

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР
БЕРУВЧИ DSc.02/30.12.2019.FM/Т.33.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ

КУДИРАТОВ СУННАТИЛЛО НОРБОЕВИЧ

**ОҒИР ЖУФТ-ЖУФТ ЯДРОЛАРДАГИ YRAST- ВА NON-YRAST-
ПОЛОСАЛАРНИНГ ЎЗГАРУВЧАН ЖУФТЛИКДАГИ УЙҒОНГАН
КОЛЛЕКТИВ ҲОЛАТЛАРИ ВА “STAGGERING” ЭФФЕКТЛАР**

01.04.08 – Атом ядроси ва элементар зарралар физикаси, тезлаштирувчи техника

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
АВТОРЕФЕРАТИ**

Ташкент – 2021

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по физико-математическим наукам**

**Content of the dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD) on
physical and mathematical sciences**

Кудиратов Суннатилло Норбоевич

Оғир жуфт-жуфт ядролардаги $yrast$ ва $non-yrast$ полосаларнинг
ўзгарувчан жуфтликдаги уйғонган коллектив ҳолатлари ва
“staggering” эффектлар..... 3

Кудиратов Суннатилло Норбоевич

Возбужденные коллективные состояния $yrast$ - и $non-yrast$ -полос
переменной четности и “staggering” эффекты в тяжелых четно-
четных ядрах..... 19

Kudiratov Sunnatillo Norboevich

Excited collective states of $yrast$ and $non-yrast$ alternating-parity bands and
staggering effects in heavy even-even nuclei..... 35

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published

works..... 39

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР
БЕРУВЧИ DSc.02/30.12.2019.FM/Т.33.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ

КУДИРАТОВ СУННАТИЛЛО НОРБОЕВИЧ

**ОҒИР ЖУФТ-ЖУФТ ЯДРОЛАРДАГИ YRAST- ВА NON-YRAST-
ПОЛОСАЛАРНИНГ ЎЗГАРУВЧАН ЖУФТЛИКДАГИ УЙҒОНГАН
КОЛЛЕКТИВ ҲОЛАТЛАРИ ВА “STAGGERING” ЭФФЕКТЛАР**

01.04.08 – Атом ядроси ва элементар зарралар физикаси, тезлаштирувчи техника

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
АВТОРЕФЕРАТИ**

Ташкент – 2021

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.1.PhD/FM576 рақами билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси Ядро физикаси институтида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:

Надирбеков Махмуджон Сулайманович

физика-математика фанлари доктори, катта илмий ходим

Расмий оппонентлар:

Турсунов Эргаш Махкамович

физика-математика фанлари доктори, катта илмий ходим

Олимов Қосим

физика-математика фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Самарканд давлат университети

Диссертация ҳимояси Ядро физикаси институти ҳузуридаги DSc.02/30.12.2019.FM/Т.33.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил _____ соат _____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100214, Тошкент шаҳри, Улуғбек қўрғони, Ядро физикаси институти. Тел.: (+998) 71-289-31-41; факс: (+99871) 289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

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

Диссертация автореферати 2021 йил «__» _____ куни тарқатилди.
(2021 йил «__» _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси)

М. Ю. Ташметов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, ф.-м.ф.д, профессор

О. Р. Тожибоев

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш котиби, ф.-м.ф. PhD

И. Нуриддинов

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Дунёда hozirgi кунда оғир ядроларнинг спектроскопик характеристикалари тўғрисида ишончли маълумот олиш атом ядролари тузилиши замонавий назариясининг энг муҳим вазифаларидан биридир. Энергия ва спинларнинг кетма-кетлиги, шунингдек, электр мултипол ўтиш эҳтимоллиги ва электр мултипол моментларининг ўртача қийматлари каби уйғонган коллектив ҳолатларнинг хусусиятлари ядро шаклига ва унинг деформациясига боғлиқ. Яқин ўтмишда оғир ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг спектроскопик хусусиятлари турли муаллифлар томонидан турли хил моделлар доирасида геометрик, алгебраик ва микроскопик яқинлашувлар асосида кенг ўрганилди.

Жаҳонда кўп оғир ядроларнинг айланма энергетик спектрлари квадрупол деформациялар билан аниқланади, октупол деформациялари асосан лантанидлар ва актинидларда содир бўлади. Аксиал квадрупол ва октупол деформацияланувчи ядроларнинг спектроскопик хусусиятлари кўпгина илмий ишларда батафсил кўриб чиқилган, аммо улар ўзгарувчан жуфтликнинг юқори спинли ҳолатларини ҳисобга олмаган. Бошқача айтганда, айланма энергетик сатҳлар спектрининг спинларининг бир неча бирликка ўзгариши билан боғлиқ “zigzag” кўринишидаги тармоқланиш “staggering”-эффект дейилади, ҳамда аксиал-симметрик жуфт-жуфт ядролар учун, $K=0$ бўлганда ўрганилган (K -ядро спинининг унинг симметрия ўқиға проекцияси). Оғир ноаксиал жуфт-жуфт ядроларнинг коллектив уйғонган ҳолатлари γ -полосаси энергетик сатҳларида ҳам $\Delta I=1$ “staggering”-эффектини кузатиш мумкин. Аммо, ноаксиал ядроларнинг γ -полосида кузатилган “staggering”-эффектининг назарий тушунтирилиши амалға оширилмаган. Шу сабабли юқорида таъкидланган оғир жуфт-жуфт ядроларнинг фундаментал спектроскопик хусусиятларини аниқлашға имкон берадиган ноадиабатик коллектив моделни аниқ ядроларға қўлланилиши ниҳоятда долзарбдир.

Мамлакатимизда ядро физикасининг турли йўналишларини ривожлантириш ҳамда дунё миқёсида фундаментал муаммоларни ҳал этиш бўйича кенг қамровли чора-тадбирлар амалға оширилиб, муайян натижаларға эришилмоқда. Республикамизда илм-фаннинг муваффақиятли ривожланиши учун фундаментал тадқиқотлар ва ишланмаларнинг асосий йўналишлари ва уларни амалий қўллаш Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича 2017–2021 йилларға мўлжалланган Стратегиясида¹ ўз аксини топган.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”, 2017 йил 16 февралдаги ПФ-4958-сон “Олий ўқув юртидан

¹Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги № ПФ-4947 сон «2017–2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегияси» Фармони

кейинги таълим тизимини янада такомиллаштириш тўғрисида” Фармонлари, 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сон “Фанлар Академияси фаолиятини янада такомиллаштириш, илмий ишларни ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштириш бўйича чора тадбирлар тўғрисида” Қарори, ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот иши Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг II. «Энергетика, энергия тежамкорлиги ва муқобил энергия манбалари» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ядро сирт тебранишларининг турли хил потенциал энергиялари учун Бор гамилтониани билан Шредингер тенгламасининг ечими жахоннинг етакчи илмий марказларининг олимлари, масалан: болгариялик (N. Minkov, S. Drenka, P. Yotov), германиялик (W. Greiner, Amand 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), ўзбекистонлик (Р. Б. Бегжанов, Ш. Шарипов, Б. Ч. Чориев, П. Н. Усманов, М. Дж. Эрмаматов) ва бошқалар томонидан ўрганилган. Бироқ, бу ишларда юқори спинли коллектив ҳолатлар ўрганилмаган, ҳамда кўндаланг тебранишларнинг ҳиссаси қисман ҳисобга олинган ёки умуман ҳисобга олинмаган.

Аксиал-симметрик жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги уйғонган ҳолатларининг энергетик спектрини турли хил моделлар асосида ўрганиш болгариялик (N. Minkov, P. Yotov, S. Drenka), германиялик (W. Scheid, M. Strecker), украиналик (В. Ю. Денисов, А. Я. Дзюблик), грециялик (D. Bonatsos, D. Lenis, D. Petrellis), ўзбекистонлик (Р. Б. Бегжанов, Ш. Шарипов, Б. Ч. Чориев, П. Н. Усманов, М. С. Надирбеков, М. Дж. Эрмаматов) ва бошқа олимлар томонидан амалга оширилган.

Аммо ушбу ишларда ўзгарувчан жуфтликдаги айланиш спектрининг тармоқланиши лантанидларни яхши тавсифлайди, актинидларнинг шундай хусусиятларини эса тавсифламайди. Оғир ионлар билан ўтказилган реакциялар уйғонган коллектив юқори спинли ҳолатлар ҳақида маълумот олишнинг асосий манбаи ҳисобланади. Бундай ҳолатлар оғир ядроларни уйғонган коллектив спектрининг асосий-полосасида кузатилади. Шу билан бирга, γ -полоса спектрида юқори спинли ҳолатларни кузатиш мумкин, яъни $I=10\div 14$. Бу эса, оғир жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатлари γ -полосасида бундай спинли қийматларга эга энергетик сатҳларда $\Delta I=1$ “staggering”-эффектни кузатиш имконини беради.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Фанлар Академияси Ядро физикаси институти

илмий тадқиқотлар режасининг Ф2-ФА-Ф117 ”Ядровий астрофизикада ядроларнинг фундаментал характеристикаларининг динамик хусусиятларини ўрганиш” (2012–2016); ОТ-Ф2-14 ”Ўзаро кучли таъсирлашувчи кўп-заррали квант системаларнинг коллектив ва микроскопик хусусиятларни тадқиқ қилиш” (2017–2020); БФ2-006 ”Бўлиниш маҳсулотларини ва трансурани изотопларнинг фаоллигини минималлаштириш ва уларнинг ВВР-СМ ядро реакторининг структуравий материалларга таъсирини ўрганиш” (2017–2020) мавзусидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади оғир жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгармас ва ўзгарувчан жуфтликдаги уйғонган коллектив ҳолатларининг спектроскопик характеристикаларини аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари.

аксиал-симметрик жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги уйғонган коллектив ҳолатларининг энергетик спектри ва тўлқин функцияларининг аниқ кўринишдаги ифодаларини ноадиабатик модел асосида гармоник осциллятор ва Гаусс потенциаллари учун олиш;

энергетик спектрнинг $yrast$ - ва биринчи $non-yrast$ -полосаларини ҳисоблаш ва уларни эксперимент натижалари билан солиштириш, бунда уйғонган ҳолатлардаги ядро шакл деформациясининг ўзгариши ҳисобга олинади;

аксиал-симметрик жуфт-жуфт ядроларнинг энергетик спектридаги полосалараро/ичида $E1$ - ва $E2$ - ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари ифодаларини олиш ва уларни ҳисоблаш, ҳамда эксперимент натижалари билан солиштириш;

$E1$ - ва $E2$ - ўтишларнинг уйғонган коллектив ҳолатлардаги тармоқланишини таҳлил қилиш ва уларнинг квадрупол-октупол сирт тебранишларга сезгирлигини аниқлаш;

аксиал-симметрик жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги уйғонган коллектив ҳолатларининг $yrast$ -полосаси энергетик спектридаги тоқ-жуфт $\Delta I=1$ ”staggering” эффект кўринишини таҳлил қилиш ва уни таклиф этилаётган яқинлашув асосида тавсифлаш;

тоқ-жуфт $\Delta I=1$ ”staggering” эффектни ноаксиал жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатлари γ -полосаси энергетик спектридаги кўринишини баҳолаш.

Тадқиқотнинг объектини ўта-оғир ва оғир жуфт-жуфт ядролар ташкил этади.

Тадқиқотнинг предметини жуфт жуфт ядроларнинг статик ва динамик хусусиятлари, уйғонган коллектив ҳолатлар энергетик спектридаги $E1$ - ва $E2$ - ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари, $yrast$ - ва мусбат γ -полосалар айланма спектридаги тармоқланишини ташкил этади.

