-го порядку. Деякі аспекти впливу нелінійності 5-го порядку у випадку лінійно поляризованого випромінювання вивчалися

раніше (зокрема у працях Сухорукова А.П.). В той же час дослідження поляризаційних ефектів при розповсідженні оптичного випромінювання в таких середовищах не проводилось, хоча і викликає значний інтерес.

В цьому зв'язку в дисертації поставлена мета :

Дослідження фізичних процесів при розповсюдженні оптичного випромінювання в нелінійних , анізотропних та лазерно-активних середовищах та визначення напрямків практичного використання одержаних результатів у прикладних цілях. Дослідження проводилося у трьох основних напрямках : по-перше, розглядалися явища СЗП плоских,монохроматичних хвиль в нелінійних, анізотропних та лазерно-активних середовищах. По-друге, досліджувалися ефекти самовпливу лазерних, еліптично поляризованих пучків в ізотропному, нелінійному середовищі. По-третє, вивчалися особливості впливу нелінійності 5-го порядку на просторово-часову та поляризаційну динаміку гаусових лазерних імпульсів, що розповсюджуються в нелінійних, одномодових волоконних світловодах.

Наукова новизна.

Вперше одержані слідуючі результати:

- досліджено ефект самообертання та деформації еліпса поляризації оптичного випромінювання в нелінійному, анізотропному середовищі.Одержані вирази,що описують еволюцію параметрів еліпса поляризації, проаналізовано вплив анізотропії та нелінійності на динаміку стану поляризації плоскої, монохроматичної хвилі.

- досліджено самообертання еліпса поляризації в лазерно-активному, ізотропному середовищі з кубічною нелінійністю поляризації. Виявлено, що наявність лазерної активності суттєво

змінює характер та величину повороту еліпса поляризації плоскої, монохроматичної хвилі в процесі її розповсюдження;

- теоретично досліджено ефект самовзаємодії еліптично поляризованого випромінювання в ізотропному, нелінійному середовищі. З застосуванням прямого варіаційного методу досліджено самофокусування еліптично поляризованих гаусових пучків світла. Одержані вирази, що описують структуру просторового солітона, та визначають залежність довжини фокусування випромінювання від ступеня його еліптичності;

- досліджено ефект надкомпресії гаусових імпульсів світла в нелінійних середовищах, та вивчено його основні характеристики. Знайдено умови існування стаціонарних імпульсів світла з довільною поляризацією.

Практична цінність.

Практичне значення дисертації визначається тим, що розв'язані в ній задачі відкривають нові перспективи у створенні приладів та пристроїв оптоелектроніки, волоконної та інтегральної оптики. Управління параметрами таких пристроїв можна здійснювати шляхом зміни інтенсивності та поляризації оптичного випромінювання. У роботі також теоретично обґрунтовано ефективність компресії лазерних імпульсів при відповідному виборі нелінійного середовища.

Апробація роботи.

Основні результати роботи доповідалися на :

1. Всесоюзній конференції " Оптика лазерів ", Ленінград, 1987 р.
2. Всесоюзній конференції по спектроскопії комбінаційного розсіювання світла, Ужгород, 1989 р.
3. Всесоюзних та республіканських семінарах :Симферополь,1989 - 1990 р.р.

4. Міжнародній конференції " Оптика лазерів ",С.-Петербург, 1993 р.

Публікації.

Основний зміст дисертації відображено у 10 публікаціях (з них 7 - статті), список яких приводиться у кінці автореферату.

Структура і об'єм дисертації.

Дисертація складається з вступу, трьох глав, висновків та списка цитованої літератури з 97 назв. Загальна кількість сторінок 104 , у тому числі 26 малюнків на 24 сторінках.

З М І С Т Р О Б О Т И

У вступі обгрунтовується актуальність досліджень самовпливу поляризованого лазерного випромінювання в нелінійних середовищах; проводиться огляд літератури з аналізом сучасного стану проблеми; дається коротка анотація усіх глав дисертації.

