

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

ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ

НАДИРБЕКОВ МАХМУДЖОН СУЛАЙМАНОВИЧ

**ЛАНТАНИД ВА АКТИНИД ЯДРОЛАРНИНГ УЙҒОНГАН
КОЛЛЕКТИВ ҲОЛАТЛАРИНИНГ ҲУСУСИЯТЛАРИ ВА УЛАРНИНГ
ШАКЛИНИ ЎЗГАРИШ ДИНАМИКАСИ**

01.04.08 – Атом ядроси ва элементар зарралар физикаси.
Тезлаштирувчи техника

**ФИЗИКА МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Ташкент – 2018

Докторлик (Doctor of Science) диссертацияси автореферати
мундарижаси
Оглавление автореферата докторской (Doctor of Science)
диссертации
Content of the thesis of doctoral (Doctor of Science) dissertation

Надирбеков Махмуджон Сулайманович Лантанид ва актинид ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг хусусиятлари ва уларнинг шаклини ўзгариш динамикаси.....	3
Надирбеков Махмуджон Сулайманович Динамика изменения формы и характеристики возбужденных коллективных состояний лантанидов и актинидов.....	21
Nadirbekov Makhmudjon Dynamics of shape evolution and characteristics of excited collective states of lanthanides and actinides.....	41
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works.....	51

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

ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ

НАДИРБЕКОВ МАХМУДЖОН СУЛАЙМАНОВИЧ

**ЛАНТАНИД ВА АКТИНИД ЯДРОЛАРНИНГ УЙҒОНГАН
КОЛЛЕКТИВ ҲОЛАТЛАРИНИНГ ҲУСУСИЯТЛАРИ ВА УЛАРНИНГ
ШАКЛИНИ ЎЗГАРИШ ДИНАМИКАСИ**

01.04.08 – Атом ядроси ва элементар зарралар физикаси.
Тезлаштирувчи техника

**ФИЗИКА МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Ташкент – 2018

Фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.1.DSc/FM34 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Ядро физикаси институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.inp.uz) ва «Ziynet» Ахборот таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:	Ярмухамедов Рахим, физика-математика доктори, профессор
Расмий оппонентлар:	Муминов Толиб Мусаевич, физика- математика доктори, профессор, Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси академиги Адамян Гурген Григорьевич, физика-математика доктори Бекмирзаев Рахматулла Нурмуродович, физика-математика доктори, профессор
Етакчи ташкилот:	Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Физика-техника институти

Диссертация ҳимояси Ядро физикаси институти, Астрономия институти, Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.FM/Т.33.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил “___” _____ соат ____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100214, Тошкент ш., Улуғбек кўрғони, ЯФИ; тел. (+99871) 289-31-18; факс (+99871) 289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

Докторлик диссертацияси билан Ядро физикаси институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (_____ рақами билан рўйхатга олинган. (Манзил: 100214, Тошкент ш., Улуғбек шаҳарчаси, Ядро физикаси институти. 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., профессор

С.В.Артемов
Илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш илмий котиби вазифасини
вақтинча бажарувчи, ф.-м.ф.д., катта илмий ходим

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

КИРИШ (докторлик (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Бугунги кунда жаҳонда оғир атом ядроларининг спектроскопик хусусиятлари тўғрисидаги ишончли маълумотларга катта аҳамият берилмоқда. Уларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг хусусиятлари: энергетик спектр ва спинлар сон қийматларининг кетма-кетлиги, электрик мультиполь ўтишларнинг эҳтимолликлари ва электрик мультиполь моментларнинг сон қийматлари ядро шаклига ва унинг деформацияланувчанлигига боғлиқ. Оғир ядроларнинг қуйи спинли уйғонган коллектив ҳолатларидаги аномаль хаотик нобарқарорлик, ҳамда уларнинг энергетик полосаларидаги ички/ўзаро E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари ядро шакли деформациясининг динамикаси билан бевосита боғлиқ. Шу сабабли оғир жуфт-жуфт ядроларнинг фундаментал спектроскопик хусусиятларини аниқлаш ва уларни оғир ядроларга қўллаш вазифаларини ҳал қилиш ўта муҳимдир.

Хозирги кунда жаҳонда оғир ядроларнинг спектроскопик хусусиятлари турли муаллифлар томонидан геометрик, алгебраик ва микроскопик яқинлашувлар асосида жуда кенг миқёсда ўрганилмоқда. Ядронинг квадрупол типдаги феноменологик ноадиабатик модели унинг айланма ҳаракатини, сиртининг кўндаланг ва бўйлама тебранишлари билан боғланишини ҳисобга олади. Аммо бу модель асосида ядроларнинг юқори спинли уйғонган коллектив ҳолатлари ва бу ҳолатлар жуфтлигининг ўзгариши яхши ўрганилмаган. Юқори спинли коллектив ҳолатларни ўрганиш бир қанча муаллифлар томонидан ўзгарувчан инерция моменти ва ўзаро таъсирлашувчи бозонлар моделлари асосида амалга оширилган. Бу моделларда ядронинг тўла инерция моменти эркин параметр ва у ядро шаклининг ўзгариш динамикасига боғлиқ эмас деб тахмин қилинган. Аммо, ядронинг юқори спинли ўзгарувчан/ўзгармас жуфтликдаги уйғонган коллектив ҳолатларини ўрганишда, унинг айланма ҳаракатини турли мультиполликдаги сирт тебранишлари билан ўзаро боғлиқлигини ҳисобга олиш муҳимдир.

Мамлакатимизда ядро физикасининг турли йўналишларини ривожлантириш ҳамда дунё миқёсида фундаментал муаммоларни ҳал этиш бўйича кенг камровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. Мамлакатимиз илм-фан ривожига ҳамда фундаментал тадқиқот натижаларини ҳаётга татбиқ қилиш учун фундаментал тадқиқотларни муҳим йўналишлари Ўзбекистонни янада ривожлантириш бўйича 2017-2021 йиллардаги Ҳаракатлар¹ стратегиясига киритилган.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2013 йил 1 мартдаги ПФ–4512- сон “Муқобил энергия манбаларини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги, 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сон “Фанлар

¹ 2017 йил 07 февральдаги ПФ-4947-сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” Ўзбекистон Республикаси Президентининг Фармони

Академияси фаолияти, илмий-тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора тadbирлари тўғрисида”ги Қарорларида, 2017 йил 7 февралдаги ПФ–4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” ги Фармонида ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялари ривожлантиришнинг II.«Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлиги» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи. Атом ядроларининг турли мультиполликдаги уйғонган ўзгарувчан/ўзгармас жуфтликдаги коллектив энергетик ҳолатларини ўрганиш бўйича жаҳоннинг етакчи илмий марказларида ва олий ўқув муассасаларида, жумладан Бирлашган ядро тадқиқотлари институти, “Курчатов институти” Миллий илмий маркази, Москва давлат университети қошидаги Д.В. Скобельцин номидаги Ядро физикаси институти ва Санкт-Петербург давлат университети (Россия), Ядро тадқиқотлари ва Назарий физика институтлари (Украина), Гете ва Юстус Либих номидаги университетларининг Назарий физика институтлари (Германия), Оғир ионлар Миллий тезлатгичи (GANIL, Франция), Ядро физикаси институти (Греция), Ядро тадқиқотлари ва Ядро энергияси институти (Болгария), Падова университети (Италия), Газиентеп университети (Туркия), Токио университетининг физика департаменти (Япония), Дамган университети (Иран), Йел университетининг Назарий физика маркази (АҚШ), Ядро физикаси ва инженерия миллий институти (Руминия), Австралия Миллий университетининг Ядро физикаси департаменти (Австралия), Радиациявий физика-кимё муаммолари институти (Беларусь), Ядро физикаси институти (Қозоғистон Республикаси), Ядро физикаси институти, Ўзбекистон Миллий университети ва Наманган муҳандислик-технология институти (Ўзбекистон Республикаси)да кенг қамровли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Ядро тузилиши ва унинг уйғонган коллектив ҳолатларининг тадқиқоти бўйича жаҳон миқёсидаги бир қатор илмий натижалар олинган, жумладан: ядровий жараёнларнинг асосий хоссаларининг каталоги тузилган, уларнинг кинематик ва динамик хоссалари аниқланган, экспериментал қурилмалар ва назарий методлар ишлаб чиқилган (“Курчатов институти” Миллий илмий маркази ва Бирлашган ядро тадқиқотлари институти, Россия; Оғир ионлар Миллий тезлатгичи, GANIL, Франция; Ядровий тадқиқотлар ва Назарий физика институтлари, Украина; Гете ва Юстус Либих университетларининг Назарий физика институтлари, Германия; Ядро физикаси институти, Греция; Ядровий тадқиқотлар ва Ядровий энергия институти, Болгария; Радиациявий физика-кимё муаммолари институти, Беларусь; Ядро физикаси институти, Қозоғистон; Ядро физикаси институти, Ўзбекистон).

Дунёда оғир атом ядроларининг тузилиши ва уйғонган коллектив ҳолатларини ўрганиш бўйича қуйидаги устувор йўналишларда изланишлар олиб борилмоқда, шу жумладан: турли масса сонларидаги нормал деформацияланган, супердеформацияланган ва гипердеформацияланган ядроларнинг айланма ҳолат полосаларининг; яримфеноменологик мажбурланган айланиш яқинлашувидаги гипердеформацияланган ҳолатлар; супердеформацияланган ҳолатларнинг кластер модели; ядро асимметрик шаклини тавсифлаш билан боғлиқ ноадиабатик яқинлашувларни ривожлантириш; ҳамда ўзгарувчан жуфтлик полосаларидаги айланма тебранма ҳолатларнинг хусусиятларини миқдорий ва сифат тушунтириш; трансфермий ядроларнинг емирилиш ва К-изомерларнинг коллектив ҳолатларини ўрганиш; экспериментал қурилмаларнинг сезгирлигини такомиллаштириш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Бор гамилтониани билан Шредингер тенгламасининг сирт квадрупол тебранишларининг турли кўринишдаги потенциал энергиялари учун ечими дунёнинг кўплаб етакчи илмий марказларининг олимлари, масалан, болгариялик (N. Minkov, S. Drenska, P. Yotov) германиялик (W. Greiner, A. Faessler, W. Scheid, M. Strecker), грециялик (D. Bonatsos, D. Lenis, D. Petrellis), италиялик (L. Fortunato), беларусиялик (Ю.В. Породинский, Е. Ш. Суховицкий), украиналик (В. Ю. Денисов, А. Я. Дзюблик) ва бошқалар томонидан ўрганилган. Аммо бу илмий ишларда коллектив айланишнинг юқори спиндаги ҳолатлари ўрганилмаган, ҳамда кўндаланг тебранишларнинг ҳиссаси, ё ҳисобга олинмаган, ёки қисман ҳисобга олинган.

Асосий, β - ва γ - полосалардаги уйғонган коллектив ҳолатларнинг квадрупол ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари турли коллектив моделлар асосида болгариялик (N. Minkov, P. Yotov, S. Drenska), германиялик (W. Greiner, W. Scheid), грециялик (D. Bonatsos, D. Lenis, D. Petrellis), италиялик (L. Fortunato), украиналик (V.Yu. Denisov, A.Ya. Dzyublik), россиялик (В.М. Михайлов, И.Н. Михайлов, В.Г. Соловьев), беларусиялик (Ю.В. Породинский, Е.Ш. Суховицкий), ўзбекистонлик (Р.Б. Бегжанов, Ш. Шарипов, Б.Ч. Чориев, П.Н. Усманов) ва бошқа олимлар томонидан ўрганилган. Бу ишларда ядроларнинг айланма ва тебранма ҳаракатлар алоҳида ажратилган ҳолда ўрганилган, аммо бу ҳаракатларнинг ўзаро боғлиқлигини ҳисобга олиш жуда муҳимдир.

Аксиал симметрик жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик спектри болгариялик (N. Minkov, P. Yotov, S. Drenska), германиялик (W. Scheid, M. Strecker), украиналик (V.Yu. Denisov, A.Ya. Dzyublik), грециялик (D. Bonatsos, D. Lenis, D. Petrellis) ва бошқа олимлар томонидан ўрганилган. Бироқ бу илмий ишларда коллектив ўзгарувчиларнинг гамилтониани кинетик энергия кўриниши ноаксиал ядроларники каби. Бундан ташқари айланма полоса ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик сатҳларининг шохланиши лантанид ядролар учунгина тавсифланган, шу каби хусусиятлар актинид ядролар учун

ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ядро физикаси институти илмий-тадқиқот ишлари режасининг Ф-2.1.19 ”Қуйи энергияларда ядровий астрофизикада зарядланган заррани узатишнинг периферияли реакцияларининг асимптотик назариясини ва ядро тузилишини ҳисоблашнинг мувофиқлаштирилган методини яратиш” (2003-2007), ФА-Ф2-Ф077 ”Ядровий астрофизикада қуйи ва ўта қуйи энергияларида ядролар ва периферияли ядро реакцияларининг фундаментал хусусиятларини ҳисоблаш методларини ишлаб чиқиш ва ривожлантириш” (2007-2011), Ф2-ФА-Ф117 ”Ядровий астрофизикада ядро фундаментал хусусиятларининг динамик хоссалари устида тадқиқотлар” (2012-2016), Ф.2-14 “Деформацияланувчи ноаксиал жуфт-жуфт ядроларнинг қуйи энергиялардаги уйғонган ҳолатларининг аномал хусусиятларини ўрганиш” (2014-2015) илмий лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади ўзгарувчан/ўзгармас жуфтликдаги оғир жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатлари спектрининг хусусиятларини, ҳамда уларнинг айланма полоса энергетик спектридаги зигзаг кўринишидаги шохланишини аниқлаш ноадиабатик коллектив моделини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

ноаксиал жуфт-жуфт ядроларнинг мусбат жуфтликдаги асосий, γ - ва β -полосалардаги уйғонган коллектив ҳолатлари учун ноадиабатик моделни ривожлантириш ва энергетик спектр ва тўлқин функцияларининг аниқ кўринишдаги ифодаларини олиш; лантанид, актинид ва ўта оғир ядроларнинг ядродан ядрога ўтишдаги энергетик спектрнинг ўзгариш қонуниятларини аниқлаш ва трансурани ядроларнинг γ - ва β -полосаларидаги коллектив уйғонган ҳолатларини башорат қилиш;

мусбат жуфтликдаги уйғонган коллектив ҳолатларнинг энергетик спектрига кўндаланг сирт тебранишларининг ҳиссасини баҳолаш; ноаксиал жуфт-жуфт ядроларнинг мусбат жуфтликдаги коллектив спектрининг бузилган ҳолатларининг коллектив динамикасининг ”хаотик” ва ”барқарор” қисмини аниқлаш;

ядроларнинг ихтиёрий ноаксиаллик моделида уйғонган ҳолатларидаги оралик/ички E2-ўтишларининг келтирилган эҳтимолликларининг аниқ кўринишдаги ифодаларини олиш, ҳисоблаш ва уларни эксперимент натижалари билан солиштириш; уйғонган коллектив ҳолатлардаги E2-ўтишларнинг шохланишини ўрганиш ва уларнинг ядро шакл динамикасидаги турли ҳаракатлар билан боғлиқлигини аниқлаш;

сирт тебранишларининг Дэвидсон потенциали учун жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги уйғонган коллектив ҳолатларнинг энергетик спектрининг ва тўлқин функцияларининг аниқ кўринишдаги ифодаларини олиш; ривожлантирилаётган моделдаги квадрупол-октупол

кўринишдаги сирт тебранишларнинг ҳисобга олган ҳолда энергетик спектрни ҳисоблаш ва эксперимент натижалари билан солиштириш;

ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик спектрни полосаларидаги ўзаро/ички E1- ва E2- ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларининг аниқ кўринишдаги ифодаларини олиш ва уларни эксперимент натижалари билан солиштириш; E1- ва E2-ўтишларнинг шохланишини ўрганиш ва уларнинг квадрупол-октупол кўринишдаги сирт тебранишларга сезгирлигини ўрганиш;

уч ўлчовли квадрупол-октупол ротатор модели асосида оғир жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик спектрини тавсифлаш;

аксиал ва ноаксиал жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик спектрининг айланма полосасидаги шохланишни турли коллектив ҳаракатларни ҳисобга олган ҳолда аниқлаш.

Тадқиқот объекти сифатида лантанид, актинид ва ўта оғир жуфт-жуфт ядроларнинг спектроскопик хусусиятлари олинган.

Тадқиқот предмети аксиаль ва ноаксиал жуфт-жуфт ядроларнинг мусбат жуфтликдаги асосий, β - ва γ -полосаларнинг ва ўзгарувчан жуфтликдаги *yrast*- ва *non-yrast* полосаларнинг уйғонган коллектив ҳолатлари спектрининг статик ва динамик хусусиятларидир.

