ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ, АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ, ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

КАНОКОВ ЗАКИРЖОН

КВАНТ ВА МЕЗОСКОПИК СИСТЕМАЛАРНИНГ МАРКОВ ВА НОМАРКОВ ДИНАМИКАСИ

01.04.02 – Назарий физика

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2018

УЎК: 539.172.12; 539.172.17

Докторлик (Doctor of Science) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата докторской (Doctor of Science) диссертации

Abstract of the contents of the doctoral (DSc) dissertation

Каноков Закиржон
Квант ва мезоскопик системаларнинг марков ва номарков динамикаси 3

Каноков Закиржон
Марковская и немарковская динамика квантовых и мезоскопических систем..... 25

Kanokov Zakirjon
Markovian and non-Markovian dynamics of quantum and mezoscopic systems..... 45

Эълон қилинган ишлар рўйхати
Список опубликованных работ
List of published works..... 54

ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ, АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ, ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

КАНОКОВ ЗАКИРЖОН

КВАНТ ВА МЕЗОСКОПИК СИСТЕМАЛАРНИНГ МАРКОВ ВА НОМАРКОВ ДИНАМИКАСИ

01.04.02 – Назарий физика

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2018

Фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2017.1.DSc/FM122 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети Физика факультетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тил (ўзбек, рус, инглиз (резюме) да Илмий кенгаш веб-саҳифаси – www.inp.uz га ва «Ziyonet» Ахборот таълим портали (www.ziyonet.uz)га жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:	**Мусаханов Мирзаюсуф Мирзамахмудович** физика-математика фанлари доктори, профессор, Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси академиги
Расмий оппонентлар:	**Джолос Ростислав Владимирович** физика-математика фанлари доктори, профессор
	Абдумаликов Абдулазиз Абдувахабович физика-математика фанлари доктори, профессор
	Усманов Пазлитдин Нуритдинович физика-математика фанлари доктори, доцент
Етакчи ташкилот:	**Самарқанд давлат университети**

Диссертация ҳимояси Ядро физикаси институти, Астрономия институти, Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил «___» _____ соат ____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100214, Тошкент ш., Улуғбек қўрғони, ЯФИ. Тел. (+99871) 289-31-60; факс (+99871) 289-31-18; e-mail: info@inp.uz).

Диссертация билан Ядро физикаси институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (_____рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100214, Тошкент ш., Улуғбек қўрғони, ЯФИ. Тел. (+99871) 289-31-19).

Диссертация автореферати 2018 йил «____» _____куни тарқатилди.
(2018 йил «____» _____даги _____ рақамли реестр баённомаси).

М.Ю.Ташметов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси, ф.-м.ф.д.

Р. Ярмухамедов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, ф.-м.ф.д., профессор

И. Нуритдинов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш ҳузуридаги илмий
семинар раиси, ф.-м.ф.д., профессор

КИРИШ (докторлик диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Бугунги кунда жаҳонда номувозанатдаги квант системалар динамикасининг назарий тадқиқоти замонавий назарий ва экспериментал физиканинг долзарб фундаментал масаларини ҳал қилишга катта аҳамият бермоқда. Жумладан, номувозанатли квант системалардаги флуктуация ва диссипация ҳодисалари тадқиқида, одатда, квант марков жараёнларининг стандарт техникасидан кенг миқёсда фойдаланилади. Маълумки, реал физик, техник ва биологик системаларнинг ташқи тасодифий таъсирга бўлган жавоби номарков жараён бўлиб, номарков эффект системанинг мураккаблик даражаси ошиши билан ортиб боради ва мос равишда бундай системалар марков жараёнларига асосланиб ишлаб чиқилган стандарт усул ёрдамида ифодалана олмайди. Бу номарков тасодифий жараёнларни ифодалаш учун математик усулни ишлаб чиқиш заруратини кўрсатади.

Мамлакатимизда назарий физиканинг турли йўналишларини ривожлантириш ҳамда дунё миқёсида фундаментал муаммоларни ҳал этиш бўйича кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. Бу борада номувозанатли системаларнинг назарий муаммоларини ечиш ва уларни амалиётга татбиқ этиш, квант системалар учун ностационар кинетик коэффициентларни аналитик ҳисоблаш усулларини яратиш, оғир ионлар иштирокида кечадиган ядро реакцияларини назарий ўрганиш, ташқи майдонларни турли номувозанатли квант системалар ва номувозанатли жараёнларга таъсирини тадқиқ қилиш борасида сезиларли натижаларга эришилганлигини алоҳида таъкидлаш керак. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси асосида номувозанатли квант системалар, номувозанатли диссипатив жараёнлар соҳасидаги назарий ва амалий изланишлар натижасида инновацион технологияларни жорий этиш орқали диссипатив квант системалар назарияси ва нанотехнология соҳасининг ривожланиш самарадорлигини ошириш долзарб масалалардан биридир.

Бугунги кунда жаҳонда қуйи энергиялардаги оғир ионлар тўқнашувида ядроларнинг тўсиқости қўшилиши, кристаллардаги диссипацияли туннел ўтишлар, турли табиатдаги кучли, кучсиз ва ўта кучсиз магнит майдонларининг мураккаб физик ҳамда биологик объектларга таъсири бўйича олинган янги эксперимент натижалари мавжуд анъанавий усуллар асосида тушунтириш қийин бўлган янги муносабат ва эффектлар борлигини кўрсатмоқда. Ҳозирга қадар потенциал тўсиқдан тунелли ўтишда номарков эффектларни ҳисобга олиш номувозанатли квант системаларнинг тўла ечилмаган муаммоси бўлганлиги сабабли диссипатив квант системаларда тунел ўтишларни ҳисоблашнинг янги усулларини ишлаб чиқиш кичик ўлчамли ва қуйи температурали мезоскопик системаларни тадқиқ қилишда муҳим аҳамиятга эга. Ядроларнинг тўла қўшилиш, квазибўлиниш, бўлиниш ва ядронинг ядро билан қамраб олиниш реакциялари бўйича эксперимент

натижаларини назарий тушунтириш ва ифодалаш учун ностационар транспорт коэффициентларни ҳамда метастабил ҳолатларнинг емирилиш кенглигини аниқлаш усулларини ишлаб чиқиш зарур. Бундан ташқари, диссипацияли тунел ўтиш, квант нуқталар ва квант ўралар орасидаги электронларнинг транспорти масалалари ҳамда астрофизиканинг муҳим муаммоларидан бири бўлган катта зичликка эга астрономик объектлардаги ядроларнинг қўшилишини ўрганиш долзарб вазифалардан ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 16 февралдаги ПФ–4958-сон «Олий ўқув юртидан кейинги таълим тизимини янада такомиллаштириш тўғрисида» Фармони, 2010 йил 15 декабрдаги ПҚ-1442-сон «Ўзбекистон Республикаси саноатининг 2011–2015 йилларда ривожланиш истиқболлари тўғрисида»ги ва 2017 йил 17 февралдаги ПҚ–2789-сон “Фанлар академияси фаолияти, илмий-тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора тадбирлари тўғрисида»ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-хуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялари ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлиги» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи. Очиқ системаларнинг статистик ва динамик хоссаларини ифодаловчи формализмни ривожлантириш бўйича илмий тадқиқот ишлари дунёнинг қатор етакчи илмий марказлари ва олий ўқув юртлари, жумладан, Штутгарт университети (Германия), Росток университети қошидаги Физика институти (Германия), Макс Планк плазма физикаси институти (Германия), Халқаро назарий физика маркази (Италия), Кембриж университети (Буюк Британия), Алберта университети (Канада), Калифорния университети (АҚШ), Д.Хопкинс университети (АҚШ), Бразилия университети (Бразилия), Фан ва технология университети (Хитой), Жанубий-шарқий университет (Хитой), Токио университети (Япония), Москва давлат университети (Россия), Бирлашган ядро тадқиқотлари институти (Россия), Россия фанлар академиясининг Умумий физика институти (Россия), Москва Физика-техника институти (Россия) ва Ўзбекистон Миллий университети (Ўзбекистон)да кенг қамровли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Номувозанатли квант системалар динамикасининг назарий тадқиқоти бўйича жаҳон миқёсида бир қатор илмий натижалар олинган. Жумладан, номувозанатли квант системалар учун чизиқли ва ночизиқли классик ва марков Ланжевен ҳамда Фоккер-Планк тенгламаларининг ечимлари топилган; кўп ўлчамли классик Ланжевен тенгламалари оғир ионларнинг бўлиниш реакциялари динамикасини тушунтиришда қўлланган. Ночизиқли Ланжевен ва Фоккер-Планк тенгламалари плазмада номувозанатли жараёнлардаги флуктуацияларни аниқлашга, радиосигналларнинг муҳитда

тарқалишидаги номарков эффектларнинг ҳиссасини ҳисоблашда фойдаланилган. Оғир ядроларнинг бўлиниш жараёнларини тадқиқ қилишда ҳам қўлланиб, зичлик матрицаси учун асосий тенгламанинг сонли ечимлари ёрдамида бўлинишнинг вақтга боғлиқлигига квант статистик эффектларнинг таъсири очиб берилган (Москва давлат университети, Сколково илмий маркази, Бирлашган ядро тадқиқотлари институти, Томск политехника институти, Омск давлат университети, Россия; Лисбоа университети, Португалия); диссипатив системаларнинг квант назарияси термостатдаги квант осциллятори модели асосида ривожлантирилган; квант заррачанинг муҳитдаги диффузиясини ифодалаш учун Калдейр ва Леггетнинг модели ишлаб чиқилган (Калифорния университети, АҚШ); потенциал тўсиқдан ўтиш ва метастабил ҳолатларнинг емирилиш жараёнларини ўрганишда стационар транспорт коэффициентли Линблад тенгламаси ечимларидан фойдаланилиб, ўтиш тезликларининг эҳтимоллилиги ҳамда емирилиш вақти ҳисобланган (Штутгарт университети, Росток университети қошидаги Физика институти, Германия; Бирлашган ядро тадқиқотлари институти, Россия).

Дунёда номувозанатли квант системалар динамикаси соҳасида қуйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: номувозанатли квант системаларнинг ностационар транспорт коэффициентларини аниқлаш; диссипатив системаларда квант тунел ўтиш эҳтимолликларини ҳисоблаш; қуйи температураларда кечадиган номувозанат системалар учун квант флуктуацияларни топиш; номувозанатли квант системалар динамикасига ташқи майдонларнинг таъсирларини ўрганиш; қўшалоқ ядро системасининг ҳосил бўлиши, эволюцияси ва унинг емирилишларини стохастик тенгламалар асосида аниқлаш ҳамда диссипатив-динамик моделларни ривожлантириш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Номувозанатли квант системаларнинг статистик ва динамик хоссаларини назарий ҳамда эксперимантал ўрганиш учун зарур формализмни ривожлантириш бўйича шу пайтгача америкалик (Katja Lindeberg, Bruse J.West, Roy Jay Glauber), германиялик (W.Scheid, G.Ropke, C.V.Gardner), япониялик (K.Nishio, K.Fujikawa), италиялик (Gian Paolo Beretta), руминялик (Aurelliu Sandulescu, E.Stefanescu), франциялик (Denis Lacroix), канадалик (M.Razavy), россиялик (В.В.Додонов, А.В.Додонов, Ю.Л.Климантович, А.Н.Морозов, А.В.Скрипкин, И.Кляцкин, В.Г.Морозов, А.В.Чуркин ва бошқалар), бразилиялик (S.S.Mizrahi) олимлар ва бошқа мутахассислар тадқиқот олиб боришмоқда. Аммо ушбу ишларнинг аксариятида термостатга жойлаштирилган квант осциллятор учун ёзилган тенгламаларда номарковлик эффекти ҳисобга олинмаган ёки термостат билан осциллятор ўртасидаги боғланишлар чизиқли деб қаралган, ностационар транспорт коэффициентларни аналитик ҳисоблаш усулларига диққат қилинмаган.

Номувозанатли квант системалар назариясининг ядро реакциялари ва оғир ядроларнинг бўлиниш жараёнларига татбиқи америкалик (C.N.Mortan,

В.В.Вак ва бошқалар), германиялик (H.Hofman, F.P.Hessberger, G.Munzenberg, P.Frobrich, R.Lipperheide), россиялик (В.В.Волков, Г.Г.Адамян, Н.В.Антоненко, Р.В.Джолос, И.И.Гончар), япониялик (S.Ayik, N.Takigava, Y.Aritoma, Y.Abe) ва ўзбекистонлик (А.К.Носиров, А.И.Муминов, С.В.Артемов) олимлар ва бошқалар томонидан ўрганилган. Бироқ бу ишларда оғир ядроларнинг бўлиниши ва оғир ионлар иштирокидаги ядро реакциялар квант механик табиатга эга бўлишига қарамай квант статистик эффектлар инкор қилинган ҳамда классик динамик ёки марков типидаги стохастик тенгламалар қўлланган, диссипациянинг нолокаллилигига эътибор қаратилмаган. Диффузия билан ишқаланиш коэффициентларнинг вақтга боғлиқлиги ҳисобга олинмаган ёки уларни боғловчи эмперик формулалардан фойдаланилган.

Оғир ядроларнинг бўлинишини марков ва номарков яқинлашишда ўрганилиши ядро моддаси ёпишқоқлик коэффициентининг сон миқдорлари орасидаги фарқнинг катталигини кўрсатди. Бундан ядровий материя ёпишқоқлик коэффициентининг эксперимент натижаларига асосланиб ҳисобланган миқдорий қийматлари немис (G.Wegmann, H.Hofman) ва польяк (K.Pomarski, M.Dworzeska) олимлари томонидан аниқланган бўлиб, бу ишларда диссипациянинг роли микроскопик моделлар асосида ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Миллий университети илмий-тадқиқот ишлари режасининг Ф-2.1.8 «Ядро реакциялари динамикаси» (2003–2007), ФА-Ф2-Ф055 «Оғир ионлар иштирокидаги ядро реакциялар ва ядронинг бўлиниши натижасида ҳосил бўладиган маҳсулотларнинг чиқишини тадқиқ қилиш» (2007–2011), Ф2-ФА-Ф115 «Кўпнуклонли алмашиниш реакциялари ва қўшилиш-бўлиниш механизмини илмий тадқиқот қилиш» (2012–2016), Ф2-60 «Кучли коррелацияланган квант системаларнинг назарияси» (2012–2016) мавзуларидаги илмий лойиҳалари дорасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади номувозанатли квант системаларнинг марков ва номарков динамикасини ифодаловчи формализмни ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

ташқи майдондаги номувозанатли квант система учун гамильтонианнинг аниқ ифодасини топиб, коллектив координаталар учун умумлашган номарков стохастик квант тенгламалар системасини олиш ва уларни аналитик ечимларини топиш;

номарков стохастик тенгламадан ностационар транспорт коэффициентли марков типидаги квант диффузия тенгламаларини келтириб чиқариш;

гармоник осциллятор потенциали каби потенциаллар учун термостат билан тўла боғланиш (ТБ) бўлган ҳолда ва айланувчи тўлқинлар яқинлашишида (АТЯ) Ланжевен тенгламалар системасининг аналитик ечимларини кўрсатиш;

квант термостат билан таъсирлашаётган қўшсатҳли диссипатив системалар учун ночизиқли стохастик тенгламалар системасини олиш ва уларнинг аналитик ечимларини аниқлаш;

диссипатив системанинг коллектив координаталари учун вақтга боғлиқ бўлган транспорт коэффициентларни топиш ҳамда транспорт коэффициентларни ҳамда корреляция функцияларининг асимптотикасини тадқиқ қилиш;

оғир ионлар иштирокидаги ядро реакцияси кесимларининг экспериментал қийматларини таҳлил қилиш орқали тушунтириш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида номувозанатли квант системалар, квант ва мезоскопик системалардаги номувозанат жараёнлар олинган.

Тадқиқотнинг предметини очиқ системалардаги диссипация, диффузия ва квант флуктуациялар ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Ностационар транспорт коэффициентларни олиш учун стохастик динамика, норелятивистик квант механика ва тасодифий жараёнлар назариясининг усулларидан фойдаланилган. Система билан термостат орасидаги ўзаро таъсирлашиш масаласи Гейзенберг-Ланжевен усули орқали ечилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

квант термостат билан тўла боғланган гармоник осциллятор учун айланаётган тўлқин яқинлашиши ёндашиш доирасида ночизиқли стохастик тенгламалар системаси келтириб чиқарилган ва уларнинг аналитик ечимлари топилган;

номувозанатли квант системалар учун вақтга ошкора боғлиқ бўлган транспорт коэффициентларни аниқлашнинг ва квант флуктуацияларни аналитик ҳисоблашнинг усуллари ишлаб чиқилган;

умумлашган номарком стохастик тенгламадан зичлик матрицаси учун эквивалент номарков квант диффузия тенгламаси ва флуктуация-диссипация (ФД) нинг умумлашган квант боғланиши келтириб чиқарилган;

бир жинсли ташқи магнит майдондаги икки ўлчамли зарядланган квант осциллятор учун ностационар ишқаланиш ва диффузия коэффициентларининг аниқ ифодалари кўрсатилган;

икки ўлчамли зарядланган квант осциллятор учун транспорт коэффициентлар ва корреляция функцияларининг асимптотик қийматларини аниқловчи ифодалар ёзилган;

қуйи температура ва катта вақт оралиқлари учун осцелляторнинг корреляция функциясининг емирилишининг даражали қонунга бўйсуниши башорат қилинган;

оғир ионлар иштирокида кечадиган реакцияларда квант ва номарков эффектларининг муҳимлиги аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

умумлашган номарков стохастик квант тенгламасидан вақтга боғлиқ бўлган транспорт коэффициентли марков типидаги квант диффузия тенгламаси келтириб чиқарилган;

номувозанатли жараёнлар учун флуктуация-диссипациянинг умумлашган квант муносабати ва вақтга ошкор боғлиқ бўлган транспорт диффузия коэффициентларини ҳисоблашнинг аналитик ифодалари олинган;

