Іванісік Анатолій Іванович. Назва дисертаційної роботи: "Динаміка нелінійно-оптичних процесів у керівських рідинах"

МІНІСТЕРСВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАІНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

На правах рукопису

Іванісік Анатолій Іванович

УДК 535.375

ДИНАМІКА НЕЛІНІЙНО-ОПТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У КЕРІВСЬКИХ

РІДИНАХ

01.04.05  оптика, лазерна фізика

Дисертація на здобуття наукового ступеня

доктора фізико-математичних наук

Науковий консультант:

Коротков Павло Андрійович,

доктор фізико-математичних наук,

професор

Київ – 2015

2

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 6

ВСТУП 11

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ОСНОВНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТА

ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НЕЛІНІЙНО-ОПТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

У КЕРІВСЬКИХ РІДИНАХ

1.1. Вимушене комбінаційне розсіювання 25

1.2. Самофокусування 29

1.3. Фазова самомодуляція 30

1.4. Висновки до Розділу 1 32

РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ

УСТАНОВКИ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Джерела збуджуючого випромінювання 33

2.2. Реєструючі прилади 38

2.3. Основні методи досліджень 40

2.4. Висновки до Розділу 2 45

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ТА ТЕОРЕТИЧНІ

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ САМОФОКУСУВАННЯ

3.1. Вплив групової швидкості на процес самофокусування у

наносекундному діапазоні лазерних імпульсів

46

3.2. Загальні співвідношення для швидкості фокальної точки

самофокусування

50

3.3. Теоретичні розрахунки стаціонарної залежності фокальної

відстані від потужності лазерного випромінювання

54

3.4. Методика експерименту вимірювання фокальної відстані

самофокусування

59

3.5. Результати експериментів вимірювання фокальної відстані

самофокусування

64

3.6. Розрахунки швидкості, прискорення та потужності 78

3

випромінювання для фокальної точки самофокусування

3.7. Експериментальні дослідження самофокусування у

двокюветних схемах

88

3.8. Інтенсивність світла на осі лазерного променя та довжина

фокальної області самофокусування

91

3.9. Оцінка енергетичної ефективності нелінійних оптичних

процесів уподовж траси лазерного імпульсу

94

3.10. Висновки до Розділу 3 95

РОЗДІЛ 4. ВПЛИВ РУХУ ФОКАЛЬНОЇ ОБЛАСТІ

САМОФОКУСУВАННЯ НА СПЕКТР ВИМУШЕНОГО

КОМБІНАЦІЙНОГО РОЗСІЮВАННЯ

4.1. Наближення заданої поляризації та частотно-кутовий розподіл

енергії розсіяного випромінювання у віддаленій зоні для випадку

широкосмугових спектрів

97

4.2. Наближення заданої поляризації та частотний розподіл енергії

розсіяного випромінювання у ближній зоні для випадку широкосмугових

спектрів

107

4.3. Загальні особливості формування спектрів випромінювання

рухомих центрів нелінійної поляризації у ближній зоні

111

4.4. Деталізація особливостей формування спектрів випромінювання

рухомих центрів нелінійної поляризації у ближній зоні

117

4.5. Частотно-кутові спектри антистоксового вимушеного

комбінаційного розсіювання з фокальних областей самофокусування у

віддаленій зоні

127

4.6. Висновки до Розділу 4 141

РОЗДІЛ 5. ФАЗОВА МОДУЛЯЦІЯ ЛАЗЕРНОГО

ВИПРОМІНЮВАННЯ У САМОФОКУСУЮЧИХ СЕРЕДОВИЩАХ

5.1. Теорія квазістаціонарної фазової самомодуляції лазерних

імпульсів у керівських рідинах

143

5.2. Теоретичний аналіз спектрів випромінювання перехідного типу 154

4

на межі середовище-вакуум в умовах фазової самомодуляції світлового

імпульсу за самофокусування

5.3. Експериментальне виявлення перехідного ефекту на межі

середовища за фазової самомодуляції лазерних імпульсів

наносекундного діапазону тривалостей

160

5.4. Енергетично-частотні характеристики випромінювання за

перехідного ефекту в самофокусуючих середовищах

168

5.5. Формування надкоротких оптичних імпульсів унаслідок

перехідного ефекту на межі самофокусуючого середовища

175

5.6. Фазова самомодуляція в шаруватих структурах 183

5.7. Висновки до Розділу 5 190

РОЗДІЛ 6. ВПЛИВ ФАЗОВОЇ САМОМОДУЛЯЦІЇ ЛАЗЕРНОГО

ВИПРОМІНЮВАННЯ НА СПЕКТР АНТИСТОКСОВОГО

ВИМУШЕНОГО КОМБІНАЦІЙНОГО РОЗСІЮВАННЯ

6.1. Вплив фазової самомодуляції імпульсів накачування на спектр

антистоксового вимушеного комбінаційного розсіювання світла з

фокальної ділянки

192

6.2. Спектральні закономірності антистоксового вимушеного

комбінаційного розсіювання з околу фокальної точки за фазової

самомодуляції

205

6.3. Фазомодульоване параметричне антистоксове вимушене

комбінаційне розсіювання на виході з самофокусуючого середовища

217

6.4. Інтерпретація антистоксового вимушеного комбінаційного

розсіювання черенковського типу

234

6.5. Висновки до Розділу 6 243

РОЗДІЛ 7. ВИМУШЕНЕ КОМБІНАЦІЙНЕ РОЗСІЮВАННЯ ЗА

МІНІМАЛЬНОЇ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ САМОФОКУСУВАННЯ ТА

ВРАХУВАННЯ ДОДАТКОВИХ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА СПЕКТР

ВИПРОМІНЮВАННЯ

7.1. Вплив релаксаційних осциляцій інтенсивності лазерного 244

5

випромінювання на частотно-кутову структуру вимушеного

комбінаційного розсіювання

7.2. Взаємний вплив фазової модуляції та релаксаційних осциляцій

інтенсивності на спектри вимушеного комбінаційного розсіювання

254

7.3. Ефект насичення інтенсивності вимушеного комбінаційного

розсіювання

262

7.4. Асиметрія індикатриси вимушеного комбінаційного

розсіювання світла в органічних самофокусуючих рідинах

268

7.5. Генерація та підсилення субнаносекундних імпульсів

вимушеного комбінаційного розсіювання у самофокусуючих органічних

речовинах

286

7.6. Залежність ефективності генерації стоксової компоненти

вимушеного комбінаційного розсіяння від поглинання та спектрально

складу випромінювання накачування

294

7.7. Вплив наночастинок благородних металів на ефективність

вимушеного комбінаційного розсіювання

303

7.8. Висновки до Розділу 7 314

ВИСНОВКИ 316

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 320

6

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВКР  вимушене комбінаційне розсіювання;

ВРМБ  вимушене розсіювання Мандельштама - Брілюена;