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

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

жуфт-жуфт оғир ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги коллектив уйғонган ҳолатлари спектрини тавсифлаш учун айланма моментнинг ҳар бир қийматида

марказдан қочма потенциал энергиянинг мувозанат вазиятини ўзгаришини ҳисобга олувчи модел коллектив гамилтонианининг параметрлаш усули таклиф этилган;

ураст- ва биринчи non-urast-полосалар орасидаги/ичидаги E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларини ҳисоблаш ифодалари олинган ва бу ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари квадрупол-октупол типидagi сирт тебранишларининг динамикасига сезгирлиги кўрсатилган;

аксиаль-симметрик жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги urast-полосасидаги $\Delta I=1$ "staggering"-эффeктнинг зиг-заг кўриниши аниқланган, у энергетик сатҳ жуфтлигининг ўзгариши ва ядро айланма харакатининг унинг сирт тебранишлари орасидаги ўзаро таъсирлашуви туфайли юзага келиши кўрсатилган;

γ-полоса энергетик сатҳларидаги $\Delta I=1$ "staggering" эффeктнинг зигзаг кўриниши SU(3) динамик симметрия доирасида асосий ва γ-полосаларнинг ўзаро кучли боғланиши туфайли юз бериши аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

ноаксиал жуфт-жуфт ядроларнинг мусбат жуфтликдаги γ-полоса энергетик сатҳларидаги $\Delta I=1$ "staggering"-эффeкт кўриниши аниқлаш учун ноадиабатик коллектив моделни ихтиёрий ноаксиаллик яқинлашуви такомиллаштирилган;

Олинган натижаларнинг ишончлилиги ноадиабатик коллектив модел асосида деформацияланган оғир жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгармас/ўзгарувчан жуфтликдаги уйғонган айланма-тебранма ҳолатларнинг энергетик спектрини аниқлаш билан тасдиқланади. Таклиф этилган моделнинг қўлланилиши ўта оғир ядроларнинг қўшилиш реакциясида олинган айланувчи ядронинг яшаш вақтини баҳолаш билан аниқланади. Олинган натижаларни ядровий жараёнларни кесим юзасини ҳисоблашда фойдаланиш ва ядро спектроскопиясида янги экспериментларни режалаштиришда фойдаланиш мумкин.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти такомиллаштирилган моделлар асосида олинган назарий натижаларни оғир ва ўта оғир жуфт-жуфт ядроларнинг замонавий экспериментларда олинган фундаментал спектроскопик характеристикаларини таҳлили билан аниқланади ва бу натижалар ўта оғир ядроларни синтез қилиш реакцияларида, ҳамда уларнинг яшаш вақтини баҳолашда қўллаш билан белгиланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти оғир ядроларни синтез қилиш реакцияларида олинган айланувчи ядронинг яшаш вақтини баҳолашга, коллектив уйғонган ҳолатлар энергетик спектрини ва бу спектрда полосалар-аро/ичида мультипол ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари ва бу ўтишларнинг тармоқланишини аниқлашдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Оғир жуфт-жуфт ядроларнинг ўхшаш ва ўзгарувчан турдаги уйғонган коллектив спектрининг спектроскопик хусусиятларини аниқлаш бўйича олинган илмий хулосалар асосида тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши:

марказдан қочма потенциал энергиянинг айланма моментининг ҳар бир қиймати учун ўзгариши ҳисобга олинган коллектив модел гамилтонианининг таклиф этилган янги параметрлаш усули ФА-Ф2-Ф112 “Ядровий материянинг юқори ва қуйи энергиялардаги хусусиятлари ва ҳолатларини экспериментал тадқиқ этиш” (2012-2016) (Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг 2021 йил 30 сентябрдаги №2/1255-2686 - сон маълумотномаси) ва ОТ-Ф2-75- “Ўта оғир, трансурани ва ноёб соҳалардаги деформацияланган ядроларнинг айланма сатҳлари хусусиятларини тадқиқ этиш” 2017/2020 (Наманган муҳандислик технология институтининг 2021 йил 16 сентябрдаги 3469-024-сон маълумотномаси) фундаментал лойихалар доирасида фойдаланилган. Илмий натижаларнинг қўлланилиши бўлиниш реакциясидаги оғир фрагментларнинг асосий ва уйғонган ҳолатларини, ҳамда ундаги енгил ва оғир фрагментларнинг деформация параметрларини ва ^{150}Nd , ^{154}Sm , $^{154,160}\text{Gd}$, $^{162,164}\text{Er}$, $^{228,232}\text{Th}$, $^{230,236,238}\text{U}$ ва ^{240}Pu ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатлари мувозанат вазиятининг ўзгаришини ҳисобга олишни, шунингдек оғир ядроларнинг турли полосалардаги спектрини аниқлашга имкон берган.

ураст- ва биринчи non-ураст-полосалар орасидаги/ичидаги E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари ОТ-Ф2-75- “Ўта оғир, трансурани ва ноёб соҳалардаги деформацияланган ядроларнинг айланма сатҳлари хусусиятларини тадқиқ этиш” 2017/2020 (Наманган муҳандислик технология институтининг 2021 йил 16 сентябрдаги 3469-024-сон маълумотномаси) фундаментал лойиха доирасида фойдаланилган. Илмий натижаларнинг қўлланилиши оғир ядроларнинг коллектив уйғонган ҳолатлари спектрининг ядро сиртининг квадрупол-октупол турдаги тебранишларга сезгирлигини аниқлашга имкон берган;

оғир жуфт-жуфт аксиал ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги ураст -полосаси ва ноаксиал ядроларнинг мусбат жуфтликдаги γ -полосаси энергетик спектридаги $\Delta I=1$ “staggering”-эффектнинг кўриниши ОТ-Ф2-75- “Ўта оғир, трансурани ва ноёб соҳалардаги деформацияланган ядроларнинг айланма сатҳлари хусусиятларини тадқиқ этиш” 2017/2020 (Наманган муҳандислик технология институтининг 2021 йил 16 сентябрдаги 3469-024-сон маълумотномаси) фундаментал лойиха доирасида фойдаланилган. Илмий натижаларнинг қўлланилиши оғир ядроларнинг коллектив уйғонган ҳолатлари спектрининг нозик структурасини аниқлашга имкон берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация ишининг асосий натижалари 6 та ҳалқаро ва республика илмий-амалий конференцияларида муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 10 та илмий иш чоп қилинган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий журналларда 4 та мақола, шундан 3 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг ҳажми 86 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида мавзунинг долзарблиги ва ишончилиги асосланди, ишнинг мақсади ва вазифалари шакллантирилди, тадқиқот объекти, предмети ва усуллари аниқланди, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикасида фан ва техника тараққиётининг устувор йўналишларига мувофиқлиги аниқланди, тадқиқотнинг илмий янгилиги баён қилинди, олинган натижаларнинг ишончилиги асосланди, уларнинг назарий ва амалий аҳамиятлари очиқ берилди, натижаларнинг жорий этилиши ва ишнинг апробацияси, шунингдек диссертациянинг тузилиши ҳақида қисқача маълумот берилди.

Диссертациянинг «**Моделнинг асосий тенгламалари**» деб номланган биринчи бобида фойдаланилаётган но-адиабатик коллектив моделнинг асосий ғоялари, шунингдек бу ғоялар асосида олинган ва ушбу диссертацияда фойдаланилаётган тенгламалар ифода этилган.

Жуфт-жуфт ядроларнинг коллектив квадрупол ва октупол уйғонишининг умумий назарияси, етита динамик ўзгарувчиларга эга Бор гамилтониани билан аниқланади: 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 қуйидагича 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 $(\gamma; \eta)$ тебранишлар кинетик энергияларининг операторлари; $\hat{T}_{rot}(\gamma, \eta)$ - айланма энергия оператори; $V(\beta_2, \beta_3, \gamma, \eta)$ - бўйлама ва кўндаланг тебранишлар потенциал энергияси.

Бор гамилтониани (1) билан Шредингер тенгламасининг ечими умумий ҳолда жуда мураккаб ва хозирча бу ечим топилган йўқ. Шу сабабли, ушбу ноадиабатик модел доирасида турли Шредингер тенгламасини ечишнинг турли ҳолатлари қаралган:

1) квадрупол ва октупол тебранишларнинг кўндаланг ҳаракат формаси ҳисобга олинмайди, яъни $\gamma=0$ ва $\eta=0$. Бу ҳолатда гамилтониан (1) аксиал-симметрик жуфт-жуфт ядроларнинг хоссаларини тавсифлайди, у бешта динамик ўзгарувчилар (β_2 , β_3 ва Эйлер бурчаклари) аниқланади ва қуйидаги кўринишга эга:

$$\hat{H}_{23} = \hat{T}_{\beta_2} + \hat{T}_{\beta_3} + \hat{T}_{rot} + V(\beta_2, \beta_3), \quad (2)$$

бу ерда \hat{T}_{rot} - $\gamma=0$ ва $\eta=0$ да айланма энергия оператори.

Жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг хусусиятлари:

энергетик спектри ва E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари 2 ва 3 бобларда ўрганилган.

2) гамилтонианда октупол тебранишларнинг ҳаракат формаси ҳисобга олинмайди. Бу ҳолда (1) гамилтонианда ноаксиал жуфт-жуфт ядроларнинг квадрупол уйғонган ҳолатлари бешта динамик ўзгарувчилар билан тавсифланади (β_2 , γ ва Эйлер бурчаклари) ва гамилтониан (1) қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\hat{H}_2 = \hat{T}_{\beta_2} + \hat{T}_{\gamma} + \hat{T}_{rot}(\gamma) + V(\beta_2, \gamma). \quad (3)$$

(3) гамилтониан билан тавсифланувчи ноаксиал жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг хусусиятлари 4 бобда ўрганилган.

Диссертациянинг «**Аксиал-симметрик жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги уйғонган коллектив ҳолатлари**» деб номланган иккинчи боби жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги уйғонган коллектив ҳолатларини ўрганишга бағишланган.

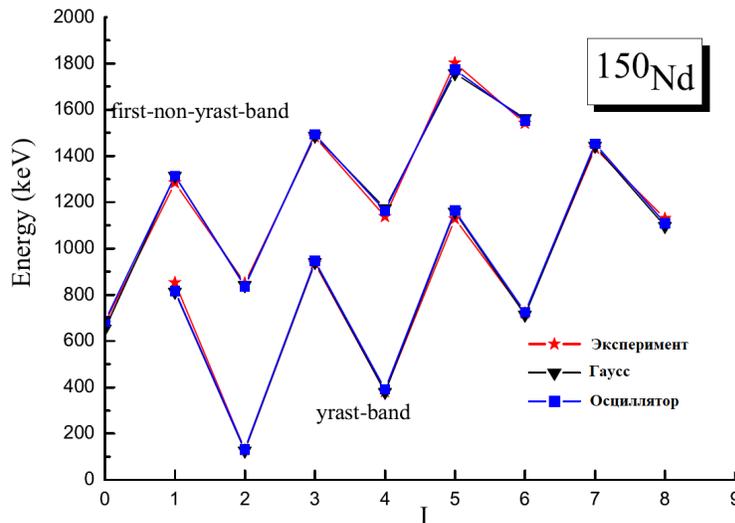
Диссертациянинг ушбу бобида ядроларнинг нозик коллектив ҳаракат хусусиятларининг кўзгу-симметрик эркинлик даражалари ҳолида гармоник осциллятор ва Гуасс потенциалларини қўлланилиши билан ўрганилган. Қўлланилган формализм сирт тебранишлар энергиясини айланма моментга эга марказдан қочма энергиянинг мувозанат ҳолатининг ўзгариши ҳисобига ўзгаришини ҳисобга олади. Тебранма ва айланма эркинлик даражаларининг динамик мувозанат шарти уйғонган коллектив ҳолатларнинг ҳар бир айланма моменти учун аниқланади. Бундан келиб чиқиб, оғир жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик спектрини яхшироқ тавсифлаш мақсадида модел гамилтонианни янги параметрлаш усули таклиф қилинди. Ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик спектри ва тўлқин функциялари, квадрупол деформацияланувчи ядролар учун киритилган Давидов-Чабан усулида олинди. Таклиф этилган яқинлашув мусбат ва манфий жуфтликдаги ν -полоса энергетик спектрдан ташқари, ўзгарувчан жуфтликдаги биринчи non- ν -полоса энергетик спектрини ҳам тавсифлаш имконини беради.

Лантанидлар ва актинидлар соҳасидаги жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг ν - ва биринчи non- ν -полосаларидаги энергетик сатҳлари ўрганилди. Қаралаётган полосалардаги энергетик сатҳлар ушбу эркин параметрлар: $\hbar\omega$ (в кэВ), μ , ϵ_0^+ , ϵ_0^- (ν -полоса), ϵ_1^+ , ϵ_1^- (биринчи non- ν -полоса) тавсифланади. Берилган ν квант сон учун параметрлар: ϵ_ν^+ ва ϵ_ν^- - мусбат ва манфий жуфтликдаги бурчак тебранишларининг келтирилган энергияларидир. Улар ядроларнинг кузгу-асимметрик шакллари ажратиб турадиган потенциал тўсиқ остида кечувчи туннел эффекти туфайли жуфтликнинг силжишини таъминлайди (доимо $\epsilon_\nu^+ < \epsilon_\nu^-$). μ (ўлчамсиз) катталиқ қаттиқлик параметри, ν σ -тебранишлари билан боғланган ноадиабатик параметр ҳисобланади. $\mu > 1/3$ учун

ядро сирти юмшоқ, акс ҳолда у қаттиқ. Фойдаланилган параметрлар кичик квадратлар методи орқали аниқланган.