ташқи магнит майдондаги икки ўлчамли зарядланган квант осциллятор учун ностационар квант транспорт коэффициентлари аниқлаш усули ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларнинг ишончлилиги ишда назарий физика, тасодифий жараёнлар назарияси ва стохастик динамиканинг замонавий усуллари ҳамда самарадор рақамли усуллар ва алгоритмлардан фойдаланилганлиги, назарий натижаларни экспериментлар ва бошқа муаллифларнинг ишлари билан таққосланганлиги; хулосаларнинг очиқ системалар статистик физикаси ва ядро реакциялари назариясининг асосий тамойилларига мос келиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти олинган аналитик формулаларни диссипатив системаларда тунелли ўтишларни ифодалашда қўлланилиши; квант системаларда метастабил ҳолатларнинг яшаш вақтларини аниқлаш учун фойдаланишда асос бўлиши билан белгиланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти уларнинг атом, ядро физикаси ва статистик физикада, кўп жисмли системаларнинг квант-механик назариясини яратишда, оптик генераторларнинг флуктуацион характеристикаларини ҳисоблашда фойдаланилиши мумкинлиги ҳамда ушбу ишда келтирилган номарков эффектларнинг янги таҳлиллари нанотехнология ҳамда квант электроникаси бўйича янги асбобларни лойиҳалаштиришга ёрдам бериши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Номувозанатли квант системаларнинг марков ва номарков динамикасини ифодаловчи формализм бўйича ишлаб чиқилган натижалар асосида:

номувозанатли квант системаларнинг номарков динамикасининг назарий таҳлили ва квант стохастик тенгламаларни ечиш бўйича ишлаб чиқилган усул Россиянинг Бирлашган ядро тадқиқотлари институти ҳузуридаги Назарий физика лабораториясидаги №01-3-1029-99/20032006 «Ядровий ва мезоскопик системалар динамикаси ва тузилманинг ҳосил бўлиши» (1999–2003) фундаментал лойиҳаси доирасидаги назарий, эксперимантал натижаларни асослаш ҳамда номувозанатли квант системаларнинг номарков динамикасини тушунтиришда қўлланган (Бирлашган ядро тадқиқотлари институтининг 2016 йил 12 июлдаги 300-20/15-сонли маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижаларининг қўлланиши кучли деформацияланган ядроларнинг ҳолатларини ифодалашнинг янги кластер усулини ишлаб чиқиш ва супердеформацияланган ядроларни тадқиқ қилишнинг янги спектроскопик усулини башорат қилинишига имкон берган;

ностационар транспорт коэффициентларни ва метастабил ҳолатларнинг емирилиш кенглигини аниқлаш усуллари №01-3-1029-99/2008 «Қуйи энергияларда ядро-ядро тўқнашувлари ва ядроларнинг хоссалари» (2003–

2008) илмий мавзусининг бажарилишида ядроларнинг тўла қўшилиши, квазиемирилиш, емирилиш ва қамраб олинишини тавсифлашда қўлланган. (Бирлашган ядро тадқиқотлари институтининг 2016 йил 12 июлдаги 300-20/15-сонли маълумотномаси). Тадқиқот натижаларининг жорий этилиши кучли радиоктив ва стабил ионлар дастаси ёрдамида ортиқча нейтронли ноёб изотопларни олиш имконини берган;

квант системаларнинг номарков динамикаси, метастабил ҳолатларнинг емирилиши ва Кулон тўсиғи атрофида кечадиган оғир ионлар иштирокидаги реакцияларнинг номарков Ланжевен формализми хорижий илмий журналларда (Physics Letters A, 2009; Physical Review C, 2010; Modern Physics Letters A, 2014; Physical Review B, 2015; Physics Reports 2015; Physics Letters A, 2009; International Journal of Modern Physics B, 2015) оғир ионлар иштирокидаги ядро реакциялари натижасида ядроларнинг тўла қўшилиши, квазиемирилиш, емирилиш ва қамраб олиниши бўйича назарий, эксперимантал натижаларни асослаш ҳамда номувозанатли квант системаларнинг номарков диамикасини тушунтиришга хизмат қилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 14 та халқаро ва 6 та республика илмий-амалий анжуманида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 40 та илмий иш нашр қилинган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 20 та мақола, шулардан 18 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, олти боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг умумий ҳажми 136 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, илмий ишнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган ва уларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

«**Квант ва мезоскопик очиқ системаларнинг марков ва номарков динамикаси»** деб номланган биринчи бобда адабиётларда марков ва номарков динамиканинг асосий ҳолатлари ва хусусиятлари ҳақидаги маълумотларнинг қисқача муҳокамаси берилган. Бу йўналишдаги асосий муаммолар санаб ўтилган ва уларни бартараф этиш йўллари муҳокама қилинган. Адабиётлардаги маълумотларнинг таҳлили асосида ушбу диссертациянинг мақсад ва вазифалари баён қилинган.

«**Номарков квант динамикаси ва диффузия тенгламалари»** деб аталган иккинчи бобда микроскопик гамильтонианга асосланган ҳолда номарков яқинлашишда коллектив координаталар учун Ланжевеннинг ночизиқли умумлашган квант стохастик тенгламалар системаси олинган ҳамда уларнинг аналитик ечимларидан фойдаланиб, ихтиёрий температура ва сўниш учун коллектив системанинг ностационар транспорт коэффициентларини аниқлаш усули ишлаб чиқилган. Бунинг учун тўла система (ички ва коллектив система)нинг гамильтониани сифатида БЯТИнинг Назарий физика лабораторияси олимлари (Р.В.Джолос, С.П.Иванова, В.В.Иванов) томонидан таклиф қилинган гамильтониандан фойдаланилган. Бу гамильтониан коллектив координата q ва унга қўшма бўлган импульс p ҳамда ички эркинлик даражалари b_ν^+, b_ν га ошкора боғлиқдир:

$$H = H_c + H_b + H_{cb},$$

бу ерда

$$H_c = p\frac{1}{2\mu(q)}p + U(q), \qquad H_b = \sum_\nu \hbar\omega_\nu b_\nu^+ b_\nu,$$
$$H_{cb} = \sum_\nu V_\nu(q)(b_\nu^+ + b_\nu) + i\sum_\nu G_\nu(q,p)(b_\nu^+ - b_\nu) \qquad (1)$$

Бу ерда H_c ва H_b мос равишда коллектив ва ички системаларга тегишли. H_{cb} коллектив система билан ички системанинг боғланишини ифодаловчи хад бўлиб, у коллектив системанинг координаталари учун олинадиган тенгламалардаги диссипатив хадларнинг манбаи ҳисобланади. Ушбу гамильтониан ёрдамида Ланжевеннинг қуйидаги интегро-дифференциал тенгламалар системаси олинади:

$$\dot{q}(t)=\frac{1}{2}\{\tilde{\mu}^{-1}(q(t)),p(t)\}_{+}-\frac{1}{2}\int_{0}^{t}d\tau\{K_{GV}(t,\tau),\dot{q}(\tau)\}_{+}+\frac{1}{2}\int_{0}^{t}d\tau\{K_{GG}(t,\tau),\dot{p}(\tau)\}_{+}+F_{q}(t)$$

$$\dot{p}(t)=-H_{c,q}(q(t),p(t))-\frac{1}{2}\int_{0}^{t}d\tau\{K_{VV}(t,\tau),\dot{q}(\tau)\}_{+}+\frac{1}{2}\int_{0}^{t}d\tau\{K_{VG}(t,\tau),\dot{p}(\tau)\}_{+}+F_{p}(t) \quad (2)$$

Бу ҳаракат тенгламаларидаги интеграл хадларнинг мавжудлиги номарков системанинг ҳаракат траекторияси бўйлаб ўтган t вақт моменти бўйича хотирага эга эканлигини англатади. Тенгламалар системасининг иккинчи тенгламасидаги ($F_p(t)$) импульс бўйича тасодифий кучнинг мавжудлиги математик жиҳатдан тенгламанинг ечимини топишни анча мураккаблаштиради. Ушбу тенгламалар системасининг аналитик ечимларини топиш учун тенгламалардаги функционалларни уларнинг ўртача қийматлари билан алмаштириб, қайта нормаллашган потенциалларни гармоник (ёки тескари) осциллятор потенциали кўринишида олиш керак. Тенгламалар (2)даги диссипатив ядролар термостат температураси ва фононлар сонига боғлиқ эмас. Диссертацияда кўриб чиқилган ҳолда температура ва флуктуация ички система учун бошланғич шартларнинг тақсимоти орқали ҳисобга олинган.

Тенгламалар (2)даги $F_p(t)$, $F_q(t)$ операторлар $p(t)$, $q(t)$ ҳамда ички системанинг бошланғич шартларига боғлиқ бўлиб, импульс ва координата бўйича тасодифий кучлар операторлари ролини бажаради. Одатда, статистик физикада термостат операторлари учун бошланғич шартлар ноаниқ бўлганлиги сабабли $F_p(t)$, $F_q(t)$ операторлар флуктуация деб баҳоланади. Бу флуктуацияларнинг статистик хоссаларни аниқлашда $p(0)$, $q(0)$нинг қийматлари берилган бошланғич ҳолат ансамбли қаралади, термостатнинг бошланғич операторлари эса каноник ансамблдан олинади. Бу ансамблда флуктуация Гаусс тақсимотига эга ва унинг ўртача қиймати нолга тенг.

Диссертацияда флуктуация-диссипация (ФД) квант муносабати умумий ҳолда ихтиёрий H_{cb} учун олинган. ФД муносабатининг бажарилиши номарков динамик тенгламалар системасидаги диссипатив ядроларнинг тўғри ифодаланганини англатади. ФДнинг квант муносабати ифодаси бошқа муаллифлар томонидан аввал хусусий ҳолатда чизиқли осцилляторлар, яъни *FC* (тўлиқ боғланишли осциллятор) ва *RWA* (тез айланувчи тўлқин яқинлашиш)лар учун топилган эди.

ФДнинг квант муносабати классик муносабатдан фарқ қилади ва юқори температура T (ёки $\hbar \to 0$) бўлган ҳолларда унга келтирилиши мумкин. Классик муносабат фақат (T) иссиқлик флуктуацияларини ўз ичига олади. Диссертациядаги натижаларда квант флуктуациялар ҳам ҳисобга олинган. Коллектив координата ва импульс учун ёзилган ҳаракат тенгламалари ФД муносабатини қаноатлантирганлиги сабабли ишлаб чиқилган формализм коллектив ҳаракатларнинг квант статистик ифодалашнинг асосини таъминлайди.

Ностационар транспорт коэффициентларни топиш учун p ва q ларнинг вақтга ошкора боғлиқлигидан фойдаланиб, уларнинг асосий характеристикалари аниқланди ва биринчи момент (ўртача қиймат), иккинчи

момент (дисперсия)нинг тенгламалари уларнинг классик аналоглари билан солиштирилди ҳамда вақтга боғлиқ бўлган ишқаланиш, диффузия коэффициентлари топилди. Бу коэффициентларнинг вақтга боғлиқлиги системанинг номарковлилигидандир. Ушбу ностационар коэффициентлардан фойдаланилиб, умумлашган Ланжевен тенгламаси асосида матрица зичлиги учун Линдбланднинг марков типидаги квант диффузия тенгламаси олинган.

Диссертациянинг **«Сўнувчи квант осциллятор ва чизиқли боғланиш»** деб номланган учинчи бобида таъсирлашаётган системалар орасидаги боғланиш умумий бўлган гамильтониандан коллектив, ички системалар орасидаги боғланиш импульс ва координата учун, чизиқли бўлган ҳол учун микроскопик гамильтониан келтириб чиқарилган. Бу гамильтонианлардан фойдаланиб, чизиқли сўнувчи осциллятор учун айланувчи тўлқин яқинлашишида Гейзенберг-Ланжевен квант тенгламалар системаси олиниб, уларнинг аналитик ечимлари топилган. Ностационар транспорт коэффициентлари ва корреляция функцияларининг асимптотик қийматлари тадқиқ қилинган. Системанинг коллектив координаталари учун ёзилган ҳаракат тенгламалари ФД муносабатни қаноатлантириши исботланган.

Симметрияли корреляция функцияларининг асимптотикаси ($t- t'>0$) юқори ва қуйи температураларда турлича бўлиши аниқланган:

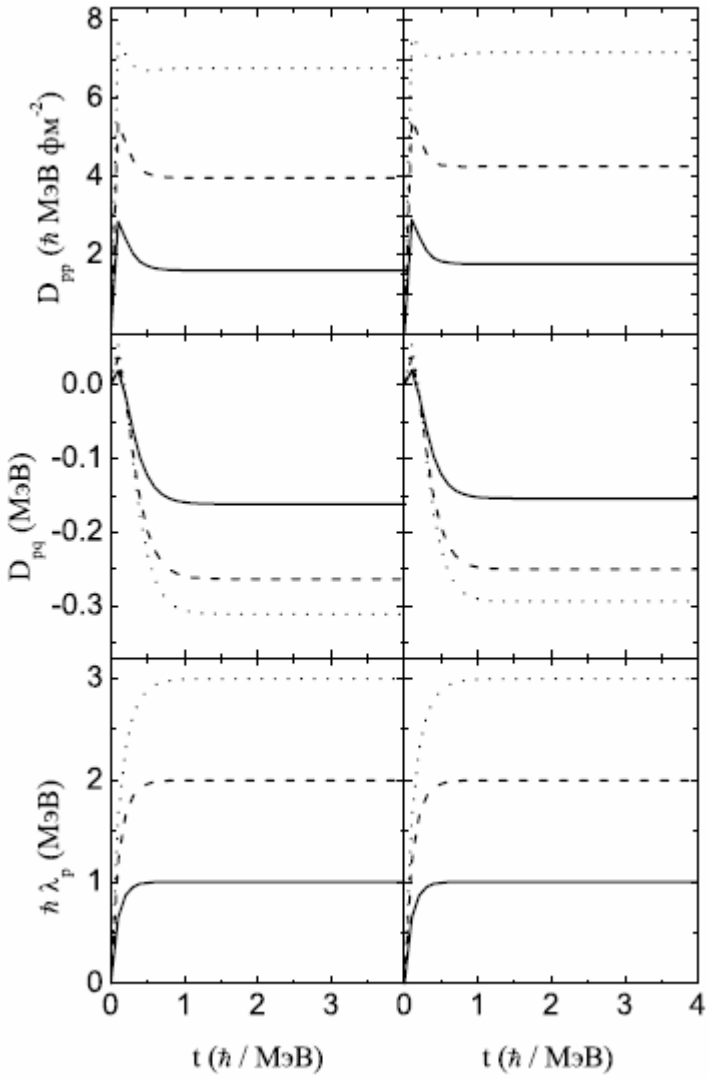
$$\sigma^{as}_{p_t p_{t'}}(T\to 0)\to -\frac{\hbar g_0\gamma^2\mu^2\omega^4}{\pi s_1^2 s_2^2 s_3^2}\frac{1}{(t-t')^2}=-\frac{\hbar g_0\tilde{\mu}^2\mu^2\omega^4}{(\mu\omega^2-\tilde{\mu}\xi_0^2)^2}\frac{1}{(t-t')^2}$$

$$\sigma^{as}_{p_t p_{t'}}(T\to\infty)\to -\frac{T\tilde{\mu}\mu\omega^2}{\gamma(\mu\omega^2-\tilde{\mu}\xi_0^2)^2}\left[\frac{s_2 s_3(s_2+s_3)e^{s_1(t-t')}}{(s_2-s_1)(s_3-s_1)}+\frac{s_1 s_3(s_1+s_3)e^{s_2(t-t')}}{(s_1-s_2)(s_3-s_2)}+\right.$$

$$\left.+\frac{s_1 s_2(s_1+s_2)e^{s_3(t-t')}}{(s_1-s_3)(s_2-s_3)}\right] \qquad (3)$$

Қуйи температура ва катта вақт оралиқлар учун осциллятор корреляция функциясининг емирилиши даражали қонунга бўйсунади. Сабаби осциллятор билан квант термостат орасидаги таъсирлашувнинг тўла квант механик табиатга эгалигидир, яъни ҳар бир таъсирлашувда бир системадаги квант йўқолиб, иккинчи системада туғилади. Юқори температура ва классик чегарада бундай емирилиш кузатилмайди ҳамда емирилиш экспоненциал қонуният бўйича бўлади.

Бир хил частота ва массага эга бўлган гармоник ҳамда тескари осцилляторлар (тўнкарилган парабола) учун микроскопик ишқаланиш коэффициенти $\lambda_p(t)$, ва $D_{pp}(t)$, $D_{pq}(t)$ диффузия коэффициентларининг вақтга боғлиқлиги 1- ва 2-расмларда келтирилган.

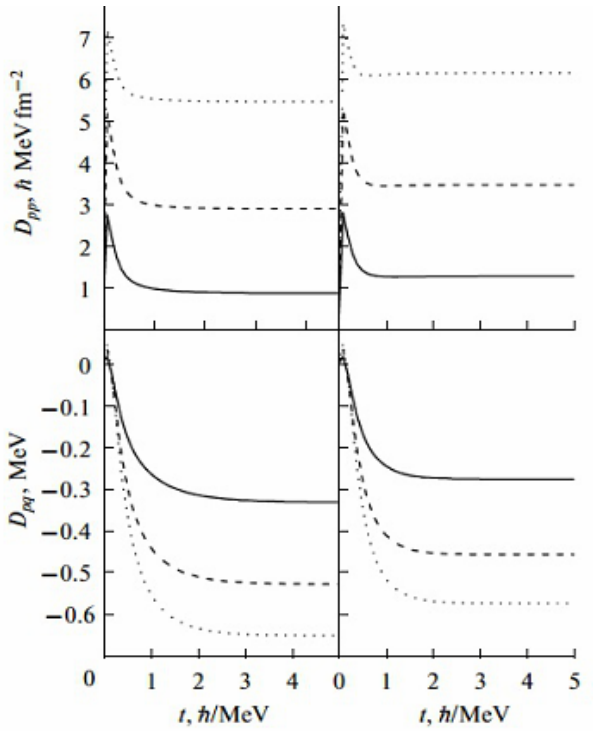


Тескари (чап томондаги графиклар) ва гармоник осцилляторлар учун (ўнг томондаги графиклар) ($\mu=50m_0$ ва $\hbar\tilde{\omega}$ =3МэВ деб олинган, T =1.0 МэВ). Туташ, штрих, нуқтали чизиқлар, мос равишда, ишқаланиш коэффициентининг $\hbar\lambda_p$=1.0, 2.0, ва 3.0 МэВ асимптотик қийматларида ҳисобланган.

1-расм. Микроскопик диффузия ва ишқаланиш коэффициентларининг вақтга боғлиқлиги (T=1.0 МэВ)

Ваҳоланки, $D_{pp}(\infty)>D^{c}_{pp}$, $D_{qp}(\infty)<0$, классик ҳолда эса $D_{qp}(\infty)=0$. D_{pp}, D_{qp} ва λ_p нинг бошланғич вақтдаги қийматлари нолга тенг бўлиб, қисқа $t \sim \gamma^{-1}$ ўтиш вақти ичида ўзининг асимптотик қийматларига эришади. Ўтиш вақти ишқаланиш коэффициенти λ_p нинг ўсиши билан жуда секин ўзгаради.