Тадқиқотнинг усуллари. Квант механикасининг математик аппарати тадқиқот методи; ФОРТРАН тилида дастурлаш.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги куйидагилардан иборат:

трансуран $^{242,244}\text{Pu}$, ^{248}Cm ва $^{252,254}\text{No}$ ядроларининг уйғонган ҳолатларининг β - ва γ -полосалардаги энергетик сатҳлари башорат қилинган ва барқарор деформацияли ядролар актинидлар соҳасида лантанидлар соҳасига нисбатан кўплиги кўрсатилган;

уйғонган ҳолатларининг куйи энергетик сатҳларининг бузилиши топилган ва ^{166}Yb , ^{168}Hf , ^{232}Th , ^{236}U ядроларнинг энергетик сатҳлари коллектив динамиканинг ”хаотик” қисмида, қолган ядролар эса ”барқарор” қисмида жойлашуви кўрсатилган;

$^{152,154}\text{Sm}$, ^{154}Gd , $^{156,158}\text{Dy}$, ^{162}Er , ^{170}Hf , $^{232,234}\text{U}$ ядроларнинг коллектив уйғонган ҳолатларининг энергетик спектрига кўндаланг сирт тебранишларининг ҳиссаси баҳоланган;

жуфт-жуфт лантанид ^{150}Sm , $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$ ва актинид ^{224}Ra , ^{228}Th , $^{232,234,236,238}\text{U}$, ^{240}Pu ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик спектрини тавсифлашда квадрупол-октупол кўринишидаги сирт тебранишларини ҳисобга олишнинг муҳимлиги кўрсатилган;

квадрупол ва октупол деформацияларнинг динамикасига келтирилган E1- ва E2-ўтишларнинг сезгирлиги топилган;

квадрупол ва октупол деформацияланувчи $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{230,232,234,238}\text{U}$, ^{240}Pu ядроларнинг коллектив спектрининг шаклланишида аксиал ва ноаксиал эркинлик даражаларининг таъсири аниқланган;

^{150}Sm , $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{230,232,234,238}\text{U}$, ^{240}Pu ядроларнинг айланма полосадаги энергетик спектрининг зигзаг кўринишида шохланишида буйлама ва кўндаланг шаклдаги коллектив ҳаракатларнинг

ҳиссасини ҳисобга олишнинг муҳимлиги кўрсатилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

лантанид, актинид ва ўта оғир жуфт-жуфт ядроларнинг статик ва динамик хусусиятларини тавсифловчи феноменологик ноадиабатик модели ишлаб чиқилган;

ўта оғир жуфт-жуфт ядроларнинг β - и γ -полоса энергетик сатҳларини башорат қилинган ва ядро шаклининг ноаксиал эркинлик даражаларини таъсири баҳоланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги назарий физика ва квант механикасининг методларини фойдаланиш, ҳамда юқори самарали тақрибий ҳисоблаш методлари ва алгоритмлари, олинган натижаларни эксперимент натижалари ва бошқа муаллифларнинг натижалари билан оғир жуфт-жуфт ядроларнинг коллектив назариясининг асосий қонуниятларига мос равишда батафсил текширишдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ишлаб чиқилган моделлар, бу моделлар асосида олинган натижаларни оғир ва ўта оғир ядроларнинг янги экспериментларда олинган фундаментал спектроскопик хусусиятларининг таҳлили билан аниқланади ва бу натижаларни ўта оғир ядроларни синтез қилиш реакциясида, уларнинг яшаш вақтини баҳолашда қўллаш билан белгиланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти оғир ядроларнинг синтези натижасида олинган айланувчи ядронинг яшаш вақтини баҳолашга, ҳамда коллектив уйғонган ҳолатларда мультипол ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларини ва бу ўтишларнинг шохланишини, ҳамда қутбланган ва қутбланмаган мультипол моментларни аниқлашда фойдаланишдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ядро шаклининг динамикаси ва лантанид, актинид ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг хусусиятлари бўйича олинган натижалар асосида:

ноаксиал лантанид ва актинид ядроларнинг E2-ўтишларининг келтирилган эҳтимолликларининг назарий натижалари №01-3-1114-2014/2018 «Ядровий реакциялар ва ядроларнинг шакли тузилиши» (2014–2018) фундаментал лойиҳасида оғир ядроларнинг спектроскопик хусусиятларини тушунтиришда қўлланилган (Бирлашган ядро тадқиқотлари институтининг 2018 йил 24 апрелдаги маълумотномаси). Илмий натижаларининг қўлланилиши ўта оғир ядроларни синтез қилиш натижасида олинган айланувчан ядронинг яшаш вақтини баҳолаш имконини берган;

ўзгарувчан жуфтликдаги лантанид ва актинид ядроларнинг коллектив ҳолатларининг энергетик сатҳлари ва уларнинг юқори спинлардаги шохланиши “Уйғонган атом ядроларини ва ядровий жараёнлар механизмини чегаравий реакцияларда ўрганиш” (2013-2017) илмий-тадқиқот лойиҳасида оғир ядроларнинг статик ва динамик спектроскопик хоссаларини тавсифлаш ва уларни тушунтириш учун қўлланилган (Украина Миллий фанлар академияси Ядро тадқиқотлари институтининг 2018 йил 11 апрелдаги 1-

17/265-сонли маълумотномаси). Илмий натижаларининг қўлланилиши трансурон ядроларнинг γ - ва β -полосалардаги энергетик сатҳларини ва улар орасидаги мултипол ўтишларнинг эҳтимолликларини экспериментал аниқлашда олинган натижаларни баҳолаш ва идентификациялаш имконини берган;

лантанид ва актинид жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатлардаги шаклининг ноаксиаллиги оид олинган янги натижалар халқаро олимлар томонидан халқаро илмий журналларда (Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, 2015; Chinese Physics C, 2017; Nuclear Data Sheets, 2015) оғир ва ўта оғир ядроларнинг боғланиш энергияларини аниқлаш учун фойдаланилган. Илмий натижаларининг қўлланилиши оғир ва ўта оғир ядроларнинг яшаш вақтини ва экспериментал спектроскопик маълумотларни баҳолаш имконини берган.

Тадқиқотнинг апробацияси. Диссертация ишининг асосий натижалари 20 та халқаро ва республика анжуманларида муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 42 та илмий иш нашр қилинган, жумладан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 19 та мақола, шулардан 11 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертация тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, олти боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг ҳажми 177 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

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

Диссертациянинг «**Моделнинг асосий тенгламалари**» деб номланган биринчи бобида ривожлантирилаётган ноадиабатик моделнинг асосий ғоялари, ҳамда унинг асосида олинган тенгламалар баён қилинган.

Жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган квадрупол ва октупол коллектив ҳолатларининг умумий назарияси Бор гамилтониани билан тафсифланади. Унда еттита динамик ўзгарувчилар мавжуд: коллектив квадрупол $\beta_2(\beta_2 \geq 0)$, $\gamma(0 \leq \gamma \leq 60^\circ)$; октупол $\beta_3(\beta_3 \geq 0)$, $\eta(0 \leq \eta \leq 90^\circ)$ ўзгарувчилар ва Эйлер бурчаклари $\theta_1(0 \leq \theta_1 \leq 2\pi)$, $\theta_2(0 \leq \theta_2 \leq \pi)$, $\theta_3(0 \leq \theta_3 \leq 2\pi)$. Бу оператор қуйидаги кўринишга эга:

$$\hat{H}_2 = \hat{T}_{\beta_2} + \hat{T}_{\beta_3} + \hat{T}_\gamma + \hat{T}_\eta + \hat{T}_{rot}(\gamma, \eta) + V(\beta_2, \beta_3, \gamma, \eta), \quad (1)$$

бу ерда \hat{T}_{β_2} , \hat{T}_{β_3} , \hat{T}_γ ва \hat{T}_η -бўйлама ($\beta_2; \beta_3$) ва кўндаланг ($\gamma; \eta$) тебранишларнинг кинетик энергияларининг операторлари; $\hat{T}_{rot}(\gamma, \eta)$ - айланма энергия оператори; $V(\beta_2, \beta_3, \gamma, \eta)$ - бўйлама ва кўндаланг тебранишларнинг потенциал энергияси.

Бор гамильтониани (1) билан Шредингер тенгламасининг умумий ечими жуда мураккаб ва хозирча у топилмаган. Шунинг учун ривожлантирилаётган ноадиабатик модел асосида учта турли ҳол қаралади:

1. (1) ифодада юқори тартибдаги ҳаракатга жавоб берувчи октупол ҳаракат ҳисобга олинмайди. Бу ҳолатда ноаксиал жуфт-жуфт ядроларнинг Бор гамильтониани (1) бешта динамик квадрупол ўзгарувчилар билан тавсифланади: β_2 , γ ва Эйлер бурчаклари:

$$\hat{H}_2 = \hat{T}_{\beta_2} + \hat{T}_\gamma + \hat{T}_{rot}(\gamma) + V(\beta_2, \gamma). \quad (2)$$

Ноаксиал жуфт-жуфт ядролар мураккаб айланма ҳаракатларни амалга оширади, бунда ядро инерция моментларнинг у билан боғланган координаталарни системасидаги проекциялари турли қийматларга эга. Ноаксиал жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг гамильтониан (2) ифода билан тавсифланувчи хусусиятлари 2 ва 3 бобларда ўрганилган.

2. Квадрупол ва октупол ҳаракатларнинг кўндаланг тебранишлари ҳисобга олинмайди ($\gamma=0$ ва $\eta=0$). Бу ҳолатда бешта динамик ўзгарувчили гамильтониан (1) аксиал симметрик жуфт-жуфт ядроларнинг хусусиятларини тавсифлайди: $\beta_2; \beta_3$ ва Эйлер бурчаклари:

$$\hat{H}_{23} = \hat{T}_{\beta_2} + \hat{T}_{\beta_3} + \hat{T}_{rot} + V(\beta_2, \beta_3), \quad (3)$$

бу ерда \hat{T}_{rot} – айлантирувчи энергия оператори.

Бундай жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг хусусиятлари: энергетик спектрлари, E1- ва E2- ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари 4 ва 5 бобларда ўрганилган.

3. Ноаксиал ядровий ротатор қаралган. Бу ёндашувда ўзгарувчилар β_2 , γ , β_3 , η ўзларининг эффектив қийматлари билан алмаштирилади, динамик ўзгарувчилар сифатида Эйлер бурчаклари қолдирилади

$$\hat{H} = \hat{T}_{rot}(\beta_{2eff}, \beta_{3eff}, \gamma_{eff}, \eta_{eff}). \quad (4)$$

(4) гамильтониан билан тавсифланувчи жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг энергетик спектри 6 бобда ўрганилган.

Диссертациянинг «Лантанид ва актинид жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларидаги шаклининг ноаксиаллиги» деб номланган иккинчи бобида ноаксиал жуфт-жуфт ядроларнинг квадрупол

уйғонган коллектив ҳолатлари ўрганилган. Бу ҳолатда жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган ҳолатлари Бор гамильтониани (2) билан Шредингер тенгламаси орқали тавсифланади. Бироқ бу Шредингер тенгламасининг умумий ечими ҳозирча топилмаган. Шунинг учун (2) тенгламанинг тақрибий ечимлари қаралади, унда шакл динамикаси муҳим рол ўйнайди, яъни атом ядросининг уйғонган коллектив ҳолатларининг хусусиятлари деформацион ўзгарувчилар β_2 , γ билан қаралади.

Ушбу диссертация ишида фойдаланилган тақрибий ечимлар:

1) Давидов-Чабан модели, унда динамик β_2 -бўйлама ва статик γ -кўндаланг тебранишлар ($\gamma = \gamma_{\text{eff}}$) (А яқинлашув). Бу ҳолатда гамильтониан (2) ушбу кўринишга келади:

$$\hat{H} = \hat{T}_{\beta_2} + \hat{T}_{\text{rot}}(\gamma_{\text{eff}}) + V(\beta_2), \quad (5)$$

бу ерда $V(\beta_2)$ - β_2 -тебранишлар учун потенциал энергия, улар гармоник осциллятор, Дэвидсон ва Гаусс кўринишларида олинади.

Хар бир потенциал энергия учун энергетик спектр ва тўлқин функцияларининг аниқ кўринишдаги ифодалари олинди. Уйғонган ҳолатларнинг энергетик сатҳлари учта квант сон билан аниқланади: I , n ва τ , бу ерда I - жуфт-жуфт ядро спини, n - бўйлама β_2 -тебранишлар квант сони, τ бир ҳил қийматли спин I учун энергетик сатҳларни таърифлайди.

Қаралаётган моделда жуфт-жуфт атом ядроларининг айланма тебранма ҳолатлари энергетик сатҳларининг кетма-кетлиги n ва τ квант сонлари билан тавсифланади. Асосий-айланма полосада : $n=0$, $\tau=1$; γ -полосада: $n=0$, $\tau=1$ спин I нинг тоқ қийматлари учун, $\tau=2$ спин I нинг жуфт қийматлари учун; β -айланма-тебранма-полосада: $n=1$, $\tau=1$.

Бу моделда коллектив ҳолатларнинг энергетик сатҳлари учта параметр билан аниқланади: $\hbar\omega$, μ ва γ_{eff} , где $\hbar\omega$ - энергетик параметр, μ - ноадиабатик параметр, γ бўйлама тебранишларга нисбатан ядро сиртининг “юмшоқ”лигини аниқлайди. Шуни таъкидлаш жоизки, $\mu=0$ қийматда коллектив ўзгарувчилар айланиш ва тебранишга тўла ажралади, яъни адиабатик яқинлашув. Бундан ташқари, агар параметрнинг $\mu > 0.3333\dots$ қийматида ядронинг сиртини “юмшоқ”, акс ҳолда унинг сиртини “қаттиқ” деб аташ мумкин. Параметр γ_{eff} статик γ -кўндаланг тебранишларнинг эффектив қийматини тавсифлайди.

2) динамик β_2 -бўйлама ва γ -кўндаланг тебранишлар ($\gamma \rightarrow 0$) кичик ноаксиаллик яқинлашуви (В яқинлашув).

Бу яқинлашувда β_2 - ва γ -тебранишларнинг Дэвидсон потенциал энергияси учун энергетик спектр ва тўлқин функцияларининг аниқ кўринишдаги ифодалари олинди. Уйғонган ҳолатларнинг энергетик сатҳлари ушбу квант сонлар билан тавсифланади $IKn_{\beta}n_{\gamma}$, бу ерда n_{β} ва n_{γ} -бўйлама β_2 - ва кўндаланг γ -тебранишлар квант сонлари, мос равишда. Асосий айланма ва β -полоса учун $K=0$ ва $K=2$ γ -полоса учун. Бу моделда коллектив ҳолатларнинг энергетик сатҳларини тавсифлаш учун ушбу параметрлар фойдаланилади: $\hbar\omega$, μ , Γ , бу ерда Γ - ноаксиаллик параметри. Бу параметрларнинг қийматлари кичик квадратлар усули билан аниқланади.

Кичик ноаксиалликдаги жуфт-жуфт ядроларнинг айланма ҳолатлари K квант сонининг $K=0,2,\dots$ I қийматлари билан тавсифланади. Бу ҳолатлар асосий ва β -полосалар учун $K=0$, γ -полоса учун эса $K=2$ қийматлари билан аниқланади.

3) Девидсон потенциали билан динамик β_2 -бўйлама ва γ -кўндаланг тебранишлар учун ихтиёрий ноаксиалликдаги яқинлашуви (S яқинлашув).

Ихтиёрий ноаксиаллик яқинлашувида (2) ифодадаги айланма энергия оператори $\hat{T}_{rot}(\gamma-\gamma_0)$ даражалари бўйича қаторга ёйилади, бу ерда γ_0 -асосий ҳолатдаги ядронинг кўндаланг тебранишлар параметри. Сирт деформациясининг кўндаланг тебранишларга нисбатан бикрлиги катта бўлган ҳолларда, ёйилманинг биринчи ҳади $T(\gamma_0)$ ни бош ҳад деб қараш мумкин (нолинчи яқинлашиш), ёйилманинг биринчи ва иккинчи тартибдаги ҳадларини $\gamma \approx \gamma_0$ атрофида унга нисбатан ғалаёнланиш деб қараш мумкин.

\hat{T}_{rot} оператор ёйилмасининг нолинчи яқинлашишида энергетик спектр ва тўлқин функцияларининг аниқ кўринишдаги ифодалари олинди. Уйғонган ҳолатларнинг энергетик сатҳлари ушбу квант сонлар билан тавсифланади: $l_{\beta}, l_{\gamma}, \tau$ ва тўртта параметр билан ифодаланади - $\hbar\omega$, μ_{β} , μ_{γ} и γ_0 , бу ерда μ_{γ} ва μ_{β} - ноадиабатик параметрлар, ядро сиртининг бўйлама β_2 - ва кўндаланг γ -тебранишларга нисбатан “юмшоқ”лигини аниқлайди.

Юқорида қайд этилган яқинлашувлар ва потенциаллар учун ^{150}Nd , $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,162}\text{Gd}$, $^{156,158,160,166}\text{Dy}$, $^{162,164,166,168}\text{Er}$, $^{166,168,170}\text{Yb}$, $^{168,170}\text{Hf}$, ^{170}W , $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{232,234,236,238,240}\text{U}$, $^{240,242,244}\text{Pu}$, ^{248}Cm ва $^{252,254}\text{No}$ ядроларнинг ҳисобланган энергетик спектрининг қийматлари эксперимент натижалари билан солиштирилди. Олинган натижалар бошқа муаллифларнинг юқорида қайд ишлари билан ҳам солиштирилди ва учинчи ҳол S яқинлашуви учун энг яхши натижа олинди. Бу динамик бўйлама β_2 - ва кўндаланг γ ($0^0 < \gamma < 60^0$) тебранишларни ҳисобга олишнинг муҳимлигини кўрсатади. Бундан ташқари оғир ^{240}U , $^{242,244}\text{Pu}$, ^{248}Cm , ^{250}Cf ва $^{252,254}\text{No}$ ядроларнинг β - ва γ -полосалардаги номаълум энергетик сатҳлари башорат қилинди.