Ўзгарувчан жуфтликдаги yrast- ва биринчи non-yrast-полосаларнинг ҳисобланган энергетик сатҳларининг экспериментал натижалари билан солиштирилганда, лантанидлар соҳасидаги: ^{150}Nd , $^{152,154}\text{Sm}$, ^{154}Gd , ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$ ва актинидлар соҳасидаги $^{156,158}\text{Gd}$, ^{224}Ra , ^{228}Th , $^{232,234,236,238}\text{U}$, ^{240}Pu ядролар учун кониқарли мос келади. Кўриб чиқиладиган ядролар учун RMS қийматлари (энергетик сатҳларнинг назарий ҳисобланган қийматларини уларнинг экспериментал қийматларидан ўрта квадратик четланиши) ҳисобланди, таъкидлаш лозимки RMS қиймати (~ 100 кэВда) турли яқинлашувларнинг қўлланилиши учун яхши мезон ҳисобланади.

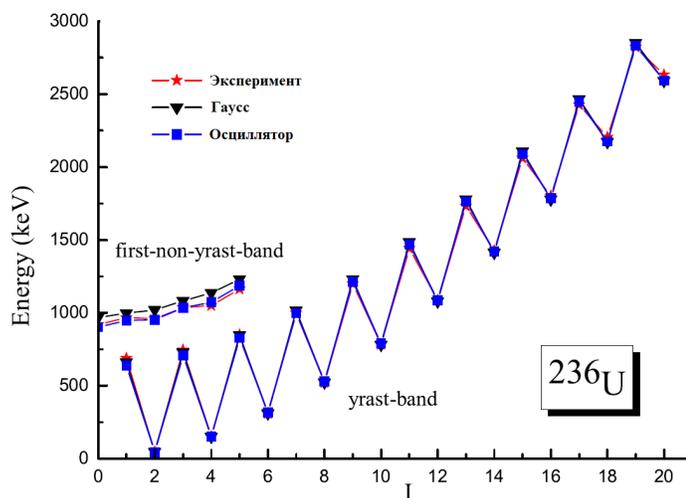
1 ва 2-расмларда ўзгарувчан жуфтликдаги yrast- ва биринчи non-yrast-полосаларнинг энергетик сатҳларининг назарий ва экспериментал қийматларнинг ^{150}Nd ва ^{236}U ядролар учун солиштирилиши келтирилган.



1-расм. Ўзгарувчан жуфтликдаги yrast- ва биринчи non-yrast-полосаларнинг энергетик сатҳларининг назарий ва экспериментал қийматларини ^{150}Nd ядроси учун солиштириш: $\hbar\omega=682.03$ кэВ, $\epsilon_0^+=0.061$, $\epsilon_0^-=7.73$, $\epsilon_1^+=0.35$, $\epsilon_1^-=4.39$, $\mu=0.4127$, $\text{RMS}=20.76$ кэВ; ва Гаусс потенциали учун: $\hbar\omega=791.83$ кэВ, $\epsilon_0^+=0.06$, $\epsilon_0^-=15.68$, $\epsilon_0^+=1.59$, $\epsilon_0^+=6.828$, $\mu=0.375$, $\text{RMS}=24.56$ кэВ.

Диссертациянинг ушбу бобида ноадиабатик коллектив модел асосида квадрупол ва октупол деформацияланувчи оғир жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги yrast- ва биринчи non-yrast-полосаларнинг энергетик сатҳларининг назарий тавсифлаш тақдим этилди. Шредингер тенгламасининг гармоник осциллятор ва Гаусс потенциаллари учун ечимлари топилди. Иккала потенциал билан биргаликда ишлаш, ҳамда тебранма-айланма ҳолатларнинг айланма моментларининг ўсиши билан эффектив мувозанатли деформациянинг

Ўзгаришини қараш яқинлашувнинг ажралиб турадиган хусусиятидир. Кўриб чиқилаётган яқинлашув асосида иккита потенциалдан фойдаланган ҳолда олинган тавсифлаш уларни биргаликда ишлаш ва умумий параметрлаш билан боғлиқдир. Ушбу жиҳатдан, олинган натижа уларни каралаётган ядролар соҳасида квадрупол-октупол муаммосига бир хил асосда қўлланиш имконини беради. Гаусс потенциали учун олинган натижалар квант механик потенциал ўрада жойлашган заррачанинг туннел эффектларини таҳлил қилишда ҳам фойдалидир.



2-расм. Ўзгаручан жуфтликдаги yrast- ва биринчи non-yrast-полосаларнинг энергетик сатҳларининг назарий ва экспериментал кийматларини ^{236}U ядроси учун солиштириш: $\hbar\omega=887.721$ кэВ, $\epsilon_0^+=0.594$, $\epsilon_0^-=13.879$, $\epsilon_1'^+=0.28$, $\epsilon_1'^-=0.343$, $\mu=0.222$, $\text{RMS}=21.365$ кэВ ва Гаусс потенциали учун: $\hbar\omega=966.45$ кэВ, $\epsilon_0^+=0.34$, $\epsilon_0^+=29.697$, $\epsilon_0^+=.2277$, $\epsilon_0^+=0.242$, $\mu=0.2112$, $\text{RMS}=36.68$ кэВ

Диссертациянинг «Ўхшаш/ўзгарувчан жуфтликдаги уйғонган коллектив ҳолатлар орасидаги E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари» деб номланган учинчи боби аксиал-симметрик жуфт-жуфт ядроларнинг ўхшаш/ўзгарувчан жуфтликдаги уйғонган коллектив ҳолатлар орасидаги E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларини ўрганишга бағишланган. Фойдаланилган ноадиабатик коллектив модель асосида деформацияланган аксиал-симметрик жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатлари yrast- ва биринчи non-yrast-полосалари орасидаги/ичидаги E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларини ҳисоблаш учун ифодалар олинди. Уйғонган коллектив ҳолатлар орасидаги/ичидаги E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларини (Вайскопф бирликларида (W. u.)) ҳисобланди ва уларнинг тармоқланиши таҳлил қилинди.

Орасидаги/ ичидаги E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари ядролар: $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, ^{224}Ra , $^{234,236,238}\text{U}$, ^{240}Pu , шунингдек

орасидаги/ичидаги E1-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари ядролар: $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, ^{224}Ra , $^{234,236,238}\text{U}$, ^{239}Pu ва ^{240}Pu учун ҳисобланди.

Таъкидлаш жоизки, уйғонган коллектив ҳолатлар орасидаги/ичидаги E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларини тавсифлаш жараёнида, уйғонган коллектив ҳолатлари *yrast*- ва биринчи *non-yrast*-полосалари энергетик сатҳларини тавсифлашда топилган параметрлардан фойдаланилди.

Таклиф этилган илмий иш уйғонган коллектив ҳолатлар орасидаги/ичидаги E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларини ноадиабатик коллектив модел асосида тавсифлаш имкони беради. Олинган модел формализм оғир жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик спектрини, улардаги орасида/ ичида E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларини, ҳамда келтирилган эҳтимолликлар тармоқланишини ягона нуқтаи назардан тавсифлаш имконини беради. Олинган натижалар ядроларнинг юқори тартибдаги уйғонган коллектив ҳолатларининг ўзгарувчан жуфтликдаги *non-yrast*-полосаларини тавсифлаш имконини беради. Бундан ташқари таклиф этилган модел асосида орасида/ ичида E1- ва E2-ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларини юқори спинлардаги қийматларини башорат қилиш имконияти мавжуд.

Диссертациянинг «**Жуфт-жуфт ядроларнинг энергетик спектридаги $\Delta I=1$ “staggering” эффе́ктлари**» деб номланган тўртинчи боби аксиал-симметрик жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги *yrast*-полоса энергетик спектридаги ва ноаксиал ядроларнинг ўхшаш жуфтликдаги γ -полосада энергетик спектридаги $\Delta I=1$ “staggering” эффе́ктнинг кўринишни ўрганишга бағишланган.

Ядро коллектив ҳаракатининг соф айланма ҳаракатидан оғишини яхши ўрганилган хар ҳил турлари мавжуд. Бу оғишлар натижасида ядро айланма ҳаракат спектрида “squeezing”, “backbending” ва “staggering” каби юқори тартибдаги эффе́ктлар кечади .

Муайян физик катталиқ функцияси сифатида маълум бир ядро характеристикасининг юқори тартибдаги ҳосилаларидан фойдаланиш жуфт-тоқ “staggering”-эффе́ктларнинг турли шакллари кўрсатади, улар ядровий ўзаро таъсирнинг нозик хусусиятларини ва шунга мос юқори тартибли коллектив динамика корреляцияларни намоён этади.

“Staggering”-эффе́ктлар ядро айланма моментлари I нинг бир неча бирликка фарқланувчи айланма полоса спектри кетма-кетлигини тармоқланишини билдиради. Масалан, $\Delta I=1$, $\Delta I=2$ ва $\Delta I=4$ каби “staggering” эффе́ктлар супер-деформацияланган ядроларнинг энергетик полосаларида кузатилади. Бу эффе́ктлар жуфт-жуфт ядроларда яхши маълум ва турли коллектив моделларни тест қилиш имконияти беради.

$\Delta I=1$ “staggering”-эффе́ктлар жуфт-жуфт ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги *yrast*- ва ўзгармас жуфтликдаги γ -полосаларида кузатилади. Бу эффе́кт ўзгарувчан белгили “zigzag” кўринишида намоён бўлади. Бундай ҳолатда бу эффе́ктнинг “тебраниши” ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик *yrast*-полосада катта амплитудага эга. Агар энергетик сатҳлар ягона полоса шакллантирса $\Delta I=1$

“staggering”-эффект йўқолиб кетиши зарур. Энергетик полосаларнинг каралаётган структурасини батафсил баҳолаш учун энергиянинг айланма момент функцияси сифатидаги юқори тартибли ҳосиласи қўлланилади.

$\Delta E(I) = \Delta E(I+1) - E(I)$ функциянинг тўртинчи даражали ҳосиласини дискрет яқинлашувига пропорционал тоқ-жуфт “staggering” эффектни караймиз, у ушбу формула билан аниқланади:

$$Stag(I) = 6\Delta E(I) - 4\Delta E(I-1) - 4\Delta E(I+1) + \Delta E(I+2) + \Delta E(I-2), \quad (4)$$

бу ерда $E(I)$ -энергия сатҳлари. Таъкидлаш лозимки, $\Delta I=1$ “staggering” эффектни тавсифлаш учун бошқа турдаги альтернатив формулалар бор. Аммо бу эффектнинг кўриниши формулаларнинг турига боғлиқ эмас.

^{150}Nd , ^{154}Sm , $^{154,160}\text{Gd}$, $^{162,164}\text{Er}$, $^{228,232}\text{Th}$, $^{230,236,238}\text{U}$ ва ^{240}Pu ядроларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик ураст-полосадаги жуфт-тоқ $\Delta I=1$ “staggering” эффект тузилиши мос экспериментал кўринишлари билан солиштирилди. Булардан кўринадикки, гармоник осциллятор ва Гаусс потенциаллари учун олинган $\Delta I=1$ назарий “staggering” диаграммалар экспериментларда кузатилган эффектни яхши намоён этади. Таъкидлаш лозимки, ^{154}Gd , ^{162}Er , $^{228,232}\text{Th}$ ва $^{230,238}\text{U}$ каби баъзи ядроларда жуфт-тоқ “staggering”-эффектларнинг экспериментал амплитудалари айланма моментларнинг ўсиши билан назарий амплитудаларга нисбатан тезроқ камайиши кузатилган.

3- ва 4- расмларда ^{150}Nd ва ^{236}U ядролари учун “staggering”-эффектнинг назарий ва экспериментал кўриниши келтирилган. Расмлардан кўринадикки $\Delta I=1$ “staggering”-эффектнинг назарий ва экспериментал кўринишлари бири-бирига яхши мос келади.