Диссертациянинг ушбу бобида квант термостат билан таъсирлашаётган қўшсатҳли якка атом учун айланувчи тўлқин яқинлашишида ночизиқли стохастик тенгламалар системаси олинган ва уларнинг аналитик ечимлари топилган. Коллектив координаталар учун тенгламалар квант ФД муносабатни қаноатлантириши кўрсатилди.



Тескари (чап томондаги графиклар) ва гармоник осцилляторлар учун (ўнг томондаги графиклар) ($\mu=50m_0$ ва $\hbar\tilde{\omega}$ =3МэВ деб олинган, T =0.3 МэВ). Туташ, штрих, нуқтали чизиқлар, мос равишда, ишқаланиш коэффициентининг $\hbar\lambda_p$=1.0, 2.0 ва 3.0 МэВ асимптотик қийматларида ҳисобланган.

2-расм. Микроскопик диффузия ва ишқаланиш коэффициентларининг вақтга боғлиқлиги (T=0.3 МэВ)

Диссертациянинг **«Фермионли ички қисмли ва ўзгарувчан боғланишли очиқ квант системанинг номарков динамикаси»** деб номланган тўртинчи бобида ички система Ферми-Дирак статистикасига бўйсинувчи зарралардан иборат бўлган ҳолат кўриб чиқилган. Квантланган майдонлар назарияси, қаттиқ жисмларнинг квант назарияси ва ядро физикасининг қатор масалаларини ечишда термостатни Ферми-Дирак статистикасига бўйсинувчи чексиз кўп осцилляторлардан иборат деб қаралиши ва системалар орасидаги таъсирни ностационарлигини эътиборга олиш талаб қилинади. Бу, айниқса, оғир ионлар иштирокида Кулон тўсиғи атрофида кечадиган ядро реакциялари тадқиқида катта аҳамиятга эга.

Коллектив система энергиясининг ўзгариши қуйидаги тенглама асосида бўлиши кўрсатилган:

$$\dot{E}(t)=-\left[2\lambda_P(t)+\frac{\dot{m}(t)}{m(t)}\right]\frac{\sigma_{pp}(t)+<p(t)>^2}{2m(t)}-[2\lambda_q(t)\xi(t)+\dot{\xi}(t)]\frac{\sigma_{qq}(t)+<q(t)>^2}{2}+$$
$$+\frac{D_{pp}(t)}{m(t)}+\xi(t)D_{qq}(t) \qquad (4)$$

Мазкур тенгламадан англашиладики, гармоник осциллятор учун энергия диссипациясининг тезлиги $\lambda_p(t)$ ва $\lambda_q(t)$ га пропорционал ўсса D_{pp}(t) ва D_{qq}(t)га пропорционал равишда камаяр экан.

Термостат билан осцилятор орасидаги тўла боғланиш ностационар бўлган хол тадқиқ қилинди. Ностационар боғланиш частотасининг сўнувчи квант осцилляторнинг диссипациясига таъсири Ланжевеннинг номарков тенгламаси асосида ўрганилди ва ностационар транспорт коэффициентларга ностационар боғланишнинг частота ўзгаришининг таъсири тадқиқ қилинди.

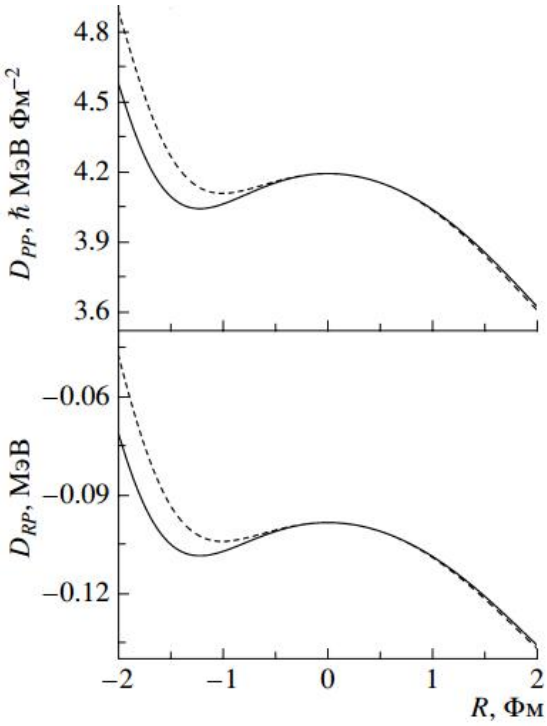
Ностационар боғланиш транспорт коэффициентларнинг камайишига олиб келиши кўрсатилди.

«Квант системанинг номарков динамикаси: емирилиш тезлиги ва қамраб олиш» деб аталган бешинчи бобда юқоридаги иккинчи, учинчи ва тўртинчи бобларда ишлаб чиқилган ва ривожлантирилган ёндашувлар оғир ионлар иштирокида қуйи энергияларда кечадиган ядро реакцияларини тушинтиришда фойдаланилган. Параболик тўсиқдан тунел ўтиш жараёнига ишқаланиш ва диффузия коэффициентларнинг таъсирлари қараб чиқилган. Вақтга боғлиқ бўлган зичлик матрицасининг турли диффузия коэффициентларига боғлиқлиги ўрганилган. Термостат билан боғланиш натижасида координата бўйича ишқаланиш коэффициентининг борлиги тўсиқ потенциалини перенормировкасига олиб келади ва бу тўсиқдан ўтиш эҳтимоллигини оширади. Тўсиқдан сизиб ўтиш тезлиги координата бўйича диффузия коэффициентига ҳам боғлиқ. Оғир ионларнинг тўқнашишида сиот тебраниши ва ядролар орасидаги нуклонлар алмашинуви ядро-ядро таъсирлашув Кулон потенциал тўсиғини перенормировкасига ва кинетик энергиянинг диссипациясига сабаб бўлади.

Тўсиқ ости энергияларда тунел ўтиш эҳтимоллиги ишқаланиш коэффициентлари $\lambda_q = \lambda_p \neq 0$ бўлган ҳолда ишқаланиш мавжуд бўлмаган $\lambda_q = \lambda_p = 0$ ҳолга нисбатан каттадир. Бу ерда координата бўйича ишқаланиш λ_q тўсиқнинг сизувчанлигини орттиради, импульс бўйича ишқаланиш λ_p эса камайтиради. Катта сизувчанлик ядроларнинг тўсиқости бирлашувчанлиги бўйича экспериментал натижаларни тушунтириш учун муҳимдир. Энергия тўсиқдан катта бўлганда ишқаланиш ва диффузия тўсиқдан ўтишни камайтиради. Энергиянинг ноль қийматида ва $\lambda_q = \lambda_p$ бўлганда диссипацияли ва диссипациясиз ўтиш эҳтимолликлари бир-бирига тенгдир.

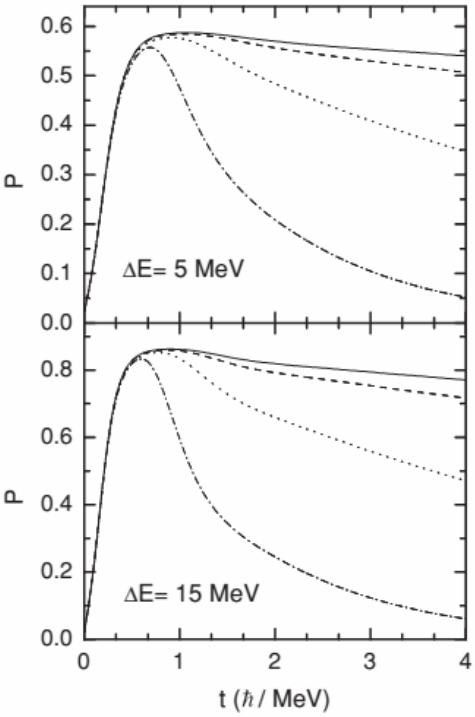
Булардан ташқари, тўсиқнинг сизувчанлигига квант эффектларнинг таъсирлари ҳам ўрганилди. Зичлик матрицаси учун мастер тенгламанинг ечимларидан фойдаланиб, координатага боғлиқ бўлган микраскопик диффузия коэффициентларининг метатурғун ҳолатларнинг емирилишига таъсири ҳам тадқиқ қилинди. Диффузия квант механик эффект бўлиб, классик қамралишда унинг роли йўқ. Қамралиш эҳтимоллигининг энергия, бурчак моменти ва ишқаланишга боғлиқлигининг текс ўзгариши диффузиянинг мавжудлиги ҳисобигадир. Чуқур ноэластик тўқнашиш реакцияларининг ўрганиш натижасида ишқаланишнинг ҳақиқатга яқин

бўлган қиймати $\hbar\lambda_p$=1-2МэВ эканлиги топилди. $\hbar\lambda_p$нинг бу қийматларида қамраб олиш эҳтимоллиги 20% атрофида секин ўзгаради.



Бунда ^{50}Ti + ^{198}Pt система учун $\hbar\lambda_p$= 2 МэВга ва бурчак моменти J= 0 (туташ чизиқ) ва 50 (штрихли чизиқ)

3-расм. Диффузия коэффициентини ядролар маркази орасидаги нисбий масофа *R* га боғлиқлиги



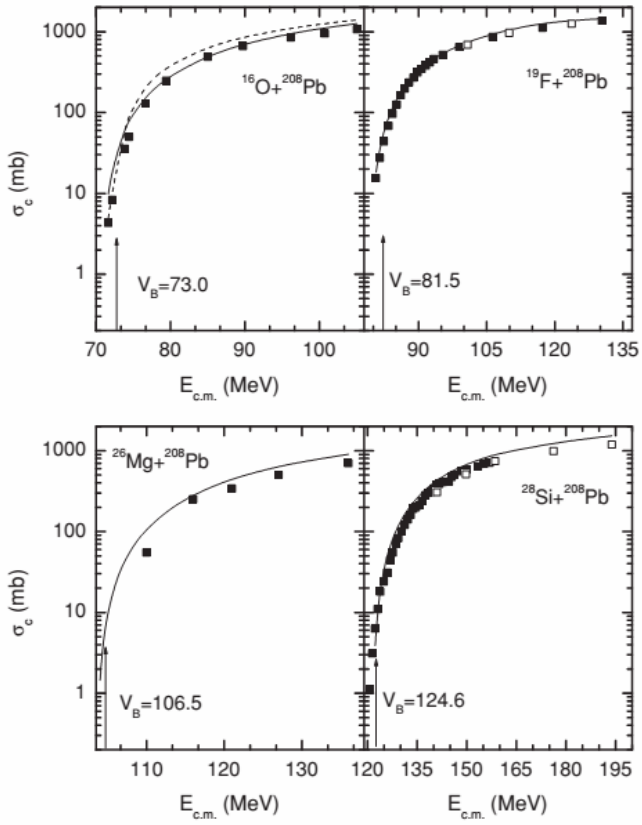
Энергия Кулон тўсиғидан бошлаб ҳисобланади. J= 0 (туташ чизиқ), 30 (штрихли чизиқ), 60 (пунктирли чизиқ) ва 90 (штрих пунктирли чизиқ)

4-расм. ^{48}Ca + ^{208}Pb реакцияда қамраб олиш эҳтимоллилиги *P* нинг энергияни $\Delta E(0)=E_{cm}-V(R=R_b,J)$=5МэВ ва 15 МэВ қийматларидаги *t* вақтга боғлиқлик графиги

3-расмда диффузия коэффициентининг бурчак моменти (узлуксиз чизиқ), J= 50 (штрихли чизиқ) ва температуранинг T = 1.2 *МэВ* қийматлари учун R координатага боғланиш графиги келтирилган. Ядро-ядро таъсирлашув потенциали бурчак моменти J га боғлиқ бўлганлиги сабабли диффузия коэффициентлари ҳам J нинг функцияси бўлади. Потенциал «чўнтак» атрофида D_{pp} ва D_{qp} нинг қийматлари бурчак моменти ўсиши билан етарлича кучсиз ўзгаради.

4-расмда қамраб олиш эҳтимоллилиги $P(t)$нинг вақтга боғланиш графиги келтирилган. Бошланғич кинетик энергия учун ёзилган $E_{\rm kin}(0)=(<P(0)>^2+\sigma_{PP}(0)/(2\mu))$ формулада квант флуктуация билан боғлиқ бўлган энергия ҳисобга олинган. Коллектив системанинг тўла энергияси кулон тўсиғидан бошлаб ҳисобланган, яъни $\Delta E(0)=E_{cm}-V(R=R_b,J)$. Расмдан кўринадики, оқим квазистационар тезлигининг ўрнатилиш вақти $\tau \approx 2.0\hbar$/МэВ параметрларнинг қаралаётган оралиғи ва ишқаланиш коэффициенти, бурчак моменти ҳамда тўла энергиянинг бошланғич

қийматларига кучсиз боғланган. $t>\tau$ бўлганда P нинг қиймати экспоненциал камаяди.

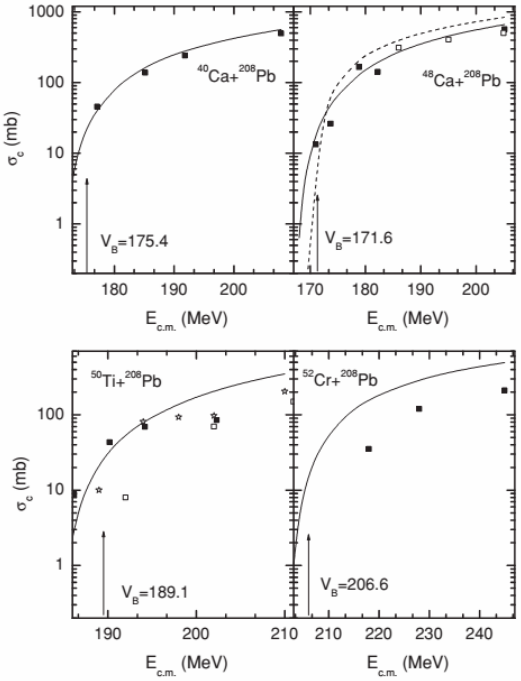


Ҳисоблаш натижалари – туташ чизиқлар, $^{48}O + ^{208}Pb$ реакция учун кесим Вонг формуласи ёрдамида ҳисобланган – штрих чизиқлар.

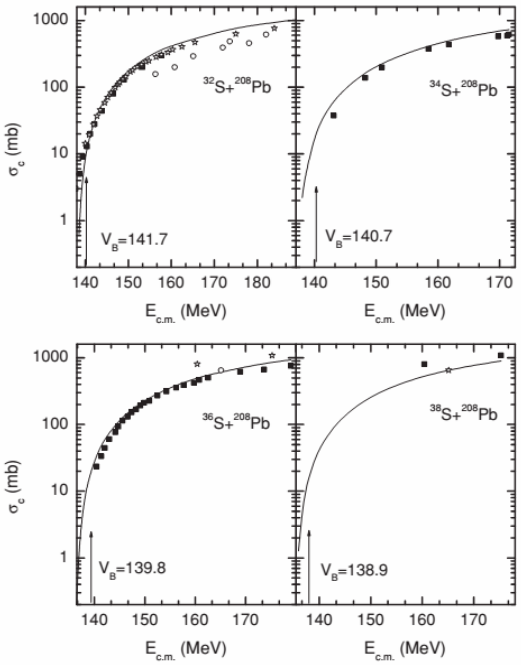
5-расм. Расмларда кўрсатилган реакциялар учун қамраб олиш кесими.

Бурчак моментининг катта қийматларида (J=90) оқим кескин камайишининг сабаби потенциал чуқурлик (чўнтак)нинг жуда саёзлигидандир (3-расмдаги штрих-пунктирли чизиқ). Бурчак моментининг кичик қийматларида қамраб олиш эҳтимоллилиги $t = \tau$ даги қиймати $P(t)$ нинг максимал қийматига тенг.

Ҳисобланган қамраб олиш кесимининг мавжуд эксперимент натижалари билан таққослаш 5–8-расмларда келтирилган. Кулон тўсиғидан 4 МэВ кичик ва тўсиқдан 70 МэВ юқори бўлган энергиянинг қийматларида ҳисоблаш натижалари деярли барча реакциялар учун эксперимент натижалари билан мос тушади. $^{52}Cr + ^{208}Pb$ реакция учун назария билан эксперимент натижалари орасидаги мавжуд фарқни қуйидагича тушунтириш мумкин:



6-расм. Расмда келтирилган реакциялар учун қамраб олиш кесимининг ҳисобланган қиймати (туташ чизиқ). ^{48}O + ^{208}Pb реакция учун Вонг формуласи бўйича ҳисобланган натижа (штрихли чизиқ) келтирилган.

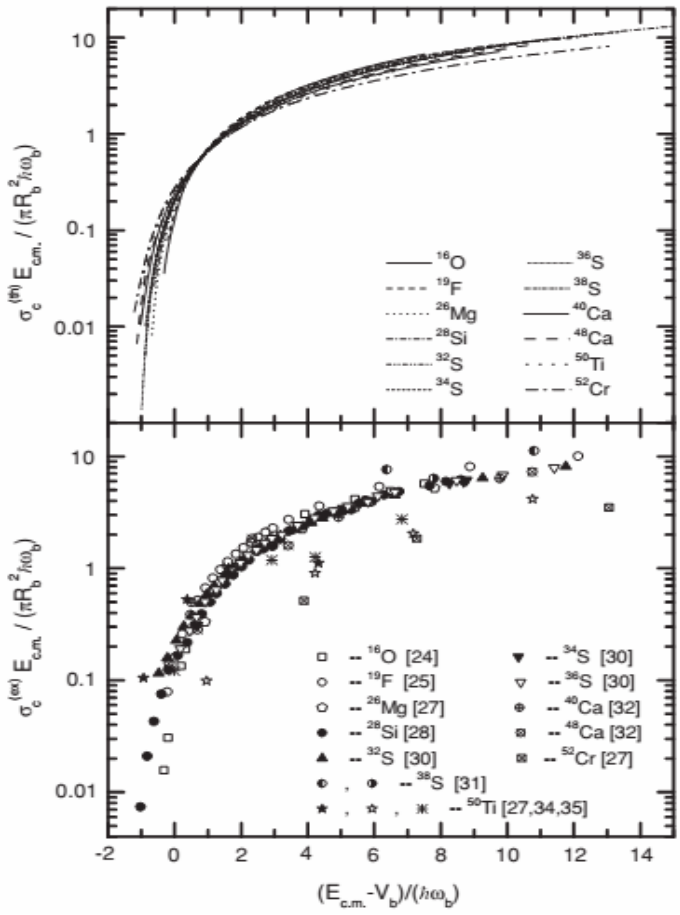


7-расм. Расмда келтирилган реакциялар учун қамраб олиш кесимининг ҳисобланган қиймати (туташ чизиқ).