Ғалаёнлар назарияси асосида айланма энергия операторининг $\gamma \approx \gamma_0$ атрофидаги ёйилмасининг биринчи ва иккинчи ҳадларининг ядро коллектив ҳолатларининг энергетик сатҳларига берадиган ҳиссасини аниқлашда тўлқин функцияларнинг аниқ кўриниши муҳимдир. Улар ички/ўзаро $E2$ -ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларини ўрганишда ҳам муҳим роль уйнайди. Шунинг учун ихтиёрий ноаксиаллик моделининг тўлқин функцияларини аниқ кўринишдаги ифодасини келтирамыз.

$$\Psi_{n_{\gamma}, n_{\beta_2}, l_{M\tau}}(\beta_2, \gamma, \theta_i) = F_{n_{\beta_2}}(\beta) \xi_{n_{\gamma}}(\gamma) \phi_{l_{M\tau}}(\theta_i),$$

бу ерда

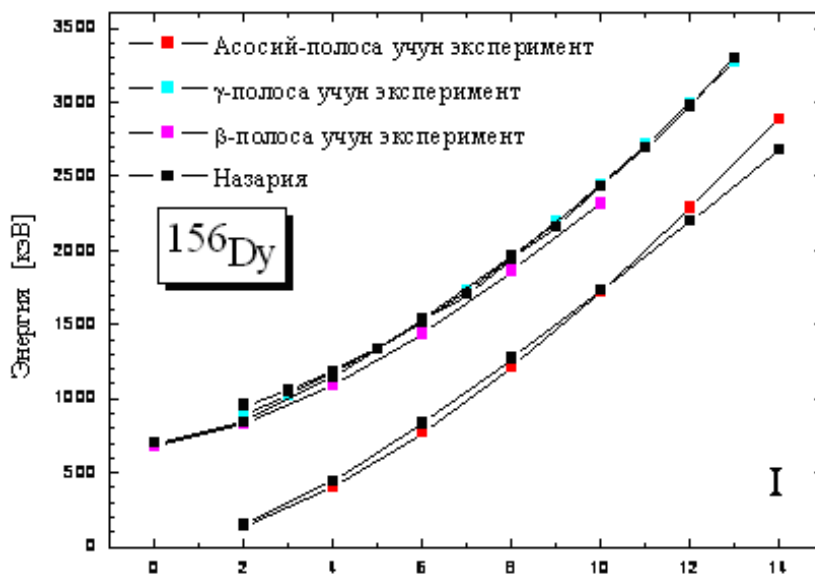
$$\xi_{n_{\gamma}}(\gamma) = \frac{N_{\gamma} \gamma^{p+1}}{\sqrt{|\sin 3\gamma|}} \exp\left(-\frac{\gamma^2}{2b_{\gamma_0}^2}\right) L_{n_{\gamma}}^{p+\frac{1}{2}}\left(\frac{\gamma^2}{b_{\gamma_0}^2}\right),$$

$$F_{n_{\beta_2}}(\beta_2) = N_{\beta_2} \beta_2^{q+1} \exp\left(-\frac{\beta_2^2}{2b_{\beta_2}^2}\right) L_{n_{\beta_2}}^{q+\frac{1}{2}}\left(\frac{\beta_2^2}{b_{\beta_2}^2}\right),$$

$$\phi_{IM\tau}(\theta_i) = \sqrt{\frac{2I+1}{16\pi^2(1+\delta_{0K})}} [D_{MK}^I(\theta_i) + (-1)^I D_{M,-K}^I(\theta_i)] A_{IK}^\tau,$$

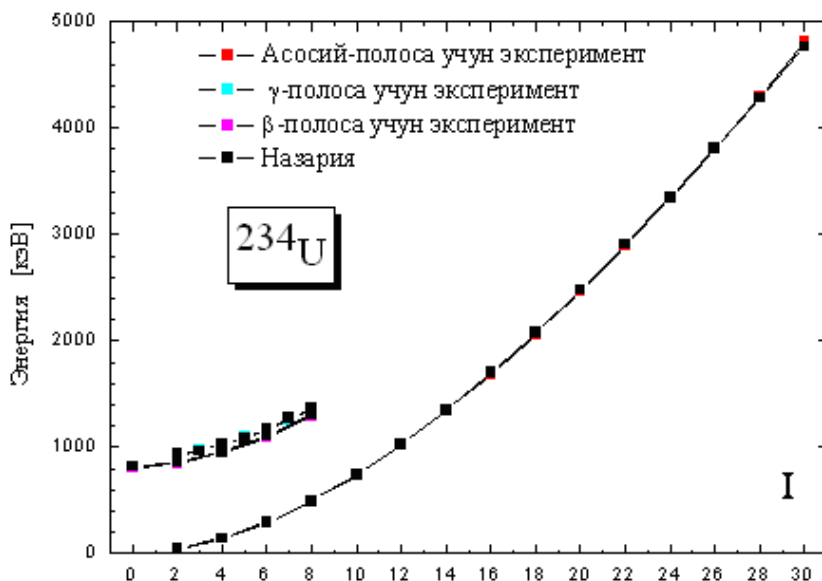
бунда n_γ - γ - тебранишларнинг квант сони; n_{β_2} - β_2 -тебранишларнинг квант сони; N_γ - ва N_{β_2} - γ - ва β_2 -тебранишларнинг нормаллашган коэффициентлари; γ_0 - ва β_{20} - γ - ва β_2 -тебранишларнинг асосий ҳолатдаги деформация параметрлари, мос равишда; К- ядро спинининг ядро билан боғланган координаталар системасидаги аксиал ўқга проекцияси; М-ядро спинининг лаборатория координаталар системасидаги симметрия ўқида проекцияси; $p = 0.5(\sqrt{1+4\mu_{\gamma_0}^{-4}} - 1)$; $q = -0.5 + \sqrt{\varepsilon_{I\tau} + \mu_{\beta_{20}}^{-4}}$; $\mu_{\gamma_0}^4 = \hbar^2 / (BC_{\gamma_0} \gamma_0^4)$ - ва $\mu_{\beta_{20}}^4 = \hbar^2 / (BC_{\beta_{20}} \beta_{20}^4)$ - моделнинг ўлчамсиз параметрлари; C_γ - ва C_β -ядро сиртининг γ - и β_2 -тебранишларга нисбатан эластиклик дойимийлари; мос равишда; $L_{n_\gamma}^{p+\frac{1}{2}}(\gamma^2/b_{\gamma_0}^2)$ - ва $L_{n_{\beta_2}}^{q+\frac{1}{2}}(\frac{\beta_2^2}{b_{\beta_2}^2})$ -Ляггерр полиномлари; $b_{\gamma_0} = \gamma_0 \mu_{\gamma_0}$; $b_{\beta_{20}} = \beta_{20} \mu_{\beta_{20}}$; $D_{MK}^I(\theta_i)$ -Вигнер функцияси; θ_i -Эйлер бурчаклари; δ_{0K} -Кронекер симболи; $\varepsilon_{I\tau}$ -бикрлиги юқори асимметрик ротатор тенгламасининг хусусий қийматлари.

Ёйилманинг $\gamma \approx \gamma_0$ атрофидаги биринчи ва иккинчи тартибли ҳадларини ҳисобга олиш, коллектив ҳолатларнинг асосий, γ - ва β -полосалардаги энергетик сатҳларга уларнинг ҳиссасини баҳолашга имконини беради. Ҳисоблашлар шуни кўрсатадики, $^{152,154}\text{Sm}$, ^{154}Gd , $^{156,158}\text{Dy}$, ^{162}Er , ^{170}Hf , $^{232,234}\text{U}$ ядроларининг энергетик сатҳларининг экспериментал натижалар билан мослигини сезиларли яхшилади ва у 5.8% дан 22.3% гача ўзгаради. Солиштирилган назарий ва экспериментал натижаларнинг ^{156}Dy ва ^{234}U ядролари учун 1 ва 2 расмларда келтирилган.



1-расм. ^{156}Dy ядросининг уйғонган ҳолатларнинг энергетик спектрининг

назарий ва экспериментал қийматлари ($\hbar\omega=349.4$ keV; $\mu_\beta=0.4383$; $\mu_\gamma=0.893$; $\gamma_0=13.9^\circ$;
RMS=64.94 keV)



2-расм. Худди 1 расмдагидек, ammo ^{234}U ядроси учун ($\hbar\omega=408.3$ keV; $\mu_\beta=0.2219$;
 $\mu_\gamma=1.0272$; $\gamma_0=8.3^\circ$; RMS=12.1 keV)

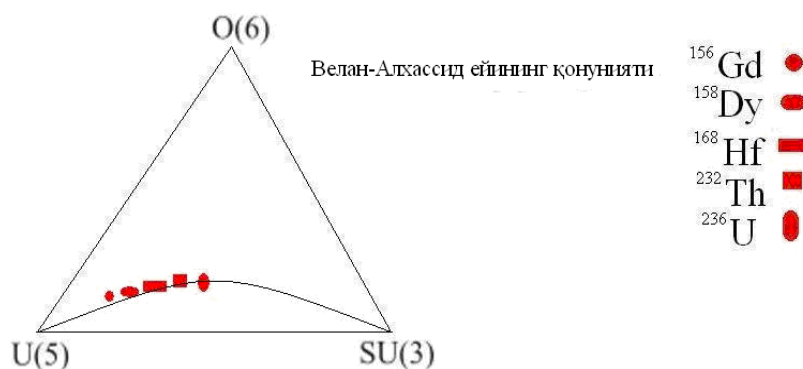
Ўтказилган солиштирув таҳлилидан кўринадики, қаралаётган кўпчилик ядроларнинг шакли ядро сиртининг ўзгаришига нисбатан бикрлиги катта, ^{150}Nd , ^{152}Sm , ^{156}Dy ядролари учун эса бикрлиги кичик эканлиги аниқланди.

Бундан ташқари бу бобда лантанид ва актинид ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг қуйиспинли энергетик сатҳларининг бузилиши тадқиқ қилинди. Юқорида таъкидланганидек С яқинлашувда коллектив ҳолатларнинг энергетик спектри бу ҳолатда ядровий коллектив ҳаракат динамикаси Велан-Алхассид ёйининг қонунияти билан тавсифланади, 0101 ҳолат (β -полоса квант сонлари $I=0$; $n_\beta=1$; $n_\gamma=0$; $\tau=1$) ва 2002 ҳолат (γ -полоса квант сонлари $I=2$; $n_\beta=0$; $n_\gamma=0$; $\tau=2$) бузилишга мойил бўлади, яъни $E_{0101} \approx E_{2002}$, ва ушбу шартни бажаришлари шарт:

$$R = \frac{|E_{2002} - E_{0101}|}{E_{2002}} \leq 0.05. \quad (6)$$

^{156}Gd , ^{158}Dy , ^{168}Hf , ^{232}Th , ^{236}U ядроларнинг қуйиспинли энергетик сатҳлари мунтазамликнинг “хаотик”, қаралаётган бошқа ядролар “барқарор” қисмида жойлашган. У учта динамик U(5) (тебранма ядролар), SU(3) (айланма ядролар), O(6) (γ -ностабил ядролар) симметрия занжирида тавсифланади, ҳамда 3-расмда келтирилган.

Динамик симметриялар 3-расмдаги учбурчакнинг чўкқиларида жойлашган. Кўриниб турибдики O(6) ва U(5), ҳамда O(6) ва SU(3) симметриялар орасидаги ўтишлар стабил, сабаби айланма ва тебранма полосаларнинг энергиялари бузилмаган, яъни улар яхши ажратилган. U(5) ва SU(3) симметриялар орасидаги ўтишлар бузилган. Улар бир бири билан аралашиб кетиши мумкин. Бу аралашмани 1 ва 2 расмларда кўришимиз мумкин.



3-расм. Велан-Алхассид ейининг қонунияти

Диссертациянинг «**Ноаксиал жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатлари орасидаги E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари**» деб номланган учинчи боби 2-бобдаги C яқинлашуви асосида уйғонган коллектив ҳолатлар орасидаги E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларини тадқиқ қилишга бағишланган.

Бундан ташқари бу бобда уйғонган коллектив ҳолатлардаги E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларининг шохланишининг муфассал таҳлили ва ҳисобланган E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларини Алага қоидаси натижалари билан солиштириш ўтказилди. E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларининг ноаксиал квадрупол деформацияга сезгирлиги кўрсатилди.

Диссертациянинг «**Аксиал симметрик жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги уйғонган коллектив ҳолатлари**» деб номланган тўртинчи бобида квадрупол-октаупол деформацияланувчи аксиал симметрик жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг гамильтониан (3) яқинлашувида тадқиқ қилинди.

Аксиал симметрик жуфт-жуфт ядроларнинг ($K=0$) уйғонган коллектив ҳолатларининг ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик спектри ва тўлқин функцияларининг аниқ кўринишдаги ифодалари олинди. Сирт тебранишларининг потенциал энергияси сифатида Девидсон потенциали олинди.

Лантанид ва актинид жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг *yrast*, биринчи *non-yrast* ва иккинчи *non-yrast* полосалардаги энергетик спектри ўрганилди.

Ушбу назарий параметрлар фойдаланилди: $\hbar\omega$ (Кэвларда), Δ_0^+ , Δ_0^- (*yrast*-полоса), Δ_1^+ , Δ_1^- (биринчи *non-yrast*-полоса), Δ_2^+ , Δ_2^- (иккинчи *non-yrast* полоса). Δ_v^+ ва Δ_v^- - ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик сатҳларнинг ўлчамсиз ажратиш параметрлари.

Лантанид ^{150}Nd , $^{152,154}\text{Sm}$, ^{154}Gd , ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$ ва актинид $^{232,234,236,238}\text{U}$ ядроларнинг *yrast* ва биринчи *non-yrast* полосалардаги, ҳамда $^{156,158}\text{Gd}$, ^{224}Ra , ^{228}Th , ^{240}Pu ядроларнинг иккинчи *non-yrast* полосадаги ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик сатҳларини эксперимент билан солиштирилиб қониқарли натижага

эришилди. Ядровий айланма спектрда спини бирга ўзгариши билан боғлиқ "staggering"-эффект ($\Delta I=1$) юз беради ва ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик спектрининг зигзаг кўринишда шохланишини ифода этади.

Шундай қилиб, олинган натижалар асосида "staggering" эффектнинг куйиспинли энергетик сатҳларда, уларнинг жуфтлигининг ҳисобига ўзгариши, юқори спинли энергетик сатҳларда эса ядронинг айланма харакатининг унинг сиртининг деформацияси билан ўзаро таъсири ҳисобига юз беради.

Диссертациянинг «**Аксиал жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатлари орасидаги E1 ва E2 ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари**» деб номланган бешинчи бобида аксиал симметрик ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг бир хил ва ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик сатҳлар орасидаги E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари ўрганилди. Yrast-, биринчи ва иккинчи non-yrast-полосалардаги E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларининг аниқ кўринишдаги ифодалари олинди. Улар коллектив уйғонган ҳолатларнинг энергетик спектрини тавсифлашда олинган параметрлар, ҳамда мос равишда кутбланган электр дипол моменти (D_0) ва ички квадрупол моментларга (Q_0) пропорционал бўлган Ω_1 и Ω_2 параметрлари орқали тавсифланади. Ω_1 и Ω_2 параметрлари E1- ва E2-ўтишларнинг ҳисобланган қийматларини эксперимент натижалари билан солиштириш орқали топилади.

Уйғонган коллектив ҳолатларнинг yrast-, биринчи non-yrast- ва иккинчи non-yrast-полосалардаги E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларини ҳисоблаш ва уларнинг шохланишини муфассал таҳлили ўтказилди. Олинган назарий натижалар эксперимент натижалари билан ҳамда Алага қоидасининг натижалари билан солиштирилди. E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, ^{224}Ra , $^{234,236,238}\text{U}$, ^{240}Pu ядролари учун, E1- ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, ^{224}Ra , $^{234,236,238}\text{U}$, ^{240}Pu ядролари учун эксперимент натижаларини яхши тавсифлайди. Квадрупол-октупол типидagi сирт тебранишларини ҳисобга олишнинг муҳимлиги кўрсатилди.

Диссертациянинг «**Уч ўлчовли квадрупол-октупол ротатор яқинлашуви**» деб номланган олтинчи бобида (4) гамилтониан билан тавсифланувчи уч ўлчовли квадрупол-октупол ротаторнинг асосий ҳолати ва манфий жуфтликдаги уйғонган коллектив ҳолат энергетик сатҳлари ўрганилди. Бу яқинлашувда қарама-қарши жуфтликдаги энергетик сатҳларнинг орасидаги ўзгариш, ноаксиал квадрупол-октупол деформацияларнинг иштирокидаги эффект К-аралашманинг натижасидир. Уч ўлчовли квадрупол-октупол ротатор яқинлашувида \tilde{B}_2 , \tilde{B}_3 , γ_{eff} ва η_{eff} параметрларини топиш энергетик спектрининг назарий ҳисоблашларни эксперимент натижаларини солиштириш билан кичик квадратлар методи орқали амалга оширилди.

Ноаксиаллик параметрларининг олинган қийматлари кичик ораликда ўзгаради. Кўндаланг квадрупол параметр γ_{eff} 50° ва 57° бурчак қийматлари

оралиғига ўзгаради. Кўндаланг октупоь параметр η_{eff} , 48° ва 50° бурчак қийматлари оралиғида ўзгаради. \tilde{B}_2 параметрнинг сон қийматлари \tilde{B}_3 параметрнинг сон қийматларига нисбатан икки тартибда катта қийматлар қабул қилади. Бу шуни англатадики, коллектив ҳаракатда квадрупол деформациялар асосий ролни ўйнайди, октупол деформациялар уларга нисбатан кичик тўлдириш ҳисобланади.

$^{228,230,232}\text{Th}$, $^{230,232,234,236,238}\text{U}$ ва ^{240}Pu актиноид ядролар учун мусбат ва манфий жуфтликдаги $ugst$ -полоса энергетик спектрларини эксперимент натижалари билан солиштириш ишлари бажарилди.

Айланма ҳолатларнинг “staggering”-эффекти энергетик полоса жуфтлиги ва K - аралашмага боғлиқ. Мусбат ва манфий жуфтликдаги $ugst$ -полоса энергетик спектрларини орасидаги силжиш уч ўлчовли квадрупол ва октупол деформацияларнинг, K -аралашма ва энергетик сатҳларнинг жуфтлигининг бир вақтда мавжуд бўлишлиги билан тушунтирилади. Бу ҳолда кўндаланг квадрупол параметр γ_{eff} ўзининг максимал қийматиغا яқинлашганда ($\gamma=60^\circ$) ядро эллипсоид шаклда бўлади, октупол деформация параметрларининг мавжудлигида ядро мураккаб ноксимон шаклни олади.

