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

БИРЛАШГАН ЯДРО ТАДҚИҚОТЛАРИ ИНСТИТУТИ

ИГАМҚУЛОВ ЗАФАР АБДУЖАББАРОВИЧ

ЭТА-МЕЗОНЛИ ЯДРОЛАРНИНГ 1,5 ÷ 2,1 ГЭВ/НУКЛОН ЭНЕРГИЯЛАР ОРАЛИҒИДАГИ p,d(^{12}C) – ТЎҚНАШУВЛАРИДА ҲОСИЛ БЎЛИШИ

01.04.08 – Атом ядроси ва элементар зарралар физикаси. Тезлаштирувчи техника

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент– 2018

УДК 539.172.12;539.172.17

Физика-математика фанлари доктори (DSc)
диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации
доктора физико-математических наук (DSc)

Content of the dissertation abstract of the doctor (DSc)
on physical and mathematical sciences

Игамқулов Зафар Абдужаббарович
Эта-мезонли ядроларнинг 1,5 ÷ 2,1 ГэВ/нуклон энергиялар оралиғидаги p,d(^{12}C)-тўқнашувларида ҳосил бўлиши..... 3

Игамкулов Зафар Абдужаббарович
Образование эта-мезонных ядер в p,d(^{12}C) - соударениях в интервале энергий 1,5 ÷ 2,1 ГэВ/нуклон ……. 25

Igamkulov Zafar Abdujabbarovich
Eta-mesic nuclei production in p,d(^{12}C) - collisions in energy interval 1.5 ÷ 2.1 GeV/nucleon……..... 47

Эълон қилинган ишлар рўйхати
Список опубликованных работ
List of published works ……..... 56

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

БИРЛАШГАН ЯДРО ТАДҚИҚОТЛАРИ ИНСТИТУТИ

ИГАМҚУЛОВ ЗАФАР АБДУЖАББАРОВИЧ

ЭТА-МЕЗОНЛИ ЯДРОЛАРНИНГ 1,5 ÷ 2,1 ГЭВ/НУКЛОН ЭНЕРГИЯЛАР ОРАЛИҒИДАГИ p,d(^{12}C) - ТЎҚНАШУВЛАРИДА ҲОСИЛ БЎЛИШИ

01.04.08 – Атом ядроси ва элементар зарралар физикаси. Тезлаштирувчи техника

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент– 2018

Диссертация Бирлашган ядро тадқиқотлари институтида (Дубна ш., Россия Федерацияси) бажарилган.

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

Илмий маслаҳатчи:	**Малахов Александр Иванович,** физика-математика фанлари доктори, профессор
Расмий оппонентлар:	**Лутпуллаев Сагдулла Лутфуллаевич,** физика-математика фанлари доктори, профессор
	Артемов Сергей Викторович физика-математика фанлари доктори
	Курепин Алексей Борисович, физика-математика фанлари доктори, профессор
Етакчи ташкилот:	**Россия Фанлар академияси П.Н. Лебедов номидаги Физика институти**

Диссертация ҳимояси Ядро физикаси институти, Астрономия институти, Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил _____ соат _____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100174, Тошкент ш., Улуғбек қўрғони, Ядро физикаси институти. Тел. (+99871) 289-31-18; факс (+99871) 289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

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

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

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

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

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

КИРИШ (докторлик диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Бугунги кунда жаҳонда экзотик ядролар структураси хусусиятларини аниқлаш ва ядро муҳитидаги эта-мезонлар ва нуклонли резонансларнинг хоссаларини ўрганиш масалаларини ҳал қилишга катта ахамият берилмокда. Ядрода боғланган эта-мезонлар ва нуклонли резонанслар ҳақида маълумот олиш замонавий фундаментал ядро физикасининг юқори устуворли масалаларидан ҳисобланади. Эта-мезонли ядроларнинг боғланиш энергияси ва кенглиги ҳамда асосий модаларининг парчаланиш эҳтимоллиги каби хусусиятларини фақат юкори илмий – техник савиядаги экспериментлар орқали аниқлаш мумкин. Ушбу йўл билан олинган экспериментал маълумотлар эта-мезонлар ва нуклонли резонансларнинг ядро нуклонлари билан ўзаро таъсирлашув механизмларини аниқлаш, мавжуд назарий башоратларни ва зич ядровий моддада кирал симметриясининг тикланиш моделларини текширишда ўта муҳимдир.

Бугунги кунда жаҳонда тезлатгичлар ички нишонида ўтқазилувчи экспериментларда реакциялар ёритувчанлигини бевосита аниқлайдиган қурилмалар мавжуд эмас. Қўлланилаётган қурилмалар ва уларнинг илмий услублари ички нишондаги кечаётган ядровий реакциялар ҳақида тўғридан – тўғри маълумот олишга қаратилмаганлиги сабабли етарли аниқликдаги экспериментал натижаларга эришиб бўлмаяпди. Шунинг учун тезлатгичларнинг ички нишонида тадқиқот усулларини ишлаб чиқиш, экзотик ядролар структурасини ва нуклонли резонансларнинг ядро муҳитидаги хусусиятларини ўрганиш учун экспериментал қурилмаларни яратиш, ҳамда тезлатгичнинг ички нишонида реакцияларнинг ёритувчанлигини аниқлаш усулларни ишлаб чиқиш ва уни амалга ошириш учун мўлжалланган, нуклотроннинг нур дастасини ғалаён қилмайдиган қурилмани яратиш долзарб вазифалардан ҳисобланади.

Мамлакатимизда экспериментал физиканинг турли йўналишларини ривожлантириш ҳамда дунё миқёсида фундаментал муаммоларни ҳал этиш бўйича кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. Бу борада ядро ва элементар зарралар физикаси йўналиши бўйича, хусусан тезлаштирувчи техника соҳасида мавжуд бўлган муаммоларни ечиш ва уларни амалиётга тадбиқ этиш, тезлатгичларда реакция ёритувчанлигини аниқлаш усулларини яратиш, ядро муҳитидаги турли мезонлар ва резонансларнинг хоссаларини ўрганиш, экзотик ядролар хусусияларини тадқиқ қилиш учун зарур қурилмаларни яратиш борасида сезиларли натижаларга эришилганлигини алоҳида таъкидлаш керак. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси асосида атом ядроси ва элементар зарралар физикаси соҳасидаги назарий ва амалий изланишлар натижасида инновацион технологияларни жорий этиш орқали элементар зарралар массаларининг келиб чиқишини аниқлаш ва квант хромодинамикасидаги назарий моделларни текшириш

соҳасининг ривожланиш самарадорлигини ошириш долзарб масалалардан биридир.

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

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

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи. Экзотик ядролар структураси, ҳусусан эта-мезонли ядроларнинг хоссаларини тадқиқ қилиш бўйича илмий тадқиқот ишлари дунёнинг қатор етакчи ядро тадқиқот марказлари ва олий ўқув юртлари, жумладан, Гельмгольц номидаги оғир ионларни ўрганиш маркази (Дармштад, Германия), Юлих илмий тадқиқот маркази (Юлих, Германия); Россия Фанлар академиясининг П.Н. Лебедев номли физика институти (Москва, Россия), Бирлашган ядро тадқиқотлари институти (Дубна, Россия); халқаро Graal коллаборацияси (Гренобль, Франция); Томас Джеферсон миллий лабораторияси (Ньюпорт Ньюс, АҚШ), Брукхейвен миллий лабораторияси (Брукхейвен, АҚШ) ва Лос-Аламос миллий лабораторияси (Лос-Аламос, АҚШ); Осака университети (Осака, Япония)да кенг қамровли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Экзотик ядролар структураси хусусиятларини ва ядро муҳитидаги эта-мезонли ядролар ва нуклонли резонансларнинг хоссаларини тадқиқ қилиш бўйича жаҳон миқёсида бир қатор илмий натижалар олинган, жумладан: эта-мезонли ядроларнинг мавжудлиги башорат қилинган ва ηN-тўқнашув жараёни учун сочилиш узунлиги $a_{\eta N}$ - нинг қиймати s-тўлқин яқинлашувида ҳисобланган (Лос-Аламос миллий лабораторияси, АҚШ), фотореакцияларда эта-мезонларнинг туғилиши бўйича дастлабки ижобий натижалар олинган (П.Н. Лебедев номидаги Физика институти, Россия), N*(1535) нуклонли резонанс ва эта-мезонларнинг ядровий муҳитдаги хоссалари ўрганилган (Осака университети, Япония), фотореакцияларда эта-мезонларнинг парчаланиши бўйича сигнал олинган (Гельмгольц номидаги оғир ионларни ўрганиш маркази, Дармштад, Германия), эта-мезонларнинг синглет компонентаси аромати аниқланган ва эта-мезон структураси бўйича маълумот олинган, эта-мезон ва ядронинг боғланган системаси сочилиш узунлиги $a_{\eta N}$-нинг қиймати назарий баҳоланган (Франция, Германия, Россия халқаро коллаборацияси доирасида), фотореакцияда туғилган эта-мезонли

ядроларнинг парчаланишидан ҳосил бўлувчи жуфт зарралар қайд қилинган (П.Н. Лебедев номидаги Физика институти, Россия).

Эта-мезонли ядроларни ўрганиш бўйича қуйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: эта-мезонли ядроларнинг таркибидаги η-мезон ва S_{11}-резонансларининг энергетик сатҳи ва унинг кенглигини ўлчаш; ηN-таъсирлашув амплитудасини аниқлаш; ядроларда S*N* →NN жараённи тадқиқ қилиш; ядровий муҳитнинг ядрода боғланган з-мезон ва S_{11}-резонанси хусусиятларига (массаси, яшаш вақти) таъсирини ўрганиш; ηN-таъсирлашув потенциалини ядровий муҳитдаги η-мезон ва S_{11}-резонанснинг массалари ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда аниқлаш; эта-мезонларнинг енгил ядроларда ҳосил бўлиш имкониятларини ўрганиш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Дастлабки эта-мезонли ядроларни излашга бағишланган эксперимент 1988 йилда америкалик олимлар A.M. Chrien ва бошқалар томонидан (Брукхейвен миллий лабораторияси, АҚШ) амалга оширилган, бунда $\pi^- A \rightarrow pX$ реакциясида M_X масса етишмовчилиги спектри ўрганилган. Ўша даврда илгари сурилган назарияга асосан кенглиги 5 - 10 МэВ атрофида бўлган чўққининг мавжудлиги кутилган. Аммо экспериментда бундай чўққи қайд этилмаган ва бунга сабаб деб, эта-мезоннинг боғлиқлик ҳолатининг хусусий кенглигининг катта бўлишлиги хамда қолдиқ ядронинг уйғонган холатда колиб кетишлиги деб топилган.

Эта-мезонли ядролар парчаланиш маҳсулотларини (корреляцияланган πN жуфтликлар) қайд этишга асосланган эта-мезонли ядроларни излашнинг муқобил (альтернатив) усули россиялик олимлар Г.А. Сокол ва В.А. Трясучевлар (П.Н. Лебедев номли Физика институти, Россия) томонидан тавсия этилган. Ушбу ғояга асосланиб, Россия Фанлар академиясининг Физика институти электрон синхротронининг фотонлари дастасида эксперимент амалга оширилган, корреляцияланган жуфтликлар туғилишининг баъзи белгилари қайд этилган, лекин эта-ядролар бўйича маълумот олинмаган. Эта-мезонли ядроларнинг парчаланиш маҳсулотларини ионлар ва протонлар дастасида ўлчаш немис олимлари томонидан (Гельмгольц номидаги оғир ионларни ўрганиш маркази ва Юлих илмий-текшириш маркази, Германия) амалга оширилган, аммо ушбу экспериментлар ижобий натижа бермаган.

Электрон тўплагичида электрон-лазер сочилишидан ҳосил бўлувчи фотонлар ёрдамида туғиладиган эта-мезонли ядролар хусусиятларини ўрганиш имконияти Халқаро Graal коллаборацияси доирасида (Гренобль, Франция) кўрилган, лекин ушбу тажрибалар ўтказилмаган.