Перша глава дисертації присвячена дослідженню ефекта самоіндукованої зміни стану поляризації плоских, монохроматичних, еліптично поляризованих електромагнітних хвиль, що розповсюджуються в слабко анізотропних та лазерно-активних середовищах, які до того ж мають кубічну нелінійність поляризуємості. Вплив анізотропії та нелінійності (розділ I.I.) на еволіцію параметрів еліпса поляризації вивчено у припущенні слабкої анізотропії. При цьому анізотропія лінійної частини поляризуємості поряд з нелінійністю вважається причиною повільної зміни комплексної амплітуди електромагітної

хвилі. Нелінійна частина поляризуємості враховується в ізотропному наближенні. Таке наближення, очевидно, має рацію, бо анізотропія нелінійної поляризуємості буде малою величиною більш високого порядку, в порівнянні з анізотропією лінійної частини поляризуємості, і в першому наближенні може не враховуватися. Виявляється, що одночасний вплив анізотропії та нелінійності призводить до значного розширення спектра можливих рішень, що описують еволіцію стану поляризації еліптично поляризованого випромінювання. Знайдено та проаналізовано осцилюючий режим зміни стану поляризації, а також досліджено випадок монотонної конверсії еліптичної поляризації випромінювання в лінійну. Знайдено також умови , при яких стан поляризації випромінювання, що розповсюджується в анізотропному, нелінійному середовищі буде незмінним. Така поведінка зумовлена взаємною компенсацією впливу анізотропії та нелінійності на амплітуди лінійно поляризованих складових еліптичної поляризації. У розділі I.2 знайдено та проаналізовано вирази, що описують еволюцію параметрів еліпса поляризації. Виявляється, що як і у випадку кубчно-нелінійного, лазерно-неактивного середовища, коефіцієнт еліптичності хвилі також буде незмінним. Залежність же величини кута повороту еліпса поляризації від інтенсивності випромінювання та довжини шляху, пройденого хвилею вглиб такого середовища, має істотно нелінійний характер. З'являється додатковий параметр - коефіцієнт електричної накачки з допомогою якого можна керувати поляризацією випромінювання на виході з такого середовища. Використання ефекту самообертання еліпса поляризації у пристрої, виконаному на відрізку одномодового оптичного

волокна, активованого лазерно-активними центрами, дасть змогу реалізувати оптичний поляризаційний вентиль для управління лазерним випромінюванням.

У другій главі досліджено ефекти поляризаційного самовпливу оптичного випромінювання, що мають місце при розповсюдженні лазерних пучків світла в ізотропному, кубічно-нелінійному середовищі. У розділі 2.1 з допомогою обчислювальних методів простежено еволюцію стану поляризації лазерного пучка в напрямі від його центру до периферії. Виявилося, що по мірі розповсюдження пучка вглиб нелінійного, ізотропного середовища, має місце ефективний перерозподіл енергії між взаємно ортогональними компонентами поля, що проходить на фоні самофокусування або дефокусування кожної з них. Розподіл поляризації в поперечному перетині пучка стає суттєво неоднорідним. При цьому виявилося, що основним механізмом зміни поляризаційної структури пучків є нелінійна взаємодія лінійно поляризованих компонент еліптичної поляризації, а самофокусування або дефокусування зумовлює тільки кількісний його характер. Простежена еволюція еліптичності та величини кута поворота еліпса поляризації в центрі пучка. Показано, що в цьому випадку самофокусування підсилює відміну від моделі плоских хвиль, особливо для залежності кута поворота від величини пройденого в нелінійному середовищі шляху. Розділ 2.2. присвячений теоретичному дослідженню ефекта самофокусування еліптично поляризованих гаусових пучків світла в ізотропному, кубічно-нелінійному середовищі. З допомогою прямого варіаційного метода вдалося звести початкову систему вкорочених хвильових рівнянь в часткових