ХУЛОСА

“Лантанид ва актинид ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг хусусиятлари ва уларнинг шаклини ўзгариш динамикаси” мавзусидаги докторлик диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилади:

1. Динамик бўйлама ва статик кўндаланг сирт тебранишларнинг гармоник осциллятор, Девидсон ва Гаусс потенциаллари учун A яқинлашувда, ҳамда динамик бўйлама ва кўндаланг сирт тебранишларнинг кичик ва ихтиёрий ноаксиаликдаги B ва C яқинлашувларида учун ноадиабатик модел ишлаб чиқилди.
2. Шредингер тенгламасининг энергетик спектрининг ва тўлқин функцияларининг аниқ кўринишдаги ифодалари гармоник осциллятор, Девидсон ва Гаусс потенциаллари учун A яқинлашувларида, ҳамда кичик ва ихтиёрий ноаксиаликдаги B ва C яқинлашувларида олинди. Лантанид ^{150}Nd , $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,162}\text{Gd}$, $^{156,158,160,166}\text{Dy}$, $^{162,164,166,168}\text{Er}$, $^{166,168,170}\text{Yb}$, $^{168,170}\text{Hf}$, ^{170}W ; актинид $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{232,234,236,238,240}\text{U}$, $^{240,242,244}\text{Pu}$; оғир ядролар ^{248}Cm , $^{252,254}\text{No}$ учун энергетик спектри ҳисобланди ва эксперимент натижалари билан солиштирилди. C яқинлашуви A ва B яқинлашувларига нисбатан қаралаётган ядролар учун эксперимент натижаларини яхши тавсифлаши кўрсатилди.
3. Жуфт-жуфт ядроларнинг ихтиёрий ноаксиаликдаги ёндашуви γ ўзгарувчининг биринчи ва иккинчи тартибдаги ғалаёнлашиш назариясини ҳисобга олиш орқали ривожлантирилди. Ривожлантирилган модел 2-пунктда кўрсатилган натижаларни ушбу ядролар учун сезиларли яхшилади: $^{152,154}\text{Sm}$, ^{154}Gd , $^{156,158}\text{Dy}$, ^{162}Er , ^{170}Hf , $^{232,234}\text{U}$, 5.8% (^{232}U) дан 22.3% (^{156}Dy) гача.
4. Жуфт-жуфт ядроларнинг коллектив ҳолатларинг қуйи энергияларидаги

- бузилиши топилди. ^{166}Yb , ^{168}Hf , ^{232}Th , ^{236}U ядроларнинг энергетик сатҳлари “хаотик” соҳада, қолган қаралаётган ядроларнинг энергетик сатҳлари “барқарор” соҳада жойлашуви кўрсатилди.
5. Сирт деформацияси ўзгармас қолувчи $^{242,244}\text{Pu}$, ^{248}Cm , $^{252,254}\text{No}$ трансурани ядроларнинг β - ва γ -полосаларидаги коллектив ҳолатларининг номаълум энергетик сатҳлари башорат қилинди. Шакл деформацияси ўзгармас қолувчи ядролар актинидлар соҳасида лантанидлар соҳасига нисбатан кўплиги аниқланди
 6. Ихтиёрий ноаксиаллик модели асосида асосий, γ - ва β -полосалардаги ички/ўзаро E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларининг аниқ кўринишдаги ифодалари олинди. Ички/ўзаро E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларининг ҳисобланган қийматлари ^{150}Nd , $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156}\text{Gd}$, $^{156,158,160}\text{Dy}$, $^{162,164,166,168}\text{Er}$, $^{166,168}\text{Yb}$, $^{168,170}\text{Hf}$, $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{232,234,238}\text{U}$, ^{240}Pu ядролари учун эксперимент натижалари билан яхши мос келади. E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларини Алага қоидасининг натижалари билан таҳлилий солиштириш уларнинг ноаксиал квадрупол деформацияларга сезгирлигини аниқлашга имкон беради.
 7. Сирт тебранишларининг Девидсон потенциали учун жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик спектри ва тўлқин функцияларининг аниқ кўринишдаги ифодалари олинди. Лантанидлар ^{150}Sm , $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$ ва актинидлар ^{224}Ra , ^{228}Th , $^{232,234,236,238}\text{U}$, ^{240}Pu учун турли полосалардаги энергетик сатҳлари ҳисобланди ва эксперимент натижалари билан солиштирилди. Квадрупол-октупол типдаги сирт тебранишларни ҳисобга олишнинг муҳимлиги кўрсатилди.
 8. Υ rast-, биринчи non- Υ rast- ва иккинчи non- Υ rast-полосалардаги ички/ўзаро E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларининг аниқ кўринишдаги ифодалари олинди. Υ rast-, биринчи non- Υ rast- ва иккинчи non- Υ rast-полосалардаги E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари ^{150}Nd , $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, ^{224}Ra , ^{228}Th , $^{232,234,236,238}\text{U}$ ядролари учун, ҳамда E1-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, ^{224}Ra , $^{234,236,238}\text{U}$, ^{240}Pu ядролари учун ҳисобланди. Ички/ўзаро E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари аксиал квадрупол-октупол деформацияларга сезгирлиги кўрсатилди.
 9. Оғир жуфт-жуфт $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{230,232,234,238}\text{U}$, ^{240}Pu ядроларнинг мусбат ва манфий жуфтликдаги энг қуйи энергетик сатҳларидаги тузилишини тавсифлаш учун уч ўлчовли квадрупол-октупол ротатор ёндашуви таклиф этилди. У мусбат ва манфий жуфтликдаги энг қуйи энергетик сатҳларнинг силжишида муҳим рол ўйнайди. $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{230,232,234,238}\text{U}$, ^{240}Pu ядроларнинг $K=0$ холида ёки K-аралашмали айланма полоса энергетик сатҳларининг зигзаг кўринишидаги шохланишида бўйлама ва кўндаланг коллектив ҳаракатларнинг ҳиссасини ҳисобга олишнинг муҳимлиги кўрсатилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.FM/Т.33.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ,
АСТРОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ И НАЦИОНАЛЬНОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

НАДИРБЕКОВ МАХМУДЖОН СУЛАЙМАНОВИЧ

**ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ
ВОЗБУЖДЕННЫХ КОЛЛЕКТИВНЫХ СОСТОЯНИЙ
ЛАНТАНИДОВ И АКТИНИДОВ**

01.04.08- Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ускорительная техника.

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
доктора (DSc) физико-математических наук**

Ташкент – 2018

Тема докторской диссертации зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером В2017.1.DSc/FM34.

Докторская диссертация выполнена в Институте ядерной физики АН РУз.

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: **Ярмухамедов Рахим,**
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Муминов Толиб Мусаевич,**
доктор физико-математических наук, профессор,
академик Академии наук Республики Узбекистан

Адамян Гурген Григорьевич,
доктор физико-математических наук

Бекмирзаев Рахматилло Нурмуродович,
доктор физико-математических наук, профессор

Ведущая организация: **Физико-технический институт Академии наук
Республики Узбекистан**

Защита диссертации состоится «_____» _____ 2018 г. в _____ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.FMT/T.33.01 при Институте ядерной физики, Астрономическом институте, Национальном университете Узбекистана (100214, г. Ташкент, поселок Улугбек, ИЯФ; тел.: (+99871) 289-31-18; факс: (+99871) 289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ядерной (регистрационный номер _____). (100214, г. Ташкент, поселок Улугбек, ИЯФ; тел. (+99871) 289-31-19).

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2018 г.
(протокол рассылки № _____ от _____ 2018 г.).

М. Ю. Ташметов
Председатель Научного совета по присуждению
ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

С. В. Артемов
Временно исполняющий обязанности
ученого секретаря Научного совета
по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., с.н.с.

И. Нуриддинов
Председатель научного семинара при Научном совете
по присуждению ученых степеней,
д.ф.-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время во всем мире получение надежной информации о спектроскопических характеристиках тяжелых ядер является одной из наиболее важных задач современной теории структуры атомных ядер. Свойства возбужденных коллективных состояний, такие как последовательность значений энергий и спинов, а также вероятность электрических мультипольных переходов и средние значения электрических мультипольных моментов зависят от формы ядра и её деформируемости. Аномальная хаотическая нерегулярность в низкоэнергетических возбужденных коллективных состояниях тяжелых ядер, между/внутриполосные приведенные вероятности E1- и E2-переходов в энергетических уровнях этих ядер непосредственно связаны с динамикой деформации ядерной формы. Поэтому, определение фундаментальных спектроскопических характеристик тяжелых четно-четных ядер, и их применение для конкретных ядер является чрезвычайно важной и актуальной задачей.

В последнее время спектроскопические свойства возбужденных коллективных состояний тяжелых ядер широко изучаются различными авторами в рамках различных моделей, использующих геометрические, алгебраические и микроскопические приближения. Феноменологическая неадиабатическая модель ядра квадрупольного типа, учитывает связь вращательного движения с продольными и поперечными колебаниями поверхности ядра. Однако, в рамках этой модели возбужденные высокоспиновые состояния и изменения четности в этих состояниях таких ядер практически не изучены. Исследования характеристик, возбужденных высокоспиновых состояний, ранее проводились рядом авторов в рамках моделей переменного момента инерции и взаимодействующих бозонов. В этих моделях полный момент инерции ядра рассматривается как свободный параметр и предполагается, что полный момент инерции ядра не зависит от динамики его формы. Но, при исследовании высокоспиновых состояний атомных ядер требуется корректный учет связи вращательного движения с колебаниями поверхности ядра для разных мультипольностей.

В нашей Республике уделяется большое внимание развитию ядерной физики, в частности экспериментальных и теоретических работ в области физики атомного ядра и элементарных частиц, а также проведению фундаментальных исследований в этом направлении на мировом уровне. Направления этих фундаментальных исследований, имеющих большое значение для развития науки нашей страны и её дальнейшего практического применения, отражены в Стратегии² действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 гг.

Данная научно-исследовательская работа соответствует задачам,

² Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 07 февраля 2017 г.

утвержденным в государственных нормативных документах, в Указах Президента Республики Узбекистан за № УП-4512 «О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии» от 1-марта 2013 года. № УП-4947 «О Стратегии действия по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021-гг» от 2-февраля 2017-года, Постановлении Президента Республики Узбекистан № УП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию Академии Наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 18 февраля 2017 года.

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в Республике Узбекистан: П. “Энергетика, энерго- и ресурсосбережение”.

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации. Исследования возбужденных коллективных состояний атомных ядер с учетом мультипольности ядерной поверхности одинаковой/различной четности проводятся ведущими мировыми научными центрами и высшими образовательными учреждениями, такими, как Объединенный институт ядерных исследований, Российский научный центр “Курчатовский институт”, Институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцина при Московском государственном университете и Санкт-Петербургский государственный университет (Россия), Институт ядерных исследований и Институт теоретической физики (Украина), Институты теоретической физики Университетов Гете и Юстуса Либиха (Германия), GANIL (Франция), Институт ядерной физики (Греция), Институт ядерных исследований и Ядерной энергии (Болгария), Департамент физики «Г.Галилей» Университета Падова (Италия), Департамент инженерной физики Университета Газиентеп (Турция), Департамент физики Университета Токио (Япония), Школа физики Университета Дамган (Иран), Центр теоретической физики Йелского университета (США), Национальный институт ядерной физики и инженерии (Румыния), Департамент ядерной физики Национального университета Австралии (Австралия), Институт радиационных физико-химических проблем (Беларусь), Институт ядерной физики (Казахстан), Институт ядерной физики, Национальный Университет Узбекистана и Наманганский инженерно-технологический институт (Узбекистан).

По исследованиям ядерной структуры и возбужденных коллективных состояний атомных ядер на мировом уровне были получены научные результаты, в том числе: составлен каталог основных характеристик ядерных процессов, определены их кинематические и динамические характеристики, созданы экспериментальные установки и разработаны теоретические методы (Российский Научный Центр “Курчатовский Институт” и Объединенный Институт Ядерных Исследований, Россия; GANIL, Франция; Институт

Ядерных Исследованиях и Институт Теоретической Физики, Украина; Институты Теоретической Физики Университетов Гете и Юстуса Либига, Германия. Институт Ядерной Физики, Греция; Институт Ядерных Исследований и Ядерной Энергии, Болгария; Институт Радиационных Физико-Химических Проблем, Республика Беларусь; Институт Ядерной Физики, Казахстан; Институт Ядерной Физики, Национальный Университет Узбекистана, Узбекистан).

В настоящее время в мире, исследования по возбужденным коллективным состояниям тяжелых атомных ядер проводятся по ряду приоритетных направлений, в том числе: исследование нормально-деформированных, супердеформированных и гипердеформированных состояний вращательных полос в различных массовых числах; полуфеноменологические приближения принудительного вращения гипердеформированных состояний; кластерная модель супердеформированных состояний; развитие неадиабатических приближений для описания связанной с отражением асимметрической формы ядра; а также количественное и качественное объяснения свойств вращательно-вибрационных состояний полос переменной четности; изучения коллективных состояний α -распада и К-изомеров трансфермиевых ядер; усовершенствования чувствительности экспериментальных установок в лабораториях: Аргонская Национальная Лаборатория (Арагон, США), GSI (Дармштадт, Германия), JYFL (Jyväskylä, Финляндия), GANIL (Саен, Франция) и Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова (Дубна, Россия).

Степень изученности проблемы. Решение уравнения Шредингера с гамильтонианом Бора для различных видов потенциальной энергии поверхностных квадрупольных колебаний рассмотрены многими учеными ведущих научных центров мира, например, болгарскими (N. Minkov, S. Drenska, P. Yotov), немецкими (W. Greiner, Amand Faessler, W. Scheid, M. Strecker), греческими (D. Bonatsos, D. Lenis, D. Petrellis), итальянскими (L. Fortunato), белорусскими (Ю. В. Породинский, Е. Ш. Суховицкий), украинскими (В. Ю. Денисов, А. Я. Дзюблик) и другими. Однако, в этих работах, не рассматриваются высокоспиновые состояния за счет коллективного вращения, а также вклад поперечных колебаний, либо вообще не учитывается, либо учитывается приближение статической или малой неаксиальности.

Приведенные вероятности квадрупольных переходов в возбужденных коллективных состояниях основной, γ - и β -полос в рамках различных коллективных моделей были рассмотрены болгарскими (N. Minkov, P. Yotov, S. Drenska), немецкими (W. Greiner, W. Scheid), греческими (D. Bonatsos, D. Lenis, D. Petrellis), итальянскими (L. Fortunato), украинскими (В. Ю. Денисов, А. Я. Дзюблик), российскими (В. М. Михайлов, И. Н. Михайлов, В. Г. Соловьев), белорусскими (Ю. В. Породинский, Е. Ш. Суховицкий), узбекскими (Р. Б. Бегжанов, Ш. Шарипов, Б. Ч. Чориев, П. Н. Усманов) и другими учеными. Однако в них вращательные и вибрационные формы

движения рассматривается независимо. Однако учет взаимосвязи этих движений является очень важными.

Изучения энергетического спектра возбужденных состояний переменной четности аксиально-симметричных четно-четных ядер на основе различных моделей выполнялись болгарскими (N. Minkov, P. Yotov, S. Drenska), немецкими (W. Scheid, M. Strecker), украинскими (В. Ю. Денисов, А. Я. Дзюблик), греческими (D. Bonatsos, D. Lenis, D. Petrellis) и другими учеными. Но, в этих работах, в гамильтониане оператор кинетической энергии имеет форму неаксиальных ядер. Кроме того, разветвление энергии уровней вращательной полосы в спектре переменной четности описывает лишь четно-четные ядра в области лантанидов и не описывают аналогичные свойства спектра актинидов.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высших образовательных и научно-исследовательских учреждений, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в рамках научных проектов: Ф-2.1.19 "Разработка самосогласованного метода расчета структуры ядер и асимптотической теории периферийных реакций передачи заряженной частицы в ядерной астрофизике сверхнизких энергий" (2003-2007); ФА-Ф2-Ф077 "Разработка и развитие теоретических методов расчета фундаментальных характеристик ядер и периферийных ядерных реакций при низких и сверхнизких энергиях для ядерной астрофизики" (2007-2011); Ф2-ФА-Ф117 "Исследования динамических свойств фундаментальных характеристик ядер для ядерной астрофизики" (2012-2016); Ф.2-14 "Исследование аномальных особенностей низкоэнергетических возбуждений деформированных неаксиальных четно-четных ядер" (2014-2015).

Целью работы является разработка феноменологической неадиабатической коллективной модели и определение спектроскопических характеристик спектра коллективного возбуждения одинаковой/переменной четности и их зигзагообразных разветвлений в энергетическом спектре вращательной полосы тяжелых четно-четных ядер.

Задачи исследования:

развить неадиабатическую модель для возбужденных коллективных состояний положительной четности основной, γ - и β -полос неаксиальных четно-четных ядер и получить в явном виде выражения для энергетического спектра и волновых функций. Определить закономерности изменения спектра энергетических уровней от ядра к ядру в области лантанидов, актинидов и сверхтяжелых ядер и теоретически предсказать энергетические уровни β - и γ -полос трансурановых ядер;

оценить вклад поперечных поверхностных деформаций на энергетический спектр коллективного возбуждения положительной четности. Определить "хаотическую" и "регулярную" части коллективной динамики в спектрах возбужденных вырожденных состояний положительной четности неаксиальных четно-четных ядер;

получить явные выражения для приведенных вероятностей

между/внутриполосных E2-переходов в модели произвольной неаксиальности, выполнить расчеты вероятностей E2-переходов и сравнить их с экспериментальными данными. Изучить ветвления E2-переходов в возбужденных коллективных состояниях и определить их связи с различными видами движения в динамике формы ядра;

получить в явном виде энергетический спектр и волновые функции возбужденных коллективных состояний переменной четности четно-четных ядер для потенциальной энергии поверхностных колебаний Девидсона. Произвести расчет энергетического спектра для разных полос и сравнить их с экспериментальными данными с учетом поверхностных колебаний квадрупольно-октупольного типа в развиваемой модели;

получить явные выражения для приведенных вероятностей между/внутриполосных E1- и E2-переходов в энергетическом спектре переменной четности аксиально-симметричных четно-четных ядер и сравнить результаты расчетов с экспериментальными данными. Изучить ветвления этих переходов в возбужденных коллективных состояниях и чувствительность E1- и E2-переходов к присутствию поверхностных колебаний квадрупольно-октупольного типа;

описать структуру энергетического спектра переменной четности коллективных состояний тяжелых четно-четных ядер в рамках трехмерного квадруполь-октупольного ротатора;

определить разветвления вращательной полосы в спектре переменной четности аксиальных и неаксиальных четно-четных ядер с учетом различных коллективных форм движений.

Объектом исследования являются четно-четные ядра в области лантанидов, актинидов и сверхтяжелых ядер.