ГКР  гігантське комбінаційне розсіювання;

КР  комбінаційне розсіювання;

СФ  самофокусування;

ФМ  фазова модуляція;

ФСМ  фазова самомодуляція;

0

a  початковий радіус на рівні

1

e



пучка лазерного випромінювання або його

фрагменту на вході в самофокусуюче середовище;

f

a  радіус фокальної точки на рівні

1

e



потужності лазерного

випромінювання;

b  довжина області існування нелінійної поляризації на рівні 0,5 від

максимальної амплітуди нелінійної поляризації у фокальній точці;

e

b  напівдовжина області існування нелінійної поляризації на рівні

1

e



від

максимальної амплітуди нелінійної поляризації у фокальній точці;

c  швидкість світла у вакуумі;

EL  напруженість електричного поля лазерної хвилі;

L  енергії лазерного імпульсу;

G  коефіцієнт підсилення першої стоксової компоненти на комбінаційній

частоті за інтенсивністю лазерного випромінювання;

i  уявна одиниця;

f

I  максимальна інтенсивність лазерного випромінювання у фокальній точці;

L

I  інтенсивність лазерного випромінювання;

k k k n c , ,        модуль хвильового вектора в середовищі на частоті



;

0a

k  модуль хвильового вектора антистоксової компоненти в середовищі без

7

урахування наведених змін показника заломлення (на комбінаційній частоті);

0L

k  модуль хвильового вектора лазерного випромінювання у середовищі без

урахування наведених змін показника заломлення;

0s

k  модуль хвильового вектора стоксової компоненти в середовищі без

урахування наведених змін показника заломлення (на комбінаційній частоті);

a

k  модуль хвильового вектора антистоксової компоненти вимушеного

комбінаційного розсіювання у середовищі;

Lf k  модуль хвильового вектора лазерного випромінювання у фокальній точці

з урахуванням самофокусування і фазової самомодуляції;

p a0

k  модуль хвильового вектора антистоксової нелінійної поляризації за

вимушеного комбінаційного розсіювання у середовищі без урахування

наведених змін показника заломлення (на комбінаційній частоті);

vL

k  модуль хвильового вектора лазерного випромінювання у вакуумі;

L  довжина кювети (вхідна межа має координату

z  0

);

f  довжина фокальної області на рівні

0,5

від максимальної інтенсивності

лазерного випромінювання у фокальній точці;

0L

n  показник заломлення лазерного випромінювання без урахування

нелінійно-оптичних ефектів;

n2  коефіцієнт нелінійної рефракції;

n

 показник заломлення випромінювання на частоті



без урахування

нелінійно-оптичних ефектів;

P0L

 максимальна миттєва потужність імпульсу лазерного випромінювання на

вході у нелінійне оптичне середовище;

Pcr  критична потужність самофокусування;

PL  миттєва потужність лазерного випромінювання;

PLf  потужність лазерного випромінювання у фокальній точці;

P  приведена (нормована) потужність лазерного випромінювання (

P P L cr

);

8

P0  приведена максимальна потужність імпульсу лазера (

P P 0L cr

);

PLf  приведена (нормована) потужність лазерного випромінювання у

фокальній точці (

P P Lf cr

);

( ) NL P  нелінійна поляризація;

( )

0

NL P  амплітуда нелінійної поляризації;

( )

0max

NL P  максимальна амплітуда нелінійної поляризації поблизу центру

фокальної точки;

( ) NL P  нелінійна поляризація на частоті



;

Wпер  повна енергія випромінювання, яке виникає за перехідного ефекту;

(ν) Wпер

 частотна густина енергії випромінювання за перехідного ефекту;

Wz

 просторово-кутова густина енергії розсіяного випромінювання вподовж

осі

z

середовища;

W  кутова густина енергії випромінювання;

W

 частотна густина енергії випромінювання;

W0

 частотна густина енергії осьового (

 0

) випромінювання;

Ws

 частотна густина енергії імпульсу розсіяного випромінювання для

ближньої зони у розрахунку на одиницю площі

s

(інтеграл від

I

за часом);

W z x    частотно-просторова густина енергії випромінювання, розсіяного з

точки

z

вподовж осі

x

;

W z

 частотно

-просторово

z-кутова



густина енергії;

W

 частотно-кутова густина енергії випромінювання;

( ) a W

частотно-кутова густина енергії антистоксової компоненти ВКР;

x y ,  поперечні координати;

z  координата у напрямку поширення лазерного променя;

fd z  фокальна відстань (дистанція) самофокусування;

9

fp z  координата фокальної точки;

Γ  приріст

L fp L   0

k z k  модуля хвильового вектора лазерного

випромінювання у фокальній точці (

Γ k P   νL

);

  приріст

f n

показника заломлення у фокальній точці для приведеної

(нормованої) потужність лазерного випромінювання

P 1

;

L k  приріст модуля хвильового вектора лазерного випромінювання внаслідок

збільшення показника заломлення;

L  відрізок траси проходження фокальної точки через кювету;

f n  приріст показника заломлення в центрі фокальної області;

    пер пер 2 с  максимальне зміщення миттєвої частоти в см-1

лазерного пучка в момент перетину фокальною точкою межі середовища;

     пер пер 0L  максимальне зміщення миттєвої частоти лазерного пучка в

момент перетину центральною частиною фокальної області межі середовища;

0

  електрична стала;

  кут розсіювання відносно вісі

z

;

0L

 початкова довжина хвилі лазерного випромінювання у середовищі;

vL  довжина хвилі лазерного випромінювання у вакуумі;

 0  магнітна стала;

і

  напівширина імпульсу лазерного випромінювання на рівні

1

e



;

L

  тривалість імпульсу лазерного випромінювання на половинному рівні;

Tro  період релаксаційних осциляцій амплітуди нелінійної поляризації;

gL  групова швидкість лазерного імпульсу;

fd  швидкість зміни фокальної відстані самофокусування;

fp  швидкість фокальної точки самофокусування;

p a0  фазова швидкість хвилі нелінійної поляризації на частоті

0a

;

10

  ph a    фазова швидкість антистоксового випромінювання ВКР;

0a

 циклічна частота антистоксового випромінювання без урахування

фазової самомодуляції та руху фокальної області (комбінаційна частота);

0L

 циклічна частота лазерного випромінювання без урахування фазової

самомодуляції;

0s

 циклічна частота стоксового випромінювання без урахування фазової

самомодуляції та руху фокальної області (комбінаційна частота);

пер  миттєва частота осьового лазерного випромінювання в момент перетину

центральною частиною фокальної області межі середовища;

a

 циклічна частота антистоксового випромінювання;

L  циклічна частота лазерного випромінювання;

Lf  частота лазерного випромінювання у фокальній точці з урахуванням

самофокусування і фазової самомодуляції;

f x   для вказування аргументу

x

функції

f

;

x ...

f 

, або

f x 

...  для вказування значення функції

f

за аргументу

x

;

f  модуль функції

f

;

x

f  усереднення функції

f

за змінною

x

;

f ...  тенденція зміни функції;

(...) f  для вказування додаткових індексів;

k

або

k  векторні величини (у даному випадку це є хвильовим вектором).