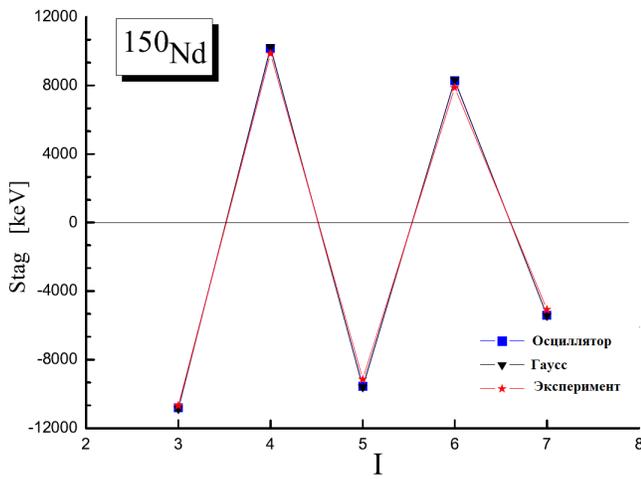
Жуфт-тоқ $\Delta I=1$ “staggering”-эффектлар жуфт-жуфт ядроларнинг коллектив ҳолатларининг γ -полосасида ҳам кузатилади. Ноадиабатик коллектив модел доирасида жуфт-жуфт ядроларнинг коллектив ҳолатларининг γ -полоса спектридаги (бу полосадаги айланма моментларнинг катта қийматлари билан, яъни, $I=10\div 14$) $\Delta I=1$ “staggering”-эффектнинг кўриниши тадқиқ этилган.

5- ва 6- расмларда ^{150}Nd ва ^{166}Er ядролари учун “staggering”-эффектининг назарий ва экспериментал кўриниши келтирилган. Расм ости ёзувларда назарий параметрларнинг қийматлари келтирилган: $\hbar\omega$ (энергетик фактор), μ_β (β -тебранишларнинг ноадиабатик параметри), μ_γ (γ -тебранишларнинг ноадиабатик параметри), γ_0 (ноаксиаллик параметри). Бундан ташқари R_{MS} ва R_{0041} ларнинг қийматлари ҳам келтирилган.

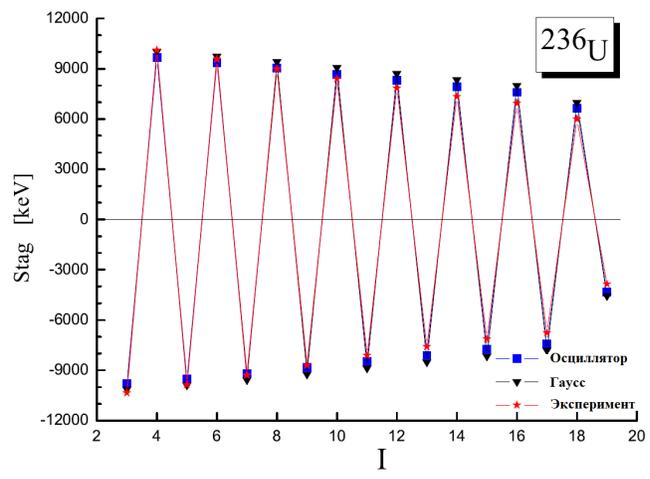
$$R_{0041} = \frac{E_{0041}}{E_{0021}},$$

асосий полосанинг иккинчи уйғонган ҳолат энергиясининг биринчи уйғонган ҳолат энергиясига нисбати. R_{0041} нисбат қийматига уйғонган сатҳларнинг коллектив айланма-тебранма кўринишига боғлиқ. $2.7 < R_{0041} < 10/3$ бўлганда энергетик

сатҳларнинг кўриниши айланма спектр ёки айланма спектрга яқин, $2 < R_{0041} < 2.4$ бўлганда эса тебранма спектр ёки тебранма спектрга яқин бўлади.



3-расм. ^{150}Nd ядроси учун “staggering”-эффектнинг назарий ва экспериментал кўриниши



4-расм. ^{236}U ядроси учун “staggering”-эффектнинг назарий ва экспериментал кўриниши

^{152}Sm , ^{156}Dy , $^{164,166}\text{Er}$ ва ^{230}Th оғир ядроларнинг γ -полосаси энергетик спектридаги $\Delta I=1$ “staggering”-эффектнинг (кэВ бирликларида) “зигзаг” кўриниши ўрганилди. Айланма момент функция бўлган $\text{Stag}(I)$ катталиқнинг барча ҳолларда $\Delta I=1$ “staggering”-эффектнинг “зигзаг” кўринишидаги аниқ ифодаланган манзараси олинди. Таъкидлашимиз лозимки, γ -полосаси энергетик спектридаги $\Delta I=1$ “staggering”-эффектнинг “зигзаг” кўринишининг амплитудаси худди шу эффектнинг ўзгарувчан жуфтликдаги yrast -полосадаги $\Delta I=1$ ”staggering” эффе́кт амплитудасидан фарқланади. Қаралаётган ҳолда $\Delta I=1$ ”staggering” эффе́кт амплитудаси yrast -полосадаги $\Delta I=1$ ”staggering” эффе́кт амплитудасидан кичик.

Оғир деформацияланган ядроларда асосий ва γ -полосаларнинг (бу полосалар аралашганда) ўзаро таъсирлашуви икки полоса орасидаги энергетик бўлинишни боғлайди. $SU(3)$ динамик симметрия доирасида бу бўлиниш $SU(3)$ мультиплетнинг парчаланишига мос келади ва қуйидаги муносабат билан аниқланади

$$\Delta E_{00I} = \frac{E_{00I2} - E_{00I1}}{E_{0021}},$$

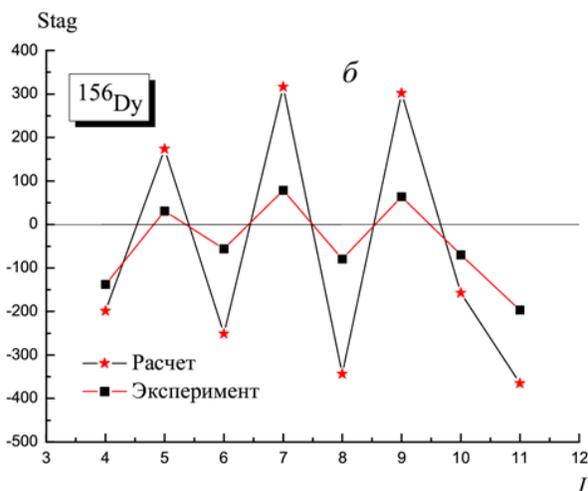
асосий ва γ -полосаларнинг жуфт қийматли айланма моментларга эга энергетик сатҳларнинг айирмаси билан тавсифланади. Илгари ΔE_{00I} учун экспериментал муносабат лантанидлар учун $5 \leq \Delta E_{00I} \leq 20$ ва $13 \leq \Delta E_{00I} \leq 25$ актинидлар учун ўзгариши аниқланган. Бундан ташқари, мақолада¹ кўрсатилишича агар $\Delta E_{00I} \leq 12$ лантанидлар

¹ Minkov N., Drenka S. B., Raychev P. P., Roussev R. P., Bonatsos D. Ground- γ -band mixing and odd-even staggering in heavy deformed nuclei. Physical Review C. 2000. 61, p.064301-064310.

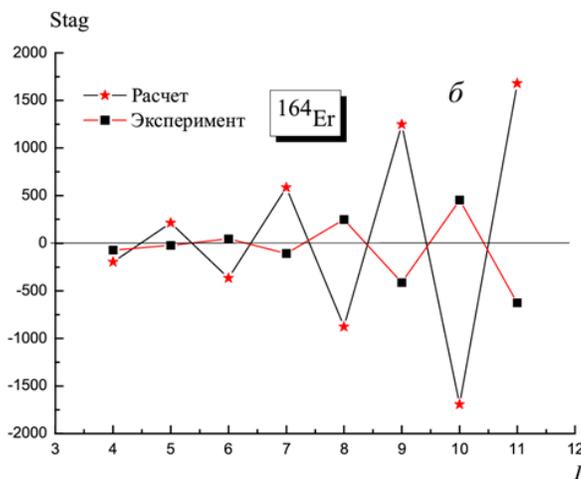
учун ва $\Delta E_{001} \leq 15$ актинидлар учун бўлса, у ҳолда асосий ва γ -полосалар SU(3) динамик симметрия доирасида кучли, акс ҳолда кучсиз боғланган бўлади. Диссертациянинг ушбу бобида қаралаётган ^{152}Sm , ^{156}Dy , $^{164,166}\text{Er}$, ^{230}Th ядроларда $\Delta I=1$ “staggering”-эффект асосий ва γ -полосалар SU(3) динамик симметрия доирасидаги кучли боғланиш ҳолида юз беради.

Қаралаётган ядролардаги $\Delta I=1$ “staggering”-эффектнинг назарий кўриниши уларнинг экспериментал кўринишига нисбатан катта амплитудага эга бўлиши аниқланган. Афтдан, ядроларнинг айланма спектридаги нозик эффектларнинг ҳиссаси, яъни тешик-нуклон ўтишлар ва турли хил ядро уйғонган ҳолатлари энергетик полосаларининг ўзаро таъсири муҳим рол уйнайди.

Бу ерда, кўриб чиқилаётган ядролар сони бизга қандайдир батафсил систематикага эга бўлиш имконияти йўқлигига қарамай, ядровий коллектив хусусиятлар мос келувчи γ -полосанинг нозик айланма структурасининг муҳим характеристикаси тақдим этилган. Ўтказилган тадқиқотлар уйғонган коллектив ҳолатларнинг γ -полосасидаги $\Delta I=1$ “staggering”-эффектни ихтиёрий ноаксиаллик яқинлашуви доирасида мавжуд экспериментал маълумотларни изчил назарий талқин қилинишига олиб келади.



5-расм. ^{156}Dy ядросининг γ -полосаси энергетик спектрида $\Delta I=1$ “staggering”-эффектнинг (б) назарий ва экспериментал кўриниши ($\hbar\omega=349.37$ keV, $\mu_\beta=0.55383$, $\mu_\gamma=0.8928$, $\gamma_0=13.9^\circ$, $\text{RMS}=64.94$ keV, $\text{R}_{0041}=2.9336$)



6-расм. ^{164}Er ядросининг γ -полосаси энергетик спектрида $\Delta I=1$ “staggering”-эффектнинг (б) назарий ва экспериментал кўриниши ($\hbar\omega=563.7$ кэВ, $\mu_\beta=0.2777$, $\mu_\gamma=0.1346$, $\gamma_0=12.95^\circ$, $\text{RMS}=85.3$ кэВ, $\text{R}_{0041}=3.2767$)

Оғир деформацияланувчи жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларнинг γ -полосасидаги $\Delta I=1$ “staggering”-эффектни кўринишини ихтиёрий

ноаксиаллик яқинлашуви доирасида тавсифлаш тақдим этилган. Уйғонган коллектив ҳолатларнинг γ -полосасидаги жуфт-ток $\Delta I=1$ “staggering”-эффектнинг кўринишини модел талқини айланма спектрлардаги “staggering”-эффектларни тўлақонли тушуниб олиш учун фойдали.

Амалга оширилган “staggering”-эффектнинг назарий талқини экспериментал маълумотларни жуда яхши тасвирлайди. Қаралаётган ядроларда $yrast$ - ва γ -полосалар энергетик спектрида намоён бўладиган $\Delta I=1$ “staggering”-эффектнинг “зигзаг” кўринишини тақдим этилган яқинлашувлар доирасида етарлича тушунтирилган, квадрупол-октупол ёки квадрупол деформацияларни сифат ва миқдорий жиҳатдан баҳолаш кўрсатилган.

ХУЛОСА

“Оғир жуфт-жуфт ядролардаги $yrast$ ва $non-yrast$ полосаларнинг ўзгарувчан жуфтликдаги уйғонган коллектив ҳолатлари ва “staggering” эффектлар” мавзусидаги физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси доирасида ўтказилган тадқиқотлар асосида қуйидагиларни хулоса қилиш мумкин:

1. Гармоник осциллятор ва Гаусс сирт тебранишлари потенциал энергиялари учун оғир жуфт-жуфт ядроларнинг уйғонган коллектив ҳолатларининг энергетик спектри ва тўлқин функцияларининг аниқ кўринишдаги ифодалари олинди. Олинган натижаларнинг ^{150}Nd , ^{154}Sm , $^{154,160}\text{Gd}$, $^{162,164}\text{Er}$, $^{228,232}\text{Th}$, $^{230,236,238}\text{U}$, ^{240}Pu ядроларда энергетик спектрнинг $yrast$ -, биринчи- $non-yrast$ полосалар учун ҳисобланди ва эксперимент натижаларига яқинлиги квадрупол-октупол сирт тебранишларини ва уйғониш пайтида сирт тебранишларининг ўзгаришини бир вақтнинг ўзида ҳисобга олиш туфайли эришилди.