Қамраб олиш кесимининг экспериментал қиймати квазибўлиниш σ_{qf}, қўшилиш-бўлиниш σ_{ff} ва буғланиш қолдиғи σ_{ER} кесимларининг йиғиндисидан иборат. ^{52}Cr + ^{208}Pb реакцияда σ_{ff} ва буғланиш қолдиғи σ_{ER} кесимлари жуда кичкина (чунки қўшилиш эҳтимоллилиги жуда кичик), шунинг учун уларни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Бундан экспериментда квазибўлиниш билан эластик ва чуқур ноэластик сочилишнинг маҳсулотлари бир-биридан қанчалик аниқ ажрата олинади, деган савол келиб чиқади. ^{52}Cr + ^{208}Pb системада заряд (масса) ассиметрияси координатаси бўйича минимум бу системани симметрик бўлган конфигурацияга оғиб кетишига қаршилик қилади, шу боис (квазибўлиниш орқали) берилган айни конфигурация бўйича емирилиш эҳтимоли катта. Квазибўлинишга заряд (масса) ассиметрияси кириш канали яқинида бўлган маҳсулотлар асосий ҳисса қўшади. Аммо экспериментда квазибўлиниш маҳсулотларини эластик ва чуқур ноэластик жараёнларникидан ажратиш ўта мураккаб. Шунинг учун баъзи экспериментларда кириш канали яқинида квазибўлиниш маҳсулотларининг ҳиссалари етарлича ҳисобга олинмаган дейиш мумкин.

Тўқнашиш энергиясининг ошиши билан ва мос равишда кириш каналидаги қўзғалиш энергияси, бошланғич системанинг симметрикроқ конфигурацияга ўтиш эҳтимоллилиги ортади ҳамда кириш канали яқинида квазибўлиниш маҳсулотларининг ҳиссаси камаяди. Тўқнашиш

энергиясининг ошиши билан назарий ҳисоблашлар ва экспериментал натижалар ўртасидаги фарқ камаяди.



Юқоридаги расм – ҳисоблашлар натижаси, пастдаги расмлар – экспериментда ўлчанган натижалар

6-расм. Нишон ядро ^{208}Pb нинг расмда келтирилган тўқнашувчи ядролар билан реакцияси учун $\sigma_{cap}E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)$ нинг $(E_{cm}-V_b)/(\hbar\omega_b)$га боғлиқлиги, бу ерда $V_b=V(R=R_b,J=0)$

Қамраб олиш кесимининг ўлчанган ишончлилик критерияси $\sigma_{cap}E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)$нинг $(E_{cm}-V_b)/(\hbar\omega_b)$га боғлиқлигидир. 8-расмда бу муносабатнинг экспериментал ва назарий боғланиши келтирилган. Кириш канали берадиган эффектга кўра қамраб олиш кесимининг абсолют қийматида фарқ пайдо бўлади. Бу расмдан кўринадики, тушувчи ядролар енгил бўлган реакцияларда $\sigma_{cap}E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)$ каттароқ. Сабаби айни рекцияларда ядро-ядро таъсир потенциалининг ўраси («чўнтаги») чуқур ва кенгроқ. Нисбатан енгилроқ ядролар билан кечадиган ^{16}O, ^{19}F, ^{26}Mg, ^{28}Si, ^{32,34,36}S ва ^{40,48}Ca реакцияларда берилган $(E_{cm}-V_b)/(\hbar\omega_b)$ учун етарлича тор соҳада тақсимланган. $E_{cm}>V_b$ бўлганда барча реакциялар учун $\sigma_{cap}E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)$нинг $(E_{cm}-V_b)/(\hbar\omega_b)$га боғлиқлигини универсал деб қараш мумкин. Тўла қўшилиш эҳтимоллиги кучли кам бўлган нисбатан оғир ^{50}Ti, ^{52}Cr + ^{208}Pb системаларда квазибўлиниш кириш канали яқинида кучли ва

экспериментал нуқталар бу тор соҳадан кўпроқ четлашади. Агар статик кулон тўсиғини эффектив динамик тўсиқ билан алмаштирилса, $^{52}Cr + ^{208}Pb$ реакция учун σ_c нинг экспериментал қийматини назарий тўғри олиш мумкин. Статик тўсиқнинг бундай силжиши «extra-push» дейилади.

Бироқ совуқ қўшилиш бўйича нишон ядролар – ^{208}Pb ва ^{209}Bi – иштирокидаги реакцияларда кириш каналида бундай эффектнинг йўқлиги экспериментда кузатилган. Демак, тўсиқнинг силжишини ҳисобга олиш σ_c нинг хақиқий қийматини топишда катта етишмовчиликка олиб келади. Кўрилган реакцияларда қамраб олиш кесими дастлаб E_{cm} ортиши билан ўсади, бироқ кейин $1/ E_{cm}$га пропорционал равишда камаяди. Қўшалоқ ядро системаси моделига кўра қамралиш J нинг барча (J= 0дан $J= J_{crit}$гача) тўла қўшилишга олиб келувчи потенциал ўра «чўнтакни» берувчи қийматларида мавжуд бўлади. Қачонки J_{crit} нинг қиймати E_{cm} нинг берилган қийматида бурчак моменти J_{max} дан кичик бўлса, қамралиш кесими $\sigma_c E_{cm}$ нинг катта қийматларида камая бошлайди. Бу кириш канали эффекти қамралиш кесимини чегаралаб қўйганини билдиради. $J>J_{crit}$ бўлганда марказдан қочма ва кулон кучлари ядровий кучларни компенсациялайди, мос равишда, потенциал чуқурлик – чўнтак жуда саёз бўлиб қолади ёки умуман бўлмайди. $J<J_{crit}$ бўлганда эса кириш канали яқинидаги емирилиш маҳсулотлари асосан квазиемирилиш маҳсулотлари бўлади. $^{54}Fe + ^{208}Pb$ ва $^{58}Ni + ^{208}Pb$ реакциялар учун мос равишда энергиянинг $E_{cm}\approx 250$ ва $E\approx 260$ МэВ, яъни Кулон тўсиғининг баландлигидан унча катта бўлмаган қийматларида қамралиш кесимлари максимал қийматига эга бўлади. $^{58}Ni + ^{208}Pb$ реакция учун потенциал чўнтакнинг кенглигини 0.5 МэВга оширилса, σ_c нинг абсолют қиймати сал ошади, максимумнинг ҳолати эса тахминан 10 МэВга энергиянинг катта қиймати томонига силжийди.

«Номувоанатли системалар ташқи магнит майдонда» деб аталган олтинчи бобда очиқ системанинг номарков динамикасига ташқи магнит майдонининг таъсири кўриб чиқилган. Номувозанатли квант системанинг динамикасига магнит майдонининг таъсирини аниқлаш мақсадида бозонли термостат билан ўралган зарядланган коллектив системанинг икки ўлчамли потенциал ўрадаги ҳаракати тадқиқ қилинган.

Бир жинсли магнит майдонидаги икки ўлчамли зарядланган осциллятор учун ностационар диффузия ва ишқаланиш коэффициентларининг аниқ ифодалари топилган. Энг асосий натижалардан бири бу ташқи магнит майдони мавжуд бўлганда бозонли термостатдаги ишқаланиш коэффициентининг пасайиши натижасида система энергия сўнишининг камайишидир. Лекин бу энергиянинг асимптотик қийматлари ω_L га боғлиқ бўлмайди. Магнит майдонининг очиқ система динамикасига таъсири паст температураларда яққол намоён бўлиб, бунда магнит майдонидан маълум шароитда сиқилган пакет динамикасини олишда фойдаланиш, магнит майдони ёрдамида кристалл каналидаги зарядли зарраларнинг кўндаланг дисперсиясини созлаш мумкин.

ХУЛОСА

«Квант ва мезоскопик очиқ системаларнинг Марков ва номарков динамикаси» мавзусидаги докторлик диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқот натижасида қуйидаги хулосаларга келинди:

1. Номувозанатли квант система учун зарур гамильтониан топилган. Шу квант гамильтониандан фойдаланиб номарков стохастик тенгламалар системаси олинди ва уларнинг аналитик ечимлари топилди.

2. Стохастик тенгламаларнинг аналитик ечимларидан фойдаланилган ҳолда зичлик матрицаси учун вақтга боғлиқ бўлган транспот коэффициентли номарков квант диффузия тенгламаси келтириб чиқарилди.

3. Илк бор қуйи температураларда флуктуация-диссипациянинг квант муносабатидан фойдаланишнинг феноменологик муносабатга нисбатан тўғрилиги кўрсатилди. Айланувчи тўлқин яқинлашишида осциллятор билан термостат орасидаги тўла боғланиш бўлган хол учун олинган транспорт коэффициентларнинг асимптотикаси ўрганилди.

4. Қўшсатҳли диссипатив квант системалар учун ночизиқли стохастик тенгламалар системаси олинди ва уларнинг аналитик ечимлари аниқланди.

5. Потенциал ўрадан метастабил ҳолатни емирилиш тезлигини транспорт коэффицентларининг ностационарлигига кучсиз боғлиқлиги кўрсатилди. Координата-импульс бўйича диффузия коэффициенти D_{qp} емирилиш тезлигини камайишига олиб келади. Сўниш кучсиз бўлган ёки қуйи температураларда емирилишнинг квазистационар тезлиги ишқаланиш кўтарилиши билан ошади. Буни қуйи температуралардаги емирилиш жараёнида ишқаланишга нисбатан диффузия ролининг ортиши билан тушунтириш мумкин.

6. ^{16}O, ^{19}F, ^{26}Mg, ^{28}Si, $^{32;34;36;38}$S, $^{40;48}$Ca, ^{50}Ti + ^{208}Pb реакцияларининг қамраб олиш кесими учун олинган назарий ҳисоблаш натижалари билан мавжуд экспериментал натижалар орасида жуда яхши мослик борлиги кўрсатилган. Бу қамраб олиш кесимини ҳисоблашнинг таклиф қилинган усулини бошқа жараёнлар учун ҳам қўллаш мумкинлигини асослаб беради.

7. $E_{cm}>V_b$ бўлганда оғир ядро системалари учун $\sigma_{cap}E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)$ нинг $(E_{cm}-V_b)/(\hbar\omega_b)$ га боғлиқлиги универсал кўринишга эга бўлиши аниқланди.

Ушбу боғланишдан фойдаланиб, тўсиқнинг параметрлари (R_b, V_b, и $\hbar\omega_b$) ни ҳисоблаган ҳолда қамраб олиш кесими $\sigma_{c\ ни}\ E_{см}$ га боғлиқлигини башорат қилиш мумкин.

8. Вонгнинг қамраб олиш кесимини ҳисоблаш эмперик формуласи микраскопик асосланди.

9. Бир жинсли ташқи магнит майдондаги икки ўлчамли зарядланган квант осциллятор учун ностационар ишқаланиш ва диффузия коэффициентларининг аниқ ифодалари топилган. Координатанинг нейтрал бозонли термостат билан чизиқли боғланган ҳоли ўрганилди. Ушбу формализм кучли боғланиш ва ихтиёрий температуралар учун ўринлидир.

10. Бозонли термостат бўлган ҳолда магнит майдони ишқаланишни камайтириши ва мос равишда энергия диссипациясининг ҳам камайиши

кўрсатилди. Магнит майдонининг номувозанатли квант системаси динамикасига таъсири қуйи температураларда яққолроқ эканлиги асосланди, бундан маълум ҳолларда магнит майдони ёрдамида сиқилган пакетларни олиш имкони борлиги кўрсатилди.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ПРИ ИНСТИТУТЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ, АСТРОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ, НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА

КАНОКОВ ЗАКИРЖОН

МАРКОВСКАЯ И НЕМАРКОВСКАЯ ДИНАМИКА КВАНТОВЫХ И МЕЗОСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМ

01.04.02 – Теоретическая физика

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА (DSc) ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

Ташкент – 2017

Тема диссертации доктора наук (Doctor of Science) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № B2017.1.DSc/FM122

Диссертация выполнена на физическом факультете Национального университета Узбекистана.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.inp.uz) и на Информационно-образовательном портале “Ziyonet” (www.ziyonet.uz).

Научный консультант:	**Мусаханов Мирзаюсуф Мирзамахмудович,** доктор физико-математических наук, профессор, академик Академии наук Республики Узбекистан
Официальные оппоненты:	**Джолос Ростислав Владимирович,** доктор физико-математических наук, профессор
	Абдумаликов Абдулазиз Абдувахабович, доктор физико-математических наук, профессор
	Усманов Пазлитдин Нуритдинович, доктор физико-математических наук, доцент
Ведущая организация:	**Самаркандский государственный университет**

Защита диссертации состоится «_____» _____ 2017 г. в _____ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 при Институте ядерной физики, Астрономическом институте, Национальном университете Узбекистана (100124, г. Ташкент, пос. Улугбек, ИЯФ; тел. (+99871) 289-31-60; факс (+99871) 289-31-18; e-mail: info@inp.uz).

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ядерной физики (регистрационный номер). (100124, г. Ташкент, пос. Улугбек, ИЯФ; тел. (+99871) 289-31-19).

Автореферат диссертации разослан «____» _____ 2017 г.
(протокол рассылки № _____ от _____ 2017 года).

М. Ю. Ташметов,
председатель Научного совета по присуждению ученой степени, д.ф.-м.н.

Р. Ярмухамедов,
ученый секретарь Научного совета по присуждению ученой степени, д.ф.-м.н., профессор

И. Нуритдинов,
председатель научного семинара при Научном совете по присуждению ученой степени, д.ф.-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время теоретическое исследование динамической проблемы неравновесных квантовых систем, является одной из фундаментальных задач современной теоретической и экспериментальной физики. Явления флуктуации и диссипации неравновесных квантовых систем обычно исследуются в рамках стандартной техники теории квантовых марковских процессов. Известно, что отклик реальных физических, технических и биологических систем на внешнее случайное воздействие, является немарковским процессом и эффект немарковости возрастает с ростом сложности системы. Следовательно, такие системы не могут быть описаны посредством стандартных методов, разработанных на основе марковских процессов. В связи с этим, актуальной становится разработка математических методов описания немарковских случайных процессов.

В нашей Республике большое внимание уделяется развитию теоретической физики и проведению фундаментальных исследований по этим направлениям на мировом уровне. В этом плане удалось достичь значимых результатов, в частности: в решении теоретических задач неравновесных квантовых систем и их практическом применении, разработке методов аналитического определения и расчета нестационарных коэффициентов переноса, теоретическом исследовании ядерной реакции с тяжелыми ионами, влияние внешних полей на свойства открытых квантовых систем и неравновесные процессы.

В соответствии со «Стратегией действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 гг.», является наиболее важным, повышение эффективности отрасли физики неравновесной системы и нанотехнологии на основе теоретических и практических исследований в области неравновесных квантовых систем и диссипативных неравновесных квантовых процессов за счет внедрения инновационных технологий.

В настоящее время получены новые экспериментальные данные по подбарьерному слиянию ядер в столкновениях тяжелых ионов низких энергий, туннельные переходы с диссипацией в кристаллах, по эффектам, связанным с сильным, слабым и сверхслабым воздействием магнитных полей различной природы на разнообразные сложные физические и биологические объекты, обнаруживают новые тенденции, которые не могут быть объяснены в рамках существующих традиционных подходов и моделей. Теоретическое объяснение большого числа подобных эффектов является актуальной задачей современной теоретической физики. Учет немарковских эффектов в туннельных переходах является не полностью решенной проблемой неравновесной квантовой системы, поэтому решение проблемы о квантовом туннельном переходе с диссипацией может оказаться важным при исследовании ядерных, атомных низкоразмерных и низкотемпературных мезоскопических систем.

Разработка метода определения, зависящего от времени коэффициентов переноса и ширин распада метастабильных состояний необходима при описании и объяснении экспериментальных данных по ядерным реакциям полного слияния, квазиделения, деления и захвата ядра ядром. Кроме этого, теоретические данные о туннельном переходе с диссипацией крайне необходимы для транспорта электронов в квантовых точках и ямах, а также для решения одной из важных проблем ядерной астрофизики – слияния ядер в сверхплотных астрономических объектах.

Данная научно-исследовательская работа соответствует задачам, предусмотренным в Указе Президента Республики Узбекистан № УП–4958 «О дальнейшем совершенствовании системы послевузовского образования» от 16 февраля 2017 года, в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-1442 «О приоритетах развития промышленности Республики Узбекистан в 2011-2015 годах» от 15 декабря 2010 года, № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в Республике Узбекистан: II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации. Исследования, по развитию теории для описания динамического свойства неравновесных систем, проводятся в ведущих мировых научных центрах и высших образовательных учреждениях, в том числе: в Университете Штутгарта, Институте физики плазмы Макса Планка, Институте физики при университете Росток (Германия), Университете Альберта (Канада), Университете Бразилии (Бразилия), Университете науки и технологий Китая, Юго-Восточном университете (Китай), Кембриджском университете (Великобритания), Калифорнийском университете, Университете Д.Хопкинса (США), Токийском университете (Япония), Московском государственном университете, Объединенном институте ядерных исследований, Институте общей физики Академии наук России, Московском Физико-техническом институте (Россия), Международном центре теоретической физики (Италия) и Национальном университете Узбекистана.

По теоретическому исследованию динамики неравновесных квантовых систем на мировом уровне получен ряд важных результатов, в том числе: неравновесные квантовые системы были исследованы на основе классических линейных и нелинейных марковских уравнений Ланжевена и Фоккера-Планка; численные решения многомерного классического уравнения Ланжевена были применены для описания динамики деления тяжелых ядер. Нелинейные уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка были

применены для определения флуктуации неравновесных процессов в плазме, для оценки немарковских эффектов в распространении радиосигналов в среде, также были применены в исследовании процессов деления тяжелых ядер (Московский Государственный университет, научный центр «Сколково», Объединённый институт ядерных исследований, Томский политехнический институт, Россия, Universidade de Lisboa Portugal); теория диссипативных систем была развита на основе модели квантового осциллятора в термостате; для диффузии квантовой частицы в среде была разработана модель Калдейра и Леггета (Калифорнийский университет США); для исследования прохождения через потенциальный барьер и распад метастабильного состояния, было использовано уравнение Линблада, со стационарными транспортными коэффициентами (Университет Штутгарт, Институт Физики при университете Росток Германия, Объединённый институт ядерных исследований, Омский Государственный университет Россия).