Max f   максимальне значення функції

f

;

Min f   мінімальне значення функції

f

;

x ...  напрямок зміни аргументу функції або заміна аргументу функції;

  для вказування тотожності величин, зокрема, за введення нових позначень.

11

ВСТУП

У керівських середовищах процес самофокусування є динамічним процесом,

оскільки залежить від миттєвої потужності імпульсів лазерного випромінювання

[1]. Динаміка самофокусування породжує характерні особливості супутніх

нелінійних процесів, зокрема, ВКР [2].

Переважно вважається, що сам ефект самофокусування, хоча і є цікавий з

фізичної точки зору, проте не має перспектив практичного використання та

відіграє негативну роль, оскільки ускладнює перебіг інших „корисних” нелінійнооптичних процесів і знижує стійкість прозорих середовищ до інтенсивного

лазерного випромінювання [3]. Нові дослідження показують можливість

перегляду таких поглядів. Зокрема, подальшого розвитку набуває ідея

самоканалювання потужних ультракоротких лазерних імпульсів [4, 5]. Досягнута

інтенсивність  1019 Вт/см2 у філаментах із радіусом  500 нм та довжиною  2 мм

відкриває нові перспективи у створенні рентгенівських лазерів, імпульсних джерел

швидких нейтронів та генерації магнітних полів більших 10 МГс [6]. Надзвичайно

ефективним є використання самофокусування як методу синхронізації мод у

лазерах для генерації ультракоротких імпульсів фемтосекундного діапазону [7].

Очевидно, що коло практичного використання явища самофокусування надалі

зростатиме.

Можливості практичного використання ефекту самофокусування залежать від

детального його пізнання. Подальші перспективи поглиблення знань про

самофокусування відкрилися унаслідок розвитку техніки й методів досліджень та

нових можливостей комп'ютерного експерименту. Так, чутливість частотнокутових характеристик та інтенсивності ВКР до параметрів фокального об’єму дає

змогу розглядати ВКР як метод дослідження самофокусування.

Нелінійні оптичні процеси, які в обмежених за довжиною середовищах

виникають за великої потужності світлових променів, переважно реалізуються за

використання імпульсних лазерів. Тривалість лазерних імпульсів змінюється від

десятків наносекунд до десятків фемтосекунд. Тривалість імпульсів суттєво

впливає на динаміку перебігу нелінійних оптичних процесів, оскільки протягом

імпульсу змінюється як миттєва потужність випромінювання, так і розташування

області наведеної нелінійної поляризації. Чим коротші імпульси, тим швидша

12

зміна їх миттєвої потужності на фронті та спаді.

Досить складним є питання впливу огинаючої імпульсу в наносекундному

діапазоні у випадку середовищ, в яких виявляється ефект Кера. В таких

середовищах внаслідок самофокусування зміна потужності світлового променя

спричиняє зміни перетину лазерного пучка та веде до переміщення області

максимальної інтенсивності світла. Ефективність нелінійних оптичних процесів

зростає в областях самофокусування, де інтенсивність світла максимальна. Тож

переміщується і область, в якій відбуваються нелінійні оптичні процеси. Така

ситуація близька до випадку коротших імпульсів пікосекундного та

фемтосекундного діапазонів, але має свої характерні особливості.

Область максимальної нелінійної поляризації середовища у випадку

пікосекундних чи фемтосекундних імпульсів рухається майже з груповою

швидкістю світла [8], а в наносекундному діапазоні зі швидкістю фокальної

області самофокусування [1]. Швидкість фокальної області загалом може

змінюватися протягом лазерного імпульсу від нульової поблизу вершини імпульсу

до надсвітлової на фронтах. Більш того, змінюється і знак швидкості: від

позитивного, якщо фокальна область рухається у напрямку поширення світлового

променя, до негативного в протилежному випадку.

Нульова чи близька до нульової швидкість області максимальної нелінійної

поляризації еквівалентна використанню звичайних лінз для будь-якої тривалості

лазерних імпульсів. Проте, для великих швидкостей, а тим більше надсвітлових,

виникає своєрідна ситуація, яку неможливо реалізувати в інших умовах чи іншими

засобами. За надсвітлових швидкостей виникають певні аналогії з черенковським

випромінюванням, особливо, якщо брати до уваги поперечну обмеженість

фокальної області [9]. Тож, за збудження лазерними імпульсами наносекундної

тривалості розширюється коло можливих реалізацій динаміки перебігу нелінійних

оптичних процесів.

Резюмуючи наголосимо, незалежність швидкості переміщення області

існування нелінійної поляризації середовища безпосередньо від групової та

фазової швидкості світла є унікальною і реалізується саме в наносекундному

діапазоні тривалостей лазерних імпульсів випромінювання. В зв’язку з цим є

важливими теоретичні, а тим більш, експериментальні дослідження перебігу

параметричних нелінійних оптичних процесів, які вимагають умов групового та

фазового синхронізмів. У випадку змінної швидкості області існування

13

поляризації за самофокусування параметричні нелінійні оптичні процеси

набувають динамічність, яка впливає на результуючий спектр розсіяного світла.

Раніше такі дослідження з вказаною постановкою питання системно не

виконувалися, незважаючи на їх актуальність. Переважно вважалося, що область

існування нелінійної поляризації є обмеженою у просторі та не рухається за

фокусування звичайними лінзами або її швидкість наближається до групової

швидкості збуджуючих імпульсів. Актуальність досліджень обумовлена тим, що

насьогодні технології досягли розвитку, коли групова швидкість світла на трасі

може в принципі бути змінною величиною в структурованих середовищах, а

форма імпульсів випромінювання є керованою.

Важливим є питання чи супроводжується рух області існування нелінійної

поляризації за зміни фокальної відстані додатковою наведеною зміною фази

поляризації. Можливі два полярні випадки, які підлягають аналізу в наближеннях

„тонкої” та „товстої” лінзи.

У випадку „тонкої” лінзи, коли відбуваються часові зміни кривизни

поверхонь лінзи, а її товщина є фіксованою і близькою до нульової, додаткові

зміни фази поляризації відсутні. Тож, фаза нелінійної поляризації визначається

лише фазою збуджуючого випромінювання та нелінійною сприйнятливістю, яка є

комплексною величиною. Таку ситуацію досить складно реалізувати, але

можливо, зокрема, використовуючи п’єзокерамічні елементи для зміни кривизни

поверхонь лінзи або оптично керовані наведені лінзи під дією коротких світлових

імпульсів із заданим поперечним розподілом інтенсивності.