Предметом исследования являются статические и динамические характеристики спектра возбужденных коллективных состояний основной, β - и γ -полос положительной четности и γ_{rast} - и $\text{non-}\gamma_{\text{rast}}$ полос положительной и отрицательной четности аксиальных и неаксиальных четно-четных ядер.

Методы исследования: математический аппарат квантовой механики, численные методы и программирование на языке ФОРТРАН.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

предсказаны новые энергетические уровни возбужденных состояний β - и γ -полос трансурановых ядер $^{242,244}\text{Pu}$, ^{248}Cm и $^{252,254}\text{No}$ и установлено, что ядер с постоянной деформацией в области актинидов больше, чем в области лантанидов;

обнаружены вырождения низкоэнергетических уровней коллективных состояний и показано, что энергетические уровни ядер ^{166}Yb , ^{168}Hf , ^{232}Th , ^{236}U лежат в области "хаотической" части, энергетические уровни остальных рассматриваемых ядер находятся в области "регулярной" части;

оценен вклад поперечной поверхностной деформации на энергетический спектр коллективного возбуждения ядер $^{152,154}\text{Sm}$, ^{154}Gd , $^{156,158}\text{Dy}$, ^{162}Er , ^{170}Hf , $^{232,234}\text{U}$;

установлена важность учета поверхностных колебаний квадрупольно-октупольного типа в описании спектроскопических свойств лантанидов ^{150}Sm , $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$ и актинидов ^{224}Ra , ^{228}Th , $^{232,234,236,238}\text{U}$ и ^{240}Pu ;

обнаружена чувствительность приведенных вероятностей E1- и E2-переходов к динамике квадрупольных и октупольных деформаций;

определено влияние аксиальных и неаксиальных степеней свободы в формировании коллективных спектров с квадрупольной и октупольной деформациями, в ядрах $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{230,232,234,238}\text{U}$ и ^{240}Pu ;

показана важность учета вклада продольных и поперечных коллективных форм движений в зигзагообразные разветвления энергетических уровней вращательной полосы при $K=0$ или с K-смешиванием для четно-четных ядер ^{150}Sm , $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{230,232,234,238}\text{U}$ и ^{240}Pu .

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан феноменологический подход, хорошо описывающий статистические и динамические свойства четно-четных ядер области лантанидов, актинидов и сверхтяжелых ядер;

предсказаны энергетические уровни β - и γ -полос сверхтяжелых ядер и оценено влияние неаксиальных степеней свободы формы ядра.

Достоверность результатов исследования обоснована использованием методов квантовой механики и теоретической физики, а также высокоэффективных численных методов и алгоритмов, подробной проверкой согласованности полученных результатов с экспериментальными данными и результатами других авторов, соответствием выводов основным положениям коллективной теории тяжелых четно-четных ядер.

Научная значимость и практическая ценность исследования. Научная значимость разработанных моделей и результатов исследований, полученных на основе этих моделей, определяется полезностью и пригодностью для установления динамики устойчивых квадруполь-октупольных деформаций и анализа свойств энергетического спектра коллективных состояний одинаковой и переменной четности тяжелых и сверхтяжелых четно-четных ядер, полученных в новых экспериментальных данных.

Практической ценностью полученных результатов является применение разработанных моделей для оценки времени жизни вращающегося ядра, получаемого при синтезе сверхтяжелых элементов. Методы расчетов, развитые в диссертационной работе, позволяют предсказать новые энергетические уровни возбужденных состояний γ - и β -полос трансурановых и трансфермиевых ядер, вероятности мультипольных переходов и ветвления этих переходов, а также поляризационные и неполяризационные мультипольные моменты коллективных состояний.

Внедрения результатов исследования:

Результаты расчетов приведенных вероятностей E2-переходов в ядрах лантанидов и актинидов с квадрупольной и октупольной деформациями были

использованы для исследования спектроскопических характеристик тяжелых ядер в рамках проекта № 01-3-1114-2014/2018 “Теория структуры ядер и ядерных реакций” (письмо Объединенного института ядерных исследований от 24 апреля 2018 г.). Полученные результаты позволили оценить время жизни вращающегося ядра, получаемого при синтезе сверхтяжелых элементов.

Энергетические уровни возбужденных коллективных состояний, лантанидов и актинидов переменной четности, их разветвление в больших спинах использованы для описания и объяснения статических и динамических спектроскопических характеристик тяжелых ядер в научно-исследовательском проекте “Исследование возбужденных атомных ядер и механизмов ядерных процессов в около пороговых реакциях” (2013-2017) (письмо Института ядерных исследований НАН Украины от 11 апреля 2018 г. №1-17/265). Полученные результаты позволили определить и идентифицировать экспериментальные данные по энергетическим уровням γ - и β -полос, а также приведенных вероятностей мультипольных переходов в них.

Полученные результаты по определению неаксиальности в возбужденных состояниях четно-четных ядер лантанидов и актинидов использованы международными исследователями (ссылки в зарубежных научных журналах *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 2015; *Chinese Physics C*, 2017; *Nuclear Data Sheets*, 2015) в реакциях с тяжелыми ионами. Использование этих результатов позволило определить энергии связи тяжелых и сверхтяжелых ядер.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на 20 Международных и республиканских конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 42 научные работы, 19 научных статей в изданиях, рекомендованной Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации, из них 11 в зарубежных научных журналах.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 177 страницы.

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 «**Основные уравнения модели**» излагаются основные идеи развиваемой неадиабатической коллективной модели, а также полученные на её основе уравнения, используемые в данной диссертационной работе.

Общая теория коллективных квадрупольных и октупольных возбуждений четно-четных ядер определяется гамильтонианом Бора, содержащим семь динамических переменных: коллективные квадрупольные $\beta_2 (\beta_2 \geq 0)$, $\gamma (0 \leq \gamma \leq 60^\circ)$; октупольные $\beta_3 (\beta_3 \geq 0)$, $\eta (0 \leq \eta \leq 90^\circ)$ переменные и углы Эйлера $\theta_1 (0 \leq \theta_1 \leq 2\pi)$, $\theta_2 (0 \leq \theta_2 \leq \pi)$, $\theta_3 (0 \leq \theta_3 \leq 2\pi)$. Этот оператор имеет вид:

$$\hat{H}_2 = \hat{T}_{\beta_2} + \hat{T}_{\beta_3} + \hat{T}_\gamma + \hat{T}_\eta + \hat{T}_{rot}(\gamma, \eta) + V(\beta_2, \beta_3, \gamma, \eta), \quad (1)$$

где \hat{T}_{β_2} , \hat{T}_{β_3} , \hat{T}_γ , и \hat{T}_η -операторы кинетической энергии продольных ($\beta_2; \beta_3$) и поперечных ($\gamma; \eta$) колебаний; $\hat{T}_{rot}(\gamma, \eta)$ - оператор вращательной энергии; $V(\beta_2, \beta_3, \gamma, \eta)$ - потенциальная энергия продольных и поперечных колебаний.

Решение уравнение Шредингера с гамильтонианом Бора (1) в общем случае очень сложное и пока ещё не найдено. Поэтому, в рамках развиваемой неадиабатической коллективной модели рассматриваются три различных случая: 1) Пренебрегается октупольная форма движения в (1), которая отвечает более высокому порядку формы движения. В этом случае квадрупольные возбуждения неаксиальных четно-четных ядер в гамильтониане Бора (1) описываются пятью динамическими переменными (β_2 , γ и углы Эйлера) и гамильтониан (1) принимает вид:

$$\hat{H}_2 = \hat{T}_{\beta_2} + \hat{T}_\gamma + \hat{T}_{rot}(\gamma) + V(\beta_2, \gamma). \quad (2)$$

Свойства возбужденных коллективных состояний неаксиальных четно-четных ядер, которые описываются с гамильтонианом (2), изучены в главах 2 и 3.

2) Пренебрегаются поперечные формы квадрупольных и октупольных движений, т.е. $\gamma=0$ и $\eta=0$. В этом случае гамильтониан (1) описывает свойства аксиально-симметричных четно-четных ядер, который определяется пятью динамическими переменными (β_2 , β_3 и углы Эйлера) и имеет вид:

$$\hat{H}_{23} = \hat{T}_{\beta_2} + \hat{T}_{\beta_3} + \hat{T}_{rot} + V(\beta_2, \beta_3), \quad (3)$$

здесь \hat{T}_{rot} - оператор вращательной энергии при $\gamma=0$ и $\eta=0$.

Характеристики возбужденных коллективных состояний четно-четных ядер такие как энергетический спектр, приведенные вероятности E1- и E2- переходов изучены в главах 4 и 5.

3) Рассматривается случай жесткого неаксиального ротатора. В этом приближении переменные β_2 , γ , β_3 , η заменяется их эффективными значениями, а динамическими переменными являются лишь углы Эйлера. В этом случае гамильтониан (1) принимает вид:

$$\hat{H} = \hat{T}_{rot}(\beta_{2eff}, \beta_{3eff}, \gamma_{eff}, \eta_{eff}). \quad (4)$$

Энергетический спектр возбужденных коллективных состояний четно-четных ядер, который описывается гамильтонианом (4), изучен в главе 6.

Во второй главе диссертации «**Неаксиальность формы четно-четных ядер лантанидов и актинидов в возбужденных коллективных состояниях**» исследуются квадрупольные возбужденные коллективные состояния деформируемых неаксиальных четно-четных ядер. В этом случае квадрупольные возбуждения четно-четных ядер описываются уравнением Шредингера с гамильтонианом Бора (2), где динамика формы ядра играет основную роль, в этом случае характеристики коллективных состояний атомного ядра рассматриваются в контексте динамики деформационных переменных β_2, γ . Рассмотрим следующие три случая:

1) В модели Давыдова-Чабана рассмотренной соискателем в диссертационной работе для динамической переменной β_2 -продольной и статической переменной γ -поперечной колебаний ($\gamma = \gamma_{eff}$) (приближение А). Параметр γ_{eff} характеризует эффективное значение статической поперечной γ -колебаний. В этом случае в гамильтониане (2) потенциальная энергия зависит лишь от переменной β_2 , которая берется в трех формах: гармонического осциллятора, Дэвидсона и Гаусса.

Получены в явном виде выражения энергетического спектра и волновых функций для каждой формы потенциальной энергии, которые определяются тремя квантовыми числами: I , n и τ , где I - спин четно-четного ядра, n -квантовые числа продольных β_2 -колебаний, τ характеризуют энергетические уровни с одинаковыми значениями спина I . Для энергий уровней коллективных состояний: $n=0$ и $\tau=1$ для основной вращательной полосы; $n=0$ и $\tau=1$ для нечетных значений спина I , $n=0$ и $\tau=2$ для четных значений спина I для γ -полосы; $n=1$ и $\tau=1$ для β -полосы.

В этом случае спектр энергетических уровней коллективных состояний определяется тремя параметрами: $\hbar\omega$, μ и γ_{eff} , где $\hbar\omega$ - энергетический множитель, μ - параметр неадиабатичности, который определяет “мягкость” поверхности ядра относительно продольных колебаний, γ_{eff} - параметр неаксиальности.

2) Приближения малой неаксиальности для динамических β_2 -продольной и γ -поперечной колебаний ($\gamma \rightarrow 0$) (приближение В). Получены в явном виде выражения энергетического спектра и волновых функций для потенциальной энергии Дэвидсона β_2 - и γ -колебаний. Энергия уровней возбужденных состояний описывается набором квантовых чисел $IKn_{\beta}n_{\gamma}$, где n_{β} и n_{γ} -квантовые числа продольных β_2 - и поперечных γ -колебаний, соответственно и содержит подгоночные параметры: $\hbar\omega$, μ , Γ , где Γ -параметр неаксиальности. Энергетические уровни возбужденных состояний четно-четных ядер в этом случае описываются значениями квантового числа $K=0,2,\dots I$. Эти состояния определяются значением $K=0$ для основной вращательной и β -полос, $K=2$ для γ -полосы.

3) Приближения произвольной неаксиальности для динамических β_2 -

продольной и γ -поперечной колебаний с потенциалом Девидсона (приближение С).

В приближении произвольной неаксиальности оператор вращательной энергии $\hat{T}_{rot}(\gamma)$ в выражении (2) разлагается в ряд по степеням $(\gamma-\gamma_0)$, где γ_0 -параметр поперечных деформаций поверхности ядра в основном состоянии. Тогда деформация поверхности ядра становится жесткой по отношению к поперечным колебаниям, первый член $T(\gamma_0)$ в разложении можно рассматривать как главный (нулевое приближение), а члены первого и второго порядка этого ряда в окрестности $\gamma \approx \gamma_0$ можно рассматривать как возмущение относительно него. Получены явные виды энергетического спектра и волновых функций в случае нулевого приближения разложения оператора вращательной энергии $\hat{T}_{rot}(\gamma)$. В этом случае энергия уровней возбужденных состояний описывается квантовыми числами: $l_n \beta_n \gamma_n$ и выражаются четырьмя параметрами - $\hbar\omega$, μ_β , μ_γ и γ_0 , где μ_γ и μ_β - параметры неадиабатичности, определяет “мягкость” поверхности ядра относительно продольных β_2 - и поперечных γ -колебаний, соответственно.

Произведено сравнение рассчитанных значений энергетических уровней для трех случаев с экспериментальными данными для четно-четных ядер ^{150}Nd , $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,162}\text{Gd}$, $^{156,158,160,166}\text{Dy}$, $^{162,164,166,168}\text{Er}$, $^{166,168,170}\text{Yb}$, $^{168,170}\text{Hf}$, ^{170}W , $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{232,234,236,238,240}\text{U}$, $^{240,242,244}\text{Pu}$, ^{248}Cm и $^{252,254}\text{No}$. Эти результаты также сравниваются с данными работ других авторов.

Показано, что наилучшее согласие с экспериментальными данными дает случай 3 (приближение С). Делается вывод о важности корректного учета динамических продольных и поперечных деформаций для всех произвольных значений γ ($0^\circ < \gamma < 60^\circ$). Кроме того, предсказаны энергетические уровни β - и γ -полос тяжелых ядер ^{240}U , $^{242,244}\text{Pu}$, ^{248}Cm , ^{250}Cf и $^{252,254}\text{No}$.

Для оценки вкладов членов первого и второго порядков разложения оператора вращательной энергии в окрестности $\gamma \approx \gamma_0$ в энергетические уровни коллективных состояний основной, γ - и β -полос необходимо знать явный вид волновой функции. Он также играет важную роль при исследовании приведенных вероятностей между/внутриполосных E2-переходов. Поэтому, приводим явное выражение этой функции:

$$\Psi_{n_\gamma n_{\beta_2} l M \tau}(\beta_2, \gamma, \theta_i) = F_{n_{\beta_2}}(\beta) \xi_{n_\gamma}(\gamma) \phi_{l M \tau}(\theta_i),$$

здесь

$$\xi_{n_\gamma}(\gamma) = \frac{N_\gamma \gamma^{p+1}}{\sqrt{|\sin 3\gamma|}} \exp\left(-\frac{\gamma^2}{2b_{\gamma_0}^2}\right) L_{n_\gamma}^{p+\frac{1}{2}}\left(\frac{\gamma^2}{b_{\gamma_0}^2}\right),$$

$$F_{n_{\beta_2}}(\beta_2) = N_{\beta_2} \beta_2^{q+1} \exp\left(-\frac{\beta_2^2}{2b_{\beta_2}^2}\right) L_{n_{\beta_2}}^{q+\frac{1}{2}}\left(\frac{\beta_2^2}{b_{\beta_2}^2}\right),$$

$$\phi_{l M \tau}(\theta_i) = \sqrt{\frac{2I+1}{16\pi^2(1+\delta_{0K})}} \left[D_{MK}^I(\theta_i) + (-1)^l D_{M,-K}^I(\theta_i) \right] A_{IK}^\tau,$$

где n_γ -квантовое число γ - колебаний; n_{β_2} -квантовое число β_2 -колебаний; N_γ - и N_{β_2} -коэффициенты нормировки γ - и β_2 -колебаний; γ_0 - и β_{20} -параметры γ - и β_2 -колебаний в основном состоянии ядра, соответственно; К- проекция спина на аксиальную ось в системе координат, связанной с ядром; М – проекция спина на аксиальную ось в лабораторной системе координат; $p = 0.5\left(\sqrt{1+4\mu_{\gamma_0}^{-4}}-1\right)$; $q = -0.5 + \sqrt{\varepsilon_{I\tau} + \mu_{\beta_{20}}^{-4}}$; $\mu_{\gamma_0}^4 = \hbar^2 / (BC_{\gamma_0}\gamma_0^4)$ и $\mu_{\beta_{20}}^4 = \hbar^2 / (BC_{\beta_{20}}\beta_{20}^4)$ - безразмерные параметры модели; C_{γ_0} - и $C_{\beta_{20}}$ -постоянные эластичности ядра относительно γ - и β_2 -колебаний, соответственно; $L_{n_\gamma}^{p+\frac{1}{2}}(\gamma^2/b_{\gamma_0}^2)$ - и $L_{n_{\beta_2}}^{q+\frac{1}{2}}\left(\frac{\beta_2^2}{b_{20}^2}\right)$ - полиномы Лягерра; $b_{\gamma_0} = \gamma_0\mu_{\gamma_0}$; $b_{\beta_{20}} = \beta_{20}\mu_{\beta_{20}}$; $D_{MK}^I(\theta_i)$ - функция Вигнера; θ_i -углы Эйлера; δ_{0K} -символ Кронекера; $\varepsilon_{I\tau}$ -собственные значения уравнения жесткого асимметричного волчка.

Учет членов первого и второго порядков разложения оператора вращательной энергии в окрестности $\gamma \approx \gamma_0$ позволил оценить их вклад в энергетические уровни коллективных состояний основной, γ - и β -полос. Расчеты показывают что, их вклад в энергетическом спектре значительно улучшает согласие с экспериментальными данными для ядер: $^{152,154}\text{Sm}$, ^{154}Gd , $^{156,158}\text{Dy}$, ^{162}Er , ^{170}Hf , $^{232,234}\text{U}$ и он изменяется от 5.8% до 22.3%. В качестве иллюстрации результатов сравнения теоретических и экспериментальных значений энергий уровней возбужденных состояний для ядер ^{156}Dy и ^{234}U представлены Рис. 1 и 2, соответственно.