2. $E1$ - ва $E2$ - ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликлари учун ифодалар олинди ва уларни энергетик спектр учун фойдаланилган параметрларнинг қийматларида (п. 1) ^{150}Nd , ^{154}Sm , $^{154,160}\text{Gd}$, $^{162,164}\text{Er}$, ^{232}Th , $^{236,238}\text{U}$ ядролар учун ҳисобланди ва эксперимент натижалари билан солиштирилди. Полосалар-аро/ ичида $E1$ - ва $E2$ -ўтишларнинг келтирилган эҳтимолликларининг квадрупол ва октупол деформациялар динамикасига сезгирлиги кўрсатилди.

3. Аксиал-симметрик жуфт-жуфт ядроларнинг ^{150}Nd , ^{154}Sm , $^{154,160}\text{Gd}$, $^{162,164}\text{Er}$, $^{228,232}\text{Th}$, $^{236,238}\text{U}$, ^{240}Pu ўзгарувчан жуфтликдаги энергетик спектридаги $\Delta I=1$ ”staggering”-эффектнинг зиг-заг кўриниши аниқланди. Бу эффект айланма моментларнинг кичик қийматларида энергетик спектри жуфтлигининг ўзгариши ҳисобига, айланма моментларнинг катта қийматларида эса ядро айланма ҳаракати ва унинг шакл деформациясининг ўзаро таъсирлашуви ҳисобига юзага келиши кўрсатилди.

4. Но-адиабатик коллектив моделнинг ихтиёрий но-аксиалликдаги яқинлашуви жуфт-жуфт ядроларнинг: ^{152}Sm , ^{156}Dy , $^{164,166}\text{Er}$ ва ^{230}Th уйғонган коллектив ҳолатларининг спектрнинг γ -полосасидаги $\Delta I=1$ ”staggering”-

эффект "зигзаг" кўриниши тавсифлаш учун такомиллаштирилди. Бу эффектнинг $SU(3)$ -динамик симметрия доирасида асосий ва γ -полосаларнинг кучли боғланишида юз бериши кўрсатилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

КУДИРАТОВ СУННАТИЛЛО НОРБОЕВИЧ

**ВОЗБУЖДЕННЫЕ КОЛЛЕКТИВНЫЕ СОСТОЯНИЯ γ RAST- И NON-
 γ RAST ПОЛОС ПЕРЕМЕННОЙ ЧЕТНОСТИ И "STAGGERING"
ЭФФЕКТЫ В ТЯЖЕЛЫХ ЧЕТНО-ЧЕТНЫХ ЯДРАХ**

01.04.08 – Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ускорительная техника

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам

Ташкент – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером № B2021.1.PhD/FM576.

Диссертация выполнена в Институте ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан.

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 руководитель:

Надирбеков Махмуджон Сулайманович

Доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник

Официальные оппоненты:

Турсунов Эргаш Махкамович

Доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник

Олимов Косим

Доктор физико-математических наук, профессор

Ведущая организация:

Самаркандский государственный университет

Защита диссертации состоится «__» _____ 2021 года в ____ часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 при Институте ядерной физики (Адрес: 100214, г. Ташкент, пос. Улугбек, ИЯФ АН РУз. Тел.: (+998) 71-289-31-41; факс: (+99871) 289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ядерной физики (регистрационный номер _____). (Адрес: 100214, г. Ташкент, пос. Улугбек, ИЯФ АН РУз. Тел. (+99871) 289-31-19).

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2021 г.
(протокол рассылки No _____ от _____ 2021 г.)

М. Ю. Ташметов

председатель Научного совета по присуждению
ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

О. Р. Тожибоев

ученый секретарь Научного совета по присуждению
ученых степеней, PhD.ф.-м.н.

И. Нуритдинов

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в 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. В последнее время спектроскопические свойства возбужденных коллективных состояний тяжелых ядер широко изучаются различными авторами в рамках различных моделей, использующих геометрические, алгебраические и микроскопические приближения.

В мире вращательные энергетические спектры большинства тяжелых ядер определяются квадрупольными деформациями, а октупольные деформации имеют место в основном для лантанидов и актинидов. Спектроскопические свойства ядер с аксиальной квадрупольной и октупольной деформациями подробно рассмотрены во многих работах, но в них не были рассмотрены высокоспиновые состояния переменной четности. С другой стороны, разветвление энергии уровней в спектре вращательной полосы с зигзагообразным изменением спина уровней на единицу, т.е. $\Delta I=1$ “staggering”-эффект, рассматривались лишь в случае $K=0$ (K - проекция полного углового момента на ось симметрии ядра) для аксиально-симметричных четно-четных ядер. Однако, теоретическое объяснение наблюдаемого “staggering”-эффекта для неаксиальных четно-четных ядер требует рассмотреть случай в котором K является не сохраняющейся величиной (K -смешивание). Поэтому, развитие неадиабатической коллективной модели, которая позволяет установить динамические свойства вышеупомянутых фундаментальных спектроскопических характеристик тяжелых четно-четных ядер, и её применения для конкретных ядер является чрезвычайно актуальной.

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 Стратегии¹ действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 гг.

Исследования, проведенные в данной диссертационной работе, соот ветствуют задачам, предусмотренным в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года “О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 гг.”, № УП-4958 от 16 февраля 2017 года “О

¹ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 07 февраля 2017 г.

дальнейшем совершенствовании систем высшего образования”, в Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-2789 от 17 февраля 2017 года “О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансированию научно-исследовательской деятельности” а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в Республике Узбекистан II. «Энергетика, энергосбережение и альтернативные источники энергии».

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), германскими (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), узбекистанскими (Р.Б. Бегжанов, Ш. Шарипов, Б.Ч. Чориев, П.Н. Усманов, М.С. Надирбеков, М.Дж. Эрмаматов) и другими. Однако, в этих работах, не рассматриваются высоко-спиновые состояния за счет коллективного вращения, а также вклад поперечных колебаний, либо вообще не учитывается, либо учитывается приближенно.

Изучение 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), узбекскими (Р. Б. Бегжанов, Ш. Шарипов, Б. Ч. Чориев, П. Н. Усманов, М. Дж. Эрмаматов) 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 описывает аналогичные свойства спектра актинидов.

Основным источником получения информации о возбужденных коллективных высокоспиновых состояниях являются реакции с тяжелыми ионами. Такие состояния наблюдаются в основной полосе спектра коллективного возбуждения тяжелых ядер. Однако в спектре γ -полосы можно наблюдать состояния с относительно большими значениями спина уровней, т.е. в пределах $I = 10 \div 14$. Энергетические уровни с такими значениями спина дают возможность исследовать поведение $\Delta I=1$ “staggering”-эффекта в γ -полосе коллективного возбуждения тяжелых четно-четных ядер.

Связь диссертационного исследования с планами научно-

исследовательских работ и научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научных проектов Института ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан по темам: Ф2-ФА-Ф117 "Исследования динамических свойств фундаментальных характеристик ядер для ядерной астрофизики" (2012–2016); ОТ-Ф2-14 "Исследование коллективных и микроскопических свойств сильно-взаимодействующих многочастичных квантовых систем" (2017–2020); БФ2-006 "Минимизация активности продуктов деления и трансурановых изотопов и исследование их воздействия на конструкционные материалы ядерного реактора ВВР-СМ" (2017–2020).

Целью исследования является определение спектроскопических характеристик коллективного возбуждения одинаковой и переменной четности тяжелых четно-четных ядер.

Задачи исследования:

получить в явном виде выражения энергетического спектра и волновых функций возбужденных коллективных состояний переменной четности четно-четных ядер для потенциальной энергии поверхностных колебаний гармонического осциллятора и Гаусса;

провести расчет энергетического спектра для $yrast$ - и первой $non-yrast$ -полос и сравнить их с экспериментальными данными, с учетом изменения поверхностной деформации при возбуждении;

получить выражения приведенных вероятностей между- или внутри-полосных $E1$ - и $E2$ -переходов в энергетическом спектре переменной четности аксиально-симметричных четно-четных ядер и провести их расчет, а также сравнить результаты расчетов с экспериментальными данными;

провести анализ ветвления $E1$ - и $E2$ -переходов в возбужденных коллективных состояниях и определить чувствительность этих переходов к присутствию поверхностных колебаний квадрупольно-октапольного типа;

провести анализ поведения нечетно-четного $\Delta I=1$ "staggering" эффекта в $yrast$ -полосе энергетического спектра и аксиально-симметричных четно-четных ядер и его описания в рамках предложенного подхода;

оценить поведение $\Delta I=1$ "staggering"-эффекта в спектре γ -полосы положительной четности неаксиальных четно-четных ядер.

Объектом исследования являются четно-четные ядра в области тяжелых и сверхтяжелых ядер.

Предметом исследования являются статические и динамические характеристики, приведенные вероятности между-/внутри-полосных $E1$ - и $E2$ -переходов, разветвления вращательных полос в спектре $yrast$ -полос неаксиальных четно-четных ядер.

Метод исследования. Математический аппарат квантовой механики для решения уравнения Шредингера с коллективными переменными, программирование на языке ФОРТРАН.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

предложена параметризация модельного коллективного гамильтониана для описания спектра коллективного возбуждения переменной четности тяжелых четно-четных ядер с учетом изменения положения равновесия центробежного потенциала с угловым моментом;

получены выражения для расчета внутри-/между-полосных приведенных вероятностей E1- и E2-переходов $yrast$ - и первой $non-yrast$ -полос, определены их чувствительность к динамике поверхностных колебаний квадрупольно-октапольного типа;

определено зигзагообразное поведение $\Delta I=1$ "staggering"-эффекта в спектре энергетических уровней $yrast$ -полосы, которое появляется из-за изменения четности и взаимодействия вращения ядра как целого и деформации его формы;

показано, что зигзагообразное поведение $\Delta I=1$ "staggering"- эффекта в спектре γ -полосы происходит в рамках динамической симметрии $SU(3)$ в случае сильной связи основной и γ -полос.

Практические результаты исследования заключается в следующем:

усовершенствована неадиабатическая коллективная модель в приближении произвольной неаксиальности для описания поведения $\Delta I=1$ "staggering"-эффекта в спектре энергетических уровней положительной четности γ -полосы неаксиальных четно-четных ядер;

Достоверность результатов исследования подтверждается 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 неадиабатической коллективной модели.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов, полученных на основе используемых моделей, определяется анализом фундаментальных спектроскопических характеристик тяжелых и сверхтяжелых четно-четных ядер, полученных в современных экспериментах, и их применением в реакциях синтеза тяжелых ядер.

Практическое значение имеют оценка времени жизни вращающегося ядра, полученного в реакциях синтеза тяжелых ядер, определение энергетического спектра возбужденных коллективных состояний и вероятностей мультипольных переходов между/внутри полос этого спектра и ветвления этих переходов.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по определению спектроскопических характеристик спектра коллективного возбуждения одинаковой и переменной четности тяжелых четно-четных ядер:

предложенная новая параметризация модельного коллективного гамильтониана с учетом изменения положения равновесия центробежного

потенциала с угловым моментом использована при выполнении фундаментальных проектов ФА-Ф2-Ф112 “Экспериментальные исследования свойств и состояний ядерной материи при высоких и низких энергиях” (2012-2016) (письмо Академии наук Республики Узбекистан №2/1255-2686 от 30 сентября 2021г.) и ОТ-Ф2-75 “Исследование свойств ротационных уровней деформированных ядер сверхтяжелой, трансурановой и редкоземельной области” (2017-2020) (письмо Наманганского инженерно-технологического института № 3469-024 от 16 сентября 2021г.). Использование научных результатов позволило определить основное и возбужденное состояния тяжелых фрагментов деления, а также параметров деформаций легкого и тяжелого фрагментов деления и для учета изменения положения равновесия возбужденных коллективных состояний тяжелых четно-четных ядер: ^{150}Nd , ^{154}Sm , $^{154,160}\text{Gd}$, $^{162,164}\text{Er}$, $^{228,232}\text{Th}$, $^{230,236,238}\text{U}$, и ^{240}Pu , а также спектр коллективного возбуждения различных полос тяжелых четно-четных ядер;

полученные выражения для расчета внутри-/между-полосных приведенных вероятностей E1- и E2-переходов $yrast$ - и первой non- $yrast$ -полос использованы при выполнении фундаментального проекта ОТ-Ф2-75 “Исследование свойств ротационных уровней деформированных ядер сверхтяжелой, трансурановой и редкоземельной области” (2017-2020) (письмо Наманганского инженерно-технологического института № 3469-024 от 16 сентября 2021г.). Использование научных результатов позволило определить чувствительность коллективного возбуждения тяжелых четно-четных ядер к динамике поверхностных колебаний квадруполь-октапольного типа;

выявленные поведения $\Delta I=1$ “staggering”-эффекта в спектре энергий уровней $yrast$ -полосы переменной четности аксиальных и γ -полосы положительной четности неаксиальных четно-четных ядер использовались при выполнении фундаментального проекта ОТ-Ф2-75 “Исследование свойств ротационных уровней деформированных ядер сверхтяжелой, трансурановой и редкоземельной области” (2017-2020) (письмо Наманганского инженерно-технологического института № 3469-024 от 16 сентября 2021г.). Использование научных результатов позволило определить тонкую структуру спектра коллективного возбуждения тяжелых четно-четных ядер.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования были обсуждены на 6 международных и республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, 4 научные статьи в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций доктора философии (PhD), из них 3 в зарубежных научных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 86 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

В первой главе диссертации «**Основные уравнения модели**» излагаются основные идеи в 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 данной неадиабатической коллективной модели рассматриваются следующие различные случаи:

1) 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:

$$\hat{H}_{23} = \hat{T}_{\beta_2} + \hat{T}_{\beta_3} + \hat{T}_{rot} + V(\beta_2, \beta_3), \quad (2)$$

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 2 и 3.