По теории неравновесных квантовых систем ведутся следующие фундаментальные исследования: вычисление нестационарных коэффициентов переноса в неравновесных квантовых системах; исследование тунельных переходов в диссипативных системах; определение квантовых флуктуаций для неравновесных процессов при низких температурах; исследование влияния внешних полей на динамику неравновесных квантовых систем; образования, эволюция двойной ядерной системы; исследование ее распада на основе стохастического уравнения и развитие диссипативно-динамической модели.

Степень изученности проблемы. В настоящее время ведущими учеными мира, например, американскими (Katja Lindeberg, Bruse J.West, Roy Jay Glauber), немецкими (W.Scheid, G.Ropke, C.V.Gardner), японскими (K.Nishio, K.Fujikawa), итальянским (Gian Paolo Beretta), румынскими (Aurelliu Sandulescu, E.Stefanescu), французскими (Denis Lacroix), канадским (M.Razavy), российскими (В.В.Додонов, А.В.Додонов, Ю.Л.Климантович, А.Н.Морозов, А.В.Скрипкин, И.Кляцкин, В.Г.Морозов, А.В.Чуркин и др.), бразильским (S.S.Mizrahi) и другими, выполнен большой объем экспериментальных и теоретических исследований для описания статистического и динамического поведения неравновесных систем. Однако, в большинстве этих работ, в уравнениях для осцилляторов в термостате не учитываются немарковские эффекты, или рассматриваются только линейные связи между осциллятором и термостатом, не рассматриваются методы аналитического определения нестационарных коэффициентов переноса.

Теория неравновесных квантовых систем рядом авторов, например, американскими (C.N.Mortan, B.B.Bak и др.), немецкими (H.Hofman, F.P.Hessberger, G.Munzenberg, P.Frobrich, R.Lipperheide), российскими (В.В.Волков, Г.Г.Адамян, Н.В.Антоненко, Р.В.Джолос, И.И.Гончар), японскими (S.Ayik, N.Takigava, Y.Aritoma, Y.Abe) и узбекскими (А.К.Носиров, А.И.Муминов, С.В.Артемов) была применена для описания

процессов деления тяжелых ядер и реакции с тяжелыми ионами. В работах этих авторов эффекты немарковости не учитываются и, в основном, использованы классические динамические уравнения: игнорируется не локальность диссипации, не учитывается зависимость от времени коэффициентов диффузии и коэффициентов трения или использованы эмпирические формулы, связывающие эти коэффициенты.

Рассмотрение деления ядра в марковском и немарковском пределе привело к тому, что имеется большая разница в численных значениях коэффициентов трения ядерного вещества. Такое несогласие показано в работах, например, немецких (G.Wegmann, H.Hofman) и польских ученых (K.Pomarski, M.Dworzeska). В этих работах роль диссипации в рамках микроскопической модели не рассматривается.

Связь темы диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного или научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научных проектов Национального университета Узбекистана по темам: Ф-2.1.8 «Динамика ядерных реакций (2003–2007); ФА-Ф2-Ф055 «Исследование выхода продуктов реакций с тяжелыми ионами и деления ядер» (2007–2011); Ф2-ФА-Ф115 «Исследование механизмов реакций многонуклонных передач и слияния-деления ядер» (2012–2016); Ф2-60 «Теория сильно коррелированных квантовых систем» (2012–2016).

Целью исследования является разработка формализма для описания марковской и немарковской динамики квантовых систем.

Задачи исследования:

установить явный вид гамильтониана неравновесной квантовой системы во внешнем поле, получить обобщенные немарковские квантовые стохастические уравнения для коллективных координат и найти их аналитические решения;

получить из немарковских уравнений квантовые марковские диффузионные уравнения с нестационарными коэффициентами переноса;

получить аналитические решения системы уравнений Ланжевена для потенциалов типа гармонического осциллятора полной связи (ПС-осциллятор) с термостатом и в приближении вращающейся волны (ПВВ-осциллятор);

получить системы нелинейных стохастических уравнений и их аналитические решения для двухуровневых диссипативных квантовых систем взаимодействующих с квантовым термостатом;

определить зависящие от времени коэффициенты переноса для относительных коллективных координат диссипативной системы во внешнем магнитном поле, исследовать асимптотики коэффициентов переноса и корреляционных функций;

описать и интерпретировать экспериментальные данные по сечениям образования тяжелых элементов.

Объектом исследования являются открытые квантовые системы и неравновесные процессы в квантовых и мезоскопических системах.

Предметом исследования являются процессы диссипации, диффузии, а также квантовые флуктуации в неравновесных системах.

Методы исследования. Для получения системы квантовых уравнений и нестационарных коэффициентов переноса, используются методы стохастической динамики, нерелятивистской квантовой механики и теории случайных процессов. Проблема взаимодействия системы и термостата решается методом Гейзенберга-Ланжевена.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

получена и аналитически решена система нелинейных квантовых стохастических уравнений в пределе полной связи между гармоническим осциллятором и квантовым термостатом в приближении вращающейся волны;

разработана методика получения зависящих от времени коэффициентов переноса и получены аналитические формулы для вычисления квантовых флуктуаций в неравновесных квантовых системах;

выведено из обобщенного немарковского стохастического уравнения марковское квантовое уравнение для матрицы плотности и получены квантовые флуктуационно-диссипативные (ФД) соотношения;

получена и аналитически решена система нелинейных стохастических уравнений с учетом внешнего магнитного поля;

вычислены значения нестационарных коэффициентов трения и диффузии для двумерного заряженного квантового гармонического осциллятора в однородном магнитном поле;

получены аналитические выражения для асимптотики коэффициентов переноса и корреляционных функций для двумерного заряженного осциллятора;

предсказан степенной закон распада корреляционных функций осциллятора с полной связью в пределе низких температур и больших времен;

установлена роль квантовых и немарковских эффектов в реакциях с тяжелыми ионами.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

из немарковских квантовых стохастических уравнений выведены марковские диффузионные уравнения с зависящими явно от времени коэффициентами переноса;

выведены квантовые ФД соотношения и формулы для вычисления зависящих от времени коэффициентов переноса и флуктуаций в неравновесных процессах;

разработан метод определения нестационарных квантовых коэффициентов переноса заряженных двухмерных осцилляторов во внешнем магнитном поле.

Достоверность результатов исследования обосновывается использованием современных методов теоретической физики, теории случайных процессов и стохастической динамики, а также весьма эффективных численных методов и используемых алгоритмов;

тщательной проверкой согласованности полученных теоретических результатов с экспериментальными данными и результатами исследований других авторов; соответствием выводов с основными положениями статистической физики открытых систем и теории ядерных реакций.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования определяется возможностью применения полученных аналитических формул для описания туннельного перехода диссипативной системы; описания времен жизни метастабильных состояний квантовых систем.

Практическая значимость результатов исследований заключается в том, что они могут быть успешно применены к решению квантово-механических проблем многих тел в атомной, ядерной и статистической физике, а также для расчета кинетических и флуктуационных характеристик оптических квантовых генераторов. Проведенный анализ новых немарковских эффектов может быть использован в нанотехнологиях и при конструировании новых типов приборов в квантовой электронике.

Внедрение результатов исследований. На основе полученных результатов по разработке формализма для описания марковской и немарковской динамики неравновесных квантовых систем:

результаты теоретического анализа немарковской динамики неравновесных квантовых систем и разработанные методы решения квантовых стохастических уравнений были использованы в рамках фундаментального гранта Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований № 01-3-1029-99/200320061 «Динамика и проявление структуры в ядерных и мезоскопических системах» (1999–2003) при описании теоретических и экспериментальных результатов и объяснении немарковской динамики неравновесных квантовых систем (Письмо Объединенного института ядерных исследований № 300-20/15 от 12.07.2016). Применение результатов данной научно-исследовательской работы, позволило разработать новый подход описания сильнодеформированных ядерных состояний и, в рамках этого подхода, предложен новый метод экспериментальных исследований таких ядер;

методы определения нестационарных коэффициентов переноса и ширины распада метастабильных состояний были использованы в рамках научной темы № 01-3-1029-99/2008 «Ядро-ядерные столкновения и ядерные свойства при низких энергиях» (2003–2008) при объяснении экспериментальных данных по ядерным реакциям полного слияния, квазиделения, деления и захвата (Письмо Объединенного института ядерных исследований № 300-20/15 от 12.07.2016). Использование результатов данной научно-исследовательской работы позволило получить редкие нейтронно-

избыточные изотопы с помощью стабильных и радиоактивных ионных пучков;

немарковская динамика квантовых систем, распад метастабильных состояний и немарковский Ланжевеновский формализм ядерных реакций с тяжелыми ионами низких энергиях широко используются в зарубежных научных журналах при описании и объяснении теоретических и экспериментальных данных по ядерным реакциям с участием тяжелых ионов полного слияния, квазиделения, деления и захвата, а также для объяснения немарковской динамики неравновесных квантовых систем (ссылки в зарубежных научных журналах Physics Letters A, 2009; Physical Review C, 2010; Modern Physics Letters A, 2014; Physical Review B, 2015; Physics Reports 2015; Physics Letters A, 2009; International Journal of Modern Physics B, 2015).

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 14 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

Публикации результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 40 научных работ, 20 научных статей из них 18 в зарубежных научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 136 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект, предмет и методы исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике Узбекистан, изложена научная новизна исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, приведены краткие сведения о внедрении результатов и апробации работы, а также о структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Марковская и немарковская динамика квантовых и мезоскопических открытых систем»** выполнен обзор литературы по теме диссертации. Приведен анализ экспериментальных данных и теоретических исследований, посвященных динамике открытых систем и неравновесных процессов. Большое внимание уделено моделям и подходам описания реакции с тяжелыми ионами. Кратко рассмотрены проблемы подбарьерных переходов с диссипацией и распад метастабильных состояний. Определены основные проблемы в данном направлении, обсуждены возможные методы их решения и сформулированы цель и задачи данной диссертационной работы.

Во второй главе **«Квантовая немарковская динамика и диффузионные уравнения»** в основе микроскопического гамильтониана в немарковском приближении получена система обобщенных нелинейных квантовых стохастических уравнений Ланжевена для коллективных координат и с использованием их аналитических решений разработан метод определения нестационарных коэффициентов переноса коллективной подсистемы в случае произвольной температуры и затухания. Был использован микроскопический гамильтониан полной системы (внутренняя подсистема плюс коллективная подсистема), предложенный учеными из Лаборатории теоретической физики ОИЯИ (г. Дубна, Россия) (Р.В.Джолос, С.П.Иванова, В.В.Иванов), зависящий явно от коллективной координаты q, канонически сопряженного коллективного импульса p и внутренних степеней свободы $b_\nu, b_{\nu'}^+$:

$$H = H_c + H_b + H_{cb},$$

где

$$H_c = p\frac{1}{2\mu(q)}p + U(q), \qquad H_b = \sum_\nu \hbar\omega_\nu b_\nu^+ b_\nu,$$

$$H_{cb} = \sum_\nu V_\nu(q)(b_\nu^+ + b_\nu) + i\sum_\nu G_\nu(q,p)(b_\nu^+ - b_\nu) \tag{1}$$

H_c и H_b являются гамильтонианами соответственно коллективной и внутренней подсистем; H_{cb} описывает связь коллективного движения с внутренними возбуждениями и является источником появления диссипативных членов в уравнениях для операторов коллективных переменных. Например, при описании взаимодействия ядер при низких энергиях первый член H_{cb} отвечает воздействию среднего поля каждого из ядер на одночастичное движение в другом ядре, а второй описывает связь тока внутреннего движения с коллективным током. С помощью приведенного выше гамильтониана получена система обобщенных нелинейных квантовых уравнений Ланжевена:

$$\dot q(t) = \frac{1}{2}\{\tilde\mu^{-1}(q(t)), p(t)\}_+ - \frac{1}{2}\int_0^t d\tau\{K_{GV}(t,\tau), \dot q(\tau)\}_+ + \frac{1}{2}\int_0^t d\tau\{K_{GG}(t,\tau), \dot p(\tau)\}_+ + F_q(t)$$

$$\dot p(t) = -H_{c,q}(q(t), p(t)) - \frac{1}{2}\int_0^t d\tau\{K_{VV}(t,\tau), \dot q(\tau)\}_+ + \frac{1}{2}\int_0^t d\tau\{K_{VG}(t,\tau), \dot p(\tau)\}_+ + F_p(t) \tag{2}$$

Присутствие интегральных членов в уравнениях движения означает, что немарковская система обладает памятью о движении по траектории, предшествующей моменту времени t. Второе из уравнений содержит также случайную силу по импульсу ($F_p(t)$), что приводит к ряду математических трудностей при решении. Аналитическое решение возможно, если заменить в уравнениях функционалы их средними значениями, считая их слабо

меняющимися за интервал времени t, и аппроксимировать перенормированный потенциал гармоническим (или перевернутым) осциллятором. Уравнения движения (2) диссипативных ядер не зависят от числа фононов и температуры термостата. Температура и флуктуации входят в рассмотрение через определение распределения начальных условий для внутренней системы.

В (2) операторы $F_p(t)$ и $F_q(t)$ играют роль операторов случайных сил по импульсу и координате, зависят от $p(t)$, $q(t)$ и начальных условий внутренней подсистемы. Как обычно, в статистической физике операторы $F_p(t)$, $F_q(t)$ отождествляются с флуктуациями из-за неопределенности начальных условий для операторов термостата. Для определения статистических свойств этих флуктуаций рассматривается ансамбль начальных состояний, в котором заданы $p(0)$, $q(0)$, а начальные операторы термостата выбираются из канонического ансамбля, в котором флуктуации распределены по Гауссу и имеют нулевые средние значения.

В данной диссертационной работе квантовое флуктуационно-диссипативное (ФД) соотношение обобщено на случай произвольной формы H_{cb}. Выполнение ФД соотношений означает правильность определения диссипативных ядер в немарковских динамических уравнениях движения. Квантовое ФД соотношение подобной формы было получено другими авторами для простых случаев FC (полная связь) и RWA (приближения быстрого вращения) осцилляторов.

Квантовые ФД соотношения отличаются от классических и сводятся к ним в пределе высокой температуры T (или $\hbar \to 0$). Поскольку уравнения движения для коллективных координат и импульсов соответствуют ФД соотношениям, разработанный формализм обеспечивает основу для описания квантовых статистических эффектов коллективного движения.

Для того чтобы найти нестационарные транспортные коэффициенты, используются явные зависимости p и q от времени, получаются их основные характеристики, и, сравнивая уравнения движения для первых (средних) и вторых (дисперсий) моментов с их классическими аналогами, выводятся выражения для зависящих от времени коэффициентов переноса. Именно временная зависимость этих коэффициентов является следствием немарковости в системе.

В третьей главе **«Затухающий квантовый осциллятор и линейные связи»** из гамильтониана, с общей нелинейной связью между взаимодействующих подсистем, получены микроскопические гамильтонианы с линейной связью по координате и импульсу. Из этих микроскопических гамильтонианов получены и решены системы квантовых уравнений Гейзенберга-Ланжевена для затухающего линейного осциллятора в приближении вращающейся волны (ПВВ-осциллятор). Исследованы асимптотики нестационарных коэффициентов переноса и корреляционных функций.

Доказано, что уравнения движения для коллективной подсистемы удовлетворяют квантовым ФД соотношениям.

В пределах высоких и низких температур асимптотики ($t- t'> 0$) симметризованных корреляционных функций линейного осциллятора в отличие от классического случая распадается по-разному закону:

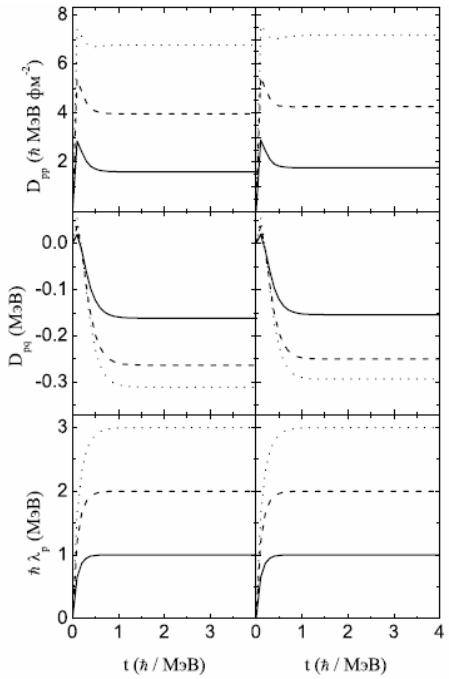
$$\sigma^{as}_{p_t p_{t'}}(T\to 0)\to -\frac{\hbar g_0\gamma^2\mu^2\omega^4}{\pi s_1^2 s_2^2 s_3^2}\frac{1}{(t-t')^2}=-\frac{\hbar g_0\tilde{\mu}^2\mu^2\omega^4}{(\mu\omega^2-\tilde{\mu}\xi_0^2)^2}\frac{1}{(t-t')^2}$$

$$\sigma^{as}_{p_t p_{t'}}(T\to\infty)\to -\frac{T\tilde{\mu}\mu\omega^2}{\gamma(\mu\omega^2-\tilde{\mu}\xi_0^2)^2}[\frac{s_2 s_3(s_2+s_3)e^{s_1(t-t')}}{(s_2-s_1)(s_3-s_1)}+\frac{s_1 s_3(s_1+s_3)e^{s_2(t-t')}}{(s_1-s_2)(s_3-s_2)}+$$

$$+\frac{s_1 s_2(s_1+s_2)e^{s_3(t-t')}}{(s_1-s_3)(s_2-s_3)}] \qquad (3)$$

Это связано с чисто квантовой природой взаимодействия между осциллятором и термостатом: каждый акт взаимодействия заключается в уничтожении кванта в одной подсистеме и рождении кванта в другой.

В данном главе также рассмотрено взаимодействие одиночного двухуровневого атома с многомодовым полем и в приближении вращающейся волны (ПВВ) получена система нелинейных стохастических уравнений для двухуровневых атомов взаимодействующих с квантовым термостатом и найдены их аналитические решения. Проверено удовлетворение уравнений движения для коллективной подсистемы квантовым флуктуационно-диссипативным соотношениям.

