ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Ազիզբեկյան Հրայր Հրանտի

# ԼԱՆԴԱՈՒ-ԶԵՆԵՐԻ ԵՎ ԴԵՄԿՈՎ-ԿՈՒՆԻԿԵԻ ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ԵՐԿՎԻՃԱԿ ՄՈԴԵԼՆԵՐԸ

Ա.04.21 - «Լազերային ֆիզիկա» մասնագիտությամբ
ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

**ՍԵՂՄԱԳԻՐ**

ԵՐԵՎԱՆ – 2017

---

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Азизбекян Грайр Грантович**

# НЕЛИНЕЙНЫЕ ДВУХУРОВНЕВЫЕ МОДЕЛИ ЛАНДАУ-ЗИНЕРА И ДЕМКОВА-КУНИКЕ

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.21 – “Лазерная физика”

ЕРЕВАН - 2017

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ «Մաշտոց» Ճարտարագիտական Կենտրոնում:

| | |
|---|---|
| Գիտական ղեկավար՝ | ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ<br>Ա. Մ. Իշխանյան |
| Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ | ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր<br>Ռ. Ս. Հակոբյան<br>ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր<br>Վ. Մ. Ռեդկով |
| Առաջատար կազմակերպություն՝ | Երևանի պետական համալսարան |

Պաշտպանությունը կայանալու է 2017թ. մարտի 11-ին ժամը 12.00-ին Երևանի պետական համալսարանում գործող ԲՈՀ-ի 049 ֆիզիկայի մասնագիտական խորհրդի նիստում: Հասցե՝ 0025, Երևան, Ա. Մանուկյան 1:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված է 2017թ. փետրվարի 9-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար՝
ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու, դոցենտ Վ. Պ. Քալանթարյան

---

Тема диссертации утверждена в Инженерном Центре «Маштоц» НАН РА.

| | |
|---|---|
| Научный руководитель: | доктор физ.-мат. наук, член-корр. НАН РА<br>А. М. Ишханян |
| Официальные оппоненты: | доктор физ.-мат. наук, профессор<br>Р. С. Акопян<br>доктор физ.-мат. наук, профессор<br>В. М. Редьков |
| Ведущая организация: | Ереванский государственный университет |

Защита диссертации состоится 11 марта 2017г. в 12.00 часов, на заседании специализированного совета ВАК 049 по физике при Ереванском государственном университете по адресу: 0025, Ереван, ул. А. Манукяна 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.
Автореферат разослан 9 февраля 2017г.

Ученый секретарь специализированного совета:
кандидат физ.-мат. наук, доцент В. П. Калантарян

## ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

**Թեմայի արդիականություն.**

Ոչգծային երկվիճակ համակարգերի ուսումնասիրությունը հանդիսանում է ոչգծային ֆիզիկայի կարևոր խնդիրներից մեկը: Այդպիսի համակարգերի մոդելներով են առաջին մոտավորությամբ նկարագրվում բազմաթիվ ֆիզիկական երևույթներ, այդ թվում՝ երկրորդ հարմոնիկի գեներացիան (ԵՀԳ) ոչգծային օպտիկայում և ժամանակակից ֆիզիկայի արագ զարգացող ուղղություններից մեկի՝ արտաքին էլեկտրամագնիսական դաշտերով սառնատոմական, նոսր այլասերված քվանտային գազերում մոլեկուլների ձևավորման, դինամիկան:

Չնայած երկարատև ուսումնասիրությունների և բազմաթիվ աշխատությունների առկայությանը, ոչգծային երկվիճակ խնդրի առաջարկված լուծումները որպես կանոն սահմանափակվում էին խնդրի պարամետրերի նեղ շրջանակներով, և գոյություն չուներ պարամետրերի ողջ տիրույթի համար կիրառելի, ընդհանուր անալիտիկ լուծման համակարգված մոտեցում:

Ատենախոսության մեջ ստացվել են արդյունքներ քառակուսային ոչ գծային օպտիկական միջավայրերում լազերային ճառագայթի ԵՀԳ-ի հետ առնչվող մի քանի սկզբունքային հարցերում: Միջավայրի երկու դասական մոդելային կոնֆիգուրացիաների համար կառուցվել է համակարգի վարքը մանրամասնորեն նկարագրող պարփակ տեսություն, և փոխակերպման գործակցի համար ստացվել են բարձր ճշգրտության անալիտիկ արտահայտություններ: Կոնֆիգուրացիաներից մեկը սահմանվում է որպես անվերջ, հաստատուն ոչ-գծայնությամբ միջավայր և ֆունդամենտալ մոդի տարածման ուղղությամբ գծայնորեն փոփոխվող փուլային անհամաձայնություն՝ գծային չիրպ (ԵՀԳ-ի Լանդաու-Զեների մոդել), իսկ մյուսը ենթադրում է ոչ-գծայնության զանգակաձև լոկալիզացիա և արժեքների վերջավոր տիրույթում իրականացվող չիրպ (ԵՀԳ-ի Դեմկով-Կունիկեի մոդել): Ստացված արդյունքները հնարավորություն են ընձեռում մեծ ճշգրտությամբ նկարագրելու ոչգծային միջավայրերում ԵՀԳ-ի տարածական դինամիկան՝ ռեզոնանսի տիրույթում գծային, սակայն ընդհանրապես՝ վերջավոր, չիրպի ժամանակ:

Մակարդակների հատմամբ ոչ գծային խնդիրների լուծման պահանջարկն աճում է գիտական արդյունքների առևտրայնացմանը զուգընթաց, ինչն արդի պայմաններում հասնում է զգալի մասշտաբների: Խնդրի լուծման կիրառվող հիմնական մեթոդներից են թվային հաշվարկները, որոնք երբեմն լինում են խիստ ռեսուրսա- և ժամանակատար: Մշակված մոտավոր մոտեցումներն ու մեթոդները

կարող են հիմք հանդիսանալ այդ խնդրիների լուծումների շատ ավելի արագ ստացման համար: Դրանից զատ, առաջարկվող լուծումները, լինելով անալիտիկ, թույլ են տալիս վերլուծել երևույթների ընդհանուր բնութագրերը և կատարել որակական կանխատեսումներ, ինչը թույլ է տալիս կատարել պրոցեսների հաշվարկման օպտիմիզացիա և կատարելագործում:

Աշխատանքն ունի հիմնարար հետազոտական նշանակություն, քանի որ մշակված մեթոդը և ստացված արդյունքները կիրառելի են միջավայրի այլ կոնֆիգուրացիաների և այլ նմանատիպ խնդիրների լուծման համար:

<u>Ատենախոսության նպատակը.</u>

- Երկրորդ հարմոնիկի գեներացիայի պրոցեսը նկարագրող քառակուսային-ոչգծային երկվիճակ խնդրի մոտավոր անալիտիկ լուծման ընդհանուր, համակարգված մեթոդի մշակում՝ փոխակերպման գործակցի տարածական դինամիկան նկարագրելու համար:
- ԵՀԳ-ի փոխակերպման գործակցի տարածական վարքի հիմնական ոչգծային որակական հատկանիշների բացահայտում՝ կամայական օպտիկական ընկալունակության և ճառագայթման փուլային անհամաձայնության՝ռեզոնանսը հատող կոնֆիգուրացիաների դեպքում:
- ԵՀԳ-ի փոխակերպման գործակցի տարածական բաշխման ամբողջական անալիտիկ նկարագրություն՝ օպտիկական ընկալունակության և ճառագայթման փուլային անհամաձայնության հիմնարար-բնութագրական Լանդաու-Զեների կոնֆիգուրացիայի դեպքում:
- ԵՀԳ-ի փոխակերպման գործակցի տարածական դինամիկայի նկարագրություն՝ փորձարարորեն իրականացնելի՝ զանգակաձև փոփոխվող ոչ-գծայնությամբ միջավայրում՝ ռեզոնանսի հատման քվազի-գծային, բայց արժիքների վերջավոր տիրույթում իրականացվող չիրպի դեպքում (Դեմկով-Կունիկեի մոդել):