Складнішою є ситуація використання явища самофокусування у керівських

середовищах. У цьому випадку наводиться „товста” лінза і змінюється як її

кривизна, так і товщина. Часова залежність товщини лінзи спричиняє додаткові

зміни фази збуджуючого випромінювання і, як наслідок, фази нелінійної

поляризації. Виникає фазова самомодуляція, а потому, і крос-модуляція. Зміни

фази пов’язані зі зміною миттєвої інтенсивності збуджуючого випромінювання і

виникають як на шляху до фокальної точки, так і на шляху від фокальної точки до

вихідної межі середовища.

У загальному маємо складну ситуацію переміщення області нелінійної

поляризації, додаткові зміни її фази та зміни фази розсіяного випромінювання.

Така складність проблеми тривалий час стримувала її детальний аналіз, та не

спонукала до практичних використань явища самофокусування.

14

Самодефокусування теж дає можливість впливу на перебіг нелінійних

оптичних процесів, але є менш ефективним. Цікавими є можливості зменшення

швидкості світлових імпульсів у фоторефрактивних середовищах [10].

Питання про швидкість фокальної області в керівських рідинах, фазу

збуджуючого випромінювання у фокальній області та зміни фази розсіяного

випромінювання теоретично можуть розглядатися незалежно, але пов’язані у

кожній практичній реалізації.

Відомими керівськими середовищами, здатними до самофокусування, і які

самі по собі є нелінійними оптичними середовищами, де виникають різні нелінійні

процеси, є органічні рідини. Переважно це є „класичні” для ВКР органічні рідини

починаючи з бензолу та його похідних. У цих рідинах виникає ВКР та вимушене

розсіювання Мандельштама-Брілюена (ВРМБ) тощо. Параметричні компоненти

ВКР особливо чутливі до умов самофокусування, внаслідок залежності від фази

поляризації. Комбінаційні компоненти ВКР та компоненти ВРМБ є менш

залежними, але їх інтенсивність та спектр теж залежать від самофокусування. Інші

нелінійні процеси, такі як генерація гармонік тощо, внаслідок ізотропності рідини,

загалом є неістотними.

Таким чином, необхідно концентрувати увагу на динаміці параметричних

компонентах ВКР у керівських середовищах за дослідження впливу

самофокусування і фазової самомодуляції. Антистоксова область спектра є

експериментально простішою у дослідженні, оскільки вплив ефективніших

стоксових комбінаційних процесів не заважає вимірюванням.

Актуальність теми. Необхідність виконання комплексних досліджень з

наукової проблеми, яка стосується з’ясування фундаментальних фізичних

механізмів і прикладних аспектів динаміки нелінійно-оптичних процесів у

керівських рідинах, а саме, особливостей кутової структури та природи великих

спектральних розширень ліній вимушеного комбінаційного розсіювання (ВКР) в

умовах самофокусування і фазової самомодуляції збуджуючого лазерного

випромінювання, зумовлена широким колом як існуючих, так і можливих у

перспективі прикладних застосувань.

Насамперед, тема дисертаційної роботи є актуальною загалом, тому що

попередні спроби вирішення вказаної наукової проблеми були недостатньо

результативними, що стримувало подальший розвиток наукових засад як

нелінійної оптики, так і квантової радіофізики, а також, практичне використання

15

ВКР у самофокусуючих середовищах і ефекту самофокусування для

вдосконалення існуючих та створення новітніх технологій і приладів.

Відомо що, подальшого розвитку набуває ідея самоканалювання імпульсів

лазерного випромінювання. На сьогодні досягнута інтенсивність  1019 Вт/см2 у

філаментах із радіусом  1 мкм та довжиною  2 мм відкриває нові перспективи

створення рентгенівських лазерів та інших імпульсних джерел когерентного

випромінювання. Достатньо ефективним є використання самофокусування як

методу синхронізації мод у лазерах для генерації ультракоротких імпульсів

фемтосекундного діапазону. Коло практичного використання явища

самофокусування поступово розширюється, а можливості подальшого

практичного використання цього ефекту залежать від деталізованого його

аналітичного опису та супутніх фізичних процесів.

Високоефективні ВКР-перетворювачі на основі самофокусуючих рідких

середовищ (керівських рідин), подальшого розвитку яких стосується робота,

становлять значний практичний інтерес з точки зору використання для керування

формою оптичних імпульсів, їх спектрів, статистикою лазерного випромінювання,

його просторовими розподілами.

Натепер, навіть у складних завданнях створення генераторів когерентного

випромінювання на основі ВКР з довжиною хвилі

 1,53

мкм від неосновної

лінії неодимового лазера з

 1,34

мкм у безпечному для очей людини діапазоні

та такого, що припадає на ділянки прозорості атмосфери й оптоволокна, квантова

ефективність перетворення у першу стоксову компоненту сягає близько 70 % у

кристалах

BaWO4

. Перспективним напрямком використання ВКР стало пряме

підсилення оптичних інформаційних сигналів на магістральних оптоволоконних

лініях зв’язку. Це також визначає актуальність теми й необхідність детального

вивчення усіх закономірностей процесу ВКР у різних середовищах.

Когерентна антистоксова раманівська спектроскопія та її практична

реалізація у вигляді антистоксового ВКР дає змогу суттєво доповнювати

інформацію про середовище, отриману традиційними спектроскопічними

методами. Проте природа спектральних розширень антистоксових ліній ВКР в

самофокусуючих органічних рідинах за великих рівнів збудження залишається

неповністю з’ясованою. Роль механізму фазової модуляції, що супроводжує ефект

самофокусування, у спектральних розширеннях антистоксових ліній є важливим

16

аспектом цієї проблеми. Тому виконані в роботі оцінки значимості фазової

модуляції для формування спектрів антистоксового випромінювання можна

розглядати як актуальний розвиток фізичних засад сучасних методів

спектрального аналізу. Поставлена проблема є досить складною, оскільки вимагає

врахування динаміки змін розташування та розмірів фокальної області.

Актуальність проблеми з точки зору розвитку технологій лазерної медицини

та її технічного забезпечення полягає у пошуку нових вирішень ряду фізикотехнічних проблем, зокрема: оптимізації специфічної дії інтенсивного світла на

біологічні тканини в режимі лазерної фотоабляції завдяки покращенню оптичної

якості випромінювання багатомодових лазерних джерел з одночасним

переналаштуванням їх частоти та скороченням тривалості імпульсів; стимуляції у

глибоко розташованих шарах біологічних тканин додаткового локального та

селективного поглинання світла лазерних джерел видимого діапазону шляхом

резонансного збудження молекулярних коливань заданої підсистеми під дією

випромінювання двох довжин хвиль.

Робота має важливе значення для досягнення розуміння фізичних механізмів,

відповідальних за асиметрію ВКР. Питання щодо природи асиметрії індикатриси

ВКР відноситься до розряду фундаментальних.