2) 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:

$$\hat{H}_2 = \hat{T}_{\beta_2} + \hat{T}_{\gamma} + \hat{T}_{rot}(\gamma) + V(\beta_2, \gamma). \quad (3)$$

Свойства возбужденных коллективных состояний неаксиальных четно-четных ядер, которые описываются гамильтонианом (3), изучены в главе 4.

Вторая глава диссертации «**Возбужденные коллективные состояния переменной четности аксиально-симметричных четно-четных ядер**» посвящена исследованию низколежащих возбужденных коллективных состояний переменной четности в четно-четных ядрах.

В данной главе диссертации исследуется применимость потенциалов Гаусса и гармонического осциллятора для анализа различных тонких характеристик коллективного движения ядер в случае зеркально-асимметричных степеней свободы. Реализованный формализм учитывает изменение энергий возбуждения поверхностных колебаний за счет изменения положения равновесия центробежного потенциала с угловым моментом. Условие динамического равновесия относительно колебательных и вращательных степеней свободы накладывается на возбужденные состояния при каждом угловом моменте. Исходя из этого, предлагается новая параметризация модельного гамильтониана, обеспечивающая лучшее описание спектров переменной четности в тяжелых четно-четных ядрах. Спектр и волновые функции, соответствующие возбужденным полосам переменной четности, получены в соответствии с моделью Давыдова-Чабана, введенной для ядер с квадрупольной деформацией. Подход разработан за пределами *yrast*-последовательностей с положительной и отрицательной четностью и позволяет описать возбужденные полосы переменной четности, включая первую *non-yrast*-полосу энергетического спектра.

Изучены возбужденные коллективные состояния *yrast* и первой *non-yrast* полос четно-четных ядер в области лантанидов и актинидов. Энергетические уровни рассматриваемых полос содержат свободные параметры: $\hbar\omega$ (в кэВ), μ , ε_0^+ , ε_0^- (*yrast*-полоса), ε_1^+ , ε_1^- (первая *non-yrast*-полоса). Параметры ε_v^+ и ε_v^- - приведенные энергии уровней угловых колебаний положительной и отрицательной четности, соответственно, для данного ν , обеспечивающего сдвиг четности из-за эффекта туннелирования под потенциальным барьером, который разделяет противоположные зеркально-асимметричные формы ядер (всегда с $\varepsilon_v^+ < \varepsilon_v^-$). А величина μ - приведенный (безразмерный) параметр жесткости, связанный с σ -колебаниями, имеющий значение параметра неадиабатичности. Для $\mu > 1/3$ считается, что ядерная поверхность мягкая, в противном случае она жесткая. Используемые параметры были определены методом наименьших квадратов.

Получено удовлетворительное согласие рассчитанных энергетических спектров с экспериментальными данными для *yrast*- и первой *non-yrast*-полос

переменной четности для ядер области лантанидов ^{150}Nd , $^{152,154}\text{Sm}$, ^{154}Gd , ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$ и актиноидов $^{156,158}\text{Gd}$, ^{224}Ra , ^{228}Th , $^{232,234,236,238}\text{U}$ и ^{240}Pu . Рассчитаны значения RMS (среднеквадратичные отклонения рассчитанных значений энергии уровней от их экспериментальных данных) для рассматриваемых ядер. Отметим, что значение RMS (при ≤ 100 кэВ) является хорошим критерием применимости различных моделей.

На рис.1 и 2 приведены сравнения теоретических и экспериментальных значений энергетических уровней γ - и первой non- γ -полос переменной четности для ядер ^{150}Nd и ^{236}U с параметрами потенциалов гармонического осциллятора и Гаусса.

Объединенная обработка обоих потенциалов, а также изменение равновесной эффективной деформации с увеличением углового момента колебательно-вращательных состояний является характерной особенностью настоящего подхода. Полученное модельное описание уровней полос переменной четности в рассматриваемых ядрах показывает хорошее согласие с экспериментальными данными для двух потенциалов. Подобные описания, полученные с помощью обоих потенциалов, очевидно, обусловлены их единообразной обработкой и общей параметризацией. В этом аспекте полученный результат указывает на их применимость на той же основе к проблеме квадрупольно-октупольной деформации в рассматриваемой области ядер.

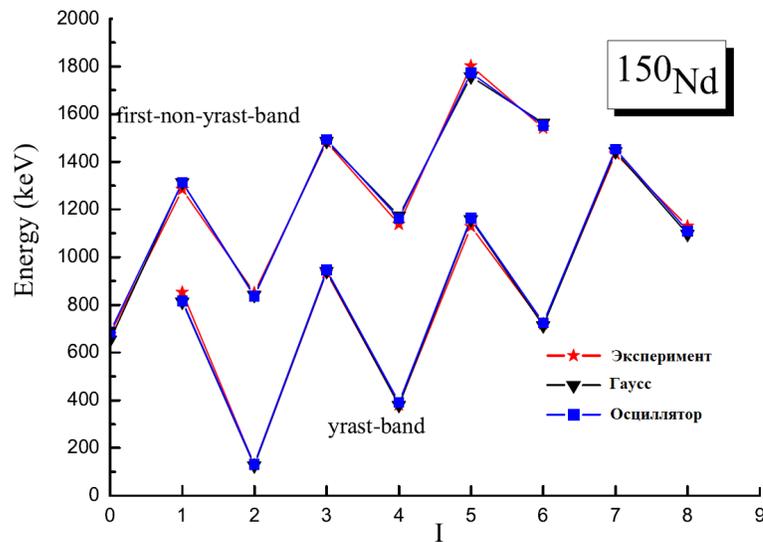


Рис. 1. Сравнение теоретических и экспериментальных значений энергетических уровней γ - и первой non- γ -полос переменной четности для ядра ^{150}Nd с параметрами потенциала гармонического осциллятора: $\hbar\omega=682.03$ кэВ, $\epsilon_0^+=0.061$, $\epsilon_0^-=7.73$, $\epsilon_1^+=0.35$, $\epsilon_1^-=4.39$, $\mu=0.4127$, $\text{RMS}=20.76$ кэВ; для потенциала Гаусса: $\hbar\omega=791.83$ кэВ, $\epsilon_0^+=0.06$, $\epsilon_0^-=15.68$, $\epsilon_0^+=1.59$, $\epsilon_0^+=6.828$, $\mu=0.375$, $\text{RMS}=24.56$ кэВ.

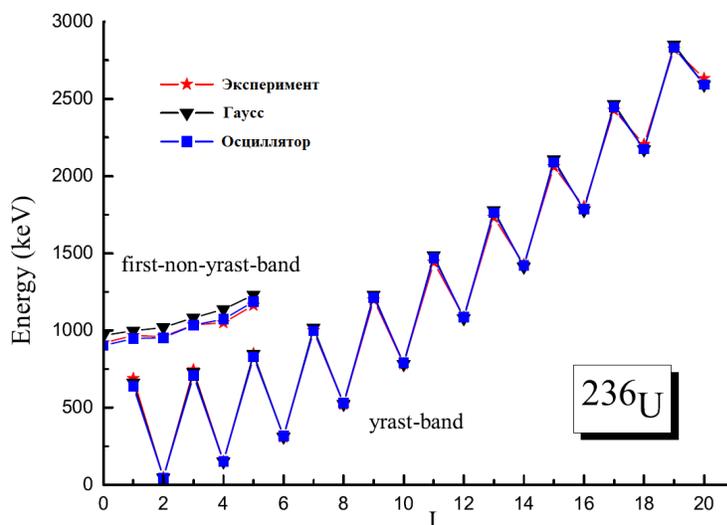


Рис. 2. Сравнение теоретических и экспериментальных значений энергетических уровней yrast- и первой non-yrast-полос переменной четности для ядра ^{236}U с параметрами потенциала гармонического осциллятора: $\hbar\omega=887.721$ кэВ, $\epsilon_0^+=0.594$, $\epsilon_0^-=13.879$, $\epsilon_1^+=0.28$, $\epsilon_1^-=0.343$, $\mu=0.222$, $\text{RMS}=21.365$ кэВ и для потенциала Гаусса: $\hbar\omega=966.45$ кэВ, $\epsilon_0^+=0.34$, $\epsilon_0^-=29.697$, $\epsilon_0^+=.2277$, $\epsilon_0^+=0.242$, $\mu=0.2112$, $\text{RMS}=36.68$ кэВ

Третья глава диссертации «Приведенные вероятности E1- и E2-переходов между возбужденными коллективными состояниями одинаковой/переменной четности» посвящена исследованию приведенных вероятностей E1- и E2-переходов между возбужденными коллективными состояниями аксиально-симметричных четно-четных ядер одинаковой/переменной четности. Проведены расчет и подробный анализ ветвления E1- и E2-переходов (в единицах Вайскопфа (W. u.)) в возбужденных коллективных состояниях.

В рамках используемой неадиабатической коллективной модели получены выражения для внутри-/между-полосных приведенных вероятностей E1- и E2-переходов в yrast- и первой non-yrast-полосах деформируемых аксиально-симметричных четно-четных ядер. Рассчитаны значения внутри/между-полосных E2-переходов для ядер: $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156,158}\text{Gd}$, ^{156}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, ^{224}Ra , $^{234,236,238}\text{U}$ и ^{240}Pu , а также значения 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, что используемая модель позволяет описать внутри-/между-полосные приведенные вероятности E1- и E2-переходов и ветвления их отношений в лантанидах и актинидах. Полученные результаты позволили рассмотреть ядерные спектры переменной четности внутри более высокой non-yrast области коллективных возбуждений. Получены явные виды выражения для приведенных вероятностей E1- и E2-переходов в энергетических уровнях yrast- и первой non-

yrast-полос.

Отметим, что для описания приведенных вероятностей E1- и E2-переходов используются подгоночные параметры, полученные при описании энергетических уровней yrast- и первой non-yrast-полос переменной четности.

Четвертая глава диссертации « $\Delta I=1$ “staggering” эффект в энергетическом спектре четно-четных ядрах» посвящена исследованию теоретического и экспериментального поведения $\Delta I=1$ “staggering” эффекта в спектре yrast-полосы переменной четности аксиально-симметричных ядер, а также в спектре γ -полосы одинаковой четности аксиально-несимметричных ядер.

Известны различные, хорошо изученные типы отклонения ядерного коллективного движения, отличные от чисто вращательного. В результате этих отклонений в структуре ядерного вращательного спектра происходят эффекты высокого порядка, такие как “squeezing”, “backbending” и “staggering”. Применение дискретных приближений производных высокого порядка данной ядерной характеристики как функции частной физической величины показывает различные формы четно-нечетных “staggering”-эффектов, которые несут информацию о тонких свойствах ядерного взаимодействия и соответствующих корреляциях высокого порядка в коллективной динамике системы.