<u>Գիտական նորույթը.</u>

- Լանդաու-Զեների քառակուսային-ոչգծային մոդելի համար, երբ համասեռ ոչգծային ընկալունակությունմբ անվերջ միջավայրերում իրականացվում է փուլային անհամաձայնութան գծային տարածական չիրպ, կառուցվել է երկրորդ հարմոնիկի մոդի ինտենսիվության տարածական դինամիկան բարձր ճշգրտությամբ նկարագրող անալիտիկ տեսություն:
- Ցույց է տրվել, որ Լանդաու-Զեների մոդելի դեպքում փոխակերպման գործակցի աճը հիմնականում բնութագրվում է մի էապես ոչ գծային առաջին

կարգի դիֆերենցիալ հավասարմամբ, մինչդեռ ռեզոնանսի հատմից հետո առաջացող՝ մոդերի ինտենսիվությունների մարող տատանումները նկարագրվում են մի նմանակ գծային խնդրի լուծմամբ:

- Դեմկով-Կունիկեի ոչգծային մոդելին համապատասխանող՝ զանգակաձև փոփոխվող ոչգծայնությամբ և ռեզոնանսի հատման վերջավոր չիրպով կոնֆիգուրացիայի համար ստացվել է փոխակերպման գործակցի տարածական դինամիկան նկարագրող անզաց՝ բաղկացած երեք մասշտաբավորման պարամետր պարունակող երկու գումարելիներից:
- Բացահայտվել է, որ ԵՀԳ-ի Դեմկով-Կունիկեի մոդելի՝ փուլային անհամաձայնության մեծ վերջնական արժեքների ռեժիմում փոխակերպման գործակցի տարածական դինամիկան ունի երեք հստակ արտահայտված վարքային ռեժիմ՝ համապատասխանող թույլ, միջին ուժգնության և ուժեղ ոչգծայնություններին:

<u>Կիրառական նշանակությունը.</u>

Աշխատանքում առաջարկված մոտեցումներն ու մշակված մոդելներն ունեն լայն կիրառելիություն քանի որ դիտարկվող քառակուսային-ոչգծային երկվիճակ խնդրի մաթեմատիկական տեսքը և բուն կոնֆիգուրացիոն մոդելներն առաջ են գալիս բազմաթիվ ֆիզիկական իրավիճակներում: Մասնավորապես, այս հանգամանքը թույլ է տվել սկզբնապես նոսր այլասերված գազերում սառնատոմական ֆոտոասոցիացիայի օրինակի վրա մշակված մոտեցումներն ու ստացված արդյունքները տարածել ԵՀԳ-ի վրա: Մյուս կողմից, հարկ է նշել, որ դիտարկված երկու՝ Լանդաու-Զեների և Դեմկով-Կունիկեի, մոդելներն ունեն հիմնարար-բնութագրական նշանակություն այն առումով, որ համատեղ՝ դրանք վերածածկում են մակարդակների հատմամբ բոլոր մոդելների համար հայտնի ամենահիմնական՝ ընդհանրական ու հատկանշական, ռեժիմներն ու բնութագրական հատկությունները: Լանդաու-Զեների մոդելը կենտրոնանում է ռեզոնանսի հատման բուն պրոցեսի և ապա, հաջորդիվ՝ սեպարատրիսի հատման հարցերի վրա, իսկ Դեմկով-Կունիկեի մոդելն ի ցույց է հանում համակարգի վարքի ուժեղ ու թույլ տատանողական ռեժիմները: Հետևաբար, այս երկու մոդելները միասին կարող են բազիս հանդիսանալ մակարդակների հատմամբ զանազան այլ մոդելների և ոչգծայնության այլ տեսքերի դեպքում որակական և քանակական արդյունքների ստացման համար:

Երկվիճակ խնդրի դիտարկված բազային ոչգծային մոդելի առաջադրված անալիտիկ լուծումները, կարող են կիրառվել պրակտիկ նպատակներով՝ արագ և մեծ ճշգրտությամբ հաշվարկներ և պրոցեսների ու սարքերի անալիտիկ

օպտիմիզացիա կատարելու համար, ինչը թույլ չեն տալիս մինչ այժմ հայտնի ստանդարտ նախագծման մեթոդները, որոնք որպես կանոն հիմնականում թվային հաշվարկների վրա հիմնված ծրագրային փաթեթներ են: Մասնավորապես, մշակված լուծումներն ու մոտավորությունները կարող են օգտագործվել ոչ գծային հաճախային փոխակերպիչների, այդ թվում հաճախականության կրկնապատկիչների օպտիմալ նախագծման համար, ներառյալ ոչ գծային բյուրեղի և դրա չափերի ընտրության, լավագույն փուլային համաձայնեցման կոնֆիգուրացիայի և հետադարձ շտկմամբ ուժեղացման ռեզոնատորի նախագծման համար:

**<u>Պաշտպանության ենթակա հիմնադրույթները.</u>**

- Քառակուսային ոչգծային երկվիճակ խնդրի՝ Լանդաու-Զեների մոդելի շրջանակներում, ֆիզիկական համակարգի դինամիկան բարձր ճշգրտությամբ նկարագրող, Լանդաու-Զեների մուտքային պարամետրի բոլոր արժեքների համար կիրառելի, ամփոփ անալիտիկ տեսությունը:
- ԵՀԳ-ի՝ Լանդաու-Զեներյան կոնֆիգուրացիայի դեպքում փոխակերպման գործակցի աճի՝ հիմնականում մի էապես ոչ գծային առաջին կարգի դիֆերենցիալ հավասարմամբ բնութագրման, և ռեզոնանսի հատումից հետո առաջացող՝ մոդերի ինտենսիվությունների մարող տատանումների՝ մի նմանակ գծային խնդրի լուծմամբ նկարագրման բացահայտումը:
- Քառակուսային ոչգծային երկվիճակ խնդրի՝ Դեմկով-Կունիկեի առաջին կոնֆիգուրացիայի դեպքում համակարգի տարածական դինամիկան մանրամասնորեն նկարագրող՝ երեք վարիացիոն պարամետր պարունակող երկու գումարելիներից բաղկացած անզացը:
- ԵՀԳ-ի՝ ոչգծային Դեմկով-Կունիկեի մոդելի շրջանակներում, փուլային անհամաձայնության մեծ վերջնական արժեքների դեպքում փոխակերպման գործակցի տարածական դինամիկայի թույլ, միջանկյալ և ուժեղ ոչգծայնությունների երեք հստակ արտահայտված վարքային ռեժիմների բացահայտումը:

**<u>Ատենախոսության հիմնադրույթների փորձարկումը.</u>**

Ատենախոսության հիմնադրույթները ներկայացվել և քննարկվել են ՀՀ ԳԱԱ «Մաշտոց» Ճարտարագիտական Կենտրոնի Ատոմական Օպտիկայի բաժնի (2006-2007 թթ.), ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական Հետազոտությունների Ինստիտուտի Ճարտարագիտա-Ֆիզիկական լաբորատորիայի (2007-2010 թթ.), Մեցի Համալսարանի Մոլեկուլային Ֆիզիկայի և Բախումների լաբորատորիայի (2007-2010 թթ.), Բուրգունդիայի Համալսարանի Կառնոյի Ինստիտուտի (2008 թ.),

Մոսկվայի Ֆիզիկատեխնիկական Ինստիտուտի Տեսական Ֆիզիկայի ամբիոնի սեմինարներին (2007-2009 թթ.), ինչպես նաև զեկուցվել «Laser Physics – 2008, 2009, 2010, 2012, 2013» (Աշտարակ, ՀՀ, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013), «International Advanced Research Workshop Modern Problems in Optics and Photonics» (Երևան, ՀՀ, 2009), «52-я научная конференция МФТИ» (Դոլգոպրուդնի, ՌԴ, 2009), «Control of Quantum Dynamics of Atoms, Molecules and Ensembles by Light VI», (Վառնա, Բուլղարիա, 2010), 4th International Symposium "Optics & its Applications» (Երևան-Աշտարակ, 2016) գիտաժողովներում:

**Տպագրված աշխատանքները.** Ատենախոսության թեմայով տպագրվել է 4 գիտական հոդված ամսագրերում, գիտաժողովների 3 հոդված և 2 թեզիս, որոնց ցուցակը բերված է սեղմագրի վերջնամասում:

**Կառուցվածքը և ծավալը.** Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք գլուխներից, ամփոփումից, երկու հավելվածներից և գրականության ցանկից: Ատենախոսության ընդհանուր ծավալը կազմում է 106 էջ, ներառյալ 34 նկարները, 1 աղյուսակը և գրականության ցանկը (109 հղում):

## Ատենախոսության համառոտ բովանդակությունը

***Ներածության*** մեջ ներկայացվում են ատենախոսության թեմայի արդիականությունը, աշխատանքում ստացված արդյունքների գիտական նորույթը, պաշտպանության ենթակա հիմնադրույթները, հիմնադրույթների փորձարկումը, ստացված արդյունքների կիրառական նշանակությունը և ատենախոսության համառոտ բովանդակությունը:

***Առաջին գլխում*** դուրս է բերվում ոչգծային օպտիկական միջավայրում երկրորդ հարմոնիկի գեներացիան նկարագրող՝ առաջին կարգի երկու հավասարումների համակարգը՝ համակարգ, որով սահմանվում է քառակուսային ոչգծային երկմակարդակ խնդիրը: Ցույց է տրվում, որ նմանատիպ հավասարումների համակարգ ստացվում է նաև գերսառը նոսրատոմական այլասերված քվանտային գազերում ատոմ-մոլեկուլային փոխակերպումների դինամիկան ուսումնասիրելիս: Նկարագրվում է վերջին երևույթի՝ սառն ատոմների ասոցիացիայի, երկու մեխանիզմ՝ մոլեկուլների ձևավորումը ֆոտոասոցիացիայի և մագնիսական Ֆեշբախ-ռեզոնանսի միջոցով: Տրվում է երկրորդ հարմոնիկի գերներացիայի, ֆոտոասոցիացիայի և Ֆեշբախ ռեզոնանսի խնդրների կանոնական՝ Ջեներյան տեսքի բերման աղյուսակը՝ համապատասխան պարամետրերի սահմանմամբ հանդերձ:

Այնուհետև սահմանվում են դիտարկվող՝ Լանդաու-Զեների և Դեմկով-Կունիկեի, կոնֆիգուրացիոն մոդելները, որոնք լավ ուսումնասիրված են գծային տեսություն դեպքում (ինչպես, օրինակ, ատոմական բախումների կամ լազերային

դաշտում ատոմական դիսկրետ մակարդակների միջև ոչադիաբատ անցումների տեսությունում), և բերվում են այդ մոդելների ֆիզիկական մեկնաբանությունների օրինակներ՝ առանձին իրավիճակներ համար:

1.1 բաժնում ներկայացվում է երկրորդ հարմոնիկի գեներացիան նկարագրող հավասարումների համակարգի դուրսբերումը: Ցույց է տրվում համակարգի մաթեմատիկական տեսքի համարժեքությունը մի բազային ոչգծային երկվիճակ խնդրի, որը կանոնական՝ զեներյան տեսքով ներկայացվում է որպես հետևյալ երկու կապված առաջին կարգի դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգ՝

$$\begin{cases} i\dfrac{da_1}{dt} = U(t)e^{-i\delta(t)}a_2\bar{a}_1\,, \\ i\dfrac{da_2}{dt} = \dfrac{U(t)}{2}e^{i\delta(t)}a_1a_1\,. \end{cases} \tag{1}$$

Այստեղ $a_{1,2}$ կոմպլեքս փոփոխականները համապատասխանաբար առաջին և երկրորդ վիճակի հավանականությունների ամպլիտուդներն են, $\bar{a}_1$-ը $a_1$-ի կոմպլեքս համալուծն է, $t$-ն՝ անկախ փոփոխականը, իսկ $U(t)$-ն և $\delta(t)$-ն կոնֆիգուրացիոն ֆունկցիաներն են: Վիճակների հավանականությունների գումարը համարվում է շարժման նորմավորված ինտեգրալ՝ $|a_1|^2 + 2|a_2|^2 = 1$: Մասնավորապես, ԵԳՀ-ի դեպքում $a_{1,2}$-ը ֆունդամենտալ և երկրորդ հարմոնիկի մոդերի ամպլիտուդներն են, $t$-ն՝ *տարածական* անկախ փոփոխականը, $U(t)$-ն համեմատական է միջավայրի ոչ գծային ընկալունակությանը, $\delta(t)$-ն ալիքների փուլային անհամաձայնությունն է, և $p = |a_2|^2$-ն փոխակերպման գործակիցը:

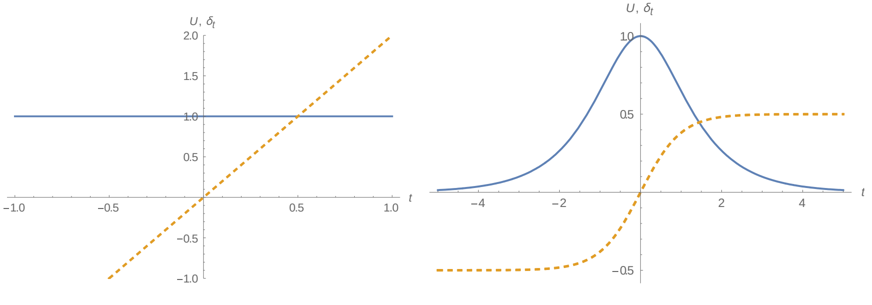
1.2 բաժնում քննարկվում են (1) համակարգի կիրառելիության առանձնահատկությունները և ներկայացվում է մի քանի ֆիզիկական իրավիճակ, որտեղ հանդիպում է նմանատիպ հավասարումների համակարգ: Մասնավորապես, նշվում է, որ այս համակարգով են նկարագրվում սառնատոմական ֆոտոասոցիացիայի և Ֆեշբախ ռեզոնանսի դինամիկան: Ընդ որում, ֆոտոասոցիացիայի դեպքում $a_{1,2}$-ը ատոմական և մոլեկուլային վիճակների հավանականությունների ամպլիտուդներն են, $t$-ն՝ ժամանակը, $U(t)$-ն՝ Ռաբիի հաճախությունը կամ կապի գործակիցը, $\delta(t)$-ն՝ արտաքին լազերային դաշտի հաճախության և անցման հաճախության ապալարքի ինտեգրալն է, իսկ $p = |a_2|^2$-ն՝ մոլեկուլային վիճակի հավանականությունը: Թվարկված եզրույթները սույն աշխատանքում կիրառվում են զուգահեռաբար՝ նախորդ արդյունքների հետ զուգահեռների անցկացման նպատակով:

1.3 բաժնում ներկայացված է *գծային* երկվիճակ խնդիրը և հավասարումների համակարգի լուծումը Գաուսի հիպերերկրաչափական ֆունկցիաների միջոցով:

1.4 բաժնում դուրս է բերվում Վոլտերայի դասի ինտեգրալ հավասարում՝ նախ՝

հաստատուն, այնուհետև՝ կամայական ընկալունակության համար: Այս հավասարումը համարժեք է փոխակերպման գործակցի տարածական դինամիկան բնութագրող դիֆերենցիալ հավասարմանը: Ցույց է տրվում, որ գծային երկվիճակ խնդիրը, շարժման ինտեգրալի ¼ նորմավորմամբ, հանդիսանում է բազային ոչգծային երկվիճակ խնդրի նմանակ:

1.5 բաժնում սահմանվում են տարբեր կոնֆիգուրացիաներ, քննարկվում են ռեզոնանսի հատմամբ կոնֆիգուրացիաները, ներկայացվում են մի քանի բազային մոդելներ, քննարկվում են այդ մոդելների կիրառության ֆիզիկական իրավիճակները: Հիմնավորվում է Լանդաու-Զեների և Դեմկով-Կունիկեի մոդելների հետազոտման կարևորությունը: Այս մոդելներից առաջինը իրենից ներկայացնում է $U(t)=U_0$, $\delta_t(t)=2\delta_0\, t$ կոնֆիգուրացիայի դեպքը [նկ. 1ա)], ինչը համապատասխանում է հաստատուն ոչ գծային ընկալունակությանը և փուլային անհամաձայնության գծային փոփոխությանը անսահման տարածությունում, իսկ երկրորդը՝ $U(t)=U_0 \operatorname{sech}(t/\tau)$, $\delta_t(t)=2\delta_0 \tanh(t/\tau)$, համապատասխանում է տարածության մեջ զանգակաձև տեղաբաշխված ոչ գծային ընկալունակությանը և փուլային անհամաձայնության վերջավոր փոփոխությանը՝ ռեզոնանսի կետի քվազի-գծային հատմամբ [նկ. 1բ)]:




ա) բ)

Նկ. 1 ա) Լանդաու-Զեների մոդելը՝ $U(t)=U_0$, $\delta_t(t)=2\delta_0 t$, բ) Դեմկով-Կունիկեի մոդելը՝ $U(t)=U_0 \operatorname{sech}(t/\tau)$, $\delta_t(t)=2\delta_0 \tanh(t/\tau)$: ԵՀԳ-ի եզրաբանությամբ՝ այստեղ $U(t)$ ֆունկցիան ոչգծային ընկալունակությունն է, իսկ $\delta_t(t)$-ն՝ փուլային անհամաձայնությունը:

***Երկրորդ գլխում*** հետազոտվում է քառակուսային-ոչգծային երկվիճակ խնդիրը Լանդաու-Զեների կոնֆիգուրացիոն մոդելի դեպքում: Ներկայացվում է համապատասխան գծային երկվիճակ խնդրի լուծումը, ապա դիտարկվում են ոչգծային խնդրի թույլ և ուժեղ փոխազդեցության սահմանները: Առաջարկվում է

խնդրի լուծման օրիգինալ մոտեցում՝ հիմնված անցման հավանականության համար դուրս բերված մի ճշգրիտ, երրորդ կարգի ոչգծային հավասարման կիրառման վրա։ Մեթոդի կիրառությամբ կառուցվում են համապատասխան մոտավոր, սակայն բարձր ճշգրտության, լուծումներ երկու ռեժիմների համար։ Դուրս են բերվում բանաձևեր փոխակերպման գործակցի ընթացիկ և վերջնական հավանականության համար: Քննարկրվում են Լանդաու-Զեների մոդելի թերությունները և կիրառելիության սահմանները:

<u>2.1 բաժնում</u> ներկայացվում է Լանդաու-Զեների կոնֆիգուրացիոն մոդելը, ընդգծվում դրա կարևորությունը՝ նախատիպ ծառայելը մակարդակների հատմամբ այլ մոդելների համար: Ամփոփվում են գրականության մեջ հայտնի հետազոտությունները և քննարկվում առկա արդյունքները:

Դիտարկվող մոդելի համար դուրս է բերվում այն հիմնական հավասարումը, որը հիմք է հանդիսանում հետագա ողջ մշակումների համար։ Դա երրորդ կարգի ոչգծային հավասարում է անցման $p$ հավանականության համար՝

$$\left(\frac{d}{dt}-\frac{1}{t}\right)\left(p_{tt}-\frac{\lambda}{2}(1-8p+12p^2)\right)+4t^2p_t=0\,.$$

Այստեղ անցում է կատարված անչափ փոփոխականի՝ $t\to t/\sqrt{\delta_0}$ (ինչպես արդեն վերը նշվել է, անկախ փոփոխականը՝ $t$-ն, այստեղ նշանակում է տարածական փոփոխական, կամ՝ ժամանակային, նայած կոնկրետ դիտարկվող խնդրի), և ներմուծված է Լանդաու-Զեների հայտնի պարամետրը՝ $\lambda=U_0{}^2/\delta_0$:

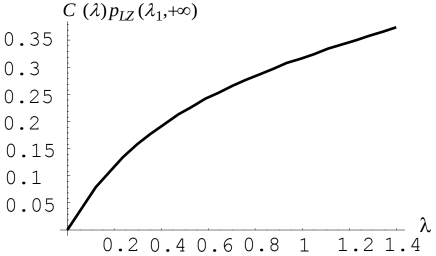
<u>2.2 բաժնում</u> Լանդաու-Զեների մոդելի՝ *թույլ փոխազդեցության սահմանի* համար ($\lambda<<1$) առաջարկվում է խնդրի լուծման ֆունկցիոնալ տեսքի մոտավորություն՝ անզաց, որն իրենից ներկայացնում է ոչգծային խնդրին համապատասխանող՝ Լանդաու-Զեների գծային խնդրի լուծման ձևափոխություն՝ $p_0=C_1p_{LZ}(\lambda_1,t)$, որը ներառում է երկու վարիացիոն պարամետր՝ $C_1$ և $\lambda_1$. Ցույց է տրվում, որ այս պարամետրերի համապատասխան ընտրության դեպքում առաջարկված մոտավորությունը կարող է բավական լավ նկարագրել ճշգրիտ լուծման հիմնական բնութագրերը անկախ փոփոխականի փոփոխման ամբողջ տիրույթում՝ $t\in(-\infty,+\infty)$: Վարիացիոն պարամետրերի օպտիմալ արժեքների որոշման համար կառուցվում են համապատասխան հավասարումներ այն նկատառմամբ, որ հաջորդ մոտավորության հավասարման մեջ առաջ եկող անհամասեռ անդամի ազդեցությունը հնարավորինս նվազեցվի:

Ցույց է տրվում, որ մոտավոր լուծման մասշտաբավորման պարամետրը՝ $C_1(\lambda)$-ն, ինչպես և ակնկալվում էր, մուտքային Լանդաու-Զեների պարամետր $\lambda$-ից կախված դանդաղ, մոնոտոն-աճող ֆունկցիա է [նկ. 2ա)], սակայն սպասումներին հակառակ, Լանդաու-Զեների արդյունարար պարամետրի՝ $\lambda_1$-ի վարքն ամենևին տրիվիալ չէ: $\lambda$-ի աճին զուգընթաց՝ $\lambda_1(\lambda)$-ը սկսում է մոնոտոն

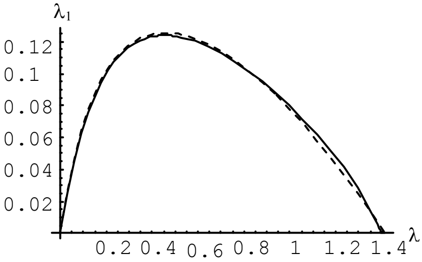
կերպով աճել սկզբնակետից, այնուհետև, հասնելով իր առավելագույն $\lambda_{1max} \approx 0.124$ արժեքին $\lambda \approx 0.454$–ում, սկսում է մոնոտոն կերպով նվազել՝ հասնելով հորիզոնական առանցքին $\lambda \approx \sqrt{2}$ -ում [նկ. 2 բ)]:

Նկ. 3ա-ն ցույց է տալիս, թե որքանով է նշված եղանակով ընտրված պարամետրերով կառուցված լուծումը համընկնում թվային լուծման հետ՝ $0 < \lambda < 0.5$ տիրույթում առաջարկված լուծումը տեսանելի տարբերվում է ճշգրիտ լուծումից միայն անցման հավանականության տատանումների առաջին մի քանի լոկալ էքստրեմումների նեղ մերձակայքում:

2.3 բաժնում հետազոտվում է Լանդաու-Զեների ոչ գծային խնդրի *ուժեղ փոխազդեցության ռեժիմը* [նկ. 3 բ)]: Ցույց է տրվում, որ այս դեպքում մոտավոր լուծման վերը կիրառված համեմատաբար պարզ՝ միանդամ, մոտեցումն այլևս կիրառելի չէ՝ անցման հավանականության հավասարման մեջ առկա երրորդ կարգի ածանցյալի և ոչգծայնության համատեղ հարուցած էական փոփոխությունների պատճառով:

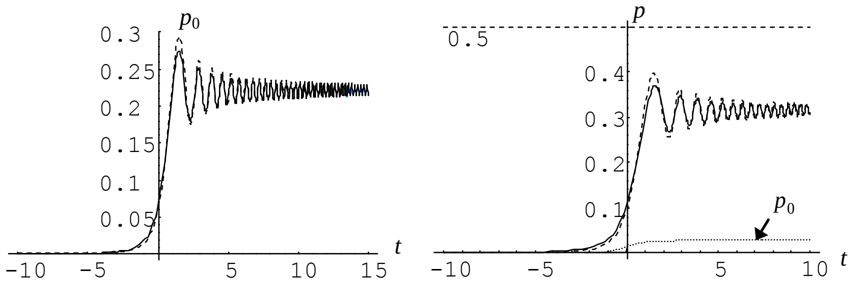



ա)




բ)

Նկ. 2: Լանդաու-Զեների ոչգծային մոդելի թույլ փոխազդեցության սահմանի ($\lambda << 1$) համար առաջարկված լուծման վարիացիոն պարամետրերի կախումը մուտքային Լանդաու-Զեների $\lambda$ պարամետրից՝ ա) մասշտաբավորման պարամետր $C_1$ -ը և բ) արդյունարար Լանդաու-Զեների պարամետր $\lambda_1$ -ը:




ա) բ)

Նկ. 3: Լանդաու-Զեների ոչգծային մոդելի անցման հավանականության ճշգրիտ՝ հոծ գիծ, և մոտավոր՝ կետագիծ, լուծումները՝ ա) թույլ կապի ռեժիմ և բ) ուժեղ փոխազդեցության ռեժիմ: $p_0$ -ն սահմանային հավասարման լուծումն է:

Հայտնի է, որ խնդրի լուծումն այս դեպքում կարելի է նկարագրել ներմուծելով մի երկրորդ անդամ՝ $p_0$, որը հանդիսանում է առաջին կարգի ոչ-գծային մի որոշակի սահմանային հավասարման լուծում: Այս նպատակով նախ դիտարկվում է գերուժեղ փոխազդեցության սահմանային դեպքը ($\lambda \to \infty$): Ապա ցույց է տրվում, որ այդ դեպքում կառավարող հավասարման մեջ երրորդ կարգի ածանցյալի լրիվ անտեսումը հանգեցնում է տարամիտող լուծման: Ուստի, որպես իրավիճակից ելք, նախկինում առաջարկվել էր հավասարման երրորդ կարգի ածանցյալը փոխարինել մի հաստատունով՝ $A$, որը, լինելով խիստ փոքր ($A \sim 1/\lambda$ երբ $\lambda \to \infty$), այնուհանդերձ, հնարավորություն է տալիս, համապատասխան ընտրության դեպքում, հաղթահարել տարամիտման պատճառ հանդիսացող՝ ռեզոնանսի հատման կետի հարուցած խնդիրները: Այդ կերպ ստացված՝ սահմանային առաջին կարգի ոչգծային դիֆերենցիալ հավասարման լուծումը տրվում է մի չորրորդ կարգի բազմանդամային հավասարման արմատով: Այս սահմանային լուծման և գծային խնդրի մասշտաբավորված ու $\lambda_1$ արդյունարար պարամետրով լուծման կոմբինացման միջոցով առաջադրվել էր ոչգծային խնդրի լուծման երկանդամ անզաց, որը, պարզվում է, լավ աշխատում է Լանդաու-Զեների մուտքային $\lambda$ պարամետրի փոփոխության ողջ տիրույթում:

Նկարագրված մոտեցումը ներկա աշխատանքում էապես կատարելագործվում է՝ մշակվում են առաջ եկող վարիացիոն պարամետրերի որոշման արդյունավետ թվային և անալիտիկ մեթոդներ: Որոշվում են անզացում ներգրավված գծային լուծման երկու պարամետրերի կախվածությունները սահմանային լուծման վարիացիոն $A$ պարամետրից: Այդ նպատակով դիտարկվում է ստարտային երրորդ կարգի հավասարման մեջ տվյալ լուծման

առաջացրած մնացորդը և իրականացվում է այդ մնացորդի մինիմիզացիա $t=+\infty$ և ռեզոնանսի հատման $t=0$ կետերում: Արդյունքում ստացվում են բանաձևեր, որոնք ապահովում են բարձր ճշգրտության մոտավորություն խնդրի լուծման համար: Անցման վերջնական հավանականությունը այսկերպ որոշվում է առավելագույնը $10^{-4}$ -ի կարգի բացարձակ սխալի ճշգրտությամբ:

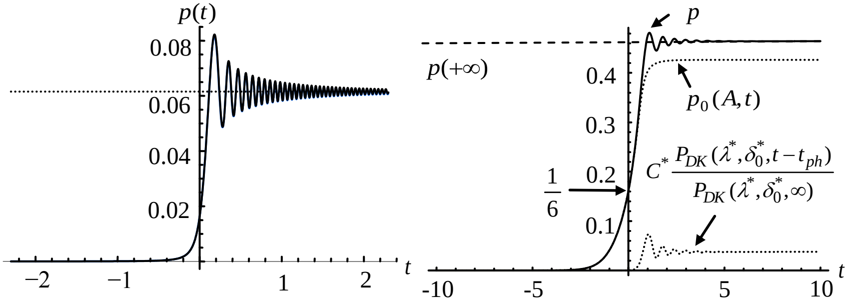
***Երրորդ գլխում*** զարգացվում է նախորդ գլխում մշակված մոտեցումը ԵՀԳ-ի՝ Դեմկով-Կունիկեի մոդելի՝ զանգակաձև փոփոխվող ոչգծայնությամբ և ռեզոնանսի հատման վերջավոր չիրպով կոնֆիգուրացիայի համար՝ $\{U=U_0\mathrm{sech}(t)\,,\delta_t=2\delta_0\tanh(t)\}$: Խնդիրը նախ դիտարկվում է ֆոտոասոցիացիայի ֆորմալիզմի շրջանակներում, այնուհետև արդյունքները դիտարկվում են երկրորդ հարմոնիկի գեներացիայի տեսանկյունից: Դիտարկվում են ԵՀԳ-ի նախ թույլ, ապա ուժեղ ոչգծայնության ռեժիմները:

<u>3.1 բաժնում</u> ներկայացվում է Դեմկով-Կունիկեի կոնֆիգուրացիայի ֆիզիկական բնույթը, քննարկվում դրա առավելությունը Լանդաու-Զեների մոդելի համեմատ, և հակիրճ ամփոփվում են մինչ այժմ կատարված ուսումնասիրությունները: Ներկայացվում է գծային երկվիճակ խնդրի լուծումը այս մոդելի համար, բերվում են փոխակերպման գործակցի ընթացիկ և վերջնական հավանականության բանաձևերը:

<u>3.2 բաժնում</u> դիտարկվում է Դեմկով–Կունիկեի ոչգծային խնդիրը միջավայրի թույլ ոչ գծայնության ռեժիմում՝ ($U_0 \ll 1$, $\forall\delta_0$) կամ ($U_0>1$, $\delta_0 \gg U_0$) և առաջարկվում է երկրորդ հարմոնիկի ձևավորման տարածական դինամիկան նկարագրող մոտավորություն՝ որն իրենից ներկայացնում է համապատասխան գծային խնդրի որոշակի արդյունարար պարամետրերով մասշտաբավորված լուծում՝ $p_0=C^* p_L(U_0^*,\delta_0^*,t)/p_L(U_0^*,\delta_0^*,+\infty)$ [նկ. 4 ա)]:

Ենթադրելով, որ այս ռեժիմում գծային խնդրի լուծման մեջ ներառված պարամետրերը չեն փոփոխվում՝ մասշտաբավորման պարամետրի համար ստացվում է անալիտիկ արտահայտություն: Դուրս է բերվում թույլ փոխազդեցության տիրույթում երկրորդ հարմոնիիկի փոխակերպման գործակցի վերջնական արժեքի համար բանաձև, որը զգալիորեն կատարելագործում է մինչ այդ ստացված մոտավորությունը:

<u>3.3 բաժնում</u> վերլուծվում է ուժեղ ոչգծայնության սահմանի՝ ռեզոնանսի արագ անցման ռեժիմը, որը բնութագրվում է ոչգծայնության զազաթնային բավական բարձր արժեքով և ռեզոնանսի՝ բավական կարճ տիրույթում հատմամբ: Փոխակերպման նշված ռեժիմում հարմոնիկի կազմավորման տարածական դինամիկայի նկարագրման համար կառուցվում է մեծ ճշգրտության անզաց՝ $p=p_0(A,t)+C^*P_{DK}(\lambda^*,\delta_0^*,t-t_{ph})/P_{DK}(\lambda^*,\delta_0^*,\infty)$ :




ա) բ)

Նկ.4: Դեմկով-Կունիկեի ոչգծային մոդելի դեպքում անցման հավանականության ճշգրիտ՝ հոծ գիծ, և մոտավոր լուծումն իր բաղադրիչներով՝ ա) թույլ կապի ռեժիմում և բ) ուժեղ փոխազդեցության ռեժիմում:

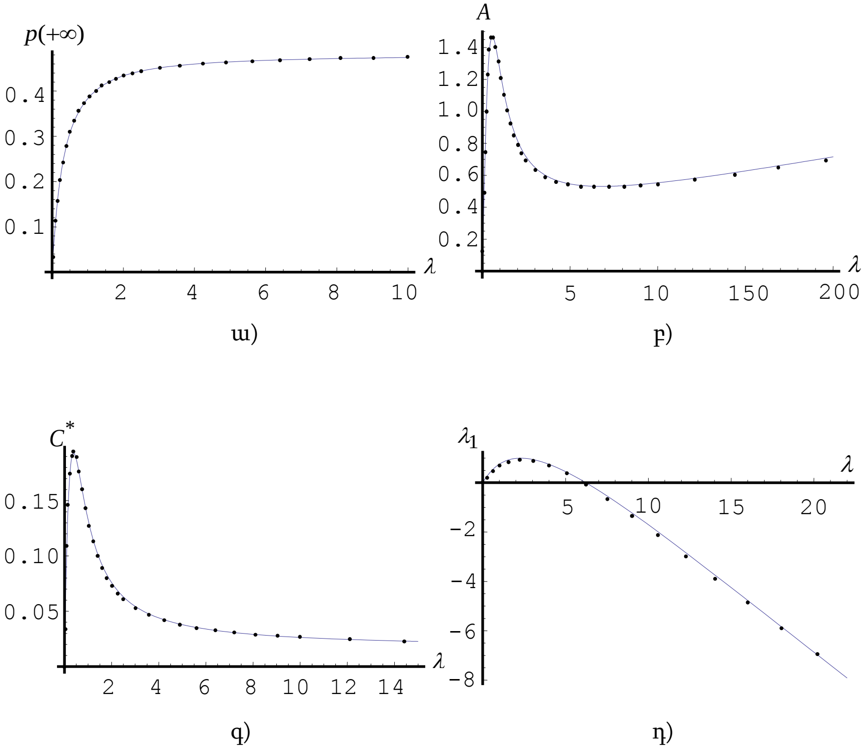
Ցույց է տրվում, որ երկրորդ հարմոնիկի գեներացիայի ընթացքում փոխակերպման գործակցի վերջնական արժեքի համար կառուցված մոտավորության բացարձակ սխալանքը փոքր է $3 \cdot 10^{-6}$-ից, իսկ տարածության որոշ, մի քանի փոքր տիրույթների համար մոտավորության սխալը կարող է աճել մինչև $10^{-3}$: Դիտարկելով կառուցված մոտավորության տարբեր գումարելիների դերը՝ ապացուցվել է, որ ուժեղ ոչգծայնության սահմանի՝ ռեզոնանսի արագ հատման ռեժիմում հարմոնիկի գեներացիայի տարածական դինամիկան բաղկացած է մի ոչ գծային հավասարմամբ ղեկավարվող ռեզոնանսի անցման պրոցեսից, որն այնուհետև շարունակվում է մոդերի ինտենսիվությունների կոհերենտ տատանումներով, որոնք հիմնականում նկարագրվում են հիմնական ոչ գծային խնդրի համալուծ գծային խնդրի լուծմամբ [նկ. 4 բ)]:

<u>3.4 բաժնում</u> ցույց է տրվում թվային հաշվարկի վրա հիմնված վարիացիոն պարամետրերի փնտրման մեթոդը: Ներկայացվում են այդ մեթոդով ստացված ֆունկցիոնալ արտահայտությունները՝ վարիացիոն պարամետրերի թվային արժեքների՝ Գաուսի հիպերերկրաչափական ֆունկցիաներով մոտարկման արդյունքում [նկ. 5 ա)-դ)]: Բերված արտահայտությունները հանդիսանում են Դեմկով-Կունիկեի մոդելի պարփակ նկարագրության ամփոփ ներկայացում:

***Հավելված 1-ում*** դուրս է բերվում երկրորդ հարմոնիկի գեներացիան նկարագրող հավասարումների համակարգը:

***Հավելված 2-ում*** ցույց են տրված 2.29 հավասարման դուրս բերման մանրամասները

***Եզրակացության*** մեջ ամփոփվում են ատենախոսության արդյունքները:




Նկ. 5։ ա) Դեմկով-Կունիկեի ոչգծային մոդելի դեպքում փոխակերպման գործակցի վերջնական արժեքը, բ)-դ) մոտավոր լուծման վարիացիոն պարամետրերի տեսքերը։

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները.

- Զարգացվել է երկրորդ հարմոնիկի գեներացիան բարձր ճշգրտությամբ նկարագրող անալիտիկ տեսությունը՝ Լանդաու-Ջեների քառակուսային-ոչգծային մոդելի դեպքում, երբ համասեռ ոչգծային ընկալունակությունմբ անվերջ միջավայրում իրականացվում է փուլային անհամաձայնության գծային տարածական չիրպ: Մշակվել են փոխակերպման գործակցի տարածական դինամիկան բարձր ճշգրտությամբ նկարագրող երկանդամ անզացում հանդես եկող վարիացիոն պարամետրերի որոշման արդյունավետ թվային և անալիտիկ մեթոդներ:
- Ցույց է տրվել, որ անզացի երկրորդ գումարելին նկարագրող՝ ոչգծային խնդրի գծային նմանակի լուծումը մասշտաբավորող գործակիցը միարժեքորեն արտահայտվում է անզացի առաջին անդամը կազմող՝ սահմանային առաջին կարգի ոչգծային դիֆերենցիալ հավասարման լուծման օժանդակ պարամետրով, ինչը նշանակում է, որ խնդրի ոչգծայնութունն ուղղակիորեն արտահայտվում է այս գումարելիում ևս:
- ԵՀԳ-ի ոչ գծային Դեմկով-Կունիկեի մոդելի՝ փուլային անհամաձայնության հարաբերականորեն մեծ վերջնական արժեքների դեպքի համար կառուցվել է փոխակերպման գործակցի տարածական դինամիկան բարձր ճշգրտությամբ նկարագրող երկանդամ անզաց:
- Ցույց է տրվել, որ մեծ ոչգծայնությունների դեպքում անզացի գումարելիներից մեկը արդյունարարորեն նկարագրում է ռեզոնանսի հատումը, իսկ մյուսը՝ ռեզոնանսի հատումից քիչ անց դիտվող՝ հարմոնիկների ինտեսիվությունների միջմոդային մարող տատանումները:
- Գտնվել են առաջադրված անզացի վարիացիոն պարամետրերի՝ խնդրի մուտքային պարամետրերից կախվածության այնպիսի ֆունկցիոնալ տեսքեր, որոնց կիրառությամբ տվյալ անզացը հազարերորդականից բարձր բացարձակ ճշգրտությամբ նկարագրում է խնդրի թվային լուծումը:
- Բացահայտվել է, որ Դեմկով-Կունիկեի մոդելով իրականացվող ԵՀԳ-ի ժամանակ փուլային անհամաձայնության մեծ վերջնական արժեքների դեպքում փոխակերպման գործակցի տարածական դինամիկան ցուցաբերում է երեք հստակ արտահայտված վարքային ռեժիմ՝ համապատասխանող թույլ, միջին և ուժեղ ոչգծայնություններին:

## Ատենախոսության թեմայով հրատարակված աշխատանքների ցանկը

Հոդվածներ ամսագրերում

1. Г. Азизбекян, “Анзац для нелинейной задачи Демкова-Кунике при формировании холодных молекул”, Изв. НАН Армении, Физика 45 (3), 162-172 (2010).
2. Р. С. Сохоян, Г. Г. Азизбекян, К. Леруа, А. М. Ишханя, “Модель Демкова-Кунике для ассоциации холодных атомов: режим слабого взаимодействия”, Изв. НАН Армении, Физика 44 (6), 417-425 (2009).
3. N. Sahakyan, H. Azizbekyan, H. Ishkhanyan, R. Sokhoyan, and A. Ishkhanyan, “Weak coupling regime of the Landau-Zener transition for association of an atomic Bose-Einstein condensate”, Laser Physics 20 (1), 291-297 (2009).
4. R. Sokhoyan, H. Azizbekyan, C. Leroy, and A. Ishkhanyan, “Strong-coupling regime of the nonlinear Landau-Zener problem for photo- and magneto-association of cold atoms”, J. Exp. Theor. Phys. **112**, 543-550 (2011).

Գիտաժողովների հոդվածներ

5. H. Azizbekyan, T. Shahverdyan, H. Ishkhanyan, R. Sokhoyan, A. Ishkhanyan, “A physically realizable term-crossing model for cold atom association”, Proc. of Conf. Laser Physics-2009, Ashtarak-2, pp. 54-57 (2010).
6. S. Karapetyan, T. Shahverdyan, H. Ishkhanyan, H. Azizbekyan, R. Sokhoyan, A. Ishkhanyan “First Demkov-Kunike model in cold molecule formation: Strong interaction limit of the large detuning regime”, Proc. of Intern. Advanced Research Workshop on "MPOP-2009", Yerevan, pp. 48-52, (2010).
7. N. Sahakyan, H. Azizbekyan, R. Sokhoyan, C. Leroy, Y. Pashayan-Leroy, and A. Ishkhanyan, “Landau-Zener transition for association of an atomic Bose-Einstein condensate with inter-particle elastic interactions included”, Proc. of Conf. Laser Physics-2008, Ashtarak-2, pp. 29-33 (2009).

Գիտաժողովների թեզիսներ

8. H. Azizbekyan, B. Joulakian, J. Hanssen, A. Ishkhanyan, “Quadratic Nonlinear Landau-Zener problem for cold molecule formation: Strong interaction limit”, Book of Abstracts of Intern. Advanced Research Workshop "MPOP-2009", Yerevan p. 31 (2009).
9. H. Azizbekyan, “Cold molecule formation using Demkov-Kunike field configuration”, Control of Quantum Dynamics of Atoms, Molecules and Ensembles by Light VI, Varna, Bulgaria, p. 1 (2010).

## НЕЛИНЕЙНЫЕ ДВУХУРОВНЕВЫЕ МОДЕЛИ ЛАНДАУ-ЗИНЕРА И ДЕМКОВА-КУНИКЕ

Исследуется генерация второй гармоники в оптических материалах с определенной зависимостью нелинейной восприимчивости второго порядка, для которых до сих пор не было получено аналитических решений. Исследовано поведение системы для двух видов нелинейных сред: основных моделей резонансного пересечения Ландау-Зинера и Демкова-Кунике.