Актуальність досліджень випливає також з того, що існуючі на сьогодні

уявлення про фазову самомодуляцію лазерного випромінювання в керівських

рідинах, яка супроводжує ефект самофокусування, та її вплив на ВКР-генерацію

антистоксової компоненти носять лише якісний характер і не враховують повною

мірою змін, які відбуваються у розташуванні фокальної області та її геометричних

розмірах залежно від інтенсивності випромінювання.

У роботі розглядається актуальний аспект проблеми удосконалення ВКРперетворювачів  „ефект абсолютного насичення”, який полягає у повному

припиненні зростання або навіть зменшенні енергії стоксової компоненти, в яку

перетворюється лазерне випромінювання, після досягнення деякого рівня,

незважаючи на подальше збільшення енергії імпульсу накачки.

Актуальність теми є очевидною з точки зору дослідження випромінювання

перехідного та черенковського типу в керівських рідинах, оскільки таке

випромінювання може використовуватися для створення принципово нових

джерел фазомодульованих надкоротких моноімпульсів когерентного

17

випромінювання або послідовності таких імпульсів. Підбором умов можна

забезпечити коливний рух осередків нелінійної поляризації на межі середовищ, а

отже, й ефективну трансформацію амплітудної модуляції світлових сигналів у

відповідну спектрально-фазову модуляцію.

До того ж, актуальність роботи обумовлена необхідністю створення

двочастотних джерел потужного когерентного випромінювання видимого

діапазону з невеликим спектральним інтервалом. Випромінювання таких джерел

на основі генерації різницевої частоти може бути трансформоване в терагерцовий

діапазон електромагнітного випромінювання, яке все більше використовується в

дослідженнях структурних і функціональних властивостей біологічних систем

різної міри складності, медичній діагностиці, вивченні потенційно генотоксичних

ефектів. Терагерцові сканери знаходять широке застосування для виявлення

наркотиків і вибухонебезпечних матеріалів. Ускладненням на цьому шляху

виступає саме проблема створення достатньо потужних джерел терагерцового

діапазону.

Надзвичайно важливим є питання високої ефективності переналаштування

лазерного випромінювання в антистоксову компоненту ВКР, що висвітлюється у

роботі. Раніше повідомлялося про досягнення миттєвої квантової ефективності

перетворення 60 % на обертальних рівнях у водні внаслідок швидкого

перемикання поляризації збуджуючого випромінювання

CO2

-лазера. Послідовно

вирішується питання створення ефективних антистоксових ВКР лазерів з

одночастотним та двочастотним когерентним збудженням у зовнішньому

резонаторі. У літературі зазначається можливість створення антистоксових ВКРлазерів для вакуумного ультрафіолетового діапазону з довжинами хвиль

λ = 120÷200 нм

та квантовою ефективністю 73  94 % у водні з додатковими

тонкими шарами

MgF2

.

Також мають актуальність інші відомі напрями застосування ВКР:

покращення оптичної якості (очищення) лазерного випромінювання; когерентне

зведення лазерних пучків або сумація лазерних імпульсів, зокрема, в

мікроспектроскопії; компресія світлових імпульсів; генерація солітонів; обернення

та корекція хвильового фронту; спектроскопія імпульсного збудження ВКР та

оберненого комбінаційного розсіювання, когерентна антистоксова спектроскопія;

оптична томографія для медицини.

18

Практичне використання явища самофокусування буде зростати, оскільки

виявляються нові ідеї та методи їх реалізації. Зокрема, поєднання можливостей

ВКР, як ефективного методу переналаштування частоти лазерного

випромінювання, та можливостей самофокусування, як методу просторового

сканування потужними згустками електромагнітного поля зі швидкістю,

незалежною від швидкості світла (та навіть надсвітловою), дає змогу

трансформувати імпульс лазерного випромінювання у довільну послідовність

субімпульсів із заданими для кожного субімпульсу тривалістю та частотою.

Фазова самомодуляція лазерних імпульсів суттєво ускладнює перебіг

супутніх нелінійних оптичних процесів у керівських середовищах, зокрема ВКР.

Тож у певному розумінні, фазова самомодуляція виглядає як негативний для

інженерної практики ефект. Проте, спостерігається тенденція до використання

фазової самомодуляції для створення новітніх приладів. Зокрема, можливі

наступні напрями застосування: компресія імпульсів, чирпування імпульсів,

синхронізація мод, генерація солітонів.

Отже, на разі актуальною фізичною проблемою є дослідження фізичних

закономірностей, які визначають динаміку різних оптичних процесів у керівських

рідинах і, насамперед, особливості частотно-кутової структури та природи

великих спектральних розширень ліній ВКР в умовах самофокусування і фазової

самомодуляції лазерного випромінювання.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота

виконана відповідно до тематики досліджень, які проводились та проводяться на

факультеті радіофізики, електроніки та комп’ютерних систем Київського

національного університету імені Тараса Шевченка. Розпочиналася робота за

виконання науково-дослідної роботи „Дослідження когерентних і нелінійних

процесів взаємодії лазерного випромінювання з речовиною та їх використання в

оптичному приладобудуванні і лазерних технологіях” у рамках Комплексної

програми Київського університету та науково-дослідної роботи „Фізичні

принципи нових медичних технологій, що базуються на застосуванні

радіофізичної інтроскопії, спектрометрії, лазерного випромінювання”

затвердженою Кабінетом міністрів України. Завершувалася робота в рамках

пріоритетних фундаментальних науково-дослідних робіт: „Фізичні та

інформаційні процеси у конденсованому середовищі та біологічних системах з

великою кількістю зв’язків” (№11БФ052-03); „Дослідження ефектів взаємодії

19

електромагнітних та акустичних полів з впорядкованими, наноструктурованими та

біологічними системами для створення новітніх технологій” (№11БФ052-04).

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є вирішення актуальної наукової

проблеми встановлення фізичних механізмів і закономірностей спектральних

розширень лазерного та розсіяного випромінювання у керівських ВКР-активних

рідинах, які обумовлені динамікою самофокусування. У роботі поглиблено

досліджується самофокусування, ВКР, фазова самомодуляція, взаємозв’язок

супутніх процесів та принципи їх практичного використання.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

 удосконалення експериментальних засобів та методів реєстрації локальних

параметрів фокальної області, зміни характеристик лазерного випромінювання і

розсіяного світла вподовж осі керівського середовища;

 експериментальне та теоретичне дослідження ефекту самофокусування у

керівських рідинах із урахуванням групової швидкості світла;

 експериментальне дослідження локальних спектрів фазомодульованого

лазерного випромінювання за трасою зміщення фокальних областей;

 теоретичне пояснення дії перехідного ефекту на формування спектра

лазерного випромінювання на вихідній межі керівського середовища;

 експериментальне дослідження частотно-просторово-кутових спектрів

параметричних ВКР-компонент у керівських рідинах;

 визначення взаємозв’язку між швидкістю нелінійної поляризації, швидкістю

фокальної точки самофокусування та частотним розширенням ліній ВКР із

урахуванням фазової самомодуляції лазерного випромінювання;

 урахування впливу конкуренції параметричних та комбінаційних процесів

на асиметрію розсіювання ВКР;

 пояснення дії релаксаційних осциляцій на частотно-кутову структуру

спектрів антистоксової компоненти ВКР;

 теоретично-експериментальний аналіз нових методів генерації

субнаносекундних імпульсів ВКР та їх підсилення за дії наносекундних лазерних

імпульсів;

 підвищення квантової ефективності генерації стоксового ВКР на основі

комбінованого багаточастотного збудження чи використання наночастинок

благородних металів.