Из проведенного сравнительного анализа следует, что формы рассмотренных атомных ядер во многих случаях являются “жесткими” относительно изменений поверхности ядра, за исключением ядер ^{150}Nd , ^{152}Sm , ^{156}Dy , которые являются “мягкими” относительно β -деформации.

Кроме того, в данной главе исследовано вырожденное поведение низкоэнергетических уровней возбужденных состояний лантанидов и актинидов. Как уже было отмечено выше энергетические уровни коллективных состояний в приближении С, описываются квантовыми числами с квантовыми числами: $\text{Inp}_\beta\tau$. В этом случае динамика ядерного коллективного движения характеризуется дугой регулярности Велана-Алхассида, где состояния 0101 (β -полоса, с квантовыми числами $I=0$; $n_\beta=1$; $n_\gamma=0$; $\tau=1$) и 2002 (γ -полоса, с квантовыми числами $I=2$; $n_\beta=0$; $n_\gamma=0$; $\tau=2$) являются близко вырожденными, т.е. $E_{0101} \approx E_{2002}$, и должны удовлетворить условию:

$$R = \frac{|E_{2002} - E_{0101}|}{E_{2002}} \leq 0.05. \quad (6)$$

Показано, что энергетические уровни ядер ^{156}Gd , ^{158}Dy , ^{168}Hf , ^{232}Th , ^{236}U лежат в области “хаотической” части, энергетические уровни остальных рассматриваемых ядер находятся в области “регулярной” части и вырожденные энергетические уровни β - и γ -полос связаны с тремя типами динамических симметрий, характеризуемых цепочкой U(5) (вибрационные

ядра), SU(3) (ротационные ядра), O(6) (γ -нестабильные ядра), которые представлены в треугольнике на рис. 1.

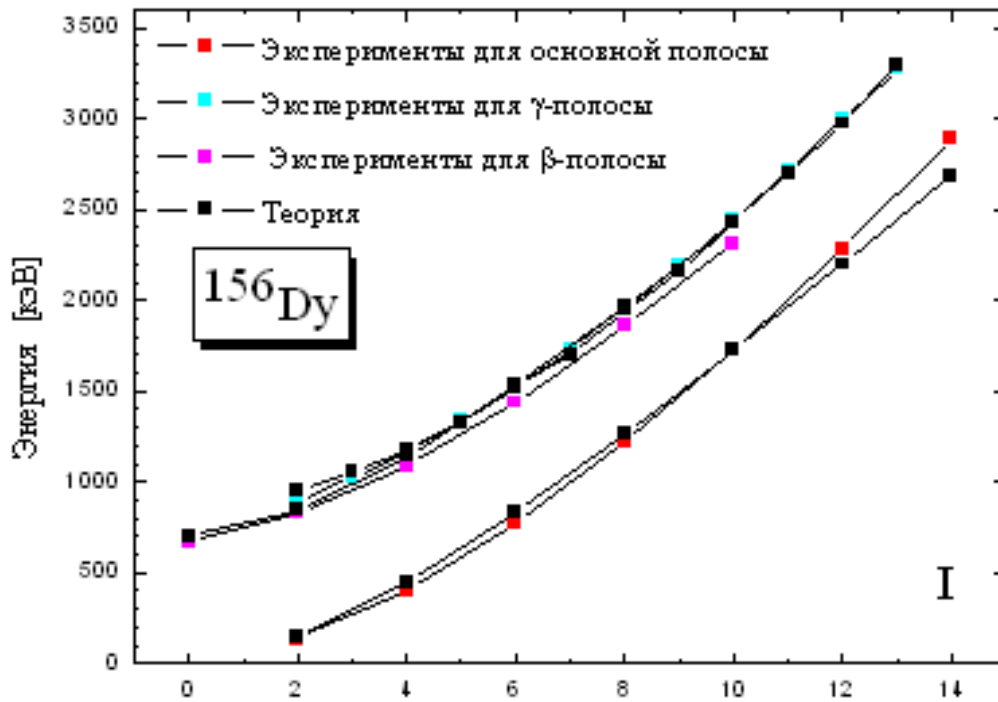


Рис. 1. Теоретические и экспериментальные значения энергий уровней возбужденных состояний для ядра ^{156}Dy ($\hbar\omega=349.4$ keV; $\mu_\beta=0.4383$; $\mu_\gamma=0.8928$; $\gamma_0=13.9^\circ$; RMS=64.94 keV).

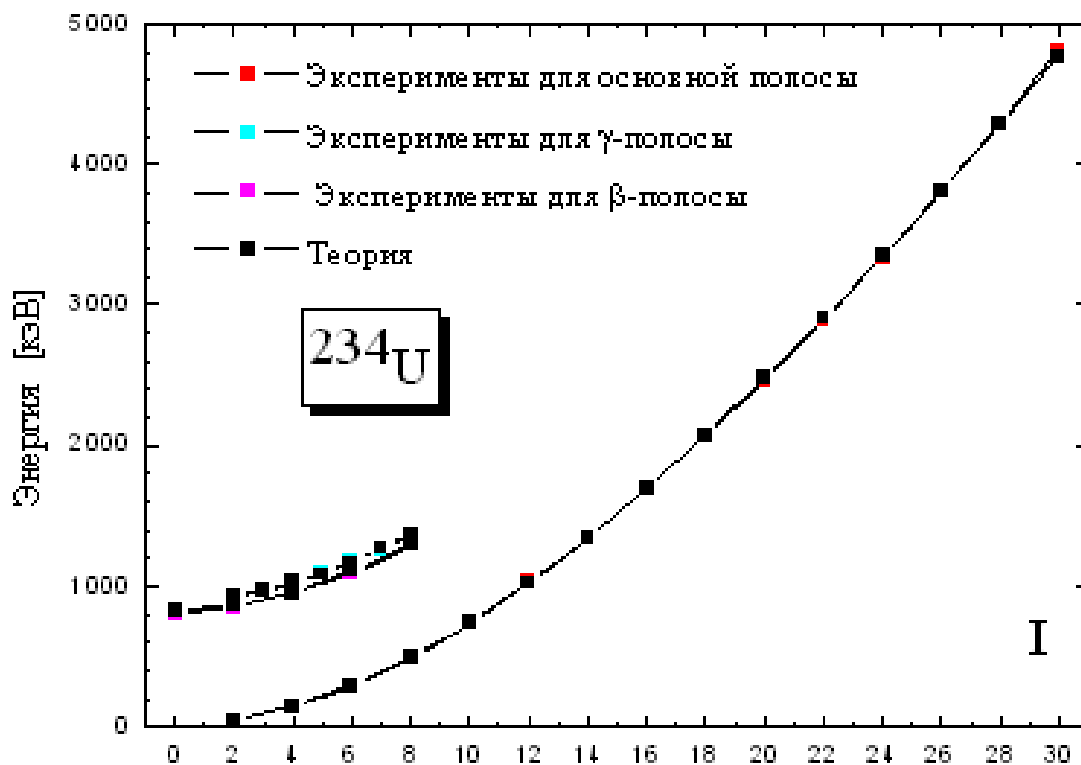


Рис. 2. То же самое как в рис. 1, но для ядра ^{234}U ($\hbar\omega=408.3$ keV; $\mu_\beta=0.2219$; $\mu_\gamma=1.0272$; $\gamma_0=8.3^\circ$; RMS=12.1 keV).

Динамические симметрии $O(6)$, $U(5)$ и $SU(3)$ расположены в углах этого рисунка. Видно что, переходы между симметриями $O(6)$ и $U(5)$, а также $O(6)$ и $SU(3)$ являются стабильными, потому что спектры четно-четных вращательных и вибрационных не вырождены, то есть они хорошо разделены. Переходы между симметриями $U(5)$ и $SU(3)$ являются вырожденными. То есть они могут смешиваться друг с другом. Эти смешивания можно наблюдать на рис. 1 и 2.



Рис. 3. Дуга регулярности Велана-Алхассида

Третья глава диссертации «Приведенные вероятности $E2$ -переходов между возбужденными коллективными состояниями неаксиальных четно-четных ядер» посвящена исследованию приведенных вероятностей $E2$ -переходов между возбужденными коллективными состояниями неаксиальных четно-четных ядер для случая 3 главы 2.

Получены явные выражения для между/внутриполосные приведенные вероятности $E2$ -переходов, которые содержат пять параметров - μ_β , μ_γ , γ_0 , Q_0 и Q_2 , где μ_γ - определяет “мягкость” поверхности ядра относительно поперечных колебаний; Q_0 - внутренний квадрупольный момент относительно оси симметрии и Q_2 - внутренний квадрупольный момент, связанный с асимметрией формы. Значения параметров μ_β и γ_0 брались из описания энергетического спектра возбужденных коллективных состояний для случая 3 главы 2. Остальные параметры были определены из подгонки рассчитанных значений приведенных вероятностей $E2$ -переходов к экспериментальным данными и получено хорошее их согласие. Делается вывод о том, что приближение C хорошо описывает экспериментальные данные энергетических спектров и приведенных вероятностей $E2$ -переходов коллективных состояний для ядер ^{154}Sm , ^{156}Gd , ^{158}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, $^{230,232}\text{Th}$ и $^{232,234,236,238}\text{U}$.

Кроме того, в данной главе проведен подробный сравнительный анализ ветвления E2-переходов в возбужденных коллективных состояниях и рассчитанных отношений приведенных вероятностей E2-переходов с результатами правила Алаги, характеризующего отсутствия деформации с доминированием вращательного движения. Показана чувствительность вероятностей E2-переходов к присутствию неаксиальных квадрупольных деформаций.

В четвертой главе диссертации **«Возбужденные коллективные состояния переменной четности аксиально-симметричных четно-четных ядер»** исследуются коллективные состояния аксиально-симметричных четно-четных ядер с квадрупольной и октупольной деформациями в приближении гамильтониана (3).

Получены в явном виде энергетический спектр и волновые функции возбужденных коллективных состояний переменной четности аксиально-симметричных четно-четных ядер, т.е. $K=0$. Потенциальная энергия поверхностных колебаний берется в форме Девидсона.

Изучены возбужденные коллективные состояния $yrast$, первый $non-yrast$ и второй $non-yrast$ -полос четно-четных ядер в области лантанидов и актинидов. Получено удовлетворительное согласие рассчитанных энергетических спектров с экспериментальными данными для $yrast$ - и первый $non-yrast$ -полос переменной четности для ядер области лантанидов ^{150}Nd , $^{152,154}Sm$, ^{154}Gd , ^{156}Dy , $^{162,164}Er$ и актинидов $^{232,234,236,238}U$, а также второй $non-yrast$ -полосы для ядер $^{156,158}Gd$, ^{224}Ra , ^{228}Th и ^{240}Pu . Энергетические уровни рассматриваемых полос содержит свободные параметры: $\hbar\omega$ (в кэВ), Δ_0^+ , Δ_0^- ($yrast$ -полоса), Δ_1^+ , Δ_1^- (первый $non-yrast$ -полоса), Δ_2^+ , Δ_2^- (второй $non-yrast$ -полоса). Δ_v^+ и Δ_v^- -безразмерные величины являются параметрами расщепления энергетических уровней переменной четности.

Показано что, в структуре ядерного вращательного спектра может происходить "staggering"-эффект, связанный с изменениями спинов I энергий уровней на единицу ($\Delta I=1$) и представляющий разветвление энергии уровней вращательной полосы в спектре $yrast$ -полос коллективных состояний переменной четности.

Таким образом, на основе полученных результатов, можно сделать вывод о том, что "staggering" эффект при низких значениях углового момента спектра энергии уровней появляется в основном из-за изменения четности, тогда как в больших значениях углового момента энергии уровней из-за взаимодействия вращения ядра как целого и деформацией его формы.

В пятой главе диссертации **«Приведенные вероятности E1- и E2-переходов между возбужденными коллективными состояниями аксиальных четно-четных ядер»** исследуются приведенные вероятности E1- и E2-переходов между возбужденными коллективными состояниями

аксиальных четно-четных ядер переменной четности. Получены явные виды выражения для приведенных вероятностей E1- и E2-переходов в энергетических уровнях u_{rast} -, первой и второй non- u_{rast} -полос. Они содержит свободные параметры, определенные из описания энергетического спектра возбужденных коллективных состояний переменной четности и параметры Ω_1 и Ω_2 которые пропорциональны к поляризованному электрическому дипольному моменту (D_0) и внутреннему квадрупольному моменту (Q_0), соответственно. Параметры Ω_1 и Ω_2 определяются из подгонки расчетных значений E1- и E2-переходов к экспериментальным данным.

Проведены расчет, подробный анализ E1- и E2-переходов и их ветвления в возбужденных коллективных состояниях u_{rast} -, первый non- u_{rast} - и второй non- u_{rast} -полосах. Рассчитанные значения вероятностей переходов сравниваются с экспериментальными данными и с результатами правила Алаги, в котором деформация формы ядра пренебрегается.

Полученные данные хорошо описывают эксперимент между/внутриполосных E2-переходов для ядер: $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, ^{224}Ra , $^{234,236,238}\text{U}$ and ^{240}Pu , а также E1-переходов для ядер: $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, ^{224}Ra , $^{234,236,238}\text{U}$ и ^{240}Pu . Показано важность учета поверхностных колебаний квадрупольно-октупольного типа.

В шестой главе диссертации «**Приближение трехмерного квадруполь-октупольного ротатора**» исследуются энергетические уровни основного состояния и уровни отрицательной четности деформированных четно-четных ядер рассматриваются как возбуждения трехмерного квадруполь-октупольного ротатора с гамильтонианом (4). В этом приближении изменение энергий уровней между состояниями противоположной четности получено как результат эффекта К-смешивание из-за присутствия неаксиальных квадрупольных и октупольных деформаций. Подгонка параметров трехмерного квадруполь-октупольного ротатора \tilde{B}_2 , \tilde{B}_3 , γ_{eff} и η_{eff} к экспериментальным данным проведена методом наименьших квадратов.

Полученные значения параметров неаксиальности варьируются в довольно узком пределе для квадрупольной γ_{eff} (50° - 57°) и октупольной η_{eff} (48° - 50°). Определено, что параметр \tilde{B}_2 принимает значения на два порядка больше чем параметр \tilde{B}_3 . Это означает, что квадрупольные деформации играют главную роль в коллективном движении, тогда как октупольные деформации являются малыми поправками к ним.

Произведены сравнения рассчитанных значений энергетических спектров с экспериментальными данными в u_{rast} -полосе положительной и отрицательной четности для актиноидных ядер: $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{230,232,234,236,238}\text{U}$ и ^{240}Pu .

Показано, что "staggering"-эффект связан с четностью полос наблюдаемых вращательных состояний и К-смешиванием.

Продemonстрировано, что энергетический сдвиг между уровнями с положительной и отрицательной четностью объясняется одновременным присутствием трехмерных квадрупольных и октупольных деформаций, что связано с эффектами К-смешивания и четности. При этом параметр деформации γ приближается к максимальному значению ($\gamma=60^\circ$), что отвечает сплюснутой эллипсоидальной форме ядра, тогда как в присутствие компонентов октупольной деформации, ядро имеет более сложную грушеобразную форму.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований, проведенных по теме докторской диссертации «Динамика изменения формы и характеристики возбужденных коллективных состояний лантанидов и актинидов», представлены следующие выводы:

1. Развита неадиабатическая модель для описания энергетических уровней основной, β - и γ -полос возбужденных коллективных состояний с гамильтонианами, полученными для случая динамической продольных и статической поперечных деформаций (приближение А), приближения малой (приближение В) и произвольной (приближение С) неаксиальности для случая динамических продольных и поперечных деформаций.
2. Получены явные выражения для энергетического спектра и волновых функций уравнения Шредингера для потенциальных энергий: гармонического осциллятора, Дэвидсона и Гуасса в приближении А, а также для малой и произвольной неаксиальности, приближения В и С, соответственно. Проведены сравнения рассчитанных значений энергетического спектра коллективных состояний с экспериментальными данными для четно-четных ядер в областях: лантанидов ^{150}Nd , $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,162}\text{Gd}$, $^{156,158,160,166}\text{Dy}$, $^{162,164,166,168}\text{Er}$, $^{166,168,170}\text{Yb}$, $^{168,170}\text{Hf}$, ^{170}W ; актинидов $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{232,234,236,238,240}\text{U}$, $^{240,242,244}\text{Pu}$; тяжелые ядра ^{248}Cm , $^{252,254}\text{No}$. Показано, что приближение С довольно хорошо описывает экспериментальные данные энергетического спектра рассматриваемых ядер, чем приближения А и В.
3. Развита неадиабатическая модель произвольной неаксиальности четно-четного ядра с учетом первого и второго членов разложения по переменной γ в приближение С в теории возмущении. Показано важность их учета, приводящая к значительному улучшению результатов п.2 для ядер: $^{152,154}\text{Sm}$, ^{154}Gd , $^{156,158}\text{Dy}$, ^{162}Er , ^{170}Hf , $^{232,234}\text{U}$, в пределах от 5.8% (^{232}U) до 22.3% (^{156}Dy).
4. Обнаружены вырождения низкоэнергетических уровней коллективных состояний. Показано, что энергетические уровни ядер ^{166}Yb , ^{168}Hf , ^{232}Th , ^{236}U , лежат в области "хаотической" части, энергетические уровни

остальных рассматриваемых ядер находятся в области "регулярной" части.