похідних до системи звичайних диференційних рівнянь. Одержані допоміжні вирази - перші інтеграли - дозволили отримати слідуюче співвідношення : $C_1 a^2 + C_2 \rho^2 = C_0 + P_0 \xi + Q_0 \xi^2$ між напівширинами гаусових циркулярно поляризованих пучків a та ρ і повздожньою координатою ξ . Величини C_1 , C_2 , C_0 , P_0 , Q_0 - константи, що визначаються комплексною еліптично поляризованою амплітудою поля на вході в ізотропне середовище, (при $\xi = 0$) та параметрами його нелінійності. Приведене співвідношення дозволяє проаналізувати залежність довжини самофокусування гаусового пучка від ступеня його еліптичності на вході в середовище. Досліджена залежність порога самофокусування випромінювання від його ексцентриситета. Одержані при цьому результати знаходяться в хорошій відповідності з експериментом. Визначено умови існування та знайдено конфігурацію просторового солітона - еліптично поляризованого гаусова пучка, в якому має місце періодична зміна напівширин його циркулярно поляризованих складових. З допомогою обчислювальних методів досліджена просторова еволюція напівширин циркулярно поляризованих гаусових пучків в широкій області зміни параметрів задачі - інтенсивності випромінювання та коефіцієнта еліптичності на вході в середовище. Показано, що пучок з інтенсивністю, меншою ніж порогова, дифракційно розширюється, при цьому зміна напівширин циркулярно поляризованих складових носить монотонний характер, як і в випадку лінійно поляризованого випромінювання. Немонотонний, осцилюючий характер зміни напівширин найбільш яскраво проявляється у випадку приблизного співпадання впливу дифракції та нелінійної рефракції, тобто біля порога самофокусування.

У главі 3 розглянута проблема розповсюдження поляризованих гаусових імпульсів світла в ізотропних одномодових світловодах, серцевина яких має нелінійність 3-го та 5-го порядку. Нелінійну поляризацію в цьому випадку можна записати у слідуючому вигляді : $\vec{P}_{NL}=\alpha|\vec{E}|^2\vec{E}+\beta\vec{E}^*\vec{E}^*+\gamma|\vec{E}|^4\vec{E}+\delta|\vec{E}|^2\vec{E}^2\vec{E}^*+\sigma\vec{E}^*\vec{E}^{*2}$, де α , β , γ , δ , σ - лінійні комбінації незалежних компонент тензорів $\hat{\chi}^{(3)}$ та $\hat{\chi}^{(5)}$. Врахування нелінійності 5-го порядку в задачах розповсюдження коротких лазерних імпульсів в одномодових волоконних світловодах зумовлене тим, що нелінійні ефекти на великих довжинах нелінійного середовища можуть накопичуватися. З іншого боку, використання світловодів з серцевиною, нелінійність 5-го порядку якої може бути значною (наприклад світловоди, виготовлені з легованого напівпровідниками скла), потребує врахування впливу цієї нелінійності навіть при відносно невеликих їх довжинах. У розділі 3.1 в рамках модифікованого нелінійного рівняння Шредінгера та з допомогою прямого варіаційного методу досліджено просторово-часову еволюцію лінійно поляризованого гаусового імпульса світла. Одержані вирази, що описують динаміку напівширини імпульса світла у випадку різного співвідношення величин і знаків кубічної нелінійності та нелінійності п'ятого порядку. Передбачено та проаналізовано режим надкомпресії випромінювання, причому знайдено умови, при яких ефект надкомпресії має місце навіть у випадку дефокусуючої кубічної нелінійності. Зроблені оцінки дозволяють розраховувати на експериментальну реалізацію вказаного ефекта та на його практичне використання у оптоволоконних компресорах

лазерних імпульсів. Знайдено умови розповсюдження в оптичних світловодах стаціонарних гаусових імпульсів та зроблено висновок про перспективність їх використання в системах оптичного зв'язку. В розділі 3.2 на основі запропонованого вище варіаційного метода розглянуто випадок розповсюдження в нелінійних одномодових волоконних світловодах еліптично поляризованих гаусових імпульсів світла. Одержана система звичайних диференціальних рівнянь відносно напівширин гаусових циркулярно поляризованих складових та знайдені її перші інтеграли, що дало змогу прогнозувати можливі рішення. Зроблено висновок, що як і у випадку лінійно поляризованого випромінювання, надкомпресія еліптично поляризованих гаусових імпульсів можлива, тільки у випадку фокусуючого впливу нелінійності 5-го ступеня. Одержана система звичайних диференціальних рівнянь також була проінтегрована чисельними методами при різноманітних співвідношеннях нелінійності 3-го та 5-го порядку. Знайдено області існування режиму надкомпресії еліптично поляризованих гаусових імпульсів та визначена їх просторова структура в процесі розповсюдження вздовж світловода. Показана принципова можливість існування в нелінійному світловоді стаціонарних еліптично поляризованих гаусових імпульсів світла та зроблено висновок, що для їх реалізації потрібно неспівпадання знаків нелінійності 3-го та 5-го порядку.