20

Об’єкт дослідження: фізичні процеси, що обумовлюють взаємний вплив

самофокусування, фазової самомодуляції та вимушеного розсіювання лазерного

випромінювання.

Предмет дослідження: керівські рідини (зокрема: толуол, ксилол,

бромбензол, бензол, бромоформ), умови синхронізму, ВКР, випромінювання

перехідного та черенковського типу, асиметрія розсіювання.

Методи дослідження. Для експериментальних досліджень параметрів ВКР та

самофокусування використовувалися загальновідомі класичні методи оптичної

спектроскопії видимого діапазону та удосконалені або розроблені методи

реєстрації частотно-кутових спектрів, просторово-кутових спектрів, частотнопросторових спектрів. Для теоретичних досліджень параметрів ВКР та

самофокусування використовувалися аналітичні та числові методи розв’язку

хвильового рівняння за наявності нелінійної поляризації та різного спектрального

складу випромінювання.

Достовірність результатів забезпечується використанням удосконаленого

експериментального обладнання та надійних оптичних експериментальних

методів, обгрунтованістю запропонованих фізичних моделей досліджуваних

процесів, коректністю виконаних теоретичних розрахунків, взаємоузгодженням

теоретичних і експериментальних даних, отриманих із застосуванням різних

незалежних експериментальних методик. Автором запропоновані удосконалені

методи дослідження та комплексний підхід до їх використання.

Наукова новизна одержаних результатів. Новизна результатів

дисертаційної роботи полягає в розробці фізичних основ поглибленого

дослідження закономірностей динаміки нелінійно-оптичних процесів у керівських

рідинах, у результатах експериментальних досліджень та в теоретичному

поясненні отриманих закономірностей на аналітичному рівні.

У роботі вперше:

 Поєднано використання методів реєстрації частотних, кутових, частотнокутових, просторово-кутових, частотно-просторових спектрів для встановлення

фізичних механізмів і закономірностей, які визначають динаміку нелінійнооптичних процесів у керівських рідинах.

 На основі експериментальних даних з урахуванням групової швидкості

світла аналітично узагальнено результати щодо розташування, швидкості,

21

прискорення фокальної точки самофокусування та розподілів інтенсивності

лазерного випромінювання в фокальній області для керівських рідин у

наносекундному діапазоні тривалостей лазерних імпульсів.

 Доведено, що рух фокальної області в самофокусуючих середовищах сам по

собі впливає на частоту випромінювання параметричних компонент ВКР.

Зміщення частоти антистоксових та вищих стоксових компонент відносно

комбінаційного резонансу обумовлене необхідністю виконання умови амплітуднофазового синхронізму, за якого фазове узгодження хвиль поля і нелінійної

поляризації реалізується в околі максимальної амплітуди поляризації, що

переміщується разом з фокальною областю.

 Експериментально виявлено, що за фазової самомодуляції лазерних

імпульсів наносекундного діапазону внаслідок квазістаціонарного

самофокусування саме перехідний ефект є відповідальним за породження нових

спектральних компонент, зміщених до 100 см1

та переважно в стоксів бік

відносно частоти збуджуючого лазерного випромінювання. З використанням

теоретичного опису визначено часові та енергетичні харак-теристики

випромінювання, що породжується внаслідок перехідного ефекту.

 Встановлено взаємний вплив швидкості руху фокальної точки та фазової

самомодуляції на частотно-кутові спектри антистоксової компоненти ВКР.

Пояснено утворення протяжних антистоксових частотно-кутових смуг ВКР. У

випадку збігання швидкості фокальної точки самофокусування з фазовою

швидкістю нелінійної поляризації на антистоксовій комбінаційній частоті та

фазовою швидкістю розсіяного осьового випромінювання утворюються

найінтенсивніші частотно-кутові смуги, які описуються співвідношеннями,

характерними для черенковського випромінювання.

 Показано, що в режимі самофокусування збуджуючого випромінювання та

релаксаційних часових коливань амплітуди нелінійної поляризації частотнокутова структура параметричних компонент ВКР має свої особливості: максимум

енергії випромінювання зміщується щодо комбінаційних частот, а відлаштування

частоти залежить від кута розсіювання.

 Отримано експериментальні дані з часовою роздільністю та здійснено

теоретичний опис асиметрії індикатриси стоксової компоненти ВКР під впливом

стокс-антистоксових параметричних процесів.

22

Практичне значення одержаних результатів. Результати проведених

досліджень визначають фізичні механізми, які зумовлюють спектральний склад

лазерного випромінювання та ВКР у керівських рідинах з урахування динаміки

фокальної ділянки самофокусування, а також, особливість взаємозв’язку

параметрів лазерних імпульсів наносекундного діапазону з індикатрисою

розсіювання світла. Робота має важливе наукове значення для розвитку фізичних

засад нелінійної оптики, лазерної фізики та квантової радіофізики.

Результати роботи є основою прикладних застосувань та розвитку лазерних

технологій. Практичне значення роботи полягає в наступному:

 Створення джерел надкоротких імпульсів когерентного випромінювання,

побудованих на принципах вимушеного випромінювання черенковського типу та

перехідного ефекту від згустків нелінійної поляризації;

 Побудова свіп-генераторів когерентного випромінювання з динамічною

перебудовою частоти за зміни швидкості фокальної області самофокусування;

 Реалізація трансформерів імпульсів лазерного випромінювання у

послідовність субімпульсів із заданими для кожного субімпульсу тривалістю та

частотою на основі поєднання ВКР, як методу переналаштування частоти

лазерного випромінювання, та самофокусування, як методу просторового

сканування потужними згустками електромагнітного поля з довільною швидкістю

(навіть надсвітлової);

 Удосконалення ВКР-лазерів з керованими характеристиками

випромінювання (переналаштування частоти, покращення параметрів лазерного

випромінювання);

 Розвиток спектроскопії ВКР, оберненого комбінаційного розсіювання та

когерентної антистоксової спектроскопії;

 Розширення методів оптичної спектрометрії на частотно-кутово-просторові

параметри.