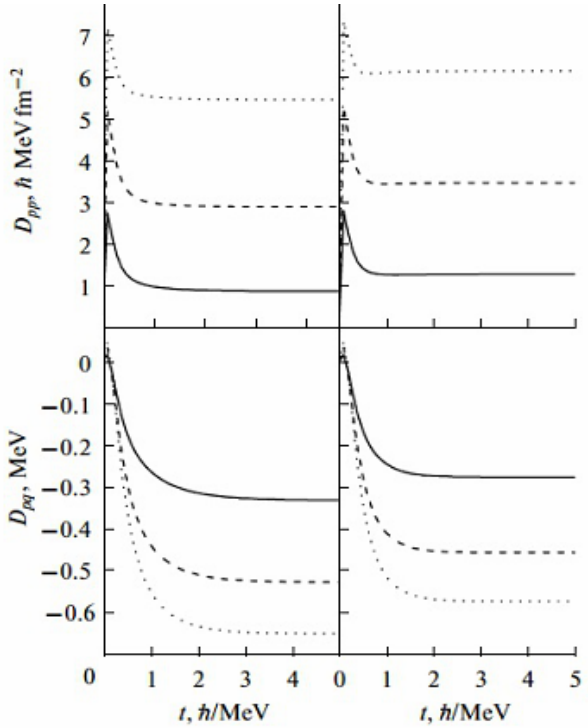


Расчеты для асимптотических значений коэффициента трения $\hbar\lambda_p$=1.0, 2.0, и 3.0МэВ показаны соответственно сплошной, штриховой и пунктирной линиями.

Рис. 1. Рассчитанные зависимости от времени микроскопических коэффициентов диффузии и трения для перевернутого (левая часть) и гармонического (правая часть) осцилляторов (μ=50m$_0$ и $\hbar\omega$ =1МэВ) при T=1МэВ

На рис. 1, 2 показаны зависимости от времени микроскопических коэффициентов трения и диффузии для перевернутого и гармонического осцилляторов, имеющих одинаковые частоты и массы.

В начальный момент времени значения D_{pp} и D_{qp} равны нулю. Через короткое переходное время $\tau \sim 1/\gamma$ коэффициенты достигают своих асимптотических значений. Переходное время слабо растет с ростом λ_p. Смешанный коэффициент диффузии возникает из-за немарковости динамики, в марковском пределе ($\gamma \to \infty$) он исчезает.



Расчеты для асимптотических значений коэффициента трения $\hbar\lambda_p$=1.0, 2.0, и 3.0МэВ показаны соответственно сплошной, штриховой и пунктирной линиями.

Рис. 2. Рассчитанные зависимости от времени микроскопических коэффициентов диффузии и трения для перевернутого (левая часть) и гармонического (правая часть) осцилляторов (μ=50m$_0$ и $\hbar\omega$ =1 МэВ) при T=0.3 МэВ

В четвертой главе **«Немарковская динамика квантовых систем с фермионной внутренней подсистемой и нестационарной связью»** рассмотрен случай, когда внутренняя подсистема подчиняется статистике Ферми–Дирака. Для решения некоторых задач квантовой теории поля, квантовой теории твердого тела и ядерной физики требуется рассмотреть термостат как подсистему, состоящую из множеств осцилляторов, подчиняющих статистике Ферми-Дирака, также учет не стационарности связи между взаимодействующих подсистем. Это особенно важно при

исследовании реакций с тяжелыми ионами при энергиях около кулоновского барьера. Энергия коллективной подсистемы меняется в соответствии с уравнением

$$\dot{E}(t) = -\left[2\lambda_P(t) + \frac{\dot{m}(t)}{m(t)}\right]\frac{\sigma_{pp}(t) + < p(t) >^2}{2m(t)} - [2\lambda_q(t)\xi(t) + \dot{\xi}(t)]\frac{\sigma_{qq}(t) + < q(t) >^2}{2} +$$

$$+ \frac{D_{pp}(t)}{m(t)} + \xi(t)D_{qq}(t) \qquad (4)$$

Из этого уравнения видно, что для гармонического осциллятора скорость диссипации растет с $\lambda_P(t)$ и $\lambda_q(t)$ и убывает с ростом $D_{pp}(t)$ и $D_{qq}(t)$.

Исследована немарковская динамика линейного ПС-осциллятора с нестационарной связью между системой и термостатом. Рассмотрено влияние изменение частоты связи на диссипативные свойства затухающего квантового осциллятора в рамках немарковского уравнения Ланжевена и определены нестационарные коэффициенты переноса зависящих от частоты изменения связи. Показано, что не стационарность связи с термостатом приведет к уменьшению коэффициентов переноса.

В пятой главе **«Немарковская динамика квантовых систем: скорость распада и захват»** результаты, полученные во второй, третьей и четвертой главах, использованы для изучения процесса захвата, налетающего ядра ядром-мишенью в ядерных реакциях с участием тяжелых ионов низкой энергии. Рассмотрены влияния коэффициентов трения и диффузии на процесс туннелирования через параболический барьер. Изучена зависимость матрицы плотности от времени для различных наборов транспортных коэффициентов. Показано что, связь со средой приводит к возникновению отлично от нуля коэффициента трения по координате, который, перенормирует потенциальный барьер и увеличивает проницаемость через него. Проницаемость также очень чувствительна к значению коэффициента диффузии по координате. В столкновениях тяжелых ионов поверхностные колебания и нуклонный обмен между ядрами ответственны за перенормировку кулоновского барьера ядро-ядерного потенциала взаимодействия и диссипацию кинетической энергии относительного движения ядер.

При подбарьерных энергиях вероятность туннелирования больше в случае $\lambda_q = \lambda_p \neq 0$ по сравнению со случаем без трения $\lambda_p = \lambda_q = 0$. Здесь трение по координате λ_q увеличивает проницаемость барьера, но трение по импульсу λ_p, наоборот, уменьшает ее. Это поведение соответствует зависимости скорости диссипации от λ_q и λ_p. Большая проницаемость барьера, чем в стандартных вычислениях по модели связанных каналов, необходима для объяснения экспериментальных данных по подбарьерному слиянию. В случае, когда связь со средой приводит к $\lambda_q \neq 0$, скорость диссипации уменьшается и проницаемость увеличивается. Трение и диффузия уменьшают пересечение барьера для энергий выше барьера. При E

= 0 и $\lambda_p = \lambda_q$ вероятности проницаемости равны друг другу с учетом и без учета диссипации.

Также, изучено влияние квантовых эффектов на проницаемость потенциального барьера. В основе решения мастер-уравнения для приведенной матрицы плотности изучено влияние микроскопических диффузионных коэффициентов, зависящих от координаты, на распад метастабильного состояния.

Следует отметить, что диффузия является следствием квантово-статистических эффектов и отсутствует в чисто классическом рассмотрении процесса захвата. Из-за диффузии зависимости вероятности захвата от энергии, углового момента и трения становятся плавными. Из изучения реакций глубоконеупругих столкновений было извлечено наиболее реалистичное значение трения $\hbar\lambda_p$=1-2 МэВ. В этом интервале $\hbar\lambda_p$ значение вероятности захвата меняется достаточно слабо, в пределах 20%.

На рис. 3 показана зависимость диффузионных коэффициентов от координаты R для угловых моментов J= 0 (сплошная кривая) и 50 (штриховая кривая) при T= 1.2 МэВ. Так как ядро-ядерное взаимодействие изменяется с угловым моментом, то диффузионные коэффициенты также являются функциями L. В области потенциального «кармана» D_{pp} и D_{qp} достаточно слабо возрастают с увеличением углового момента. Из рис. 3 видно, что координатная зависимость диффузионных коэффициентов около барьера достаточно слабая.

На рис. 4 приведен расчет зависимости вероятности захвата P Pот времени. В формуле для начальной кинетической энергии $E_{\rm kin}(0)=(<P(0)>^2+\sigma_{PP}(0)/(2\mu))$ учтена энергия, связанная с квантовыми флуктуациями. Полная энергия коллективной системы отсчитывается от кулоновского барьера, то есть $\Delta E(0)=E_{cm}-V(R=R_b,J)$$\Delta E(0) = E_{cm} - V(R = R_b, J)$. Как видно из рисунка, время $\tau\approx 2.0\hbar$/МэВ $\tau \approx 2.0\ \hbar/МэВ$установления квазистационарной скорости потока слабо зависит от трения, углового момента и начального значения полной энергии в рассмотренном диапазоне значений этих величин. При $t>\tau$ значение P экспоненциально падает. Резкое падение потока при больших угловых моментах (J=90, штрихпунктирная линия) связано с очень маленькой глубиной потенциального кармана. При малых угловых моментах значения вероятности захвата при $t = \tau$ близки к максимальному значению $P(t)$.

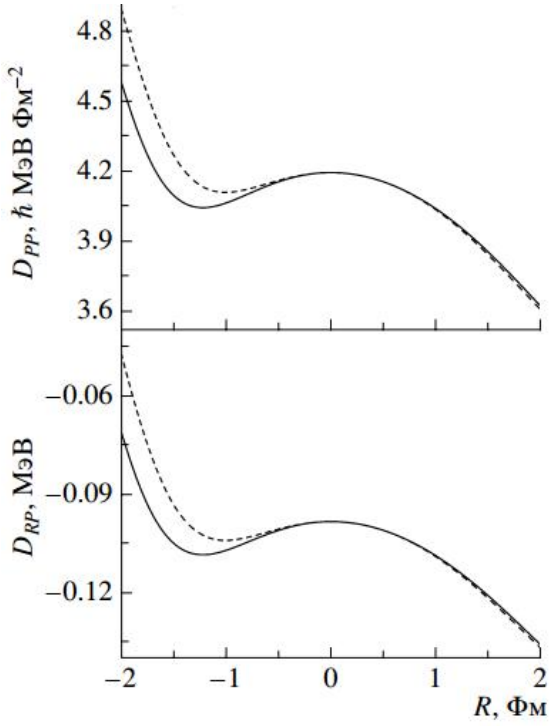


Рис. 3. Зависимость коэффициентов диффузии от относительного расстояния *q* для угловых моментов *J*= 0 (сплошная кривая) и 50 (штриховая кривая) при $\hbar\lambda_p$= 2 МэВ для системы ^{50}Ti + ^{198}Pt

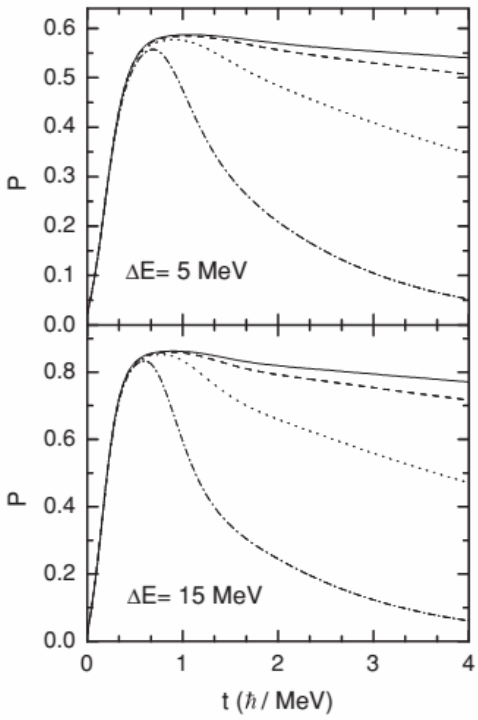


Рис. 4. Вероятность захвата *P* от времени *t* при энергиях столкновения $\Delta E = E_{cm} - V(R = R_b, J) = 5$ *ΔE*(0)=E_{cm}–*V*(*R*=R_b,*J*) $\Delta E(0) = E_{cm} - V(R = R_b, J)$=5МэВ и 15 МэВ в реакции ^{48}Ca+^{208}Pb. Энергия отсчитана от кулоновского барьера при *J*=0 (сплошная кривая), 30 (штриховая), 60 (пунктирная) и 90 (штрихпунктирная)

На рис. 5–8 приведены сравнения вычисленных сечений захвата с имеющимися экспериментальными данными. Результаты расчетов хорошо согласуются с экспериментальными данными почти для всех реакций в диапазоне энергий столкновения ядер: от около 4 МэВ ниже кулоновского барьера до почти 70 МэВ выше барьера. Расхождение между теорией и экспериментом в реакции ^{52}Cr + ^{208}Pb можно объяснить следующим образом. Экспериментальное сечение захвата является суммой сечений квазиделения σ_{qf}, слияния–деления σ_{ff} и испарительных остатков σ_{ER}. В реакции ^{52}Cr + ^{208}Pb два последних сечения очень маленькие (из-за малой вероятности слияния) и ими можно пренебречь. Поэтому возникает вопрос, насколько корректно в эксперименте разделены продукты квазиделения от упругих и глубоконеупругих продуктов.

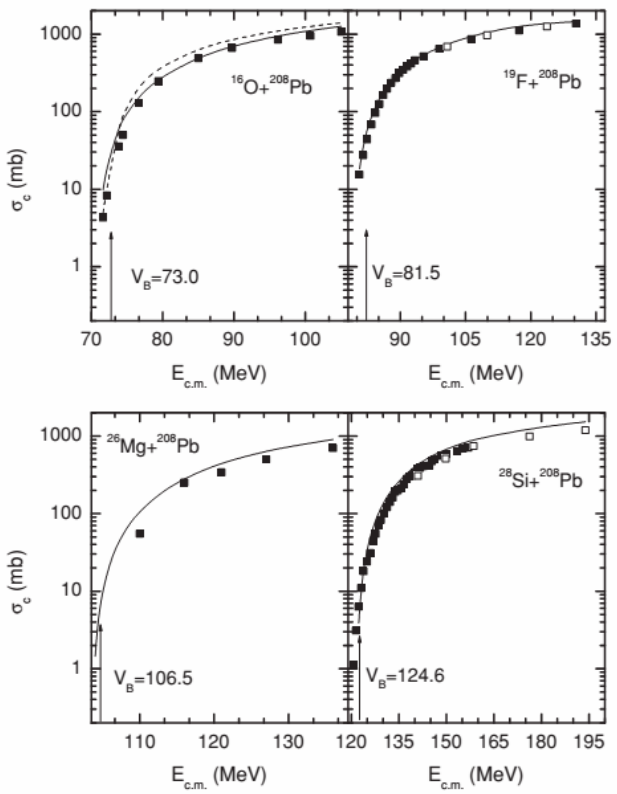


Рис. 5. Рассчитанные сечения захвата (сплошные кривые) для указанных реакций. Для реакции $^{48}O + ^{208}Pb$ показаны сечения захвата, вычисленные с помощью формулы Вонга (штриховая кривая)

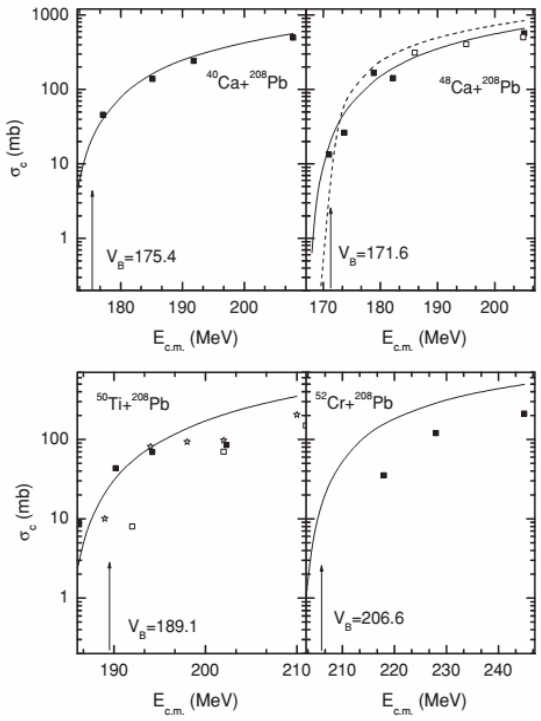


Рис. 6. Рассчитанные сечения захвата (сплошные кривые) для указанных реакций. Для реакции $^{38}S + ^{208}Pb$ показаны сечения захвата, вычисленные с помощью формулы Вонга (штриховая кривая)

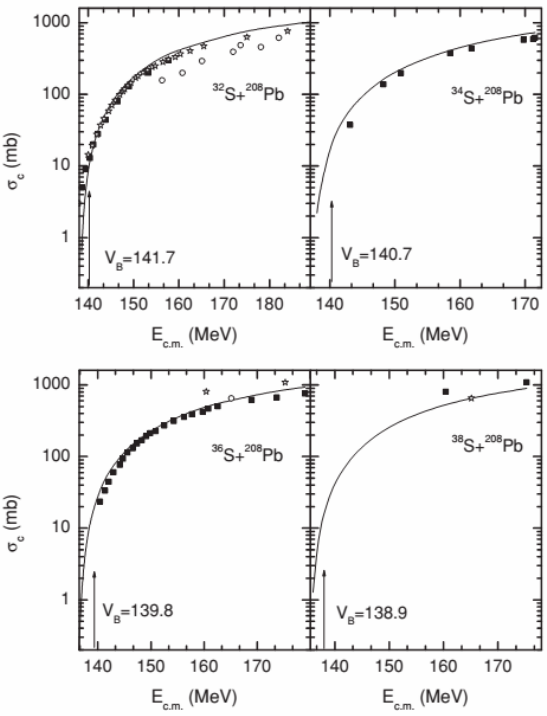


Рис. 7. Рассчитанные сечения захвата (сплошные кривые) для указанных реакций

В системе ^{52}Cr + ^{208}Pb потенциальный минимум по координате зарядовой (массовой) асимметрии препятствует скатыванию этой системы в более симметричные конфигурации, поэтому существует большая вероятность распада (квазиделения) данной конфигурации. Основной вклад в квазиделение вносят продукты с зарядовой (массовой) асимметрией около входного канала. Однако в эксперименте очень сложно отделить продукты квазиделения от упругих и глубоконеупругих процессов. Можно предположить, что в экспериментальной работе вклад продуктов квазиделения около входного канала был недооценен.

С ростом энергии бомбардировки и соответственно энергии возбуждения во входном канале вероятность перехода начальной системы в более симметричную конфигурацию растет и вклад продуктов квазиделения около входного канала уменьшается (однако остается значительным). Можно видеть, что расхождение между теорией и экспериментом уменьшается с ростом энергии столкновения ядер.

Одним из основных критериев достоверности измеренного сечения захвата является зависимость $\sigma_{cap}E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)\sigma_c E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)$ от $(E_{cm}-V_b)/(\hbar\omega_b)\sigma_c E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)$. На рис. 8 приведены экспериментальная и теоретическая зависимости этого отношения. Из-за эффекта входного канала появляется разница в абсолютной величине сечения захвата. Как видно из рис. 8, в реакциях с более легкими бомбардирующими ядрами величина $\sigma_{cap}E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)$ $\sigma_c E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)\sigma_c E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)$больше. Причина этого в том, что в таких реакциях карман ядро-ядерного потенциала взаимодействия глубже и шире. В реакциях с относительно легкими ядрами ^{16}O, ^{19}F,^{26}Mg, ^{28}Si, ^{32,34,36}S и ^{40,48}Ca экспериментальные точки при данной $(E_{cm}-V_b)/(\hbar\omega_b)$ $(E_{cm}-V_b)/(\hbar\omega_b)$распределены в достаточно узкой области.