5. Предсказаны новые энергетические уровни возбужденных состояний β - и γ -полос трансурановых ядер $^{242,244}\text{Pu}$, ^{248}Cm , $^{252,254}\text{No}$ для которых деформация их формы остается постоянной. Установлено, что ядер с постоянной деформацией в области актинидов больше, чем в области лантанидов.
6. Получены явные выражения для приведенных вероятностей между/внутриполосных E2-переходов основной, β - и γ -полос в модели произвольной неаксиальности. Рассчитанные значения между/внутриполосных E2-переходов для ядер ^{150}Nd , $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156}\text{Gd}$, $^{156,158,160}\text{Dy}$, $^{162,164,166,168}\text{Er}$, $^{166,168}\text{Yb}$, $^{168,170}\text{Hf}$, $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{232,234,238}\text{U}$ и ^{240}Pu хорошо согласуются с экспериментом. Проведенный сравнительный анализ приведенных E2-переходов с правилами Алаги показывает чувствительность приведенных вероятностей E2-переходов к наличию неаксиальных квадрупольных деформаций.
7. Получены в явном виде энергетический спектр и волновые функции возбужденных коллективных состояний переменной четности четно-четных ядер для потенциальной энергии поверхностных колебаний Девидсона. Проведены расчет энергетического спектра для разных полос и сравнение их с экспериментальными данными для лантанидов ^{150}Sm , $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$ и актинидов ^{224}Ra , ^{228}Th , $^{232,234,236,238}\text{U}$ и ^{240}Pu . Показана важность одновременного учета поверхностных колебаний квадрупольно-октапольного типа.
8. Получены явные выражения для между/внутриполосных приведенных вероятностей E1- и E2-переходов yrast- , первый non-yrast- и второй non-yrast- полос. Проведены расчет вероятностей E2-переходов yrast- , первый non-yrast- и второй non-yrast- полос одинаковой четности для ядер: ^{150}Nd , $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, ^{224}Ra , ^{228}Th , $^{232,234,236,238}\text{U}$, а также значений E1-переходов yrast- , первый non-yrast- и второй non-yrast- полос переменной четности для ядер: $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, ^{224}Ra , $^{234,236,238}\text{U}$ и ^{240}Pu . Показана чувствительность приведенных вероятностей E1- и E2-переходов к наличию аксиальных квадруполь-октапольных деформаций.
9. Предложен метод учета неаксиальных степеней свободы в формировании коллективных спектров переменной четности неаксиальных четно-четных ядер, что приводит к эффекту К-смешивание. Этот подход применен для описания структуры самых низких энергетических уровней положительной и отрицательной четности в спектрах тяжелых четно-четных ядер $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{230,232,234,238}\text{U}$ и ^{240}Pu . Показана важность учета вкладов продольных и поперечных коллективных форм движений в зигзагообразном разветвлении энергетических уровней вращательной

полосы при $K=0$ или с K -смешиванием для чётно-чётных ядер ^{150}Sm ,
 $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{230,232,234,238}\text{U}$ и ^{240}Pu .

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 AT INSTITUTE OF
NUCLEAR PHYSICS, ASTRONOMY INSTITUTE, AND NATIONAL
UNIVERSITY OF UZBEKISTAN ON AWARDING THE SCIENTIFIC
DEGREES**

INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS

NADIRBEKOV MAKHMUDJON

**DYNAMICS OF SHAPE EVOLUTION AND CHARACTERISTICS OF
EXCITED COLLECTIVE STATES OF LANTHANIDES AND
ACTINIDES**

01.04.08 – Atomic nucleus and elementary particle physics. Accelerator facility

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF SCIENCE (DSc)
ON PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

Tashkent – 2018

The theme of the doctoral dissertation (DSc) was registered by the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No.B2017.1.DSc/FM34.

Doctoral dissertation was carried out at the Institute of Nuclear Physics.

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

Scientific consultant: **Yarmukhamedov Rakhim,**
doctor of sciences in physics and mathematics, professor

Official opponents: **Muminov Tolib Musayevich,**
doctor of sciences in physics and mathematics, professor,
academician of Uzbekistan Academy of Sciences

Adamian Gurgun,
doctor of sciences in physics and mathematics

Bekmirzaev Rakhmatillo Nurmurodovich
doctor of sciences in physics and mathematics

Leading organization: **Physical-Technical Institute, Tashkent**

The defense of the dissertation will be held on « ___ » _____ 2018 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, Tashkent city, tel.: (+99871)289-31-18; fax: (+99871)289-36-65; 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).

Abstract of dissertation was distributed on « _____ » _____ 2018.
(Registry record № _____ dated “ ___ ” _____ 2018)

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

S. V. Artemov
Scientific Secretary of the Scientific Council
on Award of Scientific Degrees, D.Ph.-M.S.

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 demand of the theme of dissertation. At present time obtaining reliable information on the spectroscopic characteristics of heavy nuclei is one of the most important tasks of the modern theory of the nuclear structure. The properties of excited collective states, such as values of energy levels and spins sequences, as well as electric multiple transitions-probability and the average values of electric multiple moments depend on the shape of the nucleus and its deformability. An anomalous chaotic irregularity in low-energy levels of excited collective states of heavy nucleus and reduced intra/inter-band E1- and E2-transitions probabilities are directly related to the dynamics of oscillation of the nuclear surface. In this case, the simultaneous asymmetry of the quadrupole and octupole deformations was not taken into account and explanations of the observed “staggering” effect for triaxial even-even nuclei are extremely important task.

Recently, the spectroscopic properties of the excited collective states of heavy nuclei have been extensively studied by various authors in the framework of various models in the geometric, algebraic and microscope approximations. The phenomenological non-adiabatic model of nucleus of the quadrupole-type, takes into account the relationship between rotational motion with longitudinal and transverse vibrations of the nuclear surface. However, on the framework of this model, the properties of the excited high-spin states of such nuclei were practically not considered. Characteristics of excited high-spin states are investigating in various models, for example, the models: variable moment of inertia and the interacting bosons. But, in these models, the total moment of inertia of the nucleus is considered as a free parameter and its are assuming that the total moment of inertia of the nucleus does not depend on the dynamics of its the shape evolution. Therefore, it is necessary to correctly take into account the connection between the rotational motion and the vibrations of the nuclear surface for different multiples in the investigation of the high-spin states of atomic nuclei.

The present investigation complies with tasks stipulated in government regulatory documents an Decree of the President of the Republic of Uzbekistan № PD-4512 “On woks of further development of alternative energy sources” of 1 March 2013, Resolution № PR-2789 “On measures of further improvement of the activities of the Academy of Sciences, organization, management and financing the scientific research works” of 17 February 2017, Decree № PD-4947 “On the Strategy of Actions on the Fureher Development of the Republic of Uzbekistan” of 7 February 2017 and others.

Conformity of the research to the main priorities of science and technology development of the republic. The dissertation research has been carried out in accordance with the priority areas of science and technology in the Republic of Uzbekistan: II. “Power, energy and resource saving”.

Review of international scientific researches on dissertation subject. Investigations excited collective states of atomic nuclei with taking into account multiplicity of nuclear surface identical or alternating parity has been carried out by the world’s leading research centers and institutions of higher education, in

particular, The Joint Institute for Nuclear Research, National Research Center "Kurchatov Institute", Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics at Moscow State University and Saint Petersburg State University (Russia); Institute for Nuclear Research and Bogolyubov Institute for Theoretical Physics (Ukraine); Institute for Theoretical Physics Goethe-University and Justus-Liebig-University (Germany); GANIL (France); Institute of Nuclear Physics (Greece); Institute of Nuclear Research and Nuclear Energy, (Bulgaria); Department of Physics "G. Galilei" University of Padova (Italy); Department of Engineering Physics of Gaziantep University (Turkey); Department of Physics, University of Tokyo (Japan); School of Physics, Damghan University (Iran); Center for Theoretical Physics, Yale University (USA); National Institute for Nuclear Physics (Romania); Research School of Physics and Engineering at The Australian National University (Australia); Institute of Radiation Physics-Chemical Problems (Belarus); Institute of Nuclear Physics (Kazakhstan); Institute of Nuclear Physics, National University of Uzbekistan, Namangan Engineering-Technological Institute (Uzbekistan).

On the study of the nuclear structure and excited collective states of atomic nuclei at the world level, a number of scientific results was obtained, including: a catalog of the main characteristics of nuclear processes (Evaluated and Compiled Nuclear Structure Data, <http://www.nndc.bnl.gov/ensdf/>), their kinematic and dynamic characteristics are determined, experimental installations are created and theoretical methods are developed (National Research Center "Kurchatov Institute" and Joint Institute for Nuclear Research, Russia; GANIL, France; Institute for Nuclear Research and Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, Ukraine; Institute for Theoretical Physics Goethe-University and Justus-Liebig-University, Germany. Institute of Nuclear Physics, Greece; Institute of Nuclear Research and Nuclear Energy, Bulgaria; Institute of Nuclear Physics, Kazakhstan; National University of Uzbekistan, Institute of Nuclear Physics, Uzbekistan).

At present, in the world, on the problem of the nuclear structure and excited collective states of heavy atomic nuclei, research is carried out on a number of priority areas, including: investigation of normal-deformed, super-deformed and hyper-deformed states of rotational bands in various mass numbers; semi-phenomenological approximations of forced rotation of hyper-deformed states; cluster model of super-deformed states; the development of non-adiabatic approximations for describing the asymmetric forms associated with reflection; as well as quantitative and qualitative explanations of the properties of the rotationally-vibrational state of the bands of alternating parity; studying the collective state of α -decay and K-isomers of transfermium nuclei; improvement of sensitivity of experimental facilities in laboratories: Argonne National Laboratory (Argonne, USA), GSI (Darmstadt, Germany), JYFL (Yyvaskyla, Finland), GANIL (Caen, France) and the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions (Dubna, Russia).

Degree of study of the problem. The solution of the Schroedinger equation with Bohr Hamiltonian for various types of potential energy of surface quadrupole oscillations has been considered by many scientists of the leading scientific centers of the world. For example: N. Minkov, S. Drenska, P. Yotov (Bulgaria), W.

Greiner, Amand Faessler, W. Scheid, M. Strecker (Germany), D. Bonatsos, D. Lenis, D. Petrellis (Greece), L. Fortunato (Italy), Yu. V. Porodzinsky, E. Sh. Sukhovitsky (Belarus), Yu. V. Denisov and A. Ya. Dzyublik (Ukraine) and other scientists. However, in these works are not considered, high-spin states of collective rotation and also the contribution of transverse oscillations, or is not taken into account at all or is taken into account approximately.

The reduced probabilities of quadrupole transitions in the excited collective states of the ground, γ - and β -bands in the framework of various collective models were considered Bulgarian (N. Minkov, P. Yotov, S. Drenska), German (W. Greiner, W. Scheid), Grecian (D. Bonatsos, D. Lenis, D. Petrellis) Italian (L. Fortunato), Russian (V. M. Mikhailov, I. N. Mikhailov, V. G. Soloviev), Ukrainian (V. Yu. Denisov, A. Ya. Dzyublik), Belorussian (Yu. V. Porodzinsky, E. Sh. Sukhovitsky), Uzbek (R. B. Begzhanov, Sh. Sharipov, B. Ch. Choriev, P. N. Usmanov) and other scientists. However, in these works the rotational and vibrational forms of motion are completely separated. But, necessary take into account their connection.

Studies of the energy spectrum of excited states of alternating parity of axially symmetric even-even nuclei on the basis of various models were performed Bulgarian (N. Minkov, P. Yotov, S. Drenska), German (W. Scheid, M. Strecker), Grecian (D. Bonatsos, D. Lenis, D. Petrellis), Ukrainian (V. Yu. Denisov, A. Ya. Dzyublik) and other scientists. But, in these papers, in the Hamiltonian the kinetic energy operator has the form of triaxial nuclei. In addition, the branching of the energy levels of the rotational band in the parity-variable spectrum describes only even-even nuclei in the lanthanide region and did not describe analogous properties for the actinide spectrum.

Connection of the topic of dissertation with the scientific works of scientific research organizations, where the dissertation was carried out. The thesis was carried out within the scientific projects in the period 2000-2017: F-2.1.19 "Development of a self-consistent method for calculating the structure of nuclei and an asymptotic theory of peripheral reactions of transfer of a charged particle in nuclear astrophysics of ultra-low energies" (2003- 2007); AS-F2-F077 "Designing and developing of theoretical methods for calculating the fundamental characteristics of nuclei and peripheral nuclear reactions at low and ultra-low energies for nuclear astrophysics" (2007-2011); F2-FA- F117 "Investigations of the dynamic properties of the fundamental characteristics of nuclei for nuclear astrophysics" (2012-2016); F.2-14 "Investigation of the anomalous features of low-energy excitation of deformed triaxial even-even nuclei" (2014-2015).

The aim of the research is the development phenomenological non-adiabatic collective model and definition of spectroscopic characteristics of a spectrum of collective excitation both identical and alternating parity and their branching in energy spectrum of a rotational band of alternating parity of heavy even-even nuclei.

The tasks of the research:

To develop a non-adiabatic model for excited collective states of positive

parity of the ground, β - and γ -bands of triaxial even-even nuclei. Determine the regularities of the evolution in the energy level spectrum from the nucleus to the nucleus in the lanthanide, actinide and super-heavy nuclei regions and theoretically predict the energy levels of the β - and γ -bands of transuranium nuclei;

Estimate the contribution of transverse surface oscillations to the energy spectrum of collective excitation of positive parity. Determine the “chaotic” and “regular” parts of collective dynamics in the spectrum of excited degenerate states of positive parity of triaxial even-even nuclei;

Obtain explicit expressions for inter/intra-band reduced E2-transitions probabilities in the model of free triaxiality and perform calculations of the E2-transitions probabilities and compare them with the experimental data. To study the branching of E2-transitions in excited collective states and to determine its connections with various types of motion in the dynamics of the shape of the nucleus;

Obtain in an explicit form the energy spectrum and wave functions of the excited collective states of the alternating parity of even-even nuclei for the Davidson potential energy of surface oscillations. Calculate the energy spectrum for different bands and compare them with the experimental data. Show the importance of accounting for surface oscillations of the quadrupole-octupole type in the developed model;

Obtain explicit expressions for the reduced probabilities of inter/intra-band E1- and E2-transitions in the energy spectrum of the variable parity of axially symmetric even-even nuclei and compare them with experimental data. To study the branching of these transitions in excited collective states. Show the sensitivity of the E1- and E2-transitions to the presence of surface oscillations of the quadrupole-octupole type;

Describe energy spectrum of the variable parity of the collective states of heavy even-even nuclei on the approximation three-dimensional quadrupole-octupole rotator;

Consider the branching of the rotational band in the parity-variable spectrum of axial and triaxial even-even nuclei. Determine the importance of taking into account the different collective forms of movements based on the K-mixing effect for triaxial nuclei.

The objects of the research. The object of the study are even-even nuclei in the region of lanthanide, actinide and super-heavy nuclei.

The subjects of the research are static and dynamic characteristics of the spectrum of the excited collective states of the ground, β - and γ -bands of positive parity and yrast-, non-yrast bands of positive and negative parity of axial and triaxial even-even nuclei.

The methods of the research. The methods of investigation are the mathematical apparatus of quantum mechanics. Programming on FORTRAN.

The scientific novelty of the research is the follows:

prediction new energy levels of the excited states of transuranium nuclei $^{242,244}\text{Pu}$, ^{248}Cm and $^{252,254}\text{No}$ and are established, that nuclei with constant

deformation more in the actinide region, than in the lanthanide region;

it is shown that energy levels of nuclei ^{166}Yb , ^{168}Hf , ^{232}Th , ^{236}U lay in the region of a “chaotic” part, energy levels of other considered nuclei are in the region of a “regular” part;

it is estimated contribution of transverse surface deformation to the energy spectrum of collective excitation of $^{152,154}\text{Sm}$, ^{154}Gd , $^{156,158}\text{Dy}$, ^{162}Er , ^{170}Hf , $^{232,234}\text{U}$ nuclei;

it is established importance of taking into account surface oscillations of the quadrupole-octupole type for the lanthanide ^{150}Sm , $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$ and actinide ^{224}Ra , ^{228}Th , $^{232,234,236,238}\text{U}$ and ^{240}Pu ;

it is revealed the sensitivity of the reduced of E1- and E2-transitions probabilities to the dynamics of shape evolution quadrupole and octupole deformations;

it is established the effect of axial and triaxial degrees of freedom in the formation of collective spectra in the $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{230,232,234,238}\text{U}$, and ^{240}Pu nuclei with quadrupole and octupole deformations;

it has been shown that the importance to take into account the contribution of longitudinal and transverse collective forms of motion to zigzagging branching of the energy levels of the rotational band for even-even nuclei of ^{150}Sm , $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{230,232,234,238}\text{U}$ and ^{240}Pu .

Practical results of the research are as follows:

The developed phenomenological approach in represented dissertation work well describes statistical and dynamic properties even-even nuclei in the lanthanide, actinide and super heavy region;

The received results can be used at calculation of cross sections of nuclear processes with participation of these nuclei and to apply in nuclear spectroscopy at statement of new experiments.

Reliability of the research results: proves by use methods of quantum mechanics and theoretical physics, and also highly effective numerical methods and algorithms, detailed check of a consistent of the received results with experimental data and results of other authors, conformity of conclusions to substantive provisions of the collective theory of heavy even-even nuclei.

Scientific and practical significance of the research results.

The scientific importance of models developed by the competitor, and results of the researches obtained on the basis of these models, is defined by utility and suitability for an establishment dynamics steady quadrupole-octupole deformations and the analysis of properties of a energy spectrum of collective states identical and alternating parity of the heavy and super-heavy even-even nuclei received in new experimental data.

Practical significance of the research results is application of the developed models on estimations lifetime of a rotating nucleus at the time synthesis super-heavy elements. Methods of calculations developed in dissertational work, allow to predict new energy levels of the excited states transuranium nuclei, probabilities

multiple transitions and branching of these transitions, and also polarization and not polarization multiple the moments of collective states.

Application of the research results. Based on the obtained results on the reduced E2-transitions probabilities triaxiality lanthanide and actinide nuclei are presented interest for research spectroscopic characteristics of heavy nuclei in the framework of the fundamental grant of the Laboratory of Theoretical Physics of the Joint Institute for Nuclear Research No. 01-3-1114-2014/2018 (a letter of the Joint Institute for Nuclear Research from 24.04.2018). The obtained results have allowed estimating lifetime of the rotating nucleus at the time of synthesis super-heavy elements.