Особистий внесок здобувача. Автором особисто створена базова

експериментальна установка для виконання досліджень за темою дисертаційної

роботи, здійснено апгрейд окремих реєструючих приладів, запропоновані та

реалізовані методи просторової фільтрації кутових спектрів і реєстрації локальних

частотно-кутових спектрів ВКР, розроблено фізичні моделі досліджуваних

процесів та принципи теоретичних розрахунків.

23

Усі роботи за переліком публікацій у фахових виданнях [11 - 43] та збірниках

матеріалів і тез доповідей наукових конференцій [44 - 84] автор виконав у

співавторстві з науковим консультантом (Коротков П. А), а також, аспірантами та

студентами кафедри, в яких він був науковим керівником. Усі дослідження

проводилися на факультеті радіофізики, електроніки та комп’ютерних систем. Для

консультацій та порівняльного аналізу залучалися провідні фахівці, зокрема,

Понежа Г. В., з яким автор розпочинав дослідження.

Автор брав головну участь у деталізації задач у межах теми роботи та

безпосередню участь у підготовці та проведенні всіх експериментальних і

теоретичних досліджень, а також, в обробці, порівняльному аналізі та

інтерпретації результатів, які покладено в основу дисертації.

Дисертанту належить основний творчий внесок у підготовку та написання

наукових статей, опублікованих за темою дисертації. Зокрема, ним написані всі

публікації, у яких відображено новизну результатів дисертації, а також здійснено

наукове редагування перед поданням до друку. Роботи [11, 82, 84 ] опубліковані

особисто автором.

Апробація результатів дисертації. Результати оприлюднено на

конференціях [44 - 84]: XV-th International School-Seminar “Spectroscopy of

Molecules and Crystals” (23 - 30 June, 2001, Chernihiv, Ukraine), XVІ-th International

School-Seminar “Spectroscopy of Molecules and Crystals” (25 May - 1 June, 2003,

Sevastopol, Ukraine), III-rd International Young Scientists’ Conference on Applied

Physics (18 - 20 June, 2003, Kyiv, Ukraine), V-th International Conference on Laser and

Fiber-Optical Networks Modeling (19 - 20 September, 2003 Alushta, Ukraine), IV-th

International Young Scientists Conference Problems of Optics & High Technology

Material Science (23 - 26 October, 2003, Kyiv, Ukraine), 8-й Международный

молодежный форум „Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке” (13 - 15 апреля,

2004, Харьков, Украина), IV-th International Young Scientists’ Conference on Applied

Physics (21 - 23 June, 2004, Kyiv, Ukraine), VI-th International Conference on Laser

and Fiber-Optical Networks Modeling (6 - 9 September, 2004, Kharkiv, Ukraine), V-th

International Young Scientists’ Conference on Applied Physics (20-22 June, 2005, Kyiv,

Ukraine), VІI-th International School-Seminar “Spectroscopy of Molecules and

Crystals” (25 - 26 September, 2005, Sevastopol, Ukraine), VI-th International Young

Scientist Conference Problems of Optics and High Tecnology Material Science (27 - 30

October, 2005, Kyiv, Ukraine), I-st International Conference "Electronics and Applied

24

Physics" (24 - 27 November, 2005, Kyiv, Ukraine), VI-th International Young

Scientists’ Conference on Applied Physics (14 - 16 June, 2006, Kyiv, Ukraine), II-nd

International Conference "Electronics and Applied Physics" (11 - 14 October, 2006,

Kyiv, Ukraine), VII-th International Young Scientists’ Conference on Applied Physics

(13 - 15 June, 2007, Kyiv, Ukraine), XVІII-th International School-Seminar

“Spectroscopy of Molecules and Crystals” (20 - 27 September, 2007, Beregove, Crimea,

Ukraine), VIII-th International Young Scientists’ Conference on Applied Physics (11 -

13 June, 2008, Kyiv, Ukraine), IX-th International Young Scientists’ Conference on

Applied Physics (17 - 20 June, 2009, Kyiv, Ukraine), V-th International Conference

“Electronics and Applied Physics“ (21 - 24 October, 2009, Kyiv, Ukraine), X-th

International Young Scientists’ Conference on Applied Physics (16 - 19 June, 2010,

Kyiv, Ukraine), VI-th International Conference “Electronics and Applied Physics“ (20-

23 October, 2010, Kyiv, Ukraine), XI-th International Young Scientists’ Conference on

Applied Physics (15 - 18 June, 2011, Kyiv, Ukraine), VII-th International Conference

“Electronics and Applied Physics“ (19 - 22 October, 2011, Kyiv, Ukraine), XX-th

International School-Seminar of Galyna Puchkovska “Spectroscopy of Molecules and

Crystals” (20 - 27 September, 2011, Beregove, Crimea, Ukraine), XII-th International

Young Scientists’ Conference on Applied Physics (23 - 26 May, 2012, Kyiv, Ukraine),

VIII-the International Conference “Electronics and Applied Physics” (24 - 27 October,

2012, Kyiv, Ukraine), II-nd International Workshop “Nonlinear Photonics” (10 - 11

September, 2013, Sudak, Crimea, Ukraine), XXI-th Galyna Puchkovska International

School-Seminar “Spectroscopy of Molecules and Crystals” (22 -29 Sept., 2013,

Beregove, Crimea, Ukraine), IX-th International Conference “Electronics and Applied

Physics” (23-26 October, 2013, Kyiv, Ukraine), XIV-th International Young Scientists’

Conference on Applied Physics (11 - 14 June, 2014, Kyiv, Ukraine), X-th International

Conference “Electronics and Applied Physics” (22 - 25 Oct., 2014, Kyiv, Ukraine).

Публікації. Результати дисертації опубліковані в 33 статтях у періодичних

фахових виданнях [11 - 43] та 36 збірниках реферованих наукових праць і 5 тез

доповідей конференцій [44 - 84].