Нуклотроннинг ички нишонида юз берадиган реакцияларнинг ёритувчанлигини аниқлаш учун дельта-электронларни қўллаш имконияти россиялик олимлар А.С. Артемов ва бошқаларнинг (Бирлашган ядро тадқиқотлари институти, Дубна, Россия) назарий ишида кўрилган. Электронларни селекция қилиш учун икки магнитли анализаторни қўллаш

ғояси [1] таклиф этилган ва дельта-электронларни селекциялаш учун индукцияси $\vec{B} \approx 0{,}6$ Тл магнит майдонини яратиш зарур бўлган. Бирок шу майдоннинг ўзи дастанинг тезлашишини сусайтириб юборишга олиб келиши мумкинлиги ва бошка техникавий муаммолар ва мураккабликлар туфайли реакцияларнинг ёритувчанлигини аниқлаш учун дельта-электронларни қўллаш ғояси амалга оширилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши Бирлашган ядровий тадқиқотлар институтининг илмий-тадқиқот ва халқаро ҳамкорлик ишлари режаларининг, 02-1-1087-2005/2017 рақамли «Нуклотронда, SPS ва SIS18 ускуналарида релятивистик оғир ва енгил ионларни тадқиқ қилиш физикаси» мавзусидаги илмий лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади экзотик ядролар структурасини ва ядро муҳитидаги эта-мезон ва нуклонли резонансларнинг хоссаларини экспериментал аниклашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

нуклотроннинг ички нишонидан тўқсон градусга яқин ёки кичикроқ бурчаклар остида учиб чиқаётган зарядланган зарраларни қайд қилиш ва таҳлил қилиш учун икки елкали магнитсиз спектрометрни яратиш;

ички нишондан тўғри бурчаклар остида бир вақтнинг ўзида қарама қарши томонларга учиб чиқаётган жуфт зарраларни (энергияси ва учиб чиқиш бурчаги бўйича корреляцияланган) ўлчаш, ҳамда фон ўлчовлари учун қайд қилиш бурчагини ўзгартира олиш;

нуклотроннинг ички нишонида юз берадиган реакциялар ёритувчанлигини ўлчашнинг универсал ва қўлланилишда қулай бўлган усулини ишлаб чиқиш;

нуклотроннинг ички нишонидан аниқланган бир бурчак остида учиб чиқувчи дельта-электронларни қайд қилиш ва селекциялаш орқали реакциянинг ёритувчанлигини аниқлаш қурилмасини яратиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида ички нишон ядроларининг тезлаштирилган ядролар билан ўзаро тўқнашуви натижасида вужудга келадиган жараёнлар, ҳамда уларда ҳосил бўладиган экзотик ядроларнинг ҳусусиятлари олинган.

Тадқиқотнинг предметини нуклотроннинг ички нишонидаги pA- и dA-реакциялари вақтида юзага келадиган резонанс структуралар ва экзотик ядролар ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Ички нишон усули ёрдамида нишоннинг учиб келаётган ядролар билан ўзаро таъсирлашуви натижасида ундан отилиб чиқаётган иккиламчи зарралар қайд қилинади. Режалаштирилган дастур доирасидаги эта -мезонли ядроларни излаш экспериментининг шароитида ва

[1] Артемов А.С., Афанасьев С.В., В.С. Алфеев и др. Схема и расчет магнитного анализатора электронов для исследований по релятивистской атомной физике на внутренних мишенях нуклотрона // Письма в ЭЧАЯ. - 2007. -Т.4, № 3(139). -С.434-442.

тегишли реакциялари учун DST маълумотлари йиғилади, уларга кейинчалик ишлов берилади. Маълум бир физикавий жараёнлар учун олинган ушбу экспериментал маълумотлар кейинчалик таҳлил қилиниб, моделлаштириш (GEANT, RQMD ва бошқа моделлаштириш дастурлари ёрдамида) маълумотлари билан таққосланади.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

дейтронлар дастаси энергияси 2,1 ГэВ/нуклон бўлган $d^{12}C$-таъсирлашувда эта-мезонли ядроларнинг ҳосил бўлиши тўлиқ кесимининг $\sigma_\eta = 11 \pm 8$ μb янги экспериментал қиймати олинган;

нуклотронда учиб келаётган дейтронлар дастасининг уч хил энергияси (1,5; 1,9 ва 2,1 ГэВ/нуклон) ўртача қиймати учун экзотик углерод ядросида ҳосил бўлувчи $S_{11}(1535)$-резонансининг боғланиш энергияси $E_g(S_{11}) = (50.3 \pm 20)$ МэВ га тенг бўлиб, бу қиймат $S_{11}(1535)$-резонансининг парчаланишидан туғилувчи π^-p-жуфтликлар эффектив массалари спектрида кузатилган чўққи (1484.7 ± 20) МэВ/c^2 кўрсатгичидан ҳисобланган ва чўққининг кенглиги (36.1 ± 9) МэВ/c^2 га тенг эканлиги аникланган;

$S_{11}(1535)$-резонанси η-мезон билан нуклон қўшилиши натижасида пайдо бўлишини ҳисобга олган ҳолда (нуклоннинг боғланиш энергияси $\Delta m = 7.3$ МэВ), экзотик углерод ядросидаги η-мезоннинг боғланиш энергияси учун янги $E_g(\eta) = (43 \pm 20)$ МэВ қиймат олинган;

нуклотроннинг ^{29}Cu ва ^{47}Ag ички нишонлари учун дельта-электронларни ўлчаш орқали топилган реакция ёритувчанлиги ва ҳақиқий реакция ёритувчанлиги орасидаги пропорционаллик коэффициентини аниқловчи алгоритм таклиф этилган ва учиб келувчи дейтронларнинг E_d=326÷366 МэВ/нуклон энергияларида ҳақиқий ёритувчанликнинг ўртача қиймати мис нишони учун $\bar{L}_e(dCu) = (0,9 \pm 0,03) \times 10^{30}$ см$^{-1}$·с$^{-1}$ ва кумуш нишони учун $\bar{L}_e(dAg) = (0,27 \pm 0,012) \times 10^{30}$ см$^{-1}$·с$^{-1}$ қийматларга тенглиги аниқланган;

нуклотроннинг ички нишони учун Δ(1232)-резонансининг ҳосил бўлиш кесимини баҳолашнинг янги усули тавсия қилинган ва учиб келаётган протонларнинг турли хил кинетик энергиялари учун σ_1=13,15 mb (T_{p1}=1,4 ГэВ), σ_2 = 10,80 mb ($T_{p\,2}$= 1,7 ГэВ), σ_3 = 9,86 mb (T_{p3} = 1,9 ГэВ) қийматлари олинган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

нуклотроннинг турли ички нишонлари ва тезлаштирилувчи ядролари учун реакция ёритувчанлигини аниқлашнинг универсал усули ишлаб чиқилган ва нуклотроннинг ички нишонида рўй берувчи реакциялар ёритувчанлигини диагностика қилиш учун махсус ярим ўтказгичли ΔE-E детектори яратилган;

ядровий муҳитда боғланган η-мезон ва нуклонли резонансларнинг ҳусусиятларини тадқиқ қилиш ва экзотик ядроларнинг структурасини ўрганиш учун мўлжалланган икки елкали СКАН қурилмаси ва унга икки босқичли электроника тизими ишлаб чиқилган ва яратилган;

протонлар ва зарядли пионларни (S_{11}(1535)-резонансининг парчаланишидан ҳосил бўлувчи) қайд қилишнинг юқори самарадорлигига эришилган, уларнинг импульслари диапазонида пионлар учун ~90% ва протонлар учун~ 95% кўрсатгич олинган ва TOF-тизимининг ажрата олиш рухсати ~150 ps қийматга тенг эканлиги аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги биринчи галда экспериментал маълумотларнинг катта статистикаси (нуклотроннинг бир неча йиллик сеансидаги маълумотлар) билан, зарраларни массаси бўйича аниқроқ идентификациялаш ҳамда уларнинг импульслари ва тезликларини катта аниқликда ўлчаниши билан; экспериментал маълумотларга ишлов беришда ва таҳлил қилишда ҳаммабоп статистика усулларини қўллаш, ҳамда натижаларни изоҳлашда инклюзив ва эксклюзив ёндашувларнинг ишлатилиши билан; экспериментда олинган маълумотларнинг экзотик ядроларни тадқиқи бўйича ўтказилган бошқа эксперименталар натижаларига ва асосий назарий ишларнинг хулосаларига мос келишлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти олинган натижаларнинг экзотик ядролар структураси ва ядровий муҳитдаги эта-мезон ва нуклонли резонансларнинг ҳусусиятлари бўйича маълумотлар базасини тўлдириши ва такомиллаш-тириши; назарий моделларни яратишда ва ион тезлатгичларида экзотик ядроларни излаш бўйича экспериментларни амалга оширишда қўлланиши мумкинлиги билан белгиланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундаки, таклиф этилган реакция ёритилганлигини аниқлаш усули ва унга яратилган қурилма тезлатгичларда қўйиладиган эксперименталр аниқлигининг ошишига ва янада мукаммалроқ ускуналарнинг яратилишига асос бўлади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Эта-мезонли ядроларни p,d(^{12}C)-тўқнашувларда ҳосил бўлиши бўйича бажарилган ишлар асосида:

нуклотроннинг ички нишонидан маълум бурчак остида учиб чиқувчи дельта-электронлар ёрдамида pA-, dA- реакцияларининг ҳақиқий ёритувчанлигини аниқлашнинг универсал усули Росссия Бирлашган ядро тадкикотлари институтининг юкори энергиялар физикаси лабораториясида бир неча нуклотрон сеанслари даврида қўлланилган. Олинган натижалар асосида Бирлашган ядровий тадкикотлари институтининг халқаро ҳамкорлик дастури доирасида «Хорий Хулубей» номидаги Миллий физика ва ядровий технологиялар институтига (Бухарест, Руминия) оптималлаштирилган ярим ўтказгичли ΔE-E детектор вариантини ишлаб чиқариш учун техник буюртма тайёрланган (Бирлашган ядро тадкикотлари институтининг 2017 йил 14 декабрдаги 010-43/545-сонли маълумотномаси). Илмий-тадкикот натижаларининг қўлланиши Юкори энергиялар физикаси лабораториясининг нуклотронида қўллаш учун янги ярим ўтказгичли ΔE-E детекторни ишлаб чиқариш имконини берган;

дельта-изобара туғилиши кесимини баҳолаш усули ва олинган натижалар нуклотроннинг ички нишонида эта-мезонли ядроларнинг ҳусусиятларни тадқиқ қилишда қўлланилган (Бирлашган ядро тадкикотлари институтининг 2017 йил 14 декабрдаги 010-43/545-сонли маълумотномаси). Илмий-тадкикот натижаларининг қўлланиши уч елкали СКАН-3 қурилмасини яратиш имконини берган;

эта-мезонли ядроларнинг $d^{12}C$-таъсирлашувда ҳосил бўлиши тўлиқ кесимининг қиймати, экзотик углерод ядросидаги эта-мезон ва S_{11}-резонансининг боғланиш энергияларининг аниқланган янги қийматлари Россия Фанлар академияси Физика институтида назарий ҳисобларда қўлланилган (Россия Фанлар академияси Физика институтининг 2017 йил 14 декабрдаги 11220-9311-1650-сонли маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши эта-мезонли ядролар хусусиятлари, эта-мезон ва $S_{11}(1535)$-резонансининг ядро муҳитидаги хоссаларини ўрганиш бўйича янги тадкикотларни режалаштириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 12 та халқаро анжуманларда муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 23 та илмий иш нашр қилинган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 11 та мақола, шулардан 8 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар руйхатидан иборат. Диссертациянинг умумий ҳажми 159 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва заруратлиги асослаб берилган, тадқиқотнинг мақсадлари ва вазифалари тавсифланган, тадқиқотнинг объекти, предмети ва усуллари равшанлаштирилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги тушунтирилган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, натижаларнинг амалда жорий қилиниши ва уларнинг апробацияси ҳамда диссертациянинг таркиби тўғрисидаги қисқача маълумот бериб ўтилган.

Диссертациянинг **«Эта-мезоннинг ядро билан боғланган ҳолатининг ҳосил бўлиши шартлари ва уни дунёнинг турли тезлатгичларида излаш»** деб номланган биринчи бобида ички нишонлар ёрдамида амалга оширилган экспериментларнинг умумий классификацияси келтирилган. Қутбланмаган ядролар дасталари ва стабил ядролардан иборатнишонлар ёрдамида бажарилган эксперименталь ишлар қисқача тахлил қилинган.