”staggering” эффекты представляют разветвления вращательных полос в последовательности состояний, отличающихся несколькими единицами углового момента I. Например, такие $\Delta I=1$, $\Delta I=2$ и $\Delta I=4$ ”staggering” эффекты наблюдаются в энергетических полосах супер-деформированных ядер. Эти эффекты очень хорошо известны в четно-четных ядрах и позволяют тестировать различные коллективные модели.

$\Delta I=1$ “staggering”-эффект наблюдается в yrast-полосе переменной четности и в γ -полосе четно-четных ядер. Этот эффект показывает зигзагообразное поведение с переменными знаками. При этом форма ”биение” этого эффекта в полосе переменной четности имеет большую амплитуду. $\Delta I=1$ “staggering”-эффект должен исчезнуть, если энергетические уровни формируют единственную полосу. Для детальной оценки рассматриваемой структуры энергетических полос применяется дискретная аппроксимация производной высокого порядка энергии как функции углового момента I.

Рассмотрим нечетно-четный “staggering” эффект, пропорциональный дискретному приближению производной четвертого порядка от функции $\Delta E(I)=\Delta E(I+1)-E(I)$, который представляется формулой:

$$Stag(I) = 6\Delta E(I) - 4\Delta E(I-1) - 4\Delta E(I+1) + \Delta E(I+2) + \Delta E(I-2), \quad (4)$$

где $E(I)$ - энергия уровней.

Отметим, что существуют другие альтернативные формулы, для описания поведения нечетно-четного $\Delta I=1$ “staggering” эффекта. Но поведение этого эффекта не зависит от вида этих формул.

Нечетно-четные $\Delta I=1$ "staggering" структуры полос переменной четности для ядер ^{150}Nd , ^{154}Sm , $^{154,160}\text{Gd}$, $^{162,164}\text{Er}$, $^{228,232}\text{Th}$, $^{230,236,238}\text{U}$ и ^{240}Pu сравнивались с соответствующими экспериментальными поведением. Мы видим, что теоретические "staggering" диаграммы $\Delta I=1$, полученные с помощью потенциалов гармонического осциллятора и Гаусса, обеспечивают общее хорошее воспроизведение эффекта, наблюдаемого в экспериментах. Можно заметить, что в некоторых ядрах, таких как ^{154}Gd , ^{162}Er , $^{228,232}\text{Th}$ и $^{230,238}\text{U}$, амплитуда экспериментального нечетно-четного "staggering" эффекта уменьшается быстрее с угловым моментом по сравнению с теоретическим.

На рис. 3 и 4 приведены теоретическое и экспериментальное поведение "staggering"-эффекта для ядер ^{150}Nd и ^{236}U . Из рисунков видно, что получено хорошее воспроизведение теоретического и экспериментального поведения $\Delta I=1$ "staggering"-эффекта.

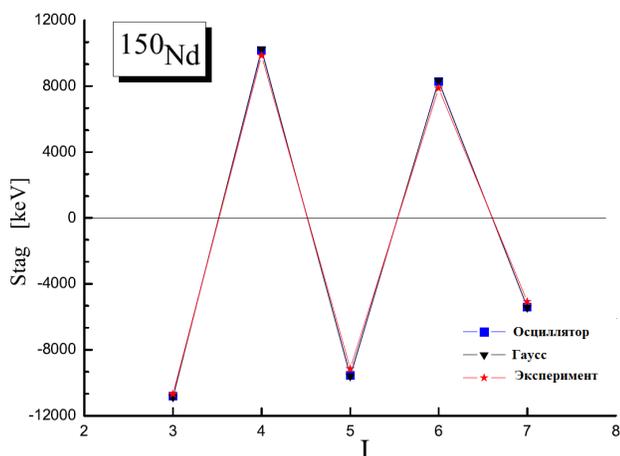


Рис. 3. Теоретическое и экспериментальное поведения "staggering"-эффекта для ядра ^{150}Nd

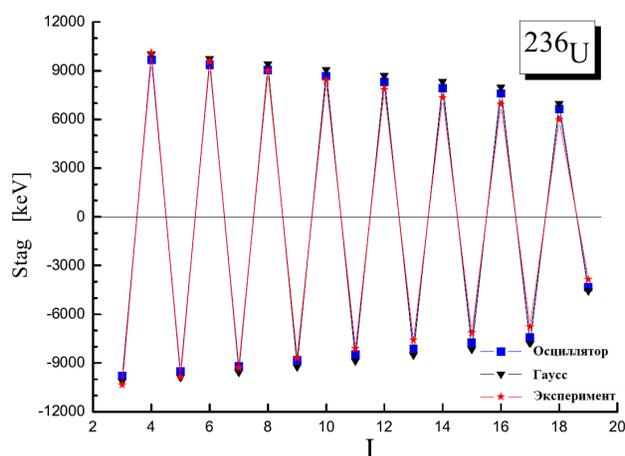


Рис. 4. Теоретическое и экспериментальное поведения "staggering"-эффекта для ядра ^{236}U

На рис. 5 и 6 приведены теоретическое и экспериментальное поведения "staggering"-эффекта для ядер ^{150}Nd и ^{166}Er .

$R_{0041} = \frac{E_{0041}}{E_{0021}}$ - отношение второго возбужденного уровня к энергии первого возбужденного уровня основной полосы.

От значения отношения R_{0041} зависит коллективное вращательно-колебательное поведение возбужденных уровней. При $2.7 < R_{0041} < 10/3$ коллективное поведение спектра энергий уровней будет вращательным или близко вращательным, а при $2 < R_{0041} < 2.4$ оно будет вибрационным или близко вибрационным.

Изучено зигзагообразное поведение $\Delta I=1$ "staggering"-эффекта (в единицах

кэВ) в энергетических спектрах γ -полосы тяжелых ядер ^{152}Sm , ^{156}Dy , $^{164,166}\text{Er}$ и ^{230}Th . Во всех случаях мы получаем ярко выраженную картину “staggering”-эффекта, зигзагообразное поведение величины Stag(I) как функции углового момента. Сразу отметим, что амплитуда $\Delta I=1$ “staggering”-эффекта в энергетических спектрах γ -полосы отличается от амплитуды такого эффекта в энергетических спектрах γ -полосы с переменной четностью. В рассматриваемом случае $\Delta I = 1$ “staggering”-эффект имеет значительно меньшую амплитуду, чем в полосе энергетического спектра с переменной четностью.

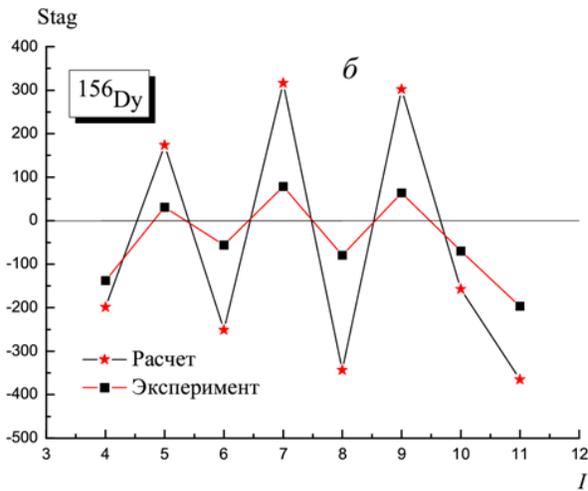


Рис. 5. Теоретическое и экспериментальное поведение $\Delta I = 1$ “staggering”-эффекта (б) в энергетическом спектре γ -полосы ядра ^{156}Dy ($\hbar\omega=349.37$ keV, $\mu_\beta=0.55383$, $\mu_\gamma=0.8928$, $\gamma_0=13.9^\circ$, $\text{RMS}=64.94$ keV, $\text{R}_{0041}=2.9336$)

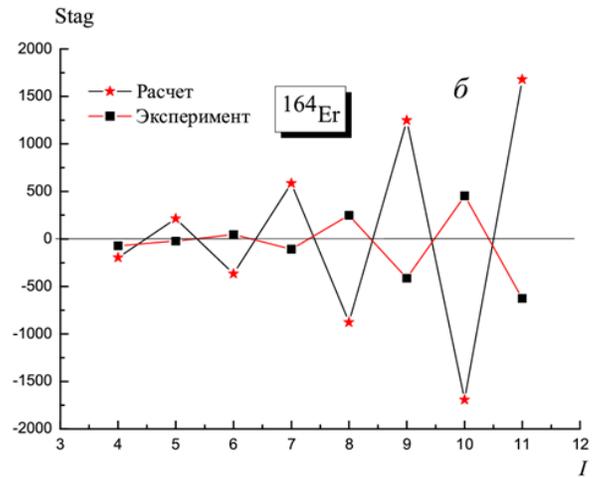


Рис. 6. Теоретические и экспериментальные поведение $\Delta I = 1$ “staggering”-эффекта (б) в энергетическом спектре γ -полосы ядра ^{164}Er ($\hbar\omega=563.7$ кэВ, $\mu_\beta=0.2777$, $\mu_\gamma=0.1346$, $\gamma_0=12.95^\circ$, $\text{RMS}=85.3$ кэВ, $\text{R}_{0041}=3.2767$)

Взаимодействие основной и γ -полос (при смешивании этих полос) в тяжелых деформированных ядрах коррелирует с энергетическим разделением между двумя полосами. В рамках динамической симметрии SU(3) это разделение соответствует расщеплению мультиплетта SU(3) и определяется соотношением

$$\Delta E_{001} = \frac{E_{0012} - E_{0011}}{E_{0021}},$$

которое характеризуется разностью энергий уровней четным угловым моментом основной и γ -полос. Ранее было установлено, что экспериментальное соотношение для ΔE_{001} изменяется в пределах $5 \leq \Delta E_{001} \leq 20$ для лантанидов и $13 \leq \Delta E_{001} \leq 25$ для актининов. Кроме того, в работе¹ было показано, что если $\Delta E_{001} \leq 12$ для лантанидов

¹ Minkov N., Drenska S. B., Raychev P. P., Roussev R. P., Bonatsos D. Ground- γ -band mixing and odd-even staggering in heavy deformed nuclei. Physical Review C. 2000. 61, p.064301-064310.

и $\Delta E_{001} \leq 15$ для актининов, то основная и γ -полосы сильно связаны в рамках динамической симметрии SU(3), если наоборот, то связь слабая. В данной главе определено, что в рассматриваемых ядрах ^{152}Sm , ^{156}Dy , $^{164,166}\text{Er}$, ^{230}Th $\Delta I=1$ “staggering”-эффект происходит в рамках динамической симметрии SU(3) в случае сильной связи основной и γ -полос.

Теоретическое поведение $\Delta I=1$ “staggering”-эффекта для рассматриваемых ядер имеет ярко выраженные амплитуды по сравнению с их экспериментальным поведением. Видимо, вклады тонких эффектов во вращательном спектре ядер, т.е. вклады частично-дырочных нуклонных переходов и взаимодействия различных полос возбуждения ядра, играют важную роль.

Здесь представлена важная характеристика тонкой вращательной структуры γ -полосы с соответствующими ядерными коллективными свойствами, несмотря на то, что число рассматриваемых ядер не позволяет предоставить какую-либо детальную систематику. Проведенное исследование приводит к последовательной теоретической интерпретации доступной экспериментальной информации относительно $\Delta I=1$ “staggering”-эффекта в γ -полосах коллективного возбуждения.

Предложено описание поведения нечетно-четного $\Delta I=1$ “staggering”-эффекта в рамках приближения произвольной неаксиальности в γ -полосе возбужденных коллективных состояний тяжелых деформированных четно-четных ядер. Модельная интерпретация поведения нечетно-четного $\Delta I=1$ “staggering”-эффекта в γ -полосе спектра коллективного возбуждения полезна для понимания “staggering”-эффектов о вращательных спектрах в целом.

Реализованный $\Delta I=1$ ”staggering” анализ показывает, что теоретические структуры полос довольно хорошо воспроизводят экспериментальные данные. Зигзагообразное поведение $\Delta I=1$ “staggering”-эффекта в энергетических спектрах yrast - и γ -полос находит адекватное объяснение в рамках представленных приближений, предоставляя соответствующие качественные и количественные оценки коллективной моды квадрупольно-октупольной или квадрупольной деформации, проявляющейся в рассматриваемых четно-четных ядрах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований по диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам на тему «Возбужденные коллективные состояния yrast - и non-yrast полос переменной четности и «staggering»-эффекты в тяжелых четно-четных ядрах», сделаны следующие основные выводы:

1. Получены в явном виде энергетический спектр и волновые функции возбужденных коллективных состояний переменной четности четно-четных ядер

для потенциальной энергии поверхностных колебаний гармонического осциллятора и Гаусса. Расчетные энергетические спектры γ - и первой non- γ полос оказались близкими к экспериментальным данным для четно-четных ядер: ^{150}Nd , ^{154}Sm , $^{154,160}\text{Gd}$, $^{162,164}\text{Er}$, $^{228,232}\text{Th}$, $^{230,236,238}\text{U}$ и ^{240}Pu , благодаря одновременному учету поверхностных колебаний квадрупольно-октупольного типа и изменения поверхностной деформации при возбуждении.