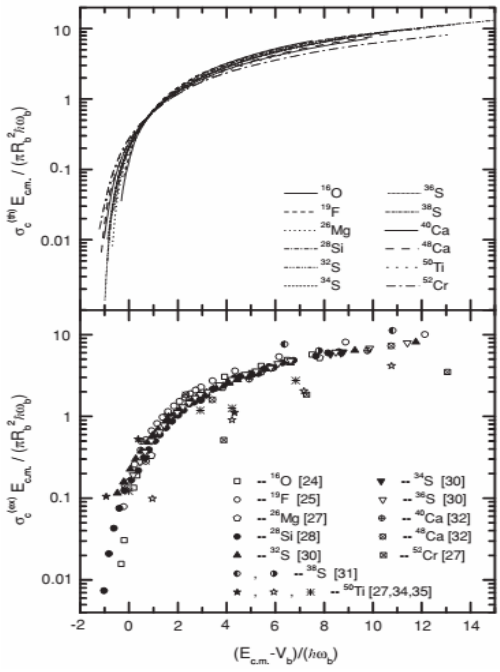


Рис. 8. Зависимость рассчитанных (верхняя часть) и экспериментальных (нижняя часть) значений $\sigma_{cap}E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)$ $\sigma_c E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)$ от $(E_{cm}-V_b)/(\hbar\omega_b)$ $(E_{cm}-V_b)/(\hbar\omega_b)$ для реакций с ^{208}Pb-мишенью и указанными налетающими ядрами, где $V_b=V(R=R_b,J=0)$ $V_b = V(R = R_b, J = 0)$.

Можно предположить, что зависимость $\sigma_{cap}E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)$ $\sigma_c E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)$ от $(E_{cm}-V_b)/(\hbar\omega_b)$ $(E_{cm}-V_b)/(\hbar\omega_b)$ универсальна для всех реакций при $E_{cm}>V_b$ $E_{cm} \geq V_b$. В относительно тяжелых системах ^{50}Ti, ^{52}Cr + ^{208}Pb, где процесс полного слияния сильно подавлен, а квазиделение усилено около входного канала, экспериментальные точки сильно отклоняются от этой узкой области. Как было отмечено выше, это может быть связано с экспериментальной сложностью определения квазиделения около входного канала.

В рассмотренных реакциях сечение захвата вначале растет с ростом E_{cm}, однако потом уменьшается пропорционально $1/E_{cm}$ $1/E_{cm}$. В модели двойной ядерной системы предполагается, что захват происходит для всех значений J (от J=0 до $J=J_{crit}$ $J = J_{crit}$), при которых потенциальный карман существует в пределе полного слипания. Когда J_{crit} $J = J_{crit}$ J_{crit} становится меньше максимального углового момента J_{max} при данной E_{cm}, сечение захвата начинает уменьшаться при больших энергиях E_{cm} E_{cm}. Это означает, что существует ограничение на захват из-за эффекта входного канала. При $J>J_{crit}$ $J = J_{crit}$ $J \geq J_{crit}$ сумма центробежных и кулоновских сил компенсирует ядерные силы. При $J<J_{crit}$ $J = J_{crit}$ продукты распада около входного канала – это в основном продукты квазиделения. Для реакций ^{54}Fe + ^{208}Pb и ^{58}Ni + ^{208}Pb сечение захвата достигает своего максимального значения соответственно при E_{cm}=250 и 260 МэВ, то есть при энергиях, не сильно превышающих высоту кулоновского барьера. Для реакции ^{58}Ni + ^{208}Pb с увеличением глубины потенциального кармана на 0.5 МэВ абсолютное значение σ_c слегка увеличивается, а положение максимума сдвигается на ~10 МэВ в сторону больших энергий. Было бы интересно экспериментально измерить такую зависимость сечения захвата от энергии бомбардировки для реакции ^{58}Ni + ^{208}Pb. Это позволит извлечь значение глубины потенциального кармана во входном канале. Кроме того, можно также попытаться ответить на вопрос является ли захват диабатическим или адиабатическим процессом, так как потенциал чувствителен к динамике взаимодействия.

В шестой главе **«Неравновесные системы во внешнем магнитном поле»** установлен квантовый гамильтониан с учетом внешнего магнитного поля и получена система двумерных квантовых уравнений Ланжевена. Исследовано влияния магнитного поля на динамику открытой квантовой системы, рассмотрено коллективное движение заряженной системы в двумерной потенциальной яме, окруженной нейтральными бозонами термостата. Рассмотрена линейная связь по координате с нейтральным бозонным термостатом. Получены явные аналитические выражения для нестационарных коэффициентов переноса для двумерного заряженного

квантового линейного осциллятора в однородном внешнем магнитном поле. Одним из важных полученных результатов является то, что трение, в случае бозонного термостата, уменьшается при присутствии осевого магнитного поля, приводя к уменьшению затухания энергии системы. Однако асимптотическое значение этой энергии почти не зависит от циклатронной частоты. Явное влияние внешнего поля на динамику системы наблюдается при низкой температуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований, проведенных по теме докторской диссертации «Марковская и немарковская динамика квантовых и мезоскопических открытых систем», представлены следующие выводы.

1. Установлен подходящий квантовый Гамильтониан неравновесной системы. Из квантового Гамильтониана получена система немарковских квантовых стохастических уравнений и найдены их аналитические решения.

2. На основе аналитических решений системы стохастических уравнений выведены квантовые марковские уравнения для матрицы плотности с коэффициентами переноса, зависящими явно от времени.

3. Впервые доказана правильность использования при низких температурах квантового флуктуационно-диссипативного соотношения вместо феноменологического соотношения. Исследованы асимптотики коэффициентов переноса в случаях полной (ПС) связи между осциллятором и термостатом в приближении вращающейся волны (ПВВ).

4. Получены системы нелинейных стохастических квантовых уравнений для двухуровневых диссипативных систем и найдены их аналитические решения.

5. Показано, что скорость распада из потенциальной ямы слабо зависит от не стационарности коэффициентов переноса. Коэффициент диффузии по координате-импульсу D_{qp} приводит к уменьшению скорости распада. В случае слабого затухания или малых температур квазистационарная скорость распада может увеличиться с ростом трения.

6. Для сечений захвата в реакциях ^{16}O, ^{19}F, ^{26}Mg, ^{28}Si, $^{32;34;36;38}$S, $^{40;48}$Ca, ^{50}Ti + ^{208}Pb получено хорошее согласие между теоретическими расчетами и имеющимися экспериментальными данными. Это дает основание для дальнейшего использования предложенного метода расчета сечения захвата.

7. Выявлено, что для тяжелых ядерных систем при $E_{cm} \geq V_b$, $E_{cm}>V_b$ зависимость $\sigma_{cap}E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)\sigma_c E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)$ от $(E_{cm}-V_b)/(\hbar\omega_b)$ $\sigma_c E_{cm}/(\pi R_b^2\hbar\omega_b)$ имеет универсальную природу. Используя эту зависимость и рассчитывая параметров барьера (R_b, V_b, и $\hbar\omega_b$) $\hbar\omega_b$, можно предсказать зависимость сечения захвата σ_c от энергии столкновения E_{cm}.

8. Показано микроскопическое обоснование эмпирической формулы Вонга для вычисления сечения захвата.

9. Были получены явные выражения зависящих от времени коэффициентов трения и диффузии для двумерного заряженного квантового гармонического осциллятора в однородном магнитном поле. Рассмотрена линейная связь по координате с нейтральным бозонным термостатом. Данный формализм действителен в произвольных силах связи и, следовательно, при произвольных температурах.

10. Показано, что трение в случае бозонного термостата, уменьшается при присутствии осевого магнитного поля, приводя к уменьшению затухания энергии системы. Влияние магнитного поля на динамику системы представляется более явным в случае низкой температуры, при которой магнитные взаимодействия могут использоваться для получения сжатой динамики волнового пакета при определенных условиях.

SCIENTIFIC COUNCIL DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 ON AWARD OF SCIENTIFIC DEGREES AT THE INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS, ASTRONOMICAL INSTITUTE, NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN

NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN

KANOKOV ZAKIRJON

MARKOVIAN AND NON-MARKOVIAN DYNAMICS OF QUANTUM AND MEZOSCOPIC SYSTEMS

01.04.02 – Theoretical physics

ABSTRACT OF DOCTORAL (DSc) DISSERTATION ON PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

Tashkent – 2017

The theme of the doctoral dissertation (DSc) was registered by the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No.B2017.1.DSc/FM122.

The doctoral dissertation was carried out at the Faculty of Physics of the National University of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation was posted in three (Uzbek, Russian, English (resume)) languages on the website of the Scientific Council at www.inp.uz and on the website of "Ziyonet" informational and educational portal at www.ziyonet.uz.

Scientific consultant:	**Musakhanov Mirzayosuf Mirzamakhmudovich** Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
Official opponents:	**Jolos Rostislav Vladimirovich** Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
	Abdumalikov Abdulaziz Abduvakhabovich Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
	Usmanov Pazlitdin Nuritdinovich Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor
Leading organization:	**Samarkand State University**

The defense of the dissertation will be held on "___" _____ 2017, at ___ at the meeting of the Scientific Council No. DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 at the Institute of Nuclear Physics, Astronomical Institute, National University of Uzbekistan (Address: INP, Ulugbek settlement, 100124 Tashkent city. tel. (+99871) 289-31-60, fax (+99871) 289-31-18; e-mail: info@inp.uz).

The doctoral (DSc) dissertation can be looked through in the Information Resource Centre of the Institute of Nuclear Physics (registered under No.____) Address: INP, Ulugbek settlement, 100124 Tashkent city. Tel. (+99871) 289-31-19.

The abstract of dissertation was distributed on "_____"_____2017.
(Registry record No. ____ dated "__" _____ 2017.)

M.Yu.Tashmetov
Chairman of the Scientific Council
on Award of Scientific Degrees,
D.Ph.-M.S.

R.Yarmukhamedov
Scientific Secretary of the Scientific Council
on Award of Scientific Degrees,
D.Ph.-M.S., Professor

I.Nuritdinov
Chairman of the Scientific Seminar of the Scientific
Council on Award of Scientific Degrees,
D.Ph.-M.S., Professor

INTRODUCTION (annotation of doctoral dissertation)

Topicality and relevance of the theme of the dissertation. At present time, a theoretical study of the dynamic problems of nonequilibrium quantum systems is one of the fundamental problems of modern theoretical and experimental physics. The phenomena of fluctuations and dissipations of nonequilibrium quantum systems are usually investigated in the framework of the standard technique of the theory of quantum Markov processes. It is known that the response of real physical, technical and biological systems to external random effects is a non-Markovian process, and the non-Markovian effect increases with the complexity of the system. Consequently, such systems can not be described by standard methods developed on the basis of Markov processes. In connection with this, the development of mathematical methods for describing non-Markov random processes becomes topical.

In our Republic, great attention is paid to the development of theoretical physics and the conduct of fundamental research on these areas at the world level. In this respect, significant results were achieved, in particular: in solving theoretical problems of nonequilibrium quantum systems and their practical application, developing methods for the analytical determination and calculation of nonstationary transport coefficients, theoretical study of the nuclear reaction with heavy ions, the influence of external fields on open quantum systems and nonequilibrium processes.

In accordance with the "Strategy of actions on further development of the Republic of Uzbekistan", the most important is to increase the efficiency of the physics sector of the nonequilibrium system and nanotechnology on the basis of theoretical and practical research in the field of nonequilibrium quantum systems and dissipative nonequilibrium quantum processes through the introduction of innovative technologies.

At the present time, new experimental data have been obtained on the subbarrier fusion of nuclei in collisions of the low energies heavy ions, tunnel transitions with dissipation in crystals, in effects associated with strong, weak and superweak impact of magnetic fields of various nature on a variety of complex physical and biological objects, trends that can not be explained within existing traditional approaches and models. Theoretical explanation of a large number of such effects is an actual problem of modern theoretical physics. Taking into account non-Markovian effects in tunnel transitions is not completely solved by the problem of the nonequilibrium quantum systems, therefore, solving the problem of a quantum tunnel transitions with dissipation may prove to be important in the study of nuclear, atomic low-dimensional and low-temperature mesoscopic systems.

The development of a method to determining the time-dependent transport coefficients and the widths of the decay of metastable states is necessary when describing and explaining experimental data on the nuclear reactions of complete fusion, quasi-fission, fission and capture of the nucleus by the nucleus. In addition, theoretical data on the tunnel transition with dissipation are extremely necessary

for the transport of electrons in quantum dots and wells, and also for solving one of the important problems of nuclear astrophysics-the fusion of nuclei in superdense astronomical objects.

This research work corresponds to the tasks approved in the state normative documents, in the Decrees of the President of the Republic of Uzbekistan No. PR-1443 “On the priorities of industry development of the Republic of Uzbekistan in 2011-2015” of 15 December 2010 and No.PR-2789 “On measures to further improve the activities of the Academy of Sciences, organization, management and funding research activities” of 17 February 2017, and the Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. PD-4958 “On the further improvement of the system of postgraduate education” of 16 February 2017.

Relevance of the research to the priority areas of science and technology development of the Republic of Uzbekistan. The dissertation research has been carried out in accordance with the priority areas of science and technology development of the Republic of Uzbekistan – II “Energetics, energy and resource saving”.

Review of international scientific researches on the theme of the dissertation. The researches on the development of a formalism to describe statistical and dynamic behavior of open systems are being conducted in the world’s leading research centers and higher education establishments, particularly, in the University of Stuttgart (Germany), the Institute of Physics at the University of Rostock (Germany), the University of Alberta (Canada), the University of Brasilia (Brazil), the University of Science and Technology of China (China), the Southeast University (China), Cambridge University (UK), the University of California (USA), the University of Tokyo (Japan), Moscow State University (Russia), the Joint Institute for Nuclear Research (Russia), the Institute of General Physics of the Russian Academy of Sciences (Russia), Moscow Institute of Physics and Technology (Russia), D. Hopkins University (USA), the Institute of Plasma Physics of Max Planck (Germany), the International Centre for Theoretical Physics (Italy) and the National University of Uzbekistan.

According to the investigation of the dynamics of nonequilibrium quantum systems at the world level has yielded a number of important results, including: nonequilibrium quantum systems have been investigated on the basis of the classical linear and nonlinear Markovian equations of Langevin and Fokker-Planck; numerical solutions of the multidimensional classical Langevin equation were applied to describe the fission dynamics of heavy nuclei. The nonlinear Langevin and Fokker-Planck equations have been applied to determine the fluctuations of nonequilibrium processes in a plasma, to estimate non-Markovian effects in the propagation of radio signals in a medium, also have been applied to investigating the fission processes of heavy nuclei (Moscow State University, Skolkovo Research Center, Joint Institute of Nuclear Researches, Polytechnic Institute of Tomsk, Universidade de Lisboa Portugal); based on the model of quantum oscillator in the thermostat the theory of dissipative systems was developed; a Caldeira and Leggett model was developed for the quantum particle

diffusion in a media (the University of California, USA); to study the passage through a potential barrier and the decay of a metastable state, the Linblad equation with stationary transport coefficients was used (the University of Stuttgart, the Institute of Physics at Rostock University, Germany, the Joint Institute of Nuclear Researches, Omsk State University, Russia).

According to the theory of nonequilibrium quantum systems, the following fundamental research is being conducted in the World: calculation of non-stationary transport coefficients in nonequilibrium quantum systems; The study of tunnel transitions in dissipative systems; determination of quantum fluctuations for nonequilibrium processes at low temperatures; investigation of the influence of external fields on the dynamics of nonequilibrium quantum systems; education, the evolution of the dual nuclear system; investigation of its decay on the basis of a stochastic equation and the development of a dissipative-dynamic model.

Degree of study of the problem. Currently, the leading scientists of the world, for example, American scientists (Katja Lindeberg, Bruse J. West, Roy Jay Glauber), German scientists (W. Scheid, G. Ropke, C.V. Gardner), Japanese scientists (K. Nishio, K. Fujikawa), Italian scientists (Gian Paolo Beretta), Romanian scientists (Aurelliu Sandulescu, E. Stefanescu), French scientists (Denis Lacroix), Canadian scientists (M. Razavy), Russian scientists (V.V. Dodonov, A.V. Dodonov, Y.L. Klimantovich, A.N. Morozov and A.V. Skripkin, I. Klyatskin, V.G. Morozov, A.V. Churkin and others), Brazilian scientists (S.S. Mizrahi) and others conducted a large amount of experimental and theoretical studies on the development of a formalism for describing statistic and dynamic behavior of open systems. However, in most of these works, in the equations for the oscillators in the thermostat, non-Markov effects are not taken into account, or only linear relationship between the oscillator and thermostat is considered, or methods of analytical determination of non-stationary transport coefficients are not considered.

The theory of open quantum systems was used by several authors, for example, the American authors (C.N. Mortan, B.B. Bak, and others), German authors (H. Hofman, F.P. Hessberger, G. Munzenberg, P. Frobrich, R. Lipperheide), Russian authors (V.V. Volkov, G.G. Adamian, N.V. Antonenko, R.V. Jolos, I.I. Gonchar), Japanese authors (S. Ayik, N. Takigava, Y. Aritoma, Y. Abe), and Uzbek authors (A.K. Nosirov, A.I. Muminov, S.V. Artemov) to describe the process of fission of heavy nuclei and reactions with heavy ions. Although many of the properties of nuclear fission and nuclear reactions with heavy ions have quantum nature, in these studies the quantum statistical effects are ignored, and classic or Markov stochastic dynamic equations are applied. The locality of dissipation is ignored, the time dependence of the diffusion coefficients and friction coefficients is not taken into account, or empirical formulas related to these coefficients are used.

Until recently, it was believed that the process of fission is Markovian – the relaxation time of the single-particle subsystem is considerably smaller than the characteristic time of collective motion. This consideration has led to the fact that

the quantitative evaluation of the viscosity in the non-Markovian part of the model may significantly differ from those obtained in the works by, for example, German scientists (G. Wegmann, H. Hofman) and Polish scientists (K. Pomarski, M. Dworzeska) under the assumption of Markovian nature of fission dynamics. In these works, the role of dissipation in the framework of the microscopic model is not considered.