В настоящем исследовании систематически изучены сильные и слабые режимы взаимодействия при пересечении резонанса – как для модели Ландау-Зинера, так и для модели Демкова-Кунике. Основные результаты получаются путем применения довольно контринтуитивных методов; тем не менее, в настоящей работе удалось разработать достаточно простые подходы и получить компактные аналитические решения для рассматриваемой задачи для обеих выбранных конфигураций. Оказывается, что в пределе слабого взаимодействия предлагаемое решение представляется в виде преобразованного решения соответствующей системы линейных уравнений.

Что касается противоположного предела сильной связи, то здесь динамика системы сложнее. Результаты показывают, что в этом режиме решение задачи можно записать в виде двучленного анзаца с тремя вариационными параметрами. Этот анзац может применяться как подход также в случае иных конфигураций.

Полученные результаты действительно подтверждают, что переход Ландау-Зинера способен обеспечить полную конверсию фундаментальной моды. При этом, полученное решение показывает, что в отличие от модели Ландау-Зинера, в модели Демкова-Кунике невозможна полная передача энергии от фундаментальной моды ко второй гармонике. Тем не менее, прогнозируется значительно высокий коэффициент преобразования.

Разработанный метод и полученные результаты носят общий характер и могут быть применены во многих аналогичных задачах, так как рассматриваемая разновидность квадратичной нелинейности является типичной для всех теорий бозонных полей. К примеру, полученные результаты могут быть применены в фотоассоциации атомарных Бозе-Эйнштейновских конденсатов, в контроле длины рассеяния атомарного конденсата с помощью Фешбах-резонанса, и, вообще, в теориях поля, имеющих дело с резонансом 2:1.

Результаты этого исследования допускают различные практические применения, такие как оптимальное конструирование преобразователей нелинейных частот и удвоителей, включая должный выбор нелинейного кристалла и его размеров, наилучшей конфигурации согласования фаз и конструкции оптического резонатора, которые являются известными вызовами в широком диапазоне практики, простирающегося от исследований и разработки

телекоммуникационных систем до проектирования оптических инструментов, где требуется тонкое понимание динамики процесса в физически реализуемых условиях.

В диссертации получены следующие основные результаты:

- Развита аналитическая теория, с высокой точностью описывающая генерацию второй гармоники (ГВГ) для модели Ландау-Зинера, когда в бесконечной среде с постоянной в направлении распространения фундаментальной моды нелинейной восприимчивостью осуществляется линейный пространственный чирп фазовой несогласованности. Разработаны эффективные численные и аналитические методы для определения вариационных параметров двучленного анзаца, с высокой точностью описывающего пространственную динамику коэффициента преобразования.

- Показано, что коэффициент масштабирования решения линейной задачи (это решение входит во второе слагаемое двучленного анзаца), однозначно выражается через вспомогательный параметр решения предельного нелинейного дифференциального уравнения первой степени (последнее решение составляет первое слагаемое анзаца), что свидетельствует о том, что нелинейность задачи напрямую выражается также и в этом слагаемом.

- Построен двучленный анзац, с высокой точностью описывающий пространственную динамику коэффициента преобразования в случае относительно больших конечных значений фазовой несогласованности для ГВГ при первой модели Демкова-Кунике.

- Показано, что при больших нелинейностях одно из слагаемых анзаца эффективно описывает пересечение резонанса, а другое – межмодовые затухающие осцилляции интенсивностей гармоник, наблюдающиеся вскоре после пересечения резонанса.

- Найдены зависимости предложенных вариационных параметров анзаца от входных параметров задачи, при использовании которых данный анзац описывает численное решение задачи с абсолютной ошибкой, меньшей, чем $10^{-3}$.

- Выявлено, что в процессе ГВГ по модели Демкова-Кунике пространственная динамика коэффициента преобразования при больших конечных значениях фазовой несогласованности проявляет три четко выраженных режима поведения, соответствующие слабым, средним и сильным нелинейностям.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCES OF RA
YEREVAN STATE UNIVERSITY

Hrayr AZIZBEKYAN

# NONLINEAR TWO-STATE LANDAU-ZENER AND DEMKOV-KUNIKE MODELS

## ABSTRACT

of the thesis in physics submitted for the degree of doctor of philosopy
Specialization: A.04.21– Laser Physics
Scientific supervisor: Prof. Artur ISHKHANYAN

The object of our study is the second harmonic generation in optical materials with specific dependence of second order nonlinear susceptibility, for which no analytical solutions have so far been possible to obtain. The behavior of the system for two types of nonlinear media is investigated: the basic resonance-crossing models by Landau-Zener and Demkov-Kunike.

In the present study, we systematically examine the weak and strong interaction regimes of resonance crossing both for Landau-Zener and Demkov-Kunike models.

The principal results are obtained by applying rather counterintuitive methods; however, we have succeeded in developing simple approaches and derived compact analytical solutions for the problem under consideration for both of the chosen configurations. It turns out that in the limit of weak interaction the proposed solution is represented as a transformed solution of the corresponding system of linear equations.

As regards the opposite limit of strong coupling, here the dynamics of the system is more complicated. The results show that in this regime the solution to the problem is written using a two-term ansatz involving three variational parameters. This ansatz can be applied to treat other configurations.

The obtained results indeed confirm that a Landau-Zener transition is able to provide complete conversion. However, our solution shows that for the Demkov-Kunike model it is impossible to transfer the whole energy of the system to the second-harmonic wave, as it is the case for the Landau-Zener model. Still, very high conversion coefficient is predicted.

The developed method and the obtained results are general and can be applied to many analogous problems because the involved type of the quadratic nonlinearity is generic for all the bosonic field theories. For instance, the results are applicable in photoassociation of an atomic Bose–Einstein condensate, in controlling the scattering length of an atomic condensate by means of Feshbach resonance, and generally in field

theories involving a Hamiltonian with a 2:1 resonance.

The results of this study allow various practical applications, such as optimal design of nonlinear frequency converters and doublers, including the proper choice of nonlinear crystal and its dimensions, the best phase matching configuration and the design of optical cavity, which are modern and widespread problems of practical importance in situations ranging from research and development of telecommunication systems to optical tool design where understanding of dynamics of phenomenological course of the process in physically realized conditions is needed.

The main results of this dissertation are defined as follows:

- An analytical theory describing second harmonic generation with high accuracy has been developed for the Landau-Zener model characterized by phase mismatch linearly varying in the direction of fundamental mode propagating across infinite medium with constant nonlinearity. Numerical and analytical methods are elaborated to effectively define variational parameters of two-term ansatz that accurately describe spatial dynamics of conversion efficiency.
- It has been shown that the scaling factor of the linear solution involved in the variational ansatz is determined by the auxiliary parameter of the solution of the nonlinear limit equation, which indicates that the nonlinearity of the problem is directly expressed in this term as well.
- A two-term ansatz describing, with high accuracy, the spatial dynamics of the conversion coefficient at second harmonic generation through the first Demkov-Kunike configuration has been constructed for the relatively large finite values of phase mismatch.
- The appropriate choice of the variational parameters involved in the proposed ansatz has been found that ensures that the constructed approximation describes the numerical solution of the problem with the absolute accuracy higher than a millesimal.
- It has been shown that in the case of large nonlinearities one of the terms of the ansatz effectively describes the resonance crossing, while the other term describes the damped oscillations in second harmonic's intensity, which arise soon after the resonance crossing.
- It has been revealed, that during second harmonic generation through the Demkov-Kunike model with large finite values of phase mismatch, the spatial dynamics of conversion coefficient has three distinct behavioral regions corresponding to weak, medium and strong nonlinearities.