Структура та обсяг дисертації. Робота складається з вступу, семи розділів

основного тексту з 133 рисунками, висновків, списку використаних джерел із 202

найменувань. Повний обсяг дисертації складає 343 сторінки, з яких список

умовних позначень займає 5 сторінок, а список використаних джерел 24 сторінки

ВИСНОВКИ

Застосованекомплексневикористанняметодівреєстраціїчастотних

кутовихчастотнокутовихпросторовокутовихчастотнопросторових

спектрівдлядосягненнязагальноїметидослідженьіпорівнянняз

теоретичнимирозрахункамиЗадопомогоюцихметодівзагаломвирішена

проблемаекспериментальнихдослідженьдинамікисамофокусуваннятаїї

впливуначастотнокутовіспектриВКРуздовжтрасипроходження

збуджуючоголазерногоімпульсу

Узагальненоіснуючітеоретичнітаекспериментальнірезультатищо

стосуютьсярозташуванняшвидкостітаприскоренняфокальноїточки

самофокусуваннялазерноговипромінюваннявкерівськихрідинаху

наносекундномудіапазонітривалостейлазернихімпульсів

ВрахованийвпливгруповоїшвидкостілазернихімпульсівПоказанощо

швидкістьфокальноїточкизмінюєтьсявід



до



убезінерційному

середовищіПротенавиходікюветишвидкістьфокальноїточкиблизькадо

груповоїшвидкостісвітладещоперевищуєгруповушвидкістьнафронті

імпульсутаменшанаспадіЗамінімальноївідстанісамофокусування

швидкістьфокальноїточкиєнульовоюПрискоренняфокальноїточкина

виходідовгихкюветможебутипрактичновідсутнімалезамінімальної

фокальноївідстанінабуваєфіксованогопозитивногозначення

РезультатидослідженьдаютьзмогупрогнозуватиефективністьВКРза

трасоюпроходженнялазерноговипромінюваннячерезкерівськесередовище

Доведенощорухфокальноїобластівсамофокусуючихрідких

середовищахбезпосередньосампособівпливаєначастотувипромінювання

параметричнихкомпонентВКРЗміщеннячастотиантистоксовоїкомпоненти

відноснокомбінаційногорезонансуобумовлененеобхідністювиконанняумови

змішаногоамплітуднофазовогосинхронізмузаякогофазовеузгодження

хвильполяінелінійноїполяризаціїреалізуєтьсявоколіточкимаксимальної

амплітудиполяризаціїщопереміщуєтьсяразомзфокальноюобластю



Отриманіаналітичнівиразищоописуютьчастотнокутовугустинуенергії

антистоксовоїкомпонентиВКРзарівномірногорухуфокальноїобластіз

використанняммодельнихуявленьпророзподіламплітудитафазинаведеноїу

фокальнійобластінелінійноїполяризації

Числовимиметодамирозрахованіспектриантистоксовоїкомпонентидля

типовихекспериментальнихумовзбудженняВКРгігантськимиімпульсами

Результатирозрахунківзбігаютьсязекспериментальнимиданимивтомущо

параметричнікомпонентиВКРвумовахсамофокусуваннязбуджуючого

випромінюваннярозширеніпереважновдовгохвильовийстоксівбік

Експериментальновиявленощозафазовоїсамомодуляціїлазерних

імпульсівнаносекундногодіапазонувнаслідокквазістаціонарного

самофокусуваннясамеперехіднийефектнововведенепоняттяє

відповідальнимзапородженняновихспектральнихкомпонентзміщенихдо

сотеньоберненихсантиметрівтапереважновстоксівбіквідносночастоти

збуджуючоголазерноговипромінюванняПерехіднийефектполягаєвтомущо

заперетинуфокальноюобластювихідноїмежісередовищаз’являються

максимальнозміщеніспектральнікомпоненти

Незважаючинаможливесуттєвечастотнерозширеннялазернихімпульсів

засамофокусуваннянайбільшаспектральнагустинаенергіїприпадаєна

незміщенучастоту

Звикористаннятеоретичногоописутарозрахунківвизначенічасовіта

енергетичніхарактеристикивипромінюваннящопороджуєтьсявнаслідок

перехідногоефектуДосягненозадовільнеузгодженнязекспериментальними

даними

Встановленовзаємнийвплившвидкостірухуфокальноїточки

самофокусуваннятафазовоїсамомодуляціїначастотнокутовіспектри

випромінюванняпараметричноїантистоксовоїкомпонентиВКР

Поясненоутворенняпротяжнихантистоксовихчастотнокутовихсмуг

ВКРУвипадкузбіганняшвидкостіфокальноїточкисамофокусуванняз

фазовоюшвидкістюнелінійноїполяризаціїнаантистоксовійкомбінаційній



частотітафазовоюшвидкістюрозсіяногоосьовоговипромінювання

утворюютьсянайінтенсивнішічастотнокутовісмугиякіописуються

співвідношеннямихарактернимидлячеренковськоговипромінювання

Зокремазазбудженнянаносекунднимилазернимиімпульсамивтолуолітакі

смугисягаютьдовжиниблизькосм

відноснокомбінаційноїантистоксової

частотиустоксівбік

Впершеотриманіекспериментальніданізчасовоюроздільністюта

здійсненотеоретичнийописасиметріїіндикатрисистоксовоїкомпонентиВКР

підвпливомстоксантистоксовихпараметричнихпроцесів

Стоксантистоксовийпараметричнийпроцесзабезпечуєдодаткове

надходженняфотонівупобіжнустоксовукомпонентуВКРЦейнадлишок

фотонівупорівняннііззустрічноюстоксовоюкомпонентоюуподальшому

поширенніхвильуздовжсередовищазростаєзакомбінаційниммеханізмом

вимушеногорозсіянняТакимчиномвконкуренціїпроцесівгенераціїпобіжної

ізустрічноїстоксовихкомпонентсуттєвуперевагунабуваєпроцеспобіжного

ВКР

Досягненозадовільнеузгодженнятеоретичнихрозрахунківі

експериментальнихданихдлябензолупризбудженнілазернимиімпульсами

тривалістюнснадовжиніхвилінм

Теоретичнодоведенощочастотнокутоваструктурапараметричних

компонентвимушеногокомбінаційногорозсіянняврежимісамофокусування

збуджуючоговипромінюваннятарелаксаційнихчасовихколиваньамплітуди

нелінійноїполяризаціїмаєсвоїособливостімаксимуменергіївипромінювання

зміщуєтьсящодокомбінаційнихчастотіцейзсувзалежитьвідкута

розсіювання

Найбільшийстоксовийзсувблизькосм–

максимумуенергіївспектрі

параметричнихкомпонентякіреєструютьсязточкизупинкифокальної

областівідповідаєосьовомувипромінюваннютавизначаєтьсярозміром

фокальноїобластічасоміснуванняполяризаціїтанеузгодженістюхвильових

векторівполяризаціїіпараметричнихкомпонент



Отриманооцінкивпливуфазовоїсамомодуляціїнавипромінюваннявразі

релаксаційнихколиваньякіпоказуютьщоцейвпливнезначнийЕфект

трактуєтьсязточкизорукороткочасногофазовогосинхронізму

Експериментальнотатеоретичнопоказанаможливістьвикористання

самофокусуючихорганічнихречовиндляствореннявисокоефективних

перетворювачівлазерноговипромінюваннянаосновівимушеного

комбінаційногорозсіювання

Запропонованітаапробованіоптичнісхемиможутьвикористовуватисядля

генераціїініціюючихсубнаносекунднихстоксовихімпульсіввнаслідок

динамікисамофокусуванняідлякомпресіїгігантськихімпульсів

багатомодовоголазераздесятикратнимизбільшеннямиінтенсивностіна

зміщенійчастотістоксовоїкомпонентиВКР