

ՊԱՇՏՈՆԱԿԱՆ ԸՆԴԴԻՄԱԽՈՍԻ ԿԱՐԾԻՔԸ

Արթուր Յուրայի Ալեքսանյանի Ա.04.21 – «Լազերային ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար ներկայացված «Ատոմական անցումների և բնակեցումների ղեկավարումը լազերի հաճախության ծրման արագությամբ և մագնիսական դաշտով» թեմայով ատենախոսության վերաբերյալ

Ա. Յու. Ալեքսանյանի ատենախոսությունը գրված է անգլերենով, քանի որ նրա գիտական համադեկավարներից մեկը՝ պրոֆեսոր Կլոդ Լերուան Բուրգունդիայի համալսարանից է (ք. Դիժոն, Ֆրանսիա): Նշեմ, որ ատենախոսությունը գրված է քերականորեն լավ անգլերենով:

Լազերներն այսօր լայնորեն օգտագործվում են լազերային և ատոմային ֆիզիկայում: Նախորդ տարիներին, օգտագործելով ակալիական ատոմներ և լազերներ, ամենից շատ ուսումնասիրվել են Ֆարադեյի, Հանլեի, Դիքեի, Կապիցա-Դիրակի էֆեկտներն, ինչպես նաև մագնիսա-օպտիկական պրոցեսները:

Ատոմական համակարգերը դառնում են հետազոտության բարդ օբյեկտներ, երբ ներառվում են մեծ թվով ատոմական մակարդակներ, օրինակ՝ երբ խոսքը գնում է գերնուրբ կառուցվածքի ուսումնասիրման մասին: Արտաքին մագնիսական դաշտի առկայության դեպքում, զեեմանյան ճեղքման պարագայում, խնդիրն ավելի է բարդանում՝ ուսումնասիրությունում ներգրավված մակարդակների թվի կտրուկ աճի հետ կապված. այս դեպքում անալիտիկական մոտեցման կիրառման տիրույթը բավականին նեղ է: Վերջին տարիների չափումների մեծ ճշտությունը ստիպում է լավացնել մաթեմատիկական ապարատը, որպեսզի թվային մոդելավորման միջոցով հնարավոր լինի ստանալ ճշգրիտ արդյունք:

Ա. Յու. Ալեքսանյանի ատենախոսությունը նվիրված է ակալի ատոմների բնակեցվածության և անցումների ղեկավարմանը, երբ կիրառված է արտաքին մագնիսական դաշտ կամ լազերային դաշտի հաճախության ծրման մեխանիզմ: ՀՀ ԳԱԱ ՖՀԻ-ում ակալիական ատոմների գոլորշու վրա հիմնված հետազոտությունները սկսվել են դեռ 1970-ական թվականներից: Այն հանդիսանում է ԱՊՀ-ում հեղինակավոր գիտական դպրոցներից մեկը: Հետևաբար այդ կառույցում կատարված աշխատանքների հավաստի լինելը և տրված գիտական նորույթը վստահելի են:

Ատենախոսությունը բաղկացած է հապավումների ցանկից, ներածությունից, 3 զլխից, եզրակացությունից և հեռանկարից, ինչպես նաև օգտագործված գրականության ցանկից: Այն ամփոփված է 113 էջերում, ներառում է 33 նկար, 19 աղյուսակ և գիտական հոդվածներին 146 հղում: Ատենախոսության **Ներածությունում** ձևակերպված է թեմայի արդիականությունը,

աշխատանքի նպատակները, գիտական նորույթն ու աշխատանքի գործնական արժեքը, ինչպես նաև պաշտպանության հիմնական դրույթները:

Առաջին գլխում ուսումնասիրվել է երկու խնդիր՝ 1) Ուսումնասիրվել է բնակեցվածության ամբողջական տեղափոխման հարցը լազերային դաշտի հաճախության ծրման տեխնիկայի հիման վրա: 2) Խնդիրը կապված է քվանտային ինֆորմատիկայի ոլորտում շատ կարևոր Ֆրեդկինի և Տոֆոլու (Ֆ-S) ունիվերսալ ատոմական շրջելի տրամաբանական փականների իրականացման հետ՝ օգտագործելով գաուսյան տեսքի չորս լազերային իմպուլսների հաջորդականություն: Պարագրաֆ 1.1-ում գրվել է կոհերենտ սուպերպոզիցիոն վիճակների նախագծման, բնակեցվածության տեղափոխման ադիաբատիկ տեխնիկաների և համակարգչային գիտությունների արդի խնդիրների մասին: Պարագրաֆ 1.2-ում հակիրճ անդրադարձ է կատարվել խտության մատրիցի տեսությանը, Լինդբլադի հավասարմանը, որոշ կարևոր մոտարկումներին, որոնք հարկավոր են ատոմական համակարգի փոխազդեցությունը լազերային դաշտի հետ նկարագրող համիլտոնյան մատրիցի կառուցման համար՝ հաշվի առնելով ռելաքսացիայի երևույթները: Պարագրաֆ 1.3-ում ցույց է տրվել հնգամակարդակ M համակարգի փոխազդեցությունն արտաքին չորս գաուսյան տեսքի լազերային դաշտերի հետ: Համիլտոնյան ու ռելաքսացիոն մատրիցները բերված են: Ստացված դիֆերենցիալ հավասարումներից բաղկացած համակարգը լիարժեք նկարագրում է M համակարգում ընթացքող պրոցեսները: Պարագրաֆ 1.4-ում ցույց է տրված, որ ծրման մեթոդների կիրառումը՝ համակցված լազերային իմպուլսների հետ, թույլ է տալիս կատարել ամբողջական բնակեցվածության ավելի արդյունավետ տեղափոխություն, քան միայն լազերային իմպուլսների հաջորդականության կիրառման դեպքում: Պարագրաֆ 1.5-ում ցույց է տրված նույնպիսի համակարգում Ֆ-S ունիվերսալ շրջելի ատոմական փականների պարզ իրականացումը: Արդյունքները ստացվել են թվային մոդելավորման միջոցով: Պարագրաֆ 1.6-ը՝ առաջին գլխի եզրակացությունն է:

Ատենախոսության երկրորդ գլխում դիտարկված է փոխազդեցության ստացիոնար, անցումային և ոչ-ստացիոնար ռեժիմներում բնական Rb-ի գոլորշու D₂ գծի ֆլուորեսցենցիան լազերային դաշտի հաճախային գծային սկանավորման դեպքում:

Պարագրաֆ 2.1-ում ակնարկ է կատարվել ստացիոնար և անցումային փոխազդեցությանը, ինչպես նաև դինամիկ երևույթներին: Քննարկվել է ատոմի և լազերային դաշտի փոխազդեցության ժամանակը: Պարագրաֆ 2.2-ում, օգտագործելով խտության մատրիցի տեսությունը, կառուցվել է մոդել՝ նկարագրող ⁸⁵Rb և ⁸⁷Rb ատոմների գերնուրբ կառուցվածքի ռեզոնանսային ֆլուորեսցենցիան: Մոդելն իր մեջ ներառում է իրական ատոմական համակարգին համապատասխանող ռելաքսացիոն պրոցեսները, որոնցից են դոպլերյան

լայնացումը, հիմնական վիճակի իզոտրոպ հավասարակշռության վիճակին բերող ռելաքսացիայի արագությունը (γ_0) և այլն: Փորձարարական արդյունքների և թվային մոդելավորման միջոցով ստացված արդյունքների համընկեցումը կատարված է պարագրաֆ 2.3-ում: Փորձը կատարված է սկանավորման արագության և լազերային ինտենսիվության տարբեր արժեքների դեպքում: Համընկեցման աստիճանը լավն է: Պարագրաֆ 2.4-ում քննարկված են համընկեցումից ստացված արդյունքները: Ստացված են N_2 բուֆերային գազով լցված բջջի հիմնական վիճակի իզոտրոպ հավասարակշռության վիճակին բերող ռելաքսացիայի արագությունը, ատոմի դիֆուզիայի արագությունը բուֆերային գազում և դրան համապատասխանող միջատոմական բախումային լայնական հատույթը: Երկրորդ գլխի ամփոփումը բերված է պարագրաֆ 2.6-ում:

Երրորդ գլխում ուսումնասիրված է Rb-ի ատոմական զոլորշու վարքն արտաքին մագնիսական դաշտում: Ուսումնասիրվել է Rb-ի $5^2S_{1/2} \rightarrow 5^2P_{1,2,3,2}$ և $5^2S_{1/2} \rightarrow 6^2P_{1,2,3,2}$ անցումների դիպոլային մոմենտի կախվածությունը մագնիսական դաշտից՝ տարբեր բևեռացումների համար: Արդյունքները ստացվել են հիմնականում թվային մոդելավորման միջոցով, սակայն եղել են դեպքեր, երբ հնարավոր է եղել ստանալ անալիտիկ արտահայտություններ:

Պարագրաֆ 3.1-ում բերված է գրականության ակնարկ օպտիկական մագնիսաչափերի, Զեեմանի ու Պաշեն-Բակի էֆեկտների և այլնի վերաբերյալ: Կատարված է նաև հիմնական վիճակի և զրգոված 5^2P , 6^2P վիճակների միջև անցումների նմանության և տարբերության քննարկում: Պարագրաֆ 3.2-ում վերլուծվել է Դիրակի հավասարումը և ատոմ - մագնիսական դաշտ փոխազդեցությունը: Մշակված տեսական մոդելը թույլ է տալիս գտնել ատոմական ենթամակարդակների միջև անցումների (օպտիկական տիրույթ) չեղարկումները: Պարագրաֆ 3.3-ում առաջին անգամ ցույց է տրված անցման չեղարկման անալիտիկ օրինակ, որտեղ ստացված բանաձևը արտահայտող անցումը չեղարկող մագնիսական դաշտի արժեքը, կախված է հաշվարկներում օգտագործված ֆունդամենտալ հաստատուններից: Պարագրաֆ 3.4-ում կատարվել է ^{87}Rb -ի և ^{85}Rb -ի իզոտոպների մագնիսական ենթամակարդակների $5^2S_{1/2} \rightarrow 5^2P_{1/2}, 6^2P_{1/2}$ և $5^2S_{1/2} \rightarrow 5^2P_{3/2}, 6^2P_{3/2}$ անցումների չեղարկման անալիտիկ բանաձևերի և թվային մոդելավորման համեմատություն: Երկու մեթոդն էլ տալիս են ճշգրիտ արդյունքներ: Ստացված անալիտիկ բանաձևերի միջոցով, ինչպես նաև թվային մոդելավորման օգտագործմամբ հնարավոր է լավարկել վերոնշյալ մեծությունը: Պարագրաֆ 3.5-ում ուսումնասիրված է $5^2S_{1/2} \rightarrow 5^2P_{3/2}, 6^2P_{3/2}$ անցումների չեղարկումները: Ընդհանուր առմամբ ստացվել են անցումները չեղարկող մագնիսական դաշտի հարյուրից ավելի արժեքներ: Պարագրաֆ 3.6-ում առաջարկված է անցումները չեղարկող մագնիսական դաշտի արժեքների որոշման իրական փորձ՝ դոպլերազերծված կամ սուբդոպլերյան լուծաչափությամբ: Երրորդ

զլիւի եզրակացությունը բերված է պարագրաֆ 3.7-ում: «Եզրակացություն և հեռանկար» բաժնում ձևակերպված են ատենախոսության հիմնական արդյունքները և հնարավոր հետագա զարգացումները:

Աշխատանքում ստացված են նոր և հավաստի արդյունքներ, որոնք ունեն նաև կիրառական նշանակություն՝ 1) Ստացված արդյունքները կարող են ծառայել տրամաբանական տարրերի, փականների և սխեմաների նախագծման ու կառուցման համար, քանի որ բնակեցվածությունների հասցեագրված տեղափոխումը մեծ դեր ունի ֆիզիկական պրոցեսների կառավարման համար: 2) Ստացված են ֆիզիկական համակարգերը նկարագրող կարևոր պարամետրեր, որոնք են հիմնական վիճակի իզոտրոպ հավասարակշռության բերող ռելաքսացիայի արագությունը, բուֆերային գազով լցված բջջի դիֆուզիայի գործակիցը և դրան համապատասխանող բախումային լայնական հատույթի մակերեսը: 3) Սազնիսաչափերի տրամաչափման նոր ստանդարտների, ինչպես նաև որոշ ֆիզիկական մեծությունների լավարկման հարցը կրկին շատ կարևոր է:

Աշխատանքի հիմնական արդյունքները տպագրվել են միջազգային գրախոսվող ամսագրերի 5 հոդվածներում և 3 ժողովածուներում: Կարևոր է նշել, որ արդյունքները տպագրվել են հայտնի գիտական ամսագրերում՝ J. of Quant. Spectr. & Rad. Transf., և 2 հոդված՝ J. Opt. Soc. Am. B. որոնք ունեն բարձր «ազդեցության գործակից»: Այս ամսագրերում հայտնի փորձագետները խստորեն քննում են հոդվածում բերված արդյունքները, և այն, որ հոդվածները տպագրվել են, նշանակում է, որ բարձր են գնահատվել փորձագետների կողմից:

Սեղմագիրը գրված է քերականորեն լավ անգլերենով, լիովին համապատասխանում է ատենախոսությանը, և արտացոլում է դրա հիմնական դրույթները: Ատենախոսության մեջ նշված գրականության ցանկում կան բազմաթիվ հղումներ 2010 թվականից հետո տպագրված աշխատանքների վրա. այսինքն՝ հեղինակը քաջատեղյակ է այս ոլորտում վերջին աշխատանքներին:

Ատենախոսության մեջ տեղ գտած գիտական և կիրառական արժեքների հետ միասին առկա են նաև որոշ թերացումներ.

1) 1-ին Գլխում, օգտագործելով չորս լազերների հաճախության ծրման եղանակը կամ տարբեր լազերային իմպուլսների հաջորդականություններ, տեսականորեն դիտարկվել է հինգ մակարդակ ունեցող M-տիպի ատոմական համակարգում բնակեցվածության ամբողջական տեղափոխումը մի ատոմական մակարդակից մյուսին: Տեսական հաշվարկներում Ռաբիի հաճախության պարամետրը օգտագործվում են հարաբերական միավորներով: Ռաբիի հաճախության մեծության կարգը պատկերացնելու համար ցանկալի կլիներ, որ տեքստում գեթ մեկ անգամ այն տրված լիներ ընդունված միավորներով՝ ՄՀց, կՀց և այլն:

2) Ցանկանում եմ առանձնացնել ատենախոսության 2-րդ Գլխում ներկայացված կարևոր արդյունքները, ինչպիսիք են՝ $^{87}\text{Rb } F_g = 2 \rightarrow F_e = 1, 2, 3$ և $^{85}\text{Rb } F_g = 3 \rightarrow F_e = 2, 3, 4$ (փորձարարական արդյունքները բերված են նկ. 2.3-ում) ատոմական անցումների ֆլուորեսցենցիայի սպեկտրերի գրանցումը լազերային հզորության երեք տարբեր արժեքների և հաճախության ծրման արագության 13 արժեքների համար՝ կախված ծրման ընթացքում հաճախության ուղղությունից: Ֆլուորեսցենցիայի տեսական և փորձարարական սպեկտրերի համեմատությունը բերված է նկ. 2.4-ում: Աշխատանքում դիտարկված ատոմական մակարդակների համակարգը բավականին բարդ է: Համակարգը դիտարկելիս կարևոր է հաշվի առնել տարբեր ռելաքսացիաների ազդեցությունը, և այդուհանդերձ, փորձի և տեսության լավ համաձայնությունը վկայում է Ա. Ալեքսանյանի գիտական բարձր մակարդակի մասին: Փորձի և տեսության լավ համընկնում տեղի է ունենում միայն այդ դեպքի համար, երբ հեղինակը ենթադրում է, որ Rb-ի ատոմի գոլորշիներ պարունակող բջջում առկա է նաև 0.1 Տորր քանակությամբ ազոտ բուֆերային գազ: Վերջինս շատ հնարավոր է, քանի որ բջիջը պատրաստվել է բավականին շուտ, և գազի ներթափանցման տեղի ունենալը չի բացառվում: Այնուամենայնիվ, աշխատանքի արժեքն ավելի բարձր կլիներ, եթե փորձարարական արդյունքները համեմատվեին միայն մաքուր Rb-ի գոլորշիներ պարունակող բջջի միջոցով ստացված արդյունքների հետ: Սա կհաստատեր բուֆերային գազի առկայության (կամ բացակայության) վերաբերյալ ենթադրության ճիշտ լինելը: Իհարկե, սա լրացուցիչ ժամանակ կպահանջեր: Բազմիցս նշել եմ, որ ատենախոսությունը բարձր մակարդակով կատարելու համար նախատեսված 3 տարին շատ կարճ ժամանակ է: Այն պետք է լինի առնվազն 5 տարի: Ա. Ալեքսանյանի դեպքում 3 տարվա ընթացքում աշխատանքը բարձր մակարդակով կատարելը ստացվեց միայն այն բանի շնորհիվ, որ նա շատ տաղանդավոր և աշխատասեր երիտասարդ անձնավորություն է:

3) 3-րդ Գլխում դիտարկվել է որոշ ատոմական անցումների տեսականորեն ամբողջական «չեղարկում»՝ մագնիսական դաշտի շատ ճշգրիտ արժեքների դեպքում, այսինքն՝ ատոմական անցման հավանականությունը զրո է: Վերջինս նշանակում է, որ լազերային ճառագայթի կլանման և ֆլուորեսցենցիայի երևույթները տեղի չեն ունենա: Մակայն, փորձի ընթացքում իդեալական պայմանների ապահովումը լուրջ տեխնիկական մարտահրավեր է (աղմուկների առկայություն մագնիսական դաշտի ցանկացած մեծության համար), և գրոյական ազդանշանի որոշման ճշգրտությունը այնքան էլ բարձր չէ: Հետևաբար, աշխատանքի գործնական արժեքն ավելի բարձր կլիներ, եթե հեղինակը գտներ մի այնպիսի ատոմական անցում, որի դեպքում մագնիսական դաշտի ճշգրիտ արժեքի համար տեղի ունենար լազերային ճառագայթի

առավելագույն ֆլուստրեսցենցիան: Իհարկե, սա շատ բարդ խնդիր է և դուրս է գալիս թեզի շրջանակներից:

Նշված թերությունները, սակայն, չեն նվազեցնում ատենախոսության արժեքը: Կատարված են տեսական և փորձարարական արժեքավոր հետազոտություններ, որոնք կարող են ծառայել բնակեցվածության ու անցումների ինտենսիվությունների դեկլարման, ինչպես նաև կարևոր անհայտ պարամետրերի որոնման, և հայտնի պարամետրերի բարելավման համար: Համոզված եմ, որ Ա. Յու. Ալեքսանյանի «Ատոմական անցումների և բնակեցումների դեկլարումը լազերի հաճախության ծրման արագությամբ և մագնիսական դաշտով» թեմայով ատենախոսությունը բավարարում է ՀՀ ԲՈԿ-ի կողմից թեկնածուական ատենախոսություններին ներկայացվող բոլոր պահանջներին, իսկ ատենախոսության հեղինակն արժանի է Ա.04.21 – «Լազերային ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզ.-մաթ. գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանին:

Ֆիզ.-մաթ. գիտությունների դոկտոր՝



Դ. Ն. Սարգսյան

Դ. Ն. Սարգսյանի ստորագրությունը հաստատում եմ,

ՀՀ ԳԱԱ ՖՀԻ գիտական քարտուղար, ֆ.մ.գ.թ.՝



Պ. Ա. Մանթաշյան

20 մայիսի 2021թ.