Energy levels of the excited collective states of lanthanides and actinides with alternating parity and their branching in high spins were used for the description and explanations of static and dynamic spectroscopic characteristics of heavy nuclei in the research project “Research of the excitation atomic nuclei and mechanisms of nuclear processes in threshold reactions” which was carried out in Institute of nuclear researches NAS of Ukraine from 01.01.2013 up to 12.31.2017 (a letter of Institute of Nuclear Researches №1-17/265 from April, 11.04.2018). The obtained results have allowed to define and identify the experimental data on the energy levels of γ - and β -bands, as well as the intra/inter-band reduced probabilities of multiple transitions.

Obtained results according to the triaxiality in the excited states of even-even nuclei in heavy ion reactions are used by the foreign researchers (references in foreign scientific magazines: Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, 2015; Chinese Physics C, 2017; Nuclear Data Sheets, 2015). Application of these results has allowed to define binding energy of heavy and super-heavy nuclei.

Approbation of the research results. The research results were reported in the form of reports and tested at 20 International regional Conferences.

Publication of the research results. Materials of the thesis are published: in 11 international scientific journals, in 8 republican scientific journals, 3 on the proceedings of international conferences, in 20 abstracts at international and regional conferences.

Volume and structure of the dissertation. The thesis consists of an Introduction, six chapters, conclusion, a list of literature from 109 titles. The work is presented in 177 pages.

CONCLUSION

According to the results of the research carried out on the theme of the doctoral (DSc) dissertation “Dynamics of shape evolution and characteristics of excited collective states of lanthanides and actinides”, the following conclusions are presented:

1. Non-adiabatic collective model for the description of energy levels of the excited collective states ground, γ - and β -bands with Hamiltonian obtained in the case dynamic longitudinal and static transverse deformations

(approximation A), small (approximation B) and free (approximation C) triaxiality in the case of dynamic longitudinal and transverse deformations is developed.

2. Explicit expressions for a energy spectrum and wave functions of Schroedinger equation for potential energies: harmonic oscillator, Davidson and Gauss in the approximation A, and also for small and free triaxiality, approximations B and C, accordingly, are obtained. Comparison of the calculation values of energy levels with experimental data for even-even nuclei in the region: lanthanide ^{150}Nd , $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,162}\text{Gd}$, $^{156,158,160,166}\text{Dy}$, $^{162,164,166,168}\text{Er}$, $^{166,168,170}\text{Yb}$, $^{168,170}\text{Hf}$, ^{170}W ; actinide $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{232,234,236,238,240}\text{U}$, $^{240,242,244}\text{Pu}$; heavy nuclei ^{248}Cm , $^{252,254}\text{No}$ are performed. It is shown, that approximation C has enough well described experimental data for the energy spectrum of considered nuclei, than approximations A and B.
3. Non-adiabatic collective model with free triaxiality of even-even nuclei is developed by taking into accounted of first and second terms in the perturbation theory on the γ -variable for approximation C. It is shown importance their accounting for significant improvement results in p.2 for nuclei: $^{152,154}\text{Sm}$, ^{154}Gd , $^{156,158}\text{Dy}$, ^{162}Er , ^{170}Hf , $^{232,234}\text{U}$, in the limits of from 5.8 % (^{232}U) up to 22.3 % (^{156}Dy).
4. Degeneration of low-energy levels of collective states is revealed. It is shown, that energy levels of nuclei ^{166}Yb , ^{168}Hf , ^{232}Th , ^{236}U lies in the region of a “chaotic” part, energy levels of other considered nuclei are in the region of a “regular” part.
5. New energy levels of the excited states of the γ - and β -bands of transuranium nuclei: $^{242,244}\text{Pu}$, ^{248}Cm and $^{252,254}\text{No}$ are predicted, for which their shape deformations remains a constant. It is established, that nuclei with constant deformation more in the actinide region, than in the lanthanide region.
6. Explicit expressions for inter/intra-band reduced E2-transitions probabilities ground, γ - and β -bands in model free triaxiality are obtained. The calculated values of inter/intra-band E2-transitions probabilities for nuclei ^{150}Nd , $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156}\text{Gd}$, $^{156,158,160}\text{Dy}$, $^{162,164,166,168}\text{Er}$, $^{166,168}\text{Yb}$, $^{168,170}\text{Hf}$, $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{232,234,238}\text{U}$ and ^{240}Pu comparison with experimental data. The lead comparative analysis of reduced E2-transitions probabilities with Alaga rules shows their sensitivities to presence non-axial quadrupole deformations.
7. Explicit expressions for energy spectrum and wave functions of the excited collective states of alternating parity of even-even nuclei for Davidson potential are obtained. A comparison calculated values of energy spectrum for different bands with experimental data for lanthanide ^{150}Sm , $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$ and actinide ^{224}Ra , ^{228}Th , $^{232,234,236,238}\text{U}$ and ^{240}Pu are performed. It is shown importance of the simultaneous account of the surface oscillations of quadrupole-octupole type.
8. Explicit expressions for inter/intra-band reduced E1-and E2-transitions probabilities of yrast-, first and second non-yrast-bands are obtained. A comparison of calculated values of E2-transitions probabilities in yrast-, first

and second non-yrast-bands of identical parity for nuclei: ^{150}Nd , $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, ^{224}Ra , ^{228}Th , $^{232,234,236,238}\text{U}$, and also values E1-transitions probabilities yrast-, first and second non-yrast-bands of alternating parity for nuclei: $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, ^{224}Ra , $^{234,236,238}\text{U}$ and ^{240}Pu are performed. It is shown sensitivity of the E1-and E2-transitions probabilities to presence of quadrupole-octupole deformations.

9. The method of the account of non-axial degrees of freedom in formation of collective spectra of alternating parity of even-even nuclei, which leads to K-mixing effect is proposed. This approach is applied to the description of structure of the lowest energy levels of positive and negative parity in spectra of heavy even-even nuclei $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{230,232,234,238}\text{U}$ and ^{240}Pu . It is shown importance of accounting of contributions of longitudinal and transverse collective forms in a zigzag branching of energy levels of a rotational band at $K=0$ or with K-mixing for even-even nuclei ^{150}Sm , $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, $^{228,230,232}\text{Th}$, $^{230,232,234,238}\text{U}$ and ^{240}Pu .

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (Part I; I часть)

1. Шарипов Ш., Надырбеков М. С. Энергии коллективных состояний четно- четных ядер с квадрупольной и октупольной деформациями. // Узбекский физический журнал. - Ташкент (Узбекистан), 1998. - № 3. - С.12-20 (01.00.00. №5)

2. Шарипов Ш., Надырбеков М.С. О коллективных состояниях деформируемых неаксиальных четно-четных ядер // Узбекский физический журнал. - Ташкент (Узбекистан), 2000. - № 5-6 (2). - С.368-372 (01.00.00. №5)

3. Sharipov Sh., Nadirbekov M.S., Nuriev S.K. About Collective States for Even-Even Nuclei with Quadrupole and Octupole Deformations // Ukrainian physical journal. - Kiev (Ukraine), 2002. -vol. 47, N 10. - pp. 911-915 (01.00.00; №51)

4. Sharipov Sh., Nadirbekov M. S., Nuriyev S. K. Reduced Probabilities of E2 Transitions and Quadrupolar Moments of the Excited States of Deformable Nonaxial Even-Even Nuclei // Ukrainian physical journal. - Kiev (Ukraine), 2004. -vol. 49, N 9.- pp. 836-840 (01.00.00; №51)

5. Sharipov Sh., Nadyrbekov M.S. Electrical dipole and quadrupole transitions in even-even nuclei with quadrupole and octupole deformations // Ukrainian physical journal. - Kiev (Ukraine), 2005. -Vol. 50, N 1. - pp. 21-25 (01.00.00; №51)

6. Шарипов Ш., Надырбеков М.С., Нуриев С.К. Коллективные состояния четно-четных ядер с квадрупольной и октупольной деформациями // Известия Российской академии наук. Серия «Физика». - Москва (Россия), 2005. - т. 69, № 1 . - С.128-134 (01.00.00; №26)

7. Шарипов Ш., Надырбеков М.С., Юлдашева Г.А. Возбужденные состояния деформируемых неаксиальных четно-четных ядер // Узбекский физический журнал. - Ташкент (Узбекистан), 2009. - № 3 (11). –С.159-165 (01.00.00. №5).

8. Надырбеков М. С., Юлдашева Г. А. О коллективных возбужденных состояниях деформируемых неаксиальных четно-четных ядер // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. - Ташкент (Узбекистан), 2009.- № 3-4 (01.00.00. №7).

9. Шарипов Ш., Надырбеков М.С. Приближение асимметричного ротатора для четно-четных ядер с квадрупольной и октупольной деформациями // Узбекский физический журнал. - Ташкент (Узбекистан), 2009. - № 4 (11).- С.247-253 (01.00.00. №5).

10.Надырбеков М.С., Юлдашева Г.А. Коллективные возбужденные состояния четно-четных ядер в нейтронных цепочках N=90,92,94 // Узбекский физический журнал. - Ташкент (Узбекистан), 2011. - № 6 (13). -

C.387-393 (01.00.00. №5).

11.Надырбеков М.С., Юлдашева Г.А. Возбужденные коллективные состояния четно-четных тяжелых ядер // Узбекский физический журнал - Ташкент (Узбекистан), 2012. - № 2(14). - С.75-83 (01.00.00. №5).

12.Nadirbekov M.S., Yuldasheva G.A. States of Even-Even Nuclei in Neutron Chains with $N = 96, 98, 100$ // Ukrainian physical journal. - Kiev (Ukraine), 2012. -Vol. 57, N 8. - pp. 789-795 (01.00.00; №51)

13.Nadirbekov M. S., Yuldasheva G. A., Minkov N., Scheid W. Collective excited states in even-even nuclei with quadrupole and octupole deformations // International Journal of Modern Physics E. – Singapore, 2012. - vol. 21, № 4. -id. 1250044. -20p. (№ 39. Impact Factor Search; IF = 1.229).

14.Nadirbekov M.S., Yuldasheva G.A Excited collective states of heavy even-even nuclei // Physics of Atomic Nuclei. - Moscow (Russia), 2013. - vol. 76, N 3.- pp.303-312 (№ 39. Impact Factor Search; IF =0.457).

15.Nadirbekov M.S., Yuldasheva G.A. Triaxiality in excited states of lanthanide and actinide even-even nuclei // International Journal of Modern Physics E. - Singapore, 2014. - vol. 23, N 5. -id. 1450034. -16p. (№ 39.Impact Factor Search; IF = 1.229).

16.Надырбеков М.С., Коржовов М.Ж. Возбужденные коллективные состояния деформируемых четно-четных ядер // Узбекский физический журнал. - Ташкент (Узбекистан), 2014. - № 1(16). - С.9-18 (01.00.00. №5).

17.Надырбеков М.С., Бозаров О. А. Неаксиальность четно-четных лантанидов и актинидов в возбужденных коллективных состояниях // Ядерная физика. - Москва (Россия), 2016. - т. 79, № 3. - С.1-8 (№ 39.Impact Factor Search; IF = 0.457).

18.Nadirbekov M.S., Minkov N., Scheid W., Strecker M. Application of the triaxial quadrupole-octupole rotor to the ground and negative-parity levels of actinide nuclei // International Journal of Modern Physics E. - Singapore, 2016. - vol. 25, N 3. -id. 1650022. -14с. (№ 39.Impact Factor Search; IF = 1.229).

19.Надырбеков М.С., Бозаров О.А. Приведённые вероятности E2-переходов между возбуждёнными коллективными состояниями неаксиальных чётно- чётных ядер // Ядерная физика. - Москва (Россия), 2017. - т. 80, № 1. -С.48-62 (№ 39.Impact Factor Search; IF = 0.457).

И бўлим (Part II; II часть)

20.Шарипов Ш., Надырбеков М.С. Энергии коллективных состояний четно- четных ядер с квадрупольной и октупольной деформациями // 50 лет ядерным оболочкам: Международная конференция по ядерной физике. - Санкт-Петербург, 1999. - С. 399.

21.Шарипов Ш., Надырбеков М.С. The collective excited states of deformed triaxial even-even nuclei // Modern problems of nuclear physics: 3rd International Conference, Bukhara,1999. – Tashkent, 1999. - pp.116-117.

22.Шарипов Ш., Надырбеков М.С. Коллективные возбужденные

состояния четно-четных ядер с квадрупольной и октупольной деформациями // Международная конференция по ядерной физике. -Санкт-Петербург (Россия), 2000. - С.144.

23. Шарипов Ш., Надырбеков М.С., Нуриев С.К. Вращательная полоса деформируемых нечетно-нечетных ядер // Международная конференция по ядерной физике. -Санкт-Петербург (Россия), 2000. -С.145.

24. Шарипов Ш., Надырбеков М.С. Коллективные возбужденные состояния деформируемых четно-четных ядер с квадрупольной и октупольной деформациями // Свойства возбужденных состояний атомных ядер и механизмы ядерных реакций: LI Международное совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. –Саров (Россия), 2001. - С. 116.

25. Sharipov Sh., Nadirbekov M.S., Nuriyev S.K. Collective Excited States of Even-Even Nuclei with Quadrupole and Octupole Deformations // 5th International conference “Modern problems of nuclear physics” Uzbekistan, Samarkand, 2003. – Tashkent, 2003. -P.138-139.

26. Шарипов Ш., Надырбеков М.С. Коллективные возбужденные состояния четно-четных ядер с квадрупольной и октупольной деформациями // Ядерная и радиационная физика: 4 Межд. конф. 15-17 сентября 2003. – Алматы (Казахстан). – С. 141

27. Sharipov Sh., Nadirbekov M.S., Nuriev S.K. Collective excited states even-even nuclei with quadrupole and octupole deformations // 4th Conference on Nuclear Physics and Particle Physics (NUPPAC’03) 2003, 11-15-October. – Fayoum (Egypt), 2003. -pp.130

28. Шарипов Ш., Надырбеков М.С., Нуриев С.К. Коллективные возбужденные состояния четно-четных ядер с квадрупольной и октупольной деформациями // 53 Международное совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра 7 - 10 октября 2003. – Москва: МГУ, 2003. - С.145

29. Sharipov Sh., Nadirbekov M.S. The rotational-vibrational excited states of even-even nuclei with quadrupole and octupole deformation. // A New Era of Nuclear Structure Physics: International symposium 19-22-November 2003. - Niigata (Japan). -pp. 156.

30. Sharipov Sh., Nadirbekov M.S. Energy levels of collective states in even-even nuclei with quadrupole and octupole deformations // The sixth international conference “Modern problems of nuclear physics” 19-22 September 2006.- Tashkent (Uzbekistan), 2006. -pp.124

31. Надырбеков М.С. Приближения жесткого ассиметричного ротатора для четно-четных ядер с квадрупольной и октупольной деформациями // 58 Международное совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра “Ядро-2008” 23 - 27 июня 2008. - Москва, 2008. -С.192.

32. Надырбеков М.С., Юлдашева Г.А. Возбужденные состояния неаксиальных четно-четных ядер // Ядерная и радиационная физика: 4 Межд. конф. 8-11 сентября 2009. – Алматы (Казахстан), 2009. – С. 37

33. Надырбеков М.С., Юлдашева Г.А. Возбужденные состояния

неаксиальных четно-четных ядер // Современная физика и её перспективы: Материалы Респ. конф. 12-13-ноября 2009. – Ташкент (Узбекистан), 2009. - С.174-177

34.Надырбеков М.С., Юлдашева Г.А. Возбужденные состояния неаксиальных четно-четных ядер // Материалы 7-ой международной конференции "Ядерная и радиационная физика" 8-11 сентября 2009. - Алматы: ИЯФ НЯЦ РК, 2010. - С.39-41.

35.Nadirbekov M.S., Abduvohidov A.L. Adiabatic approximation for even-even nuclei with quadrupole and octupole deformations // International Nuclear Physics Conference 2010 (INPC2010) 4-9 July 2010. – Vancouver (Canada), 2010. – pp. 114

36.Надырбеков М.С., Абдувохидов А.Л. Возбужденные коллективные состояния деформируемых четно-четных ядер // "Актуальные вопросы мирного использования атомной энергии": Международная конференция молодых ученых 6-8 июня 2012. . - Алматы (Казахстан), 2012. – С.14

37.Nadirbekov M.S. Excited collective states of even-even nuclei // 9th International Conference "Nuclear and Radiation Physics", 24-27 September, 2013. – Almaty (Kazakhstan), 2013. -pp.109.

38.Надырбеков М.С., Коржовов М.Ж. Приведенные вероятности E2-переходов в неаксиальных четно-четных ядрах // Тезисы докладов Международной конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», посвященная 70- летию Физико-технического института НПО «Физика – Солнце» АН РУз, 14-15 ноября 2013 г. - Ташкент:ФТИ АН РУ, 2013. - P. 38

39.Nadirbekov M.S., Temirov F.N. Reduced E2-transition probabilities in excited collective states of triaxial even-even heavy nuclei // 10th International Conference "Nuclear and Radiation Physics", September 8-11, 2015. – Kurchatov (Kazakhstan), 2015. - P.103

40.Nadirbekov M.S. Reduced E2-transition probabilities in the excited collective states of triaxial even-even nuclei // 35th International workshop on Nuclear Theory 26 June-2 July 2016. - Rila Mountains (Bulgaria), 2016. - pp. 32.

41.Nadirbekov M.S. Reduced E2-Transition Probabilities in the Excited Collective States of Triaxial Even-Even Nuclei // Proceedings of the 35th International Workshop on Nuclear Theory. - Heron Press, Sofia (Bulgaria), 2016. - vol. 35. -pp.181-193.

42.Nadirbekov M.S., Kurbanov I.I., Shodmonov K.K., Mirzakarimov B.A. Triaxiality in excited collective states of even-even nuclei // Фундаментальные и прикладные вопросы физики: Труды Международной конференции 13-14 июня 2017. – Ташкент: ФТИ НПО Физика-Солнце АН РУз, 2017. - С.43-46

Автореферат “Тил ва адабиёт таълими” журнали таҳририятида
тахрирдан ўтказилди (18.06.2018 йил)

Бичими 60x84¹/₁₆. Ризограф босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 3,2. Адади 100. Буюртма № 24.

«ЎзР Фанлар Академияси Асосий кутубхонаси» босмахонасида чоп этилган.
Босмахона манзили: 100170, Тошкент ш., Зиёлилар кўчаси, 13-уй.