Connection of the theme of dissertation with the scientific researches of the higher educational institution, where the dissertation was conducted. The dissertation research has been carried out within the framework of the scientific projects of the National University of Uzbekistan on the themes: F-2.1.8 “The dynamics of Nuclear Reactions” (2003-2007); FA-F2-F055 “A study of the reaction yield with heavy ions and nuclear fission” (2007-2011); FA-F2-F115 “Investigation of reaction mechanisms of multinucleon transmissions and fusion-fission of nuclei” (2012-2016); F2-60 “Theory of strongly correlated quantum systems” (2012-2016).

The aim of the research is to develop a formalism to describe the Markovian and non-Markovian dynamics of quantum systems.

The tasks of the research:

to establish the explicit form of the Hamiltonian of a nonequilibrium quantum system in an external field, to obtain generalized non-Markovian quantum stochastic equations for collective coordinates and to find their analytic solutions;

to obtain from the non-Markovian equations quantum Markov diffusion equations with nonstationary transport coefficients;

to obtain analytical solutions of the system of Langevin equations for potentials of the type of a full-coupling harmonic oscillator (FC- oscillator) with a thermostat and in the rotating wave approximation (RWA oscillator);

to determine the time-dependent transport coefficients for the relative collective coordinates of the dissipative system in an external magnetic field, to investigate the asymptotics of the transport coefficients and correlation functions;

to describe and interpretat of the experimental data on the cross sections for the formation of heavy elements;

The objects of the research are open quantum systems and nonequilibrium processes in quantum and mesoscopic systems.

The subjects of the research are the processes of dissipation, diffusion, and quantum fluctuations in nonequilibrium systems.

The methods of research. To obtain a system of quantum equations and nonstationary transport coefficients, methods of stochastic dynamics, nonrelativistic quantum mechanics, and the theory of random processes are used. The problem on interaction of the system and the thermostat is solved by the Heisenberg-Langevin method.

The scientific novelty of the research is as follows:

a system of nonlinear quantum stochastic equations are obtained and solved analytically in the limit of the complete connection between a harmonic oscillator and a quantum thermostat in the rotating wave approximation;

a technique for obtaining time-dependent transport coefficients has been developed, and analytical formulas have been obtained for calculating quantum fluctuations in nonequilibrium quantum systems;

the Markovian quantum equation for the density matrix is derived from the generalized non-Markovian stochastic equation and quantum fluctuation-dissipative (FD) relations are obtained;

a system of nonlinear stochastic equations with allowance for an external magnetic field is obtained and analytically solved;

the values of non-stationary friction and diffusion coefficients for a two-dimensional charged quantum harmonic oscillator in a homogeneous magnetic field are calculated;

an analytical expressions are obtained for the asymptotics of transport coefficients and correlation functions for a two-dimensional charged oscillator;

the power law of the decay of the correlation functions of an oscillator with a complete coupling in the low-temperature and long-time limit has been predicted;

the role of quantum and non-Markovian effects in reactions with heavy ions is established.

Practical results of the research consist of the following:

from non-Markovian quantum stochastic equations, Markovian diffusion equations are derived with explicitly time dependent transfer coefficients;

quantum FD relations and formulas to calculate time-dependent transport coefficients and fluctuations in nonequilibrium processes are derived;

a method is developed for determining the nonstationary quantum transfer coefficients of charged two-dimensional oscillators in an external magnetic field.

The reliability of the research results is substantiated by the use of modern methods of theoretical physics, the theory of random processes and stochastic dynamics, also quite effective numerical methods and used algorithms;

careful verification of the consistency of the obtained theoretical results with the experimental data and the results of studies by other authors; the correspondence of the conclusions with the main provisions of the statistical physics of open systems and the theory of nuclear reactions.

Scientific and practical significance of the research results.

The scientific significance of the research results is determined by the possibility of applying the obtained analytical formulas to describe tunneling of the dissipative system; description of the lifetimes of metastable states of quantum systems.

The practical significance of the research results lies in the fact that they can be successfully applied to the solution of quantum mechanical problems of many bodies in atomic, nuclear, and statistical physics, as well as to calculate the kinetic and fluctuation characteristics of optical quantum generators.

The conducted analysis of new non-Markovian effects can be used in nanotechnology and at designing of new types of devices in quantum electronics.

Implementation of the research results. Based on the obtained results on the development of formalism for describing the Markovian and non-Markovian dynamics of open quantum systems:

the results of a theoretical analysis of the non-Markovian dynamics of nonequilibrium quantum systems and the developed methods for solving quantum stochastic equations were used in the framework of the fundamental grant of the Laboratory of Theoretical Physics of the Joint Institute for Nuclear Research No. 01-3-1029-99/2003 20061 “Dynamics and manifestation of structure in the nuclear and mesoscopic systems” (1999-2003) when describing theoretical and experimental results and explaining non-Markovian dynamics of nonequilibrium quantum systems (a letter of the Joint Institute for Nuclear Research No. 300-20/15 от 12.07.2016). The application of the results of present scientific-research work allowed the development of a new approach for describing strongly deformed nuclear states and, within the framework of this approach, a new method for experimental studies of such nuclei was proposed;

the methods for determining the nonstationary transport coefficients and the widths of the decay of metastable states have been used within the scientific project No. 01-3-1029-99/2008 “The nucleus-nucleus collisions and nuclear properties at low energies” (2003-2008) to explain experimental data on nuclear reactions of complete fusion, quasi-fission, fission and capture (a letter No. 300-20/15 of the Joint Institute of Nuclear Researches dated 12.07.2016). Using the research results made it possible to obtain rare neutron-excess isotopes by means of stable and radioactive ion beams;

non-Markovian dynamics of quantum systems, the decay of metastable states, and non-Markovian Langevin formalism of nuclear reactions with heavy ions near the Coulomb barrier are widely used in foreign scientific journals (Physics Letters A, 2009; Physical Review C, 2010; Modern Physics Letters A, 2014; Physical Review B, 2015; Physics Reports 2015; Physics Letters A, 2009; International Journal of Modern Physics B, 2015) in describing and explaining theoretical and experimental data on nuclear reactions involving heavy ions of complete fusion, quasi-fission, fission and capture, and also in explaining the non-Markovian dynamics of open quantum systems.

Testing of the research results. The main results of the dissertation were reported and discussed at 14 international and 6 republician scientific and practical conferences.

Publication of the research results. On the theme of the dissertation 40 scientific papers were published, 20 scientific articles from them 18 in international scientific journals recommended by the Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publication of the main scientific results of doctoral dissertations.

Volume and structure of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, six chapters, conclusion and a bibliography. The volume of the dissertation is 136 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; Part I)

1. З.Каноков, Р.Х.Утамуратов, Д.Элмуратова. Уравнение Ланжевена для многофермионной диссипативной системы//Узбекский физический журнал, том 4,(№2), 2002, ст.75-79.(01.00.00.№5).
2. Kanokov Z., Palchikov Yu.V., Adamian G.G., Antonenko N.V., Scheid W. Non-Markovian dynamics of quantum systems: 1. Formalism and transport coefficients // Physical Review E. – New York (USA), 2005. – vol. 71. – id.016121.- 20 p. (№ 40. ResearchGate; IF=2.70).
3. Palchikov Yu.V., Kanokov Z., Adamian G.G., Antonenko N.V., Scheid W. Non- Markovian dynamics of quantum systems: II. Decay rate, capture and pure states// Physical Review E. - New York (USA), 2005. – vol. 71. – id. 016122. - 10 p. (№ 40. ResearchGate; IF=2.70).
4. Sargsyan V.V., Kanokov Z., Adamian G.G., Antonenko N.V. Quantum Non-Markovian Langevin Equations and Transport Coefficients //Physics of Atomic Nuclei. - Moscow, 2005. -vol. 68, N 12. - pp. 2009–2021. (№2. Journal impact factor; IF=0.50).
5. Adamian G.G., Antonenko N.V., Kanokov Z., Sargsyan V.V. Quantum non-markovian stochastic equations // Theoretical and Mathematical Physics. - Moscow, 2005. –vol.145, N1. - pp. 1443–1456 (№2. Journal impact factor; IF=0.629).
6. Kalandarov Sh.A., Kanokov Z., Adamian G.G., Antonenko N.V. Transport coefficients of a quantum system interacting with a squeezed heat bath // Physical Review E. – New York (USA), 2006.- vol. 74.- id.011118.-11 p. (№ 40. ResearchGate; IF=2.76).
7. Sargsyan V.V., Palchikov Yu.V., Kanokov Z., Adamian G.G., Antonenko N.V. Coordinate-dependent diffusion coefficients: Decay rate in open quantum systems // Physical Review A. - New York (USA), 2007.–vol. 75. – id.062115. - 7 p. (№ 40. ResearchGate; IF=2.84).
8. Sargsyan V.V., Palchikov Yu.V., Kanokov Z., Adamian G.G., AntonenkoN.V. Decay rate with coordinate-dependent diffusion coefficients // Physica A. – Elsevier: Holland, 2007. – vol.386. – pp.36-46 (№ 40. ResearchGate; IF=1.70).
9. Kalandarov Sh.A., Kanokov Z., Adamian G.G., Antonenko N.V. Influence of external magnetic field on dynamics of open quantum systems// Physical Review E. -New York (USA), 2007.–vol.75. –id. 031115. - 16 p. (№ 40. ResearchGate; IF=2.80).
10. Sargsyan V.V., Palchikov Yu.V., Kanokov Z., Adamian G.G., Antonenko N.V. Fission rate and transient time with a quantum master equation //

Physical Review C. - New York (USA), 2007. – vol. 76. – id. 064604.- 7p. (№ 40. ResearchGate; IF=3.00).
11. Sargsyan V.V., Kanokov Z., Adamian G.G., Antonenko N.V. Quantum non-Markovian Langevin formalism for heavy ion reaction near the Coulomb barrier// Physical Review C. -New York (USA), 2008. –vol. 77.– id. 024607.-13 p. (№ 40. ResearchGate; IF=2.88).
12. Adamian G.G., Antonenko N.V., Kanokov Z., Sargsyan V.V. Quantum non-markovian stochastic equations// Theoretical and Mathematical Physics. - Moscow, 2008. – vol. 156, N3. - pp.1331–1346 (№2. Journal impact factor; IF=0.796).
13. Sargsyan V.V., Zubov A.S., Kanokov Z., Adamian G.G., Antonenko N.V. Quantum Non-Markovian Langevin Equations and Transport Coefficients //Physics of Atomic Nuclei.- Moscow, 2009. - vol. 72, N 3. - pp. 425–438 (№2. Journal impact factor; IF=0.54).
14. Sargsyan V.V., Kanokov Z., Adamian G.G., Antonenko N.V., Scheid W. Capture process in nuclear reactions with a quantum master equation // Physical Review C. -New York (USA), 2009. –vol. 80. – id.034606. - 13p. (№ 40. ResearchGate; IF=2.88).
15. Sargsyan V.V., Kanokov Z., Adamian G.G., Antonenko N.V., Scheid W. Interaction times in the $^{136}Xe+^{136}Xe$ and $^{238}U+^{238}U$ reactions with a quantum master equation // Physical ReviewC. -New York (USA), 2009. – vol. 80. – id. 047603. - 4p. (№ 40. ResearchGate; IF=2.88).
16. Sargsyan V.V., Kanokov Z., Adamian G.G., Antonenko N.V. Quantum Statistical Effects in Nuclear Reactions, Fission, and Open Quantum Systems // Physics of Particles and Nuclei. – Moscow, 2010. - vol.41, N 2. - pp.175-229. (№ 39. Impact Factor Search; IF=1.10).
17. Sargsyan V.V., Kanokov Z., Adamian G.G., Antonenko N.V. Erratum: Quantum Statistical Effects in Nuclear Reactions, Fission, and Open Quantum Systems // Physics of Particle and Nuclei. - Moscow, 2010.- vol. 41. - pp. 175–229; Physics of Particles and Nuclei. – Moscow, 2010. - vol. 41, No. 4. - p. 590 (№ 39. Impact Factor Search; IF=1.10).
18. Kalandarov Sh.A., Kanokov Z., Adamian G.G., Antonenko N.V., Scheid W. Non-Markovian dynamics of an open quantum system with nonstationary coupling // Physical Review E. – New York (USA), 2011. - vol. 83.– id. 041104.-11p. (№ 40. ResearchGate; IF=2.88).
19. З.Каноков. Немарковское уравнение Ланжевена для двухуровневых атомов, взаимодействующих с квантовым термостатом//Вестник Национального университета Узбекистан, 2014г., №3,ст.186-191.
20. Sargsyan V.V., Kanokov Z., Adamian G.G., Antonenko N.V. Application of the Theory of Open Quantum Systems to Nuclear Physics Problems // Physics of Particles and Nuclei.- Moscow, 2016. - vol.47, N 2. - pp.157-205. (№ 39. Impact Factor Search; IF= 0.50).

II бўлим (II часть; Part II)

21. Adamian G.G., Kanokov Z., Muminov A.I., NasirovA.K. On the experimental check of dinuclear system model in nuclear fission processes induced neutrons // International Conference on Nuclear Physics. –Berkeley, California (USA), 2001. - pp.324
22. Nasirov A.K., Adamian G.G., Giardina G., Hofmann S., Jovliev U.Yu., Kanokov Z., Muminov A.I., Pavliy K.V. Effect of the entrance channel on the synthesis of superheavy elements // Nuclear physics in the 21st century: International Nuclear Physics Conference INPC-2001. – AIP Conference Proceedings. -Berkeley, California (USA),2002. –vol. 610.-pp. 638-642.
23. Fazio G., Giardina G., Lamberto A., Ruggeri R., Hanappe F., Materna T., Jovliev U.Yu., Khugaev A.V., Muminov A.I., Nasirov A.K., Pavliy K.V., Pikul V.P., Kanokov Z., Yakhshiev U., Palamara R., Stuttgé L. The Role of Entrance Channel and Shell Structure on the Yield of Quasifission Products // New projects and lines of research in nuclear physics: Proceedings of the International Symposium 24-26 October 2002.- Messina (Italy), 2003.-pp. 258-271.
24. Kanokov Z., Adamian G.G. Nonequilibrium quantum processes in deep-inelastic interactions of heavy ions// International Conference «Modern Problems of Nuclear Physics»12-15 August 2003. -Samarkand (Uzbekistan), 2003. –pp.92.
25. Giardina G., Fazio G., Lamberto A., Palamara R., Nasirov A.K., Muminov A.I., Pavliy K.V., Khugaev A.V., Kanokov Z., Hanappe F., Materna T., Stuttgé L. The Role of the Quasifission Process in Reactions for the Synthesis of Superheavy Elements // Seminar on fission 16-19 September 2003.- Belgium,2004. - pp. 181-190.
26. Kanokov Z., Khidoyatov A. Nonlinear effects in nuclear matter // V-th International Conference «Nuclear and Radiation Physics» 26-29 September 2005.- Almaty (Kazakhstan), 2005. –pp.86.
27. Каноков З. Роль диссипации в коллективных движениях ядерной материи// Материалы международной конференции, посвященной 15-летию независимости Узбекистана 26-27октября 2006.– Ташкент, 2006.- С.19.
28. Abdurakhmanov I.B., Kanokov Z. Influence of external electric and magnetic field on dynamics of open quantum systems // International Conference «Modern Problems of Nuclear Physics» 19-22 September 2006. - Tashkent (Uzbekistan), 2006. – pp.59-60.
29. Kanokov Z. Non-markovian Langevin equations for two-level systems // International Conference «Modern Problems of Nuclear Physics» 19-22 September 2006. – Tashkent (Uzbekistan), 2006. –pp.59.
30. Каноков З. Роль квантовых и немарковских эффектов при прохождении потенциального барьера // «Фундаментальные и прикладные проблемы современной физики»: Материалы научно-практической конференции. – Ташкент, 2008 - С.87-90.

31. Каноков З., Турсунмахатов К.И. Стохастические описание деление деформированных ядер // «Фундаментальные и прикладные проблемы современной физики»: Материалы научно-практической конференции. – Ташкент, 2008 - С.126-129.
32. Турсунмахатов К.И., Хусанбоев У.Я., Каноков З. Стохастические описание деформированных ядер // В сб. «Оптические методы в современной физике». - Ташкент, 2008. - С.211.
33. Sargsyan V.V., Palchikov Yu.V., Kanokov Z., Adamian, G.G., Antonenko N.V. Fission transient time with quantum master equation// 4Th international workshop on nuclear fission and fission-product spectroscopy: AIP Conference Proceedings. – Cadarache (France), 2009 –vol.1175.-pp. 65-68.
34. Каноков З. Влияние внешнего магнитного поля на коэффициенты переноса//«Неравновесные процессы в физике полупроводников»: Тез.докл. Межд. конф. – Ташкент, 2009.- С.136.
35. Каноков З. Квантовое туннелирование с диссипацией //«Актуальные проблемы физической электроники»: Тез. докл. Межд. конф. 28 ноября 2012. - Ташкент, 2012.- С.148.
36. Kanokov Z. Non-Markovian dynamics of quantum systems // Nuclear science and its applications: International Conference September 25-28, 2012, Samarkand, Uzbekistan.- Tashkent, 2012.- pp. 112.
37. Каноков З. Асимптотики корреляционных функций затухающего квантового осциллятора // Актуальные проблемы теоретической и ядерной физики: Тез. докл. Респ. конф.25-26 октября 2013. - Ташкент, 2013. – С.56
38. Каноков З. Немарковская динамика неравновесной квантовой системы, с фермионной внутренней подсистемой // Актуальные проблемы теоретической и ядерной физики: Тез. докл. Респ. конф.25-26 октября 2013. - Ташкент, 2013. – С.56-57.
39. Каноков З. Квантовое Немарковское Уравнение Ланжевена для Двухуровневых Атомов, Взаимодействующих с Диссипативной Системой// Тез. Докл. IV-Международная конференция. Самарқанд 28-31.05. 2013г стр.77.
40. Каноков З. Эффект немарковости в ядерных реакциях с участием тяжелых ионов // Международная конференция «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» 5-6 ноября 2015. – Ташкент, 2015.- С. 40-41.

Илмий маслаҳатчи М.М.Мусаханов

Талабгор З.Каноков

Автореферат «Тил ва адабиёт таълими» журнали таҳририятида
таҳрирдан ўтказилди (.....2017 йил)

Босишга рухсат этилди: _____2017 йил
Бичими 60x84 $^{1}/_{16}$, «Times New Roman»
гарнитурада рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табоғи 5. Адади: 100. Буюртма: № _____.

Ўзбекистон Республикаси ИИВ Академияси,
100197, Тошкент, Интизор кўчаси, 68

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ» ДУК