Положення, що виносяться на захист.

I. Розроблена теорія самоіндукованого змінювання стану поляризації плоских, монохроматичних, еліптично поляризованих

хвиль при їх розповсюдженні в анізотропному та лазерно-активному середовищі.

2. Досліджено просторову еволюцію неоднорідного стану поляризації пучків світла в нелінійних середовищах.

3. Розроблена теорія векторного самофокусування і формування просторових солітонів гаусових пучків світла в ізотропних, нелінійних середовищах.

4. Передбачено ефект надкомпресії гаусових імпульсів світла в нелінійних середовищах, що мать нелінійність 3-го та 5-го порядку і вивчені його основні характеристики. Знайдено умови існування стаціонарних імпульсів світла з довільною поляризацією.

Основні результати дисертації опубліковано у роботах :

1. Довгий Б.П.,Марчевский Ф.Н.,Стрижевский В.Л.,Турчин Я.А. Самовращение эллипса поляризации оптического излучения в лазерно-активных нелинейных средах // Тез.докл. Всесоюзн.конф. "Оптика лазеров", Ленинград, янв.1987 г.- Л.: ГОИ,1986.- Т.2.- С 142.

2. Марчевский Ф.Н.,Стрижевский В.Л.,Турчин Я.А. Самовращение эллипса поляризации в лазерно-активной изотропной среде с кубической нелинейной поляризацией // Доклады АН УССР.- 1987.- N 2.- С.69 - 72.

3. Довгий Б.П.,Марчевский Ф.Н.,Стрижевский В.Л.,Турчин Я.А. Самовращение и деформация эллипса поляризации оптического излучения в нелинейных средах // Известия АН СССР, сер. физическая.- 1988.- 52, N 6.- С. 1129 - 1134.

4. Марчевский Ф.Н., Стрижевский В.Л., Турчин Я.А. Самовращение и осцилляции эллипса поляризации оптического излучения в анизотропной среде // УФЖ.- 1989.- 34, N 12.- С.1821 - 1826.

5. Марчевский Ф.Н., Стрижевский В.Л., Турчин Я.А. Влияние самовращения и самодеформации эллипса поляризации возбуждающего излучения на комбинационное рассеяние света в кристаллах // Тез.докл Всесоюзн.конф. по спектроскопии КР света (Ужгород, 10 - 13 октября 1989 г.), Красноярск, 1989, Ч.II, С.61.

6. Марчевский Ф.Н., Стрижевский В.Л., Турчин Я.А. Передача информации через волоконные световоды с использованием обращения волнового фронта // Известия АН СССР, сер. физическая.- 1990.- 54, N 6.- С. 1105 - 1108.

7. Марчевский Ф.Н., Стрижевский В.Л., Турчин Я.А. Пространственные поляризационные солитоны в векторной теории самофокусировки // Известия АН СССР, сер. физическая.- 1991.- 55, N 2.- С. 346 - 350.

8. Марчевский Ф.Н., Стрижевский В.Л., Турчин Я.А. Самоиндуцированное изменение состояния поляризации излучения в одномодовом оптическом волноводе // Квантовая электроника. Киев.- 1992, вып.41.- С.1 - 5.

9. Марчевский Ф.Н., Стрижевский В.Л., Турчин Я.А. Самофокусировка эллиптически поляризованного оптического излучения // Квантовая электроника. Киев.- 1992, вып.41.- С.13 - 17.

10. Марчевский Ф.Н., Стрижевский В.Л., Турчин Я.А.

Эволюция и сверхкомпрессия оптических импульсов в волоконных световодах // Тез.докл. Междунар.конф. " Оптика лазеров ", С.-Петербург, июнь 1993 г.- С.-П.: ГОИ, 1993.- Т.2.- С. 447.

Подписано к печати 28.07.93. Формат 60х84 1/16. Офсетная печать. Бумага офсет. Усл.печ.л. 0,70. Тираж 100 экз. Зак. 1493в.

ШШ корпорации УкрНТИ, 252171, Киев, ул. Горького, 180.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

466113

Ав 27.915
Ав 27.915