2. Получены выражения для расчета внутри- или между-полосных приведенных вероятностей E1- и E2-переходов γ - и первой non- γ -полос. Рассчитанные их значения хорошо согласуются с экспериментальными данными для четно-четных ядер: ^{150}Nd , ^{154}Sm , $^{154,160}\text{Gd}$, $^{162,164}\text{Er}$, $^{228,232}\text{Th}$ и $^{236,238}\text{U}$. Показана чувствительность внутри- или между-полосных приведенных вероятностей E1- и E2-переходов к динамике поверхностных колебаний квадрупольно-октупольного типа.

3. Определено зигзагообразное поведение $\Delta I=1$ "staggering"-эффекта в спектре энергетических уровней γ -полосы переменной четности аксиально-симметричных четно-четных ядер: ^{150}Nd , ^{154}Sm , $^{154,160}\text{Gd}$, $^{162,164}\text{Er}$, $^{228,232}\text{Th}$, $^{236,238}\text{U}$ и ^{240}Pu . Показано, что эффект при низких значениях углового момента спектра энергии уровней появляется, в основном, из-за изменения четности, тогда как при больших значениях углового момента энергии уровней из-за взаимодействия вращения ядра как целого и деформации его формы.

4. Усовершенствована неадиабатическая коллективная модель в приближении произвольной неаксиальности для описания поведения $\Delta I=1$ "staggering"-эффекта в спектре энергетических уровней положительной четности γ -полосы неаксиальных четно-четных ядер: ^{152}Sm , ^{156}Dy , $^{164,166}\text{Er}$ и ^{230}Th . Показано, что $\Delta I=1$ "staggering"-эффект происходит в рамках динамической симметрии SU(3) в случае сильной связи основной и γ -полос.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 ON AWARD OF
SCIENTIFIC DEGREES AT THE INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS**

INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS

KUDIRATOV SUNNATILLO NORBOEVICH

**EXCITED COLLECTIVE STATES OF YRAST AND NON-YRAST
ALTERNATING-PARITY BANDS AND “STAGGERING” EFFECTS IN
HEAVY EVEN-EVEN NUCLEI**

01.04.08 – Atomic nucleus and elementary particle physics. Accelerator facility

**DISSERTATION ABSTRACT
of the doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences**

Tashkent – 2021

The dissertation theme of the doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2021.1.PhD/FM576.

The doctoral (PhD) dissertation was carried out at the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

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

Scientific supervisor: **Nadirkbekov Makhmudjon Sulaymanovich**
Doctor of sciences in physics and mathematics, senior researcher

Official opponents: **Tursunov Ergash Makhkamovich**
Doctor of sciences in physics and mathematics, senior researcher

Olimov Kosim
Doctor of sciences in physics and mathematics, professor

Leading organization: **Samarkand State University**

The defense of the dissertation will be held on "____" _____ 2021 at the meeting of Scientific Council DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 at the Institute of Nuclear Physics, (Address: INP, Ulugbek settlement 100214 Tashkent city, tel. (+99871)289 36-65; e-mail: info@inp.uz).

The doctoral (PhD) dissertation can be looked though at the Information Resource Center of Institute of Nuclear Physics (registered under No _____). Address: INP, Ulugbek settlement, 100214 Tashkent city. tel.: (+99871) 289-31-19.

Abstract of dissertation was distributed « ____ » _____ 2021.
(Registry record No _____ dated " ____ " _____ 2021)

M. Yu. Tashmetov
Chairman of the Scientific Council for Awarding
Doctor of physical and mathematical sciences, professor

O.R. Tojiboyev
Scientific secretary of the Scientific Council
for awarding academic degrees, PhD.ph.-m.s.

I. Nuritdinov
Chairman of the Scientific Seminar of the Scientific
Council on Award of Scientific Degrees,
Doctor of physical and mathematical sciences, professor

INTRODUCTION (annotation of PhD dissertation)

The aim of the research is a determination the spectroscopic characteristics of the spectrum of collective excitation of the identical and alternating parity of heavy even-even nuclei.

The tasks of the research:

obtain explicit expressions for the energy spectrum and wave functions of excited collective states of alternating parity of even-even nuclei for the potential energy of surface oscillations of a harmonic oscillator and a Gaussian;

calculate the energy spectrum for yrast- and the first-non-yrast-bands, and compare them with experimental data;

obtain expressions for reduced inter-band E1- and intra-band E2-transition probabilities in the energy spectrum of alternating parity of axially symmetric even-even nuclei, calculate them and compare with experimental data;

analyze the branching of E1- and E2- transitions in the excited collective states and determine their sensitivity to presence of the surface oscillations of quadripole-octupole type;

analyze the behavior of the odd-even $\Delta I=1$ “staggering”-effect in the yrast-band of the energy spectrum of the axially-symmetric even-even nuclei and its description in the frame of the suggested approach;

to study the behavior of the $\Delta I=1$ “staggering”-effect in the spectrum of the γ -band of positive parity of the triaxial even-even nuclei.

The object of research are even-even nuclei in the region of heavy and super-heavy nuclei.

The subject of research are static and dynamic characteristics, the reduced E1- and E2-transitions probabilities and branching in the rotational spectrum of yrast- and γ -bands of even-even nuclei.

The scientific novelty of the research is as follows:

a parametrization of the model collective Hamiltonian is proposed to describe the spectrum of collective excitation of variable parity of heavy even-even nuclei taking into account the change in the equilibrium position of the centrifugal potential with angular momentum;

expressions for calculating reduced E1- and E2-transitions probabilities of yrast- and the first-non-yrast-bands are obtained, their sensitivity to the dynamics of surface vibrations of the quadrupole-octupole type is determined;

the zigzag behavior of the $\Delta I=1$ “staggering”-effect in the spectrum of energy levels of the yrast-band of the alternating parity of axially symmetric even-even nuclei was determined;

It is shown that the zigzag behavior of the $\Delta I = 1$ “staggering” effect in the spectrum of the γ -band occurs within the dynamic symmetry SU (3) in the case of a strong coupling of the ground and γ -bands.

Implementation of the research results.

the proposed new parametrization of the model collective Hamiltonian taking into account the change in the equilibrium position of the centrifugal potential with angular momentum was used in the implementation of the fundamental projects FA-F2-F112 “Experimental studies of the properties and states of nuclear matter at high and low energies” (2012-2016) (letter to the Academy of Sciences of the Republic Uzbekistan No.2/1255-2686 dated September 30, 2021) and OT-F2-75 “Investigation of the properties of the rotational levels of deformed nuclei of the superheavy, transuranum and rare earth regions” (2017-2020) (letter from the Namangan Engineering and Technological Institute No. 3469-024 dated September 16, 2021). The use of scientific results made it possible to determine the ground and excited states of heavy fission fragments, as well as the deformation parameters of light and heavy fission fragments, and to take into account the change in the equilibrium position of the excited collective states of heavy even-even nuclei: ^{150}Nd , ^{154}Sm , $^{154,160}\text{Gd}$, $^{162,164}\text{Er}$, $^{228,232}\text{Th}$, $^{230,236,238}\text{U}$, and ^{240}Pu nuclei, as well as the spectrum of collective excitation of various bands of heavy even-even nuclei;

the expressions obtained for calculating the reduced E1- and E2-transitions probabilities in yrast- and first non-yrast-bands were used in the implementation of the fundamental project OT-F2-75 “Investigation of the properties of rotational levels of deformed nuclei of the superheavy, transuranum and rare-earth regions” (2017-2020) (letter from the Namangan Engineering and Technological Institute No. 3469-024 dated September 16, 2021). The use of scientific results made it possible to determine the sensitivity of the collective excitation of heavy even-even nuclei to the dynamics of surface oscillations of the quadrupole-octupole type;

The revealed the $\Delta I=1$ “staggering” effect behavior in the spectrum energy levels of the yrast-band alternating parity of axial and γ -bands of positive parity of triaxial even-even nuclei were used in the implementation of the fundamental project OT-F2-75 “Investigation of the properties of rotational levels of deformed superheavy nuclei, transuranium and rare earth region” (2017-2020) (letter from the Namangan Institute of Engineering and Technology No. 3469-024 dated September 16, 2021). The use of scientific results made it possible to determine the fine structure of the collective excitation spectrum of heavy even-even nuclei.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation work consists of an introduction, four chapters, a conclusion and a list of used literature. The volume of the thesis is 86 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; Part I)

1. Надирбеков М.С., Кудиратов С.Н., Темиров Ф.Н. Приведенные вероятности E1- и E2-переходов в спектре переменной четности тяжелых четно-четных ядер”// Ядерная физика. – Москва, 2019. - № 5(82). - С. 382–387 (№ 39.Impact Factor Search; IF = 0.457).
2. Надирбеков М.С., Кудиратов С.Н., Темиров Ф.Н. “I=1 “Staggering” эффект в энергетическом спектре γ -полосы тяжелых четно-четных ядер // Ядерная физика. – Москва, 2020. - № 6(83). - С. 495–503. (№ 39.Impact Factor Search; IF = 0.457).
3. Nadirbekov M.S., Kudirатов S.N., Temirov F.N. Vibrational-rotational spectra with quadrupole and octupole deformations of even-even nuclei // International Journal of Modern Physics E. - Singapore, 2020. - Vol.29, N 6. - pp. 2050031-36. ((№ 39.Impact Factor Search; IF =1.337).
4. Надирбеков М.С., Кудиратов С.Н., Туламетов М. Коллективные состояния четно-четных ядер в приближения произвольной неаксиальности // Узбекский физический журнал. – Ташкент, 2020. - № 4(22).- С.218-222 (01.00.00. №5)

II бўлим (II часть; Part II)

5. Nadirbekov M.S., Kudirатов S N., Temirov F.N. Reduced E1- and E2-probabilities transitions in the spectra of alternating parity of heavy nuclei // The Ninth International Conference “Modern Problems of Nuclear Physics and Nuclear Technologies”, September 24-27, 2019. - Tashkent, 2019. - p. 96.
6. Nadirbekov M.S., Kudirатов S.N., Temirov F.N. Alternating-parity spectra of heavy even-even nuclei // The Ninth International Conference “Modern Problems of Nuclear Physics and Nuclear Technologies”, September 24-27, 2019. - Tashkent, 2019. - p. 91.
7. Надирбеков М.С., Кудиратов С.Н., Темиров Ф.Н. Приведенные вероятности E1- и E2-переходов в спектре переменной четности тяжелых четно-четных ядер // II Международный научный форум “Ядерная наука и технологии”, 24-27 июня, 2019. – Almaty (Kazakhstan), 2019. - С. 49.
8. Nadirbekov M.S., Kudirатов S.N. Triaxiality of even-even nuclei with quadrupole and octupole deformations // LXX International conference “NUCLEUS – 2020. Nuclear physics and elementary particle physics. Nuclear physics technologies” October 11-17, 2020. - St. Peterburg (Russia), 2020. - p. 24.
9. Надирбеков М.С., Кудиратов С.Н., Шодмонов К.К. Коллективные состояния неаксиальных четно-четных ядер с квадрупольной и октупольной деформациями // Международная конференция “Фундаментальные и

прикладные вопросы физики” 22-23 сентября 2020. – Ташкент: ФТИ НПО «Физика-Солнце» АН РУз. - С. 138-141.

10. Nadirbekov M.S., Kudiratov S.N. Alternating parity spectra of even-even nuclei with quadrupole and octupole deformations // VI Республиканская конференция молодых физиков Узбекистана “Ядерная физика и ядерные технологии” 1-2 декабря 2020 г. - Ташкент, 2020. - С. 96-106.

Автореферат “ЎзМУ хабарлари” илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек ва рус тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди (05.10.2021 йил).

Бичими 60x84 1/16 “Times New Roman”
гарнитурда рақамли босма усулда чоп этилди.
Шартли босма табағи 3,25. Адади 100. Буюртма № 54

“Fan va ta’lim poligraf” MChJ босмахонасида чоп этилди.
Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 24 уй