Эта-мезонли ядроларни излаш ва тадқиқ қилиш, ядро муҳитидаги эта-мезонлар ва нуклонли резонансларнинг хусусиятларини ўрганиш бўйича асосий назарий ва эксперименталь ишлар изоҳланган. η-мезон ядролари ҳақидаги тасаввурларнинг ривожланишига туртки бўлувчи ядро физикасининг айрим муаммолари кўриб чиқилган, жумладан, ечилиши керак бўлган долзарб масалалар санаб ўтилган:

-η-мезонли ядро таркибидаги η-мезон ва $S_{11}(1535)$-резонанслар учун E_g энергия сатҳларини ва уларнинг Γ_g кенгликларини ўлчаш;

-ηN таъсирлашувнинг амплитудасини аниқлаш;

-ядроларда S*N* → NN жараёнини ўрганиш;

-ядрода боғланган ҳолатда бўлган η-мезон ва $S_{11}(1535)$-резонансларнинг хусусиятларига (массаси, яшаш даври) ядро муҳитининг таъсирини ўрганиш;

-ядрода таъсирлашувчи зарраларнинг (η-мезон ва $S_{11}(1535)$-резонанси) масса-си ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда ηN-таъсирлашувнинг потенциалини аниқлаш;

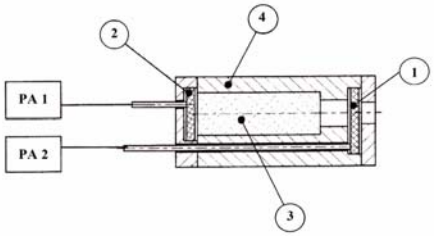
-камнуклонли η-мезонли ядролари, яъни A<4 бўлган η-мезонли ядроларнинг ҳосил бўлиши имкониятларини тадқиқ қилиш.

GSI илмий маркази (Германия) ионлар тезлатгичида, Юлих илмий тадқиқот маркази (Германия) қурилмасида ва Graal коллаборацияси (Франция) қурилмасида, ҳамда Осака университети (Япония) нинг Spring-8 қурилмасида, Россия Фанлар академиясининг Физика институти (Россия) Пахра синхротронида эта -мезонли ядроларни ўрганиш истиқболлари кўриб чиқилган.

Диссертациянинг **«Нуклотроннинг ички нишонидан учиб чиқувчи иккиламчи зарраларни қайд қилиш усулларини ишлаб чиқиш»** деб номланган иккинчи бобида нуклотроннинг ички нишонида эта-мезонлиядроларни излаш ва реакциянинг ёритувчанлигини аниқлаш учун яратилган услуб ва эксперименталь қурилма батафсил тавсифланган. Барча

физикавий эксперименталар Бирлашган ядро тадқиқотлари институти Юқори энергиялар физикаси лабораториясида нуклотронининг ички нишонлари станциясида ўтказилган ва ушбу боб давомида нишонларни ишлатиш амалиёти ва ички нишонлар станциясининг ўзи тавсифланади.

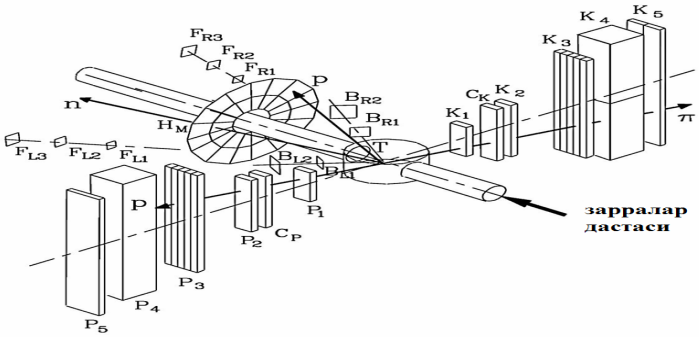
Аввал таъкидлангандек, атом ва ядро физикасида тезлатгич ички нишонларини ишлатадиган кўпчилик физикавий эксперименталарда (масалан, эта-мезонли ядроларни излашда), реакция ёритувчанлиги L_c(см$^{-2}\times$с$^{-1}$) ни назорат қилиш эҳтиёжи пайдо бўлади. Ушбу масалани ҳал қилиш учун, ядролар дастаси билан таъсирлашаётган нишондан учиб чиқувчи дельта-электронлардан фойдаланиб, нуклотроннинг ички нишонидаги реакциянинг ёритувчанлигини аниқлашнинг янги усули таклиф қилинган. Дельта-электронларни қайд қилишда, ушбу мақсад учун махсус яратилган (1-расм) яримўтказгичли ΔE-E детекторини қўллаш тавсия этилган:



1-расм. ΔE – E–детекторнинг схемаси: 1) ΔE(Si) детектори, 2) S3590-08 PIN фотодиоди, 3) CsI(Tl) ноорганик сцинтилляцион кристали, 4) детекторнинг дюралюминийлик корпуси; PA1 ва PA2-таъминот ва сигнал кабеллари

Яратилган икки елкали СКАН қурилмаси, унинг параметрлари ва хусусиятлари алоҳида тавсифланган. Ушбу қурилма эта-мезонли ядроларининг парчаланишидан ҳосил бўлувчи корреляцияланган (πp,pp) зарядли зарраларнинг тадқиқоти учун мўлжалланган.

Спектрометрик қисм (P_1-P_5 ва K_1-K_5) 180^0 бурчак остида сочилаётган πp ва pp-жуфтликларни текшириш учун мўлжалланган. У иккита бир хил елкалардан (P-елка ва K-елка) иборат бўлиб, тезлатгичнинг дастаси бўйлаб мос равишда ўнг ва чап томонларда жойлашган (2-расм).



2-расм. Йиғилган СКАН экспериментал қурилмасининг икки елкали варианти схемаси

Спектрометрнинг ишлаш принципи, зарранинг берилган база узунлигини учиб ўтиш вақти (ΔT) бўйича унинг тезлигини ва кинетик энергиясини, ҳамда детекторнинг моддасида энергия ажралиши (E-ΔE) миқдорини ўлчашга асосланган (ΔT-E-ΔE идентификация).

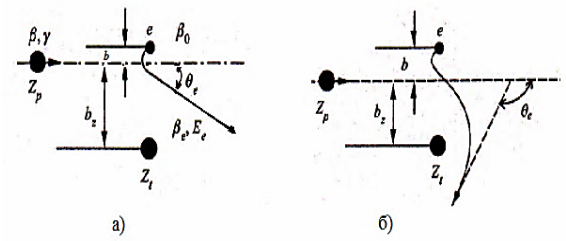
Бўлим давомида маълумотларни қайд этиш ва йиғиш электроникаси таърифланади, СКАН қурилмасининг ўлчаш тизимива детекторларини калибровка қилиш алоҳида баён этилган.

Диссертациянинг **«Нуклотроннинг ички нишонида реакцияларнинг ёритувчанлигини диагностика қилиш»** деб номланган учинчи бобида ΔE–E яримўтказгичли детектор ёрдамида нуклотроннинг ички нишонида бўлаётган реакциянинг ёритувчанлигини L_c ($см^{-2}$ $с^{-1}$) аниқлашнинг янги усули таърифланади. Ушбу усулларга бўлган зарурат тезлатгичнинг ички (ипсимон ёки фольгали) нишонларини ишлатиш мобайнида, атом ва ядро физикасида физикавий жараёнларнинг кесимларини ўлчашда ва эта-мезонли ядроларни излашда яққол қўринади. ΔE–E детектори вакуумли ички нишонлар камерасидаион узатгичи ўқига нисбатан 64^0 қутбий бурчак остида ўрнатилган бўлиб, у нуклотрон ички нишонининг ионлар дастаси билан таъсирлашувидан учиб чиқадиган дельта-электронларни қайд қилади.

Вақт бирлиги давомида қайд этилган иккиламчи зарраларнинг сони dN/dΩ ва уларнинг ҳосил бўлиши дифференциал кесими dσ/dΩ (θ бурчаги остида) бир- бири билан қуйидаги ифода орқали боғланган:

$$\frac{dN}{d\Omega}(\theta) = L_c \frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) \qquad (1)$$

3-расмда нишонга олиш b параметрининг турли қийматлари учун, учиб келаётган ядро билан нишон электронининг жуфт кулон таъсирлашуви схемаси кўрсатилган.



3-расм. *а*) эркин электрон билан учиб келаётган зарранинг "соф" жуфт таъсирлашуви; б) нишонга олиш параметри b нинг қиймати ошиб бориши билан, нишон ядроси иштирокидаги таъсирлашув

Бу ерда, Z_p ва Z_t – мос равишда даста ядролари ва нишон ядроларининг зарядлари; β и β_0 – учиб келаётган ядронинг ва нишон электронининг тезликлари; θ_e–электроннинг учиб чиқиш бурчаги ва E_e– унинг дастанинг ядроси билан таъсирлашувидан кейинги кинетик энергияси; $\gamma = 1/(1-\beta^2)$.

$b \ll b_z$ ҳолатида нишон хусусий ядросинингмайдони Z_t таъсирини эътиборга олмаса ҳам бўлади ва $\beta_0 \ll \beta$ шартида электронни даставвал тинч

турибди деб ҳисоблаш мумкин. Нишон атомининг электрони учиб келаётган ядро билан таъсирлашувида, кинематика жиҳатидан, туб маънода δ-электроннинг θ_e учиб чиқиш бурчагига боғланган E_e энергияга эга бўлади:

$$E_e = 2m_e\frac{(\gamma^2-1)\cos^2\theta_e}{\gamma^2-(\gamma^2-1)\cos^2\theta_e} \qquad (2)$$

Унинг қиймати ўзаро таъсирлашувнинг нишонга олиш параметри (b) билан қуйидаги ифода билан боғланган:

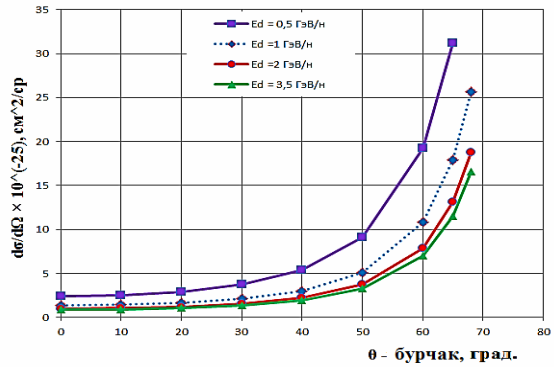
$$E_e = (Z_p)^2\frac{2m_e}{\beta^2}\frac{r_e^2}{b^2} \qquad (3)$$

бунда Z_p-учиб келаётган зарранинг заряди, m_e- классик электроннинг массаси ва r_e-унинг радиуси.
(2) ва (3) ни бирлаштириб, ҳамда $d\sigma_e = 2\pi bdb$ ни ҳисобга олиб, куйидагини олишимиз мумкин:

$$d\sigma_e = 2\pi(Z_p)^2\frac{r_e^2}{\beta^4}\frac{\sin\theta_e}{\cos^3\theta_e}d\theta_e = (Z_p)^2\frac{r_e^2}{\beta^4}\frac{d\Omega}{\cos^3\theta_e} \qquad (4)$$

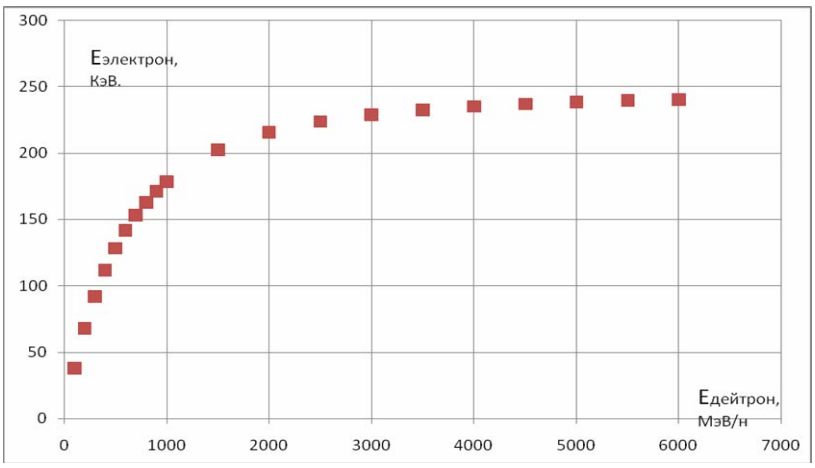
бунда $r_e = 2{,}82\cdot10^{-13}$см – электроннинг классик радиуси, $0 \le \theta_e \le 90^0$.

(4) формула бўйича ҳисобланган дельта-электронлар чиқишининг дифференциал кесимини ҳисоблаш натижалари 4-расмда келтирилган.



4-расм. Учиб келаётган дейтронларнинг E_d = 0,5; 1; 2 и 3,5 ГэВ/н энергияларида, δ-электронлар чиқиши дифференциал кесими $d\sigma_e/d\Omega_e$ ($см^2\cdot ср^{-1}$)нинг θ_e бурчакга (учиб келаётган зарранинг импульс ўқига нисбатан) боғлиқлиги

Юкори энергиялар физикаси лабораторияси нуклотронининг ички нишонида амалга ошириладиган экспериментлардареакция ёритилганлигини диагностикалаш усулини қўллаш имкониятлари муҳокама қилинган. Нишонга учиб келаётган дейтронларнинг Юкори энергиялар физикаси лабораторияси нуклотронига хос бўлган турли энергиялари E_d учун δ-электронларнинг ҳисобланган энергияси E_e ($\theta_e \approx 64^0$) келтирилган (5-расм).



5-расм. Дельта-электронлар энергиясининг Нуклотроннинг учиб келувчи дейтронлари энергиясига (электронларнинг нишондан учиб чиқиш $\theta_e \approx 64^0$ бурчаги учун) боғлиқлиги

Айтиш мумкинки, ички нишондан 64^0 бурчак остида учиб чиқаётган δ-электронларнинг энергияси платога $E_{emax} \approx$ 250 кэВ қийматида чиқиб олади. Қуйидаги 1-жадвалда ЛФВЭ нуклотронида учиб келаётган ядроларнинг қатор ишчи энергиялари (ГэВ·нуклон$^{-1}$) қиймати ва $\theta_e \approx 64^0$ бурчаги учун ҳисобланган $d\sigma_e / d\Omega_e$ (см^2·ср$^{-1}$) қийматлари кўрсатилган.

1-жадвал

Нишонга учиб келаётган протонлар энергиясига электронлар чиқиши кесимининг боғлиқлиги (протон учун Z_p = 1)

$\frac{d\sigma_e}{d\Omega_e}$,($\times 10^{-25} Z_p^2$)*	9,65	10,1	11,5	12,9	16,0	28,3
E_d, ГэВ/нуклон	6	4	2	1,5	1	0,5

*бунда Z_p^2 - учиб келувчи зарранинг заряди.

Нуклотронда тезлатилган ҳар хил зарралар учун, дельта-электронлар чиқишининг дифференциал кесимини осонлик билан ҳисоблаш мумкин. Дейлик, учиб келаётган ядро сифатида аргон Ar (Z_p=18) бўлса, унда дифференциал кесим $Z_p^2 = 18^2 = 324$ қийматни ҳисобга олган ҳолда топилади.

Шундан кейин, маълум бўлган формулалар асосида ички нишондан чиқадиган δ-электронларнинг кутилаётган сонини ҳисоблаш усули тасвирланади. Нуклотроннинг ишлаш цикли (T_c) вақтида, нуклотрон халқаси бўйлаб ҳаракатланаётган ядролар дастаси ва нишоннинг ўзаро таъсирлашуви натижасида ички нишондан чиқаётган δ-электронларнинг кутилаётган сони қуйидаги ифода ёрдамида аниқланади:

$$\frac{dN_e}{d\Omega_e}(\theta_e) = \bar{L}_c T_c Z_t \frac{d\sigma_e}{d\Omega_e}(\theta_e), \qquad (5)$$

бу ерда $\bar{L}_c$ – цикл вақти бўйича ўртача ёритилганлик[1].

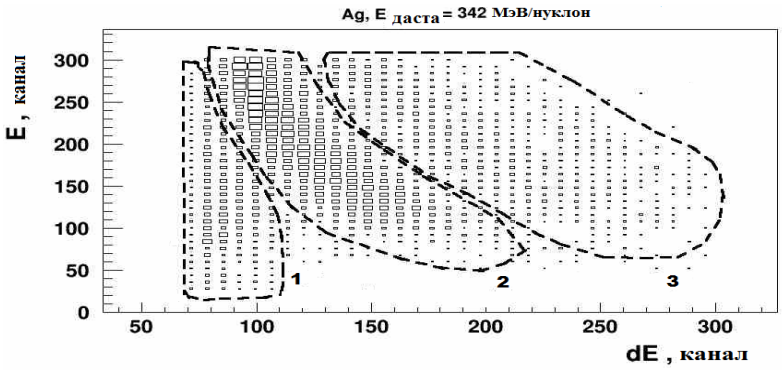
Умуман олганда, $d\sigma_e/d\Omega_e(\theta_e)$ миқдорни экспериментал аниқлашни амалга оширса бўлади, бунда фақат нишон қалинлиги t ва бир цикл даври давомида нишонга урилувчи ядролар сони N_0 ни етарли даражада аниқ назорат қилиш керак бўлади. Бундай ҳолда, битта компонентли ички нишондан учиб чиқувчи δ-электронлар сони қуйидагига тенг бўлади:

$$\frac{dN_e}{d\Omega_e}(\theta_e)|_c = t \cdot \frac{Z_t}{A_t} \cdot 6 \cdot 10^{23} \cdot N_o \cdot \frac{d\sigma_e}{d\Omega_e}(\theta_e), \qquad (6)$$

бунда t – нишон қалинлиги (г/см^2), Z_t, A_t – нишоннинг заряди ва атом оғирлиги.

Яримўтказгичли детектор билан ўтказилган дастлабки тажрибаларда, қалинлиги мос равишда 35 мг/см^{2}ва 21 мг/см^2 бўлган бўлган ^{29}Cu ва^{47}Ag нишонлари қўлланилган. Тезлаштирилган дейтронлар энергияси 326 МэВ/н дан 366 МэВ/н гача оралиқда бўлган, дастанинг интенсивлиги эса бир секундда I_d=(7÷ 7,9)×10^{9}га тенг бўлган.

^{29}Cu ва^{47}Ag нишонлари учун олинган экспериментал маълумотлар таҳлили, уч хил турли зарраларга мос келувчи учта алоҳида – cut 1, cut2 ва cut3 зоналар мавжудлигини кўрсатади. Ҳар битта зарралар гуруҳига мос келувчи ўз Гаусс функцияси мавжуд бўлиб, уларнинг сонини ҳисоблаб топиш мумкин, масалан, ҳар бир экспериментал бинда мавжуд бўлган зарралар сонининг суммасини ҳисоблаш орқали (6-расм).



6-расм. Дейтронларнинг E_d=342 МэВ/нэнергиясида Ag нишони учун олинган экспериментал натижаларнинг dE - E боғлиқлиги. Чизиқлар учта зарраларга мос келадиган учта соҳани ажратиб турибди: cut 1 − электронлар, cut 2 − протонлар, cut 3 – дейтронлар ва ундан оғирроқ зарралар

Электронларнинг кутилаётган чиқиши қуйидаги схема асосида ҳисобланади:

[1]Аникина М.Х., Афанасьев С.В., Анисимов Ю.С.идр. Программа исследований по физике η-мезонных ядер на нуклотроне ЛВЭ ОИЯИ //Препринт ФИАН.- Москва.-2003.–(с.21).

1. детекторга вақт бирлиги давомида тушаётган электронларнинг сони $N_e/t_{ўлчаш}$ аниқланади;
2. 64^0 бурчаги остида нишондан учиб чиқаётган электронларнинг умумий сони $dN_e/d\Omega_e(\theta_e)$ ни, детекторнинг бурчак аксептанси ($1{,}6 \times 10^{-5}$ ср)ни ҳисобга олган ҳолда, ҳисобланади.

Нишоннинг маълум бўлган қалинлигида ва материалида, ҳамда дастанинг маълум интенсивлиги N_0 (имп/сек)да, θ_e бурчак остида учиб чиқаётган электронларнинг кутилаётган сони формула(6) билан аниқланади. Шундан кейин, формула (1) ни ишлатиб ва $\frac{d\sigma_e}{d\Omega_e}$ ни билган ҳолда (1-жадвални қаранг), тезлатгичнинг цикли вақти бўйича реакциянинг ўртача ёритув-чанлигини $\bar{L}_c$ ($см^{-2}\cdot с^{-1}$) аниқласа бўлади. Шундай қилиб, нуклотрон ҳалқасида айланаётган дейтронлар дастаси билан ички нишоннинг ўзаро таъсирлашуви натижасида ҳосил бўладиган δ-электронларнинг кутилаётган чиқиш сонини ҳисоблаш, экспериментал маълумотлар N_e(exp.) ва формула (6) дан олинган N_e(calc.) бўйича 2 ва 3-жадвалларда келтирилган натижаларни берди.

2-жадвал

Тезлаштирилган дейтронлар дастасининг турли энергияларида кумушли ички нишондан чиқиши кутилаётган электронларнинг сони

Ag(MeV/n)	326	334	340	342	356
N_e(exp.)	$8{,}93 \cdot 10^4$	$1{,}02 \cdot 10^5$	$0{,}99 \cdot 10^5$	$0{,}93 \cdot 10^5$	$0{,}87 \cdot 10^5$
N_e(calc.)	$1{,}77\cdot10^8$	$1{,}79\cdot10^8$	$1{,}68\cdot10^8$	$1{,}67\cdot10^8$	$1{,}59\cdot10^8$

3-жадвал

Тезлаштирилган дейтронлар дастасининг турли энергияларидамис ички нишонидан чиқиши кутилаётган электронларнинг сони

Cu(Mev/n)	350	352	356	360	366
N_e(exp.)	$4{,}34 \cdot 10^4$	$3{,}9 \cdot 10^4$	$3{,}92 \cdot 10^4$	$4{,}23 \cdot 10^4$	$4{,}4 \cdot 10^4$
N_e(calc.)	$3{,}07 \cdot 10^8$	$3{,}0 \cdot 10^8$	$2{,}99\cdot10^8$	$3{,}14\cdot10^8$	$3{,}08\cdot10^8$

Олинган маълумотлардан айтиш мумкинки, кутилаётган электронлар чиқиши ((6) формула бўйича ҳисобланган) N_e(calc.) нинг экспериментал аниқланган электронлар сони N_e(exp.)га нисбати, бир хил нишон тури учун доимий ўзгармас бўлади ва учиб келаётган ядроларнинг энергиясига боғлиқ эмас. Бу ҳолатда, ^{47}Ag нишони учун ушбу нисбат қуйидагига тенг:

$$K_{Ag} = N_e(calc.)/\ N_e(exp.) = 1803 \pm 80 \qquad (7)$$

Реакциянинг ёритувчанлиги ички нишондан чиқиши кутилаётган электронлар сонига тўғри пропорционал эканлиги сабабли:

$$\bar{L}_e(calc)/\bar{L}_e(exp.) = N_e(calc)/ N_e(exp.) = K_{Ag},$$

У ҳолда, δ-электронлар бўйича аниқланувчи ёритувчанлик $\bar{L}_e(exp.)$ ва dAg – реакциясининг ҳақиқий ёритувчанлиги ўзаро қуйида муносабатда боғланган бўлади:

$$\bar{L}_e(dAg) = K_{Ag} \times \bar{L}_e(exp.) = (1803 \pm 80) \cdot \bar{L}_e(exp.), \qquad (8)$$

ва амалда K_{Ag} коэффициенти тезлатгичнинг учиб келаётган дейтронлари энергиясининг ўзгаришига боғлик эмас.

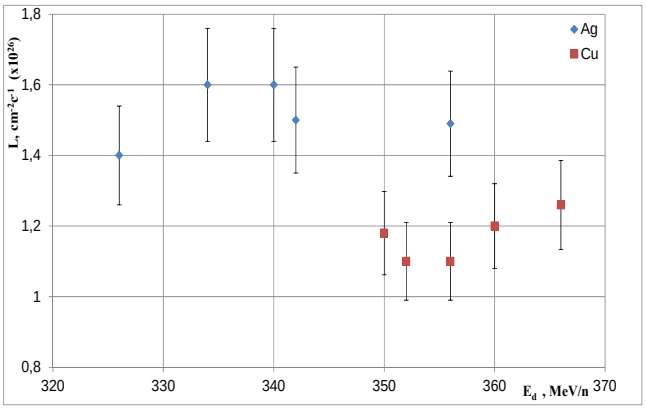
Худди ўша коэффициент ^{29}Cu нишони учун бошқа қийматда бўлади ва бу ерда реакциянинг ёритувчанлиги қуйидагига тенг:

$$\bar{L}_e(dCu) = K_{Cu} \times \bar{L}_e(exp.) = (7352 \pm 220) \cdot \bar{L}_e(exp.), \qquad (9)$$

ва худди шундай, K_{Cu}- ҳам тезлаштирилган дейтронлар дастасининг турли энергияларида ўзгармас қийматда бўлади.

Масалан, 2 ва 3 жадваллардаги маълумотларни ишлатиб, dCu реакцияси (E_d = 360 МэВ/н) учун ёритувчанликни (7-расм) аниқласа бўлади:

$$\bar{L}_e = (1{,}18 \pm 0{,}12) \times 10^{26} см^{-1} \cdot с^{-1} \ (exp.), \qquad (10)$$



7-расм. ΔE-E детекторларидан олинган экспериментал маълумотлар бўйича аниқланган ёритувчанлик қийматлари, яъни дельта-электронлар бўйича dAg- ва dCu- реакциялари учун

Дельта-электронлар бўйича аниқланган $\bar{L}_e$ ёритувчанликни (10 - ифода) K_{Cu} коэффициентга кўпайтирилса, унда реакциянинг ҳақиқий ёритувчанлиги топилади:

$$\bar{L}(dCu) = K_{Cu} \times \bar{L}_e = (0{,}9 \pm 0{,}03) \times 10^{30} см^{-1} \cdot с^{-1}, \qquad (11)$$

Ушбу бўлим давомида, дельта-электронлар усули асосидаги нуклотроннинг ички нишонидаги рекция ёритилганлигини диагностика қилишнинг келгуси ривожи бўйича қатор хулосалар қилинган.

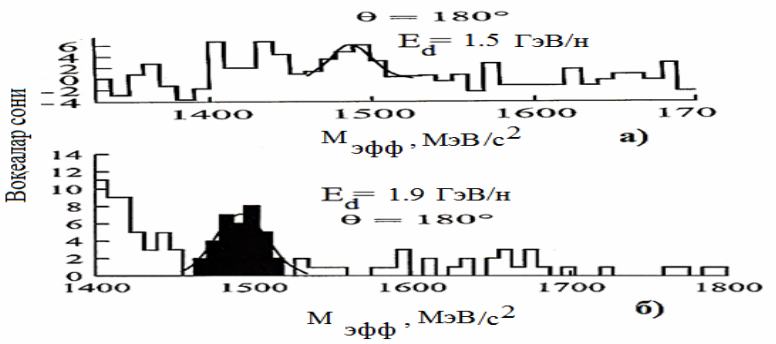
Диссертациянинг **«Эта-мезонли ядролар ва нуклотроннинг ички нишони ядроларида туғилувчи экзотик ядроларни идентификациялаш усуллари»** деб номланган тўртинчи бобида экзотик ядроларни излаш ва уларнинг хусусиятларини тадқиқ қилиш келтирилган. Нуклотроннинг ички нишонидаги pA, dA – реакцияларда, эта-мезонли ядроларни излаш учун яратилган СКАН қурилмасида, изланаётган ҳодисаларнинг (эффектнинг) “кутилаётган чиқишини” ва қайд этиш самарадорлигини бошланғич баҳолаш муаммосининг ечими таърифланган. Бу масалани ҳал қилиш учун маълум бўлган реакцияни, масалан, pA-таъсирлашувдан кейин, қолдиқ ядрода тинч ҳолатдаги Δ(1232)-изобаранинг ҳосил бўлишини ишлатса бўлади. Кўрсатилган реакцияда, нишон ядросида Δ(1232)-изобара ҳосил бўлиш жараёни механизмларидан бири, эта-мезонли ядро шаклланиши йўлининг барча босқичларини такрорлайди. Юқорида кўрсатилган масалани ечиш мақсадида нуклотроннинг ички углерод нишони учун Δ(1232)-резонанснинг туғилиши кесимини баҳолашнинг янги усули ишлаб чиқилган ва нишон ядросида Δ(1232)-резонансининг икки босқичли ҳосил бўлишжараёни учун кинематик ҳисоблашлари ўтказилди. Ушбу усул, ички нишонга учиб келаётган протонларнинг (ёки дейтронларнинг) энергияси қийматига асосланиб, тинч ҳолатдаги Δ(1232)-изобаранинг ҳосил бўлиши тўлиқ кесимини баҳолашга имкон беради. Дельта-резонанснинг pA-реакцияда туғилиши тўлиқ кесимини баҳолаш, учиб келаётган протонларнинг ҳар хил кинетик энергиялари учун, қуйидаги қийматларни берди: σ_1=13.15 mb (T_{p1}=1,4 ГэВ), σ_2=10.80 mb (T_{p2} =1,7 ГэВ),σ_3=9.86 mb (T_{p3}=1,9 ГэВ). Нуклотроннинг ички нишонидаги pA-тўқнашувларида η-ядроларнинг ҳосил бўлишининг тўлиқ кесими ушбу усул бўйича ҳисобланганда, $\sigma_\eta(p^{12}C)$ = 3,3 μb га тенг бўлиб чиқди. Ҳисоблашлар (таклиф қилинган усул бўйича) η-мезонли ядролар парчаланишидан чиқувчи кутилаётган “воқеалар”(^{12}C нишони ва протонлар энергияси E_p~ 2 ГэВ/н учун) $Y(\pi^- p) \approx 133$ воқеа/соат қийматини беради.

Тўртинчи бўлим давомида эта-мезонли ядроларнинг хоссаларини нуклотроннинг ички нишонида тадқиқ қилиш бўйича олинган натижалар муҳокама қилинади, асосий ҳулосалар ва қоидалар таърифланган бўлиб, улар асосида тадқиқ қилинаётган η-мезонли ядроларнинг хусусиятлари ҳақида сўз юритиш мумкин. Мисол учун, учиб келаётган зарраларнинг энергияси бўйича (бизнинг ҳолимизда дейтронлар) η-ядролар ҳосил бўлишининг оддий ва етарлича ишончли критерияси деб *бўсаға эффекти* аталган. Навбатдаги критерий деб η-мезонли ядродаги S_{11}(1535)-резонанснинг ва η-мезоннинг *боғланиш энергиялари* кўрсатилади.

Бир неча йиллар давомида Юкори энергиялар физикаси лабораторияси нуклотронининг ички нишонлар станциясида олинган (икки елкали СКАН қурилмаси ёрдамида) экспериментал натижалар асосида, ядро муҳитидаги

нуклонли $S_{11}(1535)$ -резонанс ва η-мезон характеристикалари тахлил қилинган. Қуйида $S_{11}(1535)$ резонанси парчаланишидан ҳосил бўлувчи π^-p-жуфтликнинг эффектив массалари спектри бўйича, учиб келаётган дейтронлар дастасининг турли энергиялари учун, олинган натижалар келтирилган:

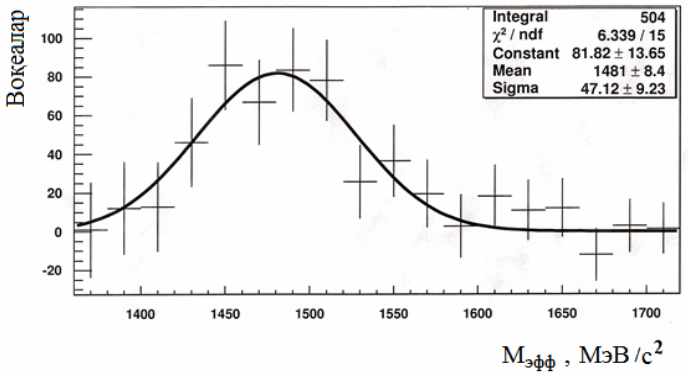
-дейтронларнинг бирламчи дастаси энергияси E_d= 1.5 ГэВ/н учун π^-p-жуфтликнинг эффектив массалари спектри чўққиси $M_{эфф}$ = (1480 ± 18) МэВ/c^2 характеристикага эга, унинг кенглиги эса 23 МэВ/c^2га тенг (8.а-расм);



8-расм. $S_{11}(1535)$-резонанси доирасида πр-жуфтликнинг эффектив массалари тақсимоти, учиб келаётган дейтронлар дастаси энергияси 1,5 ГэВ/нуклон (а) ва 1,9 ГэВ/нуклонлар (б) учун

-айни ўша чўққи дейтронлар дастасининг E_d= 1.9 ГэВ/н энергияси учун $M_{эфф}$=(1493 ± 4) МэВ/c^2 ва кенглик 38.3 МэВ/c^2 қийматларни кўрсатади (8.б-расм);

-дейтронлар бирламчи дастасининг энергияси E_d= 2.1 ГэВ/н учун (1481 ± 8.4) МэВ/c^2 белгида чўққи олинган, унинг кенглиги эса (47 ± 9) МэВ/c^2 га тенг бўлди (9-расм).



9-расм.Дейтронлар дастасининг 2.1 ГэВ/нуклон энергиясида танлаб олинган ҳодисаларнинг эффектив массалари спектри, $S_{11}(1535)$-резонансинингпарчаланишиданҳосил бўлувчи (π^-p)-жуфтлик учун

Юқорида олинган экспериментал маълумотлар асосида,ядрода боғланган $S_{11}(1535)$-резонанснинг парчаланишидан ҳосил бўлувчи E(π+p) йиғинди энергиялар тақсимоти максимуми ҳолатининг ΔE-энергиявий силжишини,

эркин $S_{11}(1535)$-резонансининг шу монанд тақсимоти максимумининг жойлашишига нисбатан, баҳолаш амалга оширилди. Якунида $S_{11}(1535)$-резонанси учун энергиявий силжиш қиймати, учиб келаётган дейтронлар дастасининг уч хил энергиясида, қуйидагича бўлди:

1. ΔE = 1535 МэВ – (1480 ± 18) МэВ = (55 ± 18) МэВ E_d= 1.5 ГэВ/н да;
2. ΔE = 1535 МэВ – (1493 ± 4) МэВ = (42 ± 4) МэВ E_d= 1.9 ГэВ/н да;
3. ΔE = 1535 МэВ – (1481 ± 8.4) МэВ = (54 ± 8.4) МэВ E_d= 2.1 ГэВ/н да.

Энергия бўйича ΔE га силжиш, худди шу қийматга η-мезонли ядрода боғланган $S_{11}(1535)$-резонанси массасининг, эркин ва ядрода боғланмаган $S_{11}(1535)$-резонанси массасига нисбатан, ўзгарганлигини англатади. Олинган натижалардан қўриниб турганидек, E_d= 1.5, 1.9 ва 2.1 ГэВ/н энергиялари учун ΔE қийматлари яқин бўлиб чиқди, ўртача (50.3 ± 20) МэВ га тенг ва кейинги ҳисоб-китобларда шу ўртача қиймат олинади. $S_{11}(1535)$-резонансининг (эта-мезонли ядрода боғланган)энергияси бўйича ΔE силжишни ўлчашдаги хатоликлар, π ва р- спектрометрларида зарраларнинг учиб ўтиш вақтини ўлчаш аниқлиги ҳамда тескари масалани ечишдаги хатолардан келиб чиқиб, баҳоланади. $S_{11}(1535)$-резонанси η-мезон билан нуклоннинг ядрода бирикиши натижасида ҳосил бўлишини ва нуклоннинг ядрода боғланиш энергияси Δm = 7.3 МэВ эканлигини ҳисобга олиб, ядрода боғланган η-мезоннинг масса дефекти қиймати топилди:

$$\Delta m(\eta) = (50.3 \pm 20)\ \text{МэВ} - 7.3\ \text{МэВ} = (43 \pm 20)\ \text{МэВ} \qquad (13)$$

Шундай қилиб, $S_{11}(1535)$-резонанснинг ва η-мезоннинг ^{12}C-углерод ядросида боғланиш энергияси (ёки масса дефекти) қуйидаги қийматларни беради:

$$E_g(S_{11}) = (50.3 \pm 20)\ \text{МэВ} \qquad (14)$$

$$E_g(\eta) = (43 \pm 20)\ \text{МэВ} \qquad (15)$$

$S_{11}(1535)$-резонанснинг парчаланишидан ҳосил бўлувчи π^-р-жуфтликнинг эффектив массалар спектридаги чўққи кенглиги, дейтронларнинг уч хил энергия қийматлари учун, ўртача ~ (36.1 ± 9)МэВ ни ташкил қилади. Турли муаллифлар баҳолашига кўра, кутилаётган боғланиш энергияси ва кенглиги, мос равишда ~10−20 МэВ ва ~30 МэВ бўлиши керак. Олинган натижаларни таққослашдан кўринишича, кенглик қиймати хатоликлар доирасида башорат қилинган қийматларга мувофиқ келган, лекин боғланиш энергияси бироз каттароқ чиққан, буни деярлик тинч ҳолатдаги S11(1535)-резонанснинг бир миқдор импульсга эга бўлишлиги билан тушунтириш мумкин. Бу ерда нуклонларнинг ядродаги ферми-тақсимотини ҳам ҳисобга олиш керак, лекин унинг ўлчанаётган характеристикаларга, яъни (πр)-жуфтликнинг сочилиш бурчаги ва компонентлари энергиялари бўйича корреляциясига таъсири кучсиз деб таъкидлаш мумкин.

Шунингдек, қуйидаги реакцияда η-мезонли ядроларнинг *туғилиши тўлиқ кесимини* баҳолаш келтирилган:

$$d + C \rightarrow (A_2)_\eta + ... \rightarrow \pi + p + ... , \qquad (16)$$

N_{in}=1.5 ÷ 2.2×10^9 ноэластик таъсирлашувнинг тақсимотига кўра, спектрометрнинг фазовий бурчаги ($\Omega \approx 8 \times 10^{-3}$стер.) ни ва dC реакцияси ноэластик таъсирлашувлари кесими σ_{in} = 426 ± 22 мбарн ларни ҳисобга олган ҳолда, жараённинг тўлиқ кесими қуйидаги қийматда баҳоланади:

$$\sigma(A_\eta) = \frac{4\pi}{\Omega}\frac{N_{eff} - N_{fon}}{N_{in}}\sigma_{in} \approx 11 \pm 8\,\mu b$$

$d^{12}C$-реакциясида олинган эта-мезонли ядролар ҳосил бўлиши тўлиқ кесимининг қиймати, бошқа муаллифлар ишида' олинган маълумотларга яхши мос келади, уларда $p^{12}C$-реакцияси учун ўтказилган ҳисоблашлар ≈ 4 μb қийматини берган (дейтронларучун тўлиқ кесимнинг қиймати деярли икки баравар катта).

Ушбу бобнинг охирида шу факт таъкидланадики, олинган натижалар η-мезонли ядроларни идентификациялаш усулини, тегишли реакцияларни ва экспериментни амалга ошириш шароитларини тўғри танлаш, СКАН спектрометрини қўллаш билан бевосита боғлиқдир. Ушбу кўрилган барча чоралар изланаётган эффектни ўлчаш, унинг кесими кичкина бўлишига қарамасдан, уни фоннинг катта оқимидан ажратиб олиш имкониятини берган.

ХУЛОСА

"Эта-мезонли ядроларнинг 1,5 ÷ 2,1 ГэВ/нуклон энергиялар оралиғидаги p,d(^{12}C) - тўқнашувларида ҳосил бўлиши" мавзусидаги докторлик диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар бўйича қуйидаги хулосалар тақдим этилади:

1. Дейтронлар дастаси энергияси 2,1 ГэВ/нуклон бўлган $d^{12}C$-таъсирлашувда эта-мезонли ядроларнинг ҳосил бўлиши тўлиқ кесимининг σ_η = 11± 8 μb янги экспериментал қиймати олинди.

2. Нуклотронда учиб келаётган дейтронлар дастасининг уч хил (1,5; 1,9 ва 2,1 ГэВ/нуклон) энергиялари ўртача қиймати учун экзотик углерод ядросида ҳосил бўлувчи S_{11}(1535)-резонанси боғланиш энергияси $E_g(S_{11})$ = (50.3 ± 20) МэВ аниқланган. Бу қиймат S_{11}(1535)-резонансининг парчаланишидан туғилувчи π^-p-жуфтликлар эффектив массалари спектрида кузатилган чўққи (1484.7 ± 20) МэВ/c^2 кўрсатгичидан ҳисобланган бўлиб, чўққининг кенглиги (36.1 ± 9) МэВ/c^2 га тенг бўлди. S_{11}(1535)-резонанси η-мезон билан нуклоннинг бирикиши натижасида пайдо бўлишлиги асосида (нуклоннинг боғланиш энергияси Δm = 7.3 МэВ), экзотик углерод ядросидаги η-мезоннинг боғланиш энергияси учун янги қиймат олинди $E_g(\eta)$ = (43 ± 20) МэВ.

3. Нуклотроннинг ^{29}Cu ва ^{47}Ag ички нишонлари учун δ-электронларни ўлчаш орқали топилган реакция ёритувчанлиги ва ҳақиқий реакция ёритувчанлиги орасидаги пропоционаллик коэффициентини аниқловчи

алгоритм таклиф қилинди. Учиб келувчи дейтронларнинг E_d= 326÷ 366 МэВ/нуклон энергияларида ҳақиқий ёритувчанликнинг ўртача қийматлари мис нишони учун $\bar{L}_e$(dCu) = (0,9 ± 0,03) ×10^{30} $см^{-1}·с^{-1}$ ва кумуш нишони учун $\bar{L}_e$ (dAg) = (0,27 ± 0,012) ×10^{30} $см^{-1}·с^{-1}$ лар аниқланди.

4. Нуклотроннинг ички нишони учун pA-ноэластик тўқнашувларда ҳосил бўлувчи Δ(1232)-резонансининг кесимини баҳолашнинг янги усули тавсия қилинди. Нуклотроннинг учиб келаётган протонларининг турли хил кинетик энергиялари учун дельта-резонанси туғилишининг тўлиқ кесими қийматлари олинди: σ_1=13,15 mb (T_{p1}=1,4 ГэВ), σ_2=10,80 mb (T_{p2}=1,7 ГэВ), σ_3=9,86 mb (T_{p3}=1,9 ГэВ). Нуклотроннинг ички нишонидаги pA-тўқнашувларда η-ядро-ларининг ҳосил бўлишининг тўлиқ кесими σ_η ($p^{12}C$) = 3,3 μb аниқланди.

5. Нуклотроннинг турли ички нишонлари ва тезлаштирилувчи ядролари учун реакция ёритувчанлигини аниқлашнинг универсал усули ишлаб чиқилди, дельта-электронларни селекциялашда нуклотроннинг ички нишонида рўй берувчи реакциялар ёритувчанлигини диагностика қилиш учун махсус ясалган ярим ўтказгичли ΔE-E детектори қўлланилди.

6. Ядровий муҳитда боғланган η-мезон ва нуклонли резонансларнинг ҳусусиятларини тадқиқ қилиш ва экзотик ядроларнинг структурасини ўрганиш учун мўлжалланган икки елкали СКАН қурилмаси ва унга икки босқичли электроника тизими ишлаб чиқилди ва яратилди.

7. Протонлар ва зарядли пионларни (S_{11}(1535)-резонанснинг парчаланишидан ҳосил бўлувчи) қайд қилишнинг, уларнинг импульслари диапазонида пионлар учун ~ 90% га ва протонлар учун ~ 95% га, юқори самарадорлигига эришилди. Қурилманинг ҳар бир елкасининг геометрик аксептанси θ = 6^0 ва φ = 35^0 ни ташкил қилди. TOF-тизимининг ажрата олиш рухсати ~ 150 ps қийматга тенг бўлди.

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

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ИГАМКУЛОВ ЗАФАР АБДУЖАББАРОВИЧ

ОБРАЗОВАНИЕ ЭТА-МЕЗОННЫХ ЯДЕР в p,d(^{12}C) - СОУДАРЕНИЯХ В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 1,5 ÷ 2,1 ГЭВ/НУКЛОН

01.04.08- Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ускорительная техника

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА (DSc) ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

Ташкент – 2018

Диссертация выполнена в Объединенном институте ядерных исследований (г.Дубна, Российская Федерация).

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:	**Малахов Александр Иванович,** доктор физико-математических наук, профессор
Официальныеоппоненты:	**Лутпуллаев Сагдулла Лутфуллаевич,** доктор физико-математических наук, профессор
	Артемов Сергей Викторович, доктор физико-математических наук
	Курепин Алексей Борисович, доктор физико-математических наук, профессор
Ведущая организация:	**Физический институт им. П.Н. Лебедова Российской академии наук**

Защита диссертации состоится «_____» _____ 2018 г. в _____ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 при Институте ядерной физики, Астрономическом институте, Национальном университете Узбекистана (100124, г. Ташкент, пос. Улугбек, ИЯФ; тел. (+99871) 289-31-18; факс (+99871) 289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

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

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

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

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

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

ВВЕДЕНИЕ (Аннотация докторской диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время во всем мире изучению структуры экзотических ядер и исследованию свойств эта-мезонов и нуклонных резонансов в ядерной среде уделяется большое внимание. Получение сведений о свойствах эта-мезонов и нуклонных резонансов, связанных в ядре, входит в число высокоприоритетных задач, которыми занимается современная фундаментальная ядерная физика. Известно, что только экспериментальным путем возможно определение таких свойств эта-мезонных ядер, как энергия связи и ширины, а также вероятности основных мод распада. В установлении механизмов взаимодействия эта-мезонов и нуклонных резонансов с нуклонами ядер, проверке имеющихся теоретических предсказаний и моделей восстановления киральной симметрии в плотной ядерной материи просматривается востребованность в измерениях и получении таких сведений.

В настоящее время экспериментальных установок по определению светимости реакций на внутренней мишени ускорителей практически не существует и заметна не достаточная точность существующих установок и методов, применяемых для этих целей. Поэтому разработка методов исследования на внутренней мишени ускорителей, создание экспериментальных установок для изучения структуры экзотических ядер и исследования свойств эта-мезонов и нуклонных резонансов в ядерной среде, а также методов определения светимости реакций на внутренней мишени ускорителя и созданиене возмущающей сам пучок нуклотрона установки к ним является актуальной.

В нашей Республике большое внимание уделяется развитию различных направлений экспериментальной физики и проведению фундаментальных исследований по этим направлениям на мировом уровне. В этом плане удалось достичь значимых результатов в ядерной физике и физике элементарных частиц, в частности: в решении существующих проблем в области ускорительной техники и их практическом применении; в разработке и создании методов определения светимости реакций на ускорителях; в изучении свойств различных мезонов и нуклонных резонансов в ядерной среде; в создании востребованных установок для исследования структуры экзотических ядер. В соответствии со «Стратегией действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 гг.», актуальной задачей является повышение эффективности отрасли на основе теоретических и практических исследований в области атомного ядра и физики элементарных частиц за счет внедрения инновационных технологий в определении проблемы происхождения массы элементарных частиц и проверке теоретических моделей квантовой хромодинамики.

Данная научно-исследовательская работа соответствует задачам, предусмотренным в Указе Президента Республики Узбекистан УП–4958 “О дальнейшем совершенствовании системы послевузовского образования” от

16 февраля 2017 года, в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-1442 «О приоритетах развития промышленности Республики Узбекистан в 2011-2015 годах» от 15 декабря 2010 года, № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17февраля 2017 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

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

Обзор международных научных исследований по теме диссертации. Исследования по изучению структуры экзотических ядер, в частности, по исследованию свойств эта-мезонных ядер проводятся в большинстве ядерных центрах мира, в том числе в Центре по изучению тяжелых ионов имени Гельмгольца (Дармштадт, Германия), Юлихском научно-исследовательском центре (Юлих, Германия), в Физическом институте имени П.Н.Лебедева Росссийской академии наук (Москва, Россия), Объединенном институте ядерных исследований (Дубна, Россия), в международной коллаборации Graal (Гренобль, Франция), в Национальной лаборатории Томаса Джеферсона (Ньпорт Ньюс, США), Брукхейвенской национальной лаборатории (Брукхейвен, США), Лос-Аламосской национальной лаборатории (Лос-Аламос, США) и в университете Осаки (Осака, Япония).

По исследованию особенностей структуры экзотических ядер и изучению свойств эта-мезонов и нуклонных резонансов в ядерной среде на мировом уровне получен ряд важных результатов, в частности: предсказана возможность существования эта-мезонных ядер и рассчитаны длины рассеяния $a_{\eta N}$ процесса ηN - взаимодействия в приближении s-волны (Лос-Аламосская национальная лаборатория, США), получены первые положительные результаты по рождению η-мезонных ядер в фотореакциях (Физический институт им. П.Н. Лебедева, Россия), исследованы свойства нуклонного резонанса N*(1535) и η-мезонов в ядерной среде (Осакинский университет, Япония), зарегистрированы сигналы от распада η-мезонных ядер в фотореакциях (Центр по изучению тяжелых ионов имени Гельмгольца, Германия), определена синглетная компонента η-мезона по аромату и получены данные по структуре η мезона, получены теоретические оценки длины рассеяния $a_{\eta N}$ связанной системы η-мезона и ядра (в рамках международных коллабораций, Франция, Германия, Россия), создана одноплечевая установка по изучению свойств эта-мезонов (Объединенный институт ядерных исследований, Россия), зарегистрированы парные частицы от распада эта-мезонных ядер, рожденных в фотореакциях (Физический институт им. П.Н. Лебедева, Россия).

По изучению з-мезонных ядер ведутся исследования по следующим фундаментальным направлениям: измерение энергетических уровней и их

ширин для з-мезона и S_{11} -резонанса в составе з-мезонного ядра; определение амплитуды зN –взаимодействия; исследование процесса S*N* →NN в ядрах; изучение влияния ядерной среды на характеристики (масса, время жизни) з-мезона и S_{11}-резонанса, связанного в ядре; определение потенциала зN-взаимодействия с учетом изменения массы з-мезона и $S_{11}(1535)$ – резонанса в ядерной среде; исследование возможности образования з-мезонных ядер в легких ядрах.

Степень изученности проблемы. Первый эксперимент по поиску η-мезонных ядер был проведен в 1988 году американскими учеными A.M. Chrien и др. (Брукхейвенская национальная лаборатория, США), которыми в реакции $\pi^- A \rightarrow pX$ изучался спектр недостающих масс M_X. На основе развитой тогда теории ожидалось увидеть пики шириной около 5 - 10 МэВ. Однако никакого пика обнаружено не было, и причиной этого явилась существенно большая ширина пика, вызванная как собственно шириной связанного состояния η-мезона, так и возбуждением остаточного ядра.

Альтернативный способ поиска η-мезонных ядер путем регистрации продуктов их распада (коррелированных πN пар) был предложен российскими учеными Г.А. Соколом и В.А. Трясучевым (Физический институт им. П.Н. Лебедева, Россия) в 1991 году. Следуя этой идее, на фотонном пучке электронного синхротрона был проведен эксперимент, получены некоторые признаки появления коррелированных пар, но по эта-ядрам сведений не получено.

В последующие годы поиск η-мезонных ядер начали проводить по продуктам их распада, например на ионном пучке Центра по изучению тяжелых ионов имени Гельмгольца (Дармштадт, Германия) и протонном пучке Юлихского научно-исследовательского центра (Юлих, Германия), но положительных результатов эти эксперименты не дали. На электронном накопителе в рамках международной коллаборации Graal (Гренобль, Франция) была рассмотрена возможность проведения экспериментов по изучению свойств эта-мезонных ядер, формируемых фотонами от электрон-лазерного рассеяния с использованием установки Graal, но они не были проведены.

При проведении различных физических экспериментов на внутренней мишени нуклотрона, определение светимости реакции является важным моментом. В теоретических работах российских ученых Артемова А.С. и др. была рассмотрена возможность применения дельта-электронов для определения светимости реакций на внутренней мишени нуклорона. Была выдвинута идея использования двухмагнитного анализатора[1] и для селекции электронов нужно было создать магнитное поле с индукцией $\vec{B} \approx 0{,}6$ Тл. Данный проект из-за технических проблем и сложностей в исполнении не был осуществлен.

---

[1] АртемовА.С., АфанасьевС.В., В.С. Алфеевидр. Схема и расчет магнитного анализатора электронов для исследований по релятивистской атомной физике на внутренних мишенях нуклотрона // Письма в ЭЧАЯ. - 2007. -Т.4, № 3(139). -С.434-442.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ. Работа выполнена в рамках проблемно-тематических планов и международного сотрудничества Объединенного института ядерных исследований по теме 02-1-1087-2005/2017 «Исследования по физике релятивистских тяжелых и легких ионов на Нуклотроне, SPS и SIS18».

Целью исследования является выяснение особенностей структуры экзотических ядер и изучение свойств эта-мезонов и нуклонных резонансов в ядерной среде.

Задачи исследования:

создать двухплечевой безмагнитный спектрометр для регистрации и анализа заряженных частиц, вылетающих из внутренней мишени нуклотрона под углами $\approx 90^0$;

измерять пары заряженных частиц (коррелированные по энергии и углу разлета компонент), одновременно разлетающиеся друг от друга под углами $\approx 180^0$, менять угол регистрации для проведения фоновых измерений;

разработать универсальную и доступную в исполнении методику измерения светимости реакций на внутренних мишенях нуклотрона;

создать установку для определения светимости реакций путем регистрации и селекции дельта-электронов, вылетающих из внутренней мишени нуклотрона под определенным углом.

Объектом исследования являются физические процессы на внутренней мишени, происходящие при ее взаимодействии с различными ускоренными ядрами нуклотрона, а также свойства рождающихся в них экзотических ядер.

Предметом исследования является образование резонансных структур и экзотических ядер в pA- и dA-реакциях на внутренней мишени нуклотрона.

Методы исследования. Методом внутренних мишеней регистрируются вторичные частицы, вылетающие из мишени при ее взаимодействии с налетающим пучком ядер нуклотрона. Осуществляется набор данных DST при соответствующих реакциях и условиях эксперимента по поиску η-мезонных ядер по намеченной программе и проводиться их последующая обработка. Эти экспериментальные данные, полученные под определенные физические процессы, затем анализируются и сравниваются с моделированными данными (GEANT, RQMD и другие программы моделирования).

Научная новизна исследования заключается в следующих результатах, полученных впервые:

получено новое экспериментальное значение для полного сечения образования η-мезонного ядра в $d^{12}C$- взаимодействии σ_η = 11± 8 μb при энергии пучка дейтронов 2,1 ГэВ/нуклон;

определена энергия связи $S_{11}(1535)$-резонанса $E_g(S_{11})$ = (50.3 ± 20) МэВ в экзотическом ядре углерода, в среднем по трем энергиям налетающих дейтронов (1,5; 1,9 и 2,1 ГэВ/нуклон) нуклотрона, эта величина вычислена по

обнаруженному пику в спектре эффективных масс π^-p-пары от распада S_{11}(1535)-резонанса на отметке (1484.7 ± 20) МэВ/c^2, ширина пика оказалось равной (36.1 ± 9) МэВ/c^2;

получено новое значение $E_g(\eta)$ = (43 ± 20) МэВ для энергии связи η-мезона в экзотическом ядре углерода с учетом того, что S_{11}(1535)-резонанс появляется в результате слияния η-мезона и нуклона в ядре (энергия связи нуклона Δm = 7.3 МэВ);

предложен алгоритм нахождения коэффициента пропорциональности между истинной светимостью и измеряемой по дельта-электронам светимостью реакций для ^{29}Cu и ^{47}Ag мишеней нуклотрона и получено среднее значение истинной светимости $\bar{L}_e$(dCu) = (0,9 ± 0,03) ×10^{30} см$^{-1}$·с$^{-1}$для медной мишени и $\bar{L}_e$(dAg) = (0,27 ± 0,012) ×10^{30} см$^{-1}$·с$^{-1}$для серебряной мишени при энергиях налетающих дейтронов E_d= 326÷366 МэВ/нуклон;

предложен новый метод оценки сечения рождения Δ(1232) - резонанса для внутренней мишени нуклотрона и для разных кинетических энергий налетающих протонов получены значения: σ_1=13,15 mb (T_{p1} =1,4 ГэВ),σ_2=10,80 mb (T_{p2} =1,7 ГэВ),σ_3=9,86 mb (T_{p3}=1,9 ГэВ).

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан универсальный метод определения светимости реакций для различных внутренних мишеней и типов ускоряемых ядер пучка нуклотрона и создан полупроводниковый ΔE-E детектор, специально разработанный для диагностики светимости реакций на внутренней мишени нуклотрона;

разработана и создана двухплечевая установка СКАН и двухступенчатая система электроники к ней, предназначенная для изучения структуры экзотических ядер и исследования свойств η-мезонови нуклонных резонансов, связанных в ядерной среде;

достигнута высокая эффективность регистрации протонов и заряженных пионов (от распада S_{11}(1535)-резонанса) в диапазоне их импульсов ≈ 90% для пионов и ≈ 95% для протонов и получено разрешение TOF-системы равное ≈ 150 ps.

Достоверность полученных результатов обосновывается, прежде всего, большой статистикой экспериментального материала (данные за несколько лет сеансов нуклотрона), более точной идентификацией частиц по массе, а также измерением их импульсов и скоростей с большой точностью; применением общепринятых статистических методов обработки и анализа экспериментальных данных, а также использованием как инклюзивного, так и эксклюзивного подходов к интерпретации результатов; соответствием полученных экспериментальных данных с результатами других экспериментов по исследованию экзотических ядер и основными выводами теоретических работ по исследованию экзотических ядер.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования определяется восполнением базы данных по структуре экзотических ядер и свойствам эта-мезонов и нуклонных резонансов в ядерной среде; возможностью

применения в создании теоретических моделей и использования при проведении подобных экспериментов по поиску экзотических ядер на ускорителях ионов.

Практическая значимость результатов исследований заключается в том, что предложенный метод определения светимости реакций и созданная установка к нему являются основанием для повышения точности проводимых экспериментов по поиску экзотических ядер на ускорителях и для создания более совершенных установок к ним

Внедрение результатов исследований. На основе полученных результатов по образованию эта-мезонных ядер в p,d(^{12}C) – соударениях:

разработанная универсальная методика определения истинной светимости реакций в pA-, dA-реакциях по дельта-электронам, вылетающих под определенным углом из внутренней мишени была использована в нескольких сеансах нуклотрона Лаборатории физики высоких энергий Объединенного института ядерных исследований (ЛФВЭ ОИЯИ). По полученным результатам в соответствии с программой международного сотрудничества ОИЯИ было подготовлено техническое задание на изготовление оптимизированного варианта полупроводникового ΔE-E детектора для Национального института физики и ядерных технологий «Хорий Хулубей» (Бухарест, Румыния) (Письмо Объединенного института ядерных исследований № 010-43/545 от 14 декабря 2017 года). Применение результатов научных исследований позволило разработать новый полупроводниковый ΔE-E детектор для использования на нуклотроне Лаборатории физики высоких энергий;

предложенный метод оценки сечения рождения дельта-изобары и полученные результаты были использованы в исследовании свойств эта-мезонных ядер на внутренней мишени нуклотрона (Письмо Объединенного института ядерных исследований № 010-43/545 от 14 декабря 2017 года). Применение результатов научных исследований позволило создать трехплечевую установку СКАН-3;

полученное значение полного сечения образования эта-мезонного ядра в d^{12}C- взаимодействии, определенные новые значения энергии связи S_{11}(1535)-резонанса и эта-мезона в экзотическом ядре углерода были использованы в теоретических расчетах в Физическом Российской академии наук (Письмо Физического института Российской академии наук № 11220-9311-1650 от 14 декабря 2017 года). Применение результатов научных исследований позволило планирование новых экспериментов по изучению структуры экзотических ядер и исследованию свойств эта-мезона и S_{11}(1535)-резонанса в ядерной среде.

Апробация работы. Результаты данных исследований прошли обсуждение на 12 международных конференциях.

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликованы 23 научные работы, из них 11 научных статей в рекомендованных для публикаций основных научных результатов докторских диссертаций Высшей

аттестационной комиссией Республики Узбекистан научных изданиях, из них 8 в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Общий объем диссертации составляет 159 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цели и задачи, выявлены объект, предмет и методы исследования, 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 «**Условия формирования связанного состояния эта-мезона с ядром и их поиск на различных ускорителях мира»** дана общая классификация экспериментов, проводимых с использованием внутренних мишеней. Дается краткий обзор экспериментальных работ с использованием неполяризованных пучков и мишеней из стабильных ядер.

Изложены основные теоретические и экспериментальные работы по поиску и исследованию η-мезонных ядер и изучению свойств эта-мезонов и нуклонных резонансов в ядерной среде. Рассмотрены некоторые проблемы ядерной физики, стимулировавшие развитие представлений об η-мезонных ядрах, в частности перечислены актуальные задачи, которые требуют решения:

-измерение энергетических уровней E_g и их ширин Γ_g для η-мезона и $S_{11}(1535)$-резонанса в составе η-мезонного ядра;

-определение амплитуды ηN –взаимодействия;

-исследование процесса S*N* →NN в ядрах;

-изучение влияния ядерной среды на характеристики (масса, время жизни) η-мезона и $S_{11}(1535)$ -резонанса, связанного в ядре;

-определение потенциала ηN-взаимодействия с учетом изменения массы взаимодействующих в ядре частиц (η-мезона и $S_{11}(1535)$ - резонанса);

-исследование возможности образования малонуклонных η-мезонных ядер, т.е. η-мезонных ядер с $A< 4$;

Рассмотрены перспективы исследований η-мезонных ядер с использованием пучков γ-, π-, p- и d- частиц в Германском ядерном центре GIM (Дармштадт, Германия), Физическом институте им. П.Н. Лебедева (Москва, Россия), Объединенном институте ядерных исследований (Дубна, Россия), коллаборации GRAAL (Гренобль, Франция), Лаборатории имени Томаса Джеферсона Американского Министерства энергетики (CEBAF, США), университете Осака (КСКК, Осака, Япония), Научно-исследовательском центре COSY (Юлих, Германия).

Во второй главе диссертации **«Разработка методов регистрации вторичных частиц, вылетающих из внутренней мишени нуклотрона»** подробно описывается методика и экспериментальная установка по поиску эта-мезонных ядер и определению светимости реакции на внутренней мишени нуклотрона. Все физические эксперименты проведены на станции внутренних мишеней нуклотрона ЛФВЭ, и далее описывается процедура использования мишеней и сама станция внутренних мишеней.

Утверждается, что во многих физических экспериментах (например, при поиске эта-мезонных ядер) в атомной и ядерной физике с использованием внутренних мишеней ускорителя, возникает необходимость оперативного контроля светимости реакции L_c(см$^{-2}$, с$^{-1}$). Для решения данной задачи предлагается новый метод определения светимости реакций на внутренней мишени нуклотрона с помощью дельта-электронов, вылетающих из мишени во время ее взаимодействия с налетающим пучком ядер. Для регистрации дельта-электронов предлагается использовать специально созданный для этих целей полупроводниковый ΔE-E детектор (рисунок 1).

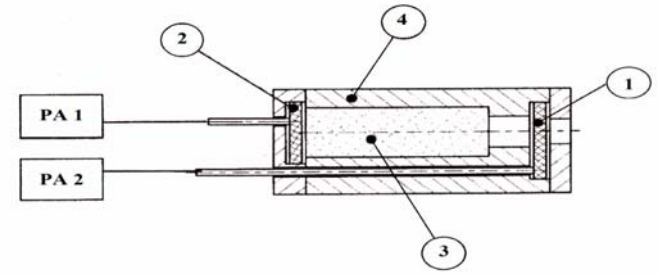


Рис.1. Схема ΔE-E–детектора:1−ΔE(Si) детектор, 2−PIN фотодиод S3590-08, 3−CsI(Tl) неорганический сцинтилляционный кристалл, 4−дюралевый корпус детектора; PA1 и PA2− кабели питания и съема сигнала

Отдельно описана созданная двухплечевая установка СКАН, ее параметры и характеристики. Эта установка предназначена для исследования двухчастичной корреляции (πp, pp)заряженных частиц от распада η-мезонных ядер.

Спектрометрическая часть (P_1-P_5 и K_1-K_5) служит для исследования πp и pp-пар, разлетающихся под углом 180^0. Она состоит из двух одинаковых плеч (P-плечо и K-плечо), расположенных соответственно слева и справа по пучку ускорителя (рисунок 2).

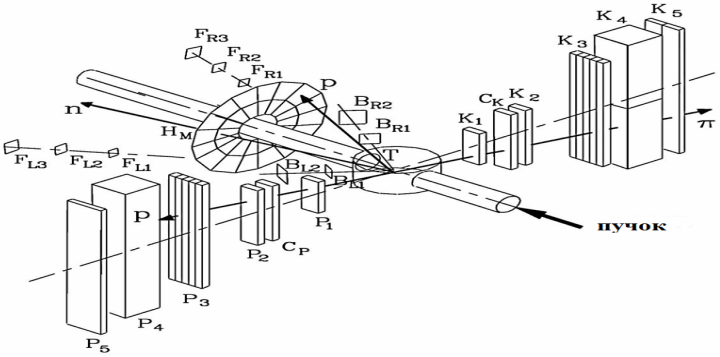


Рис.2. Схема собранной экспериментальной установки СКАН в двухплечевом варианте

Принцип работы спектрометра основан на измерении скорости и кинетической энергии частицы по времени пролета (ΔT) на заданной базе и энерговыделению (E-ΔE) в веществе детектора (ΔT - E - ΔE идентификация).

Далее описывается электроника для регистрации и сбора данных,

отдельно изложена калибровка детекторов и измерительной системы установки СКАН.

В третьей главе диссертации **«Диагностика светимости реакций на внутренней мишени нуклотрона»** описывается новый метод определения светимости реакции L_c (см$^{-2}$, с$^{-1}$) на внутренней мишени нуклотрона с помощью полупроводникового ΔE–E детектора. Необходимость в таких методах очевидна при поиске эта-мезонных ядер и при измерении сечений физических процессов в атомной и ядерной физике, когда используются внутренние (нитевидные или фольговые) мишени ускорителя. ΔE–E детектор был установлен в вакуумной камере внутренних мишеней под полярным углом 64^0 от оси ионопровода и регистрирует дельта-электроны, вылетающие из внутренней мишени нуклотрона при его взаимодействии с пучком.

Число регистрируемых в единицу времени вторичных частиц dN/dΩи дифференциальное сечение их рождения dσ/dΩ (под углом θ) связаны следующим соотношением:

$$\frac{dN}{d\Omega}(\theta) = L_c \frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) \qquad (1)$$

На рисунке 3 представлена схема парного кулоновского взаимодействия налетающего ядра с электроном мишени, при различных значениях прицельного параметра b.

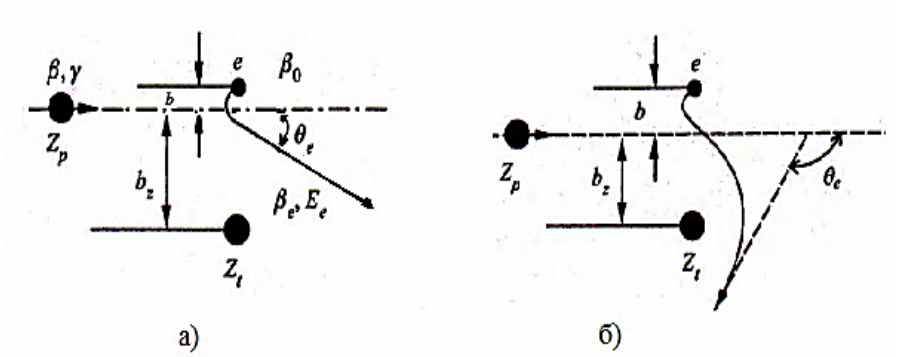


Рис.3. а) «чистое» парное взаимодействие налетающей частицы со свободным электроном; б) взаимодействие в присутствии ядра мишени с увеличением значения прицельного параметра b

Здесь Z_p и Z_t обозначают заряды ядер пучка и мишени соответственно; β и β_0 – это скорости налетающего ядра и электрона мишени; θ_e-угол вылета электрона и E_e-его кинетическая энергия после взаимодействия с ядром пучка;$\gamma = 1/(1-\beta^2)$.

В случае $b \ll b_z$ влиянием поля собственного ядра мишени Z_t можно пренебречь и при $\beta_0 \ll \beta$ электрон можно считать первоначально покоящимся. Электрон атома мишени во взаимодействии с налетающим ядром приобретает энергию E_e, кинематически однозначно связанную с углом вылета θ_e (δ-электрона):

$$E_e = 2m_e \frac{(\gamma^2-1)\cos^2\theta_e}{\gamma^2-(\gamma^2-1)\cos^2\theta_e} \qquad (2)$$

Ее величина связана с прицельным параметром взаимодействия (b) выражением:

$$E_e = (Z_p)^2 \frac{2m_e}{\beta^2} \frac{r_e^2}{b^2} \qquad (3)$$

где Z_p-заряд налетающей частицы, m_e-масса и r_e-радиус классического электрона.

Объединяя (2) и (3), при учете $d\sigma_e = 2\pi b db$, получаем:

$$d\sigma_e = 2\pi (Z_p)^2 \frac{r_e^2}{\beta^4} \frac{\sin\theta_e}{\cos^3\theta_e} d\theta_e = (Z_p)^2 \frac{r_e^2}{\beta^4} \frac{d\Omega}{\cos^3\theta_e} \qquad (4)$$

где $r_e = 2{,}82 \cdot 10^{-13}$см – классический радиус электрона, а $0 \leq \theta_e \leq 90^0$.

Результаты расчетов дифференциального сечения выхода дельта электронов по формуле (4) приведены на рис. 4.

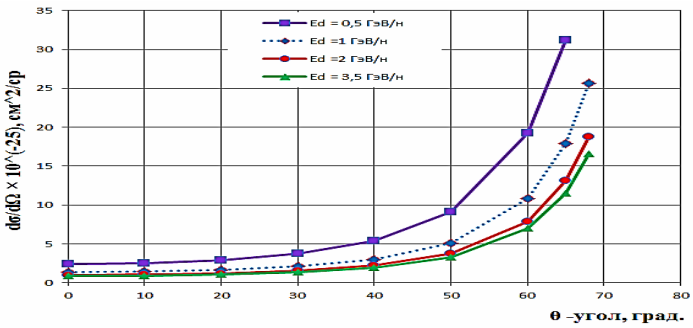


Рис.4. Зависимость дифференциального сечения выхода δ-электронов $d\sigma_e / d\Omega_e$ (см^2· ср$^{-1}$) от угла θ_e (относительно импульса налетающей частицы) при энергиях налетающих дейтронов E_d = 0,5; 1; 2 и 3,5 ГэВ/н

Далее обсуждена возможность использования метода диагностики светимости реакций применительно к экспериментам, проводимых на внутренней мишени нуклотрона ЛФВЭ. Приводится расчетная энергия δ-электронов E_e ($\theta_e \approx 64^0$) при различных, характерных для нуклотрона ЛФВЭ энергияхналетающих на мишень дейтронов-E_d (см.рисунок 5).

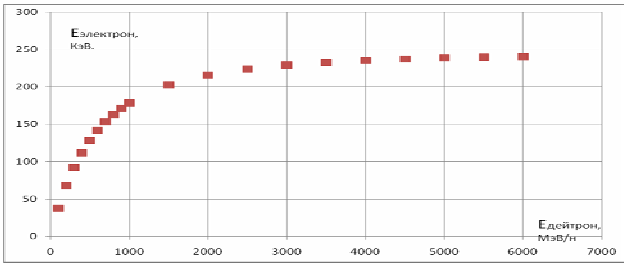


Рис.5. Зависимость энергии дельта-электронов от энергии пучка налетающих дейтронов нуклотрона при угле вылета электронов из мишени $\theta_e \approx 64^0$

Можно заметить, что энергия δ-электронов под углом вылета из внутренней мишени в 64^0 выходит на плато уже при $E_{emax} \approx 250$ кэВ.

Ниже в таблице 1 приводятся расчетные значения $d\sigma_e / d\Omega_e$ (см^2·ср$^{-1}$) для $\theta_e \approx 64^0$ и ряда рабочих значений энергий для налетающих ядер (ГэВ·нуклон$^{-1}$) нуклотрона ЛФВЭ.

Таблица 1

Зависимость сечения выхода электронов от энергии налетающих протонов на мишень (для протонов Z_p - равен 1)

$\frac{d\sigma_e}{d\Omega_e}$,($\times 10^{-25} Z_p^2$)*	9,65	10,1	11,5	12,9	16,0	28,3
E_d, ГэВ/н	6	4	2	1,5	1	0,5

*здесь Z_p^2 - заряд налетающей частицы.

Легко можно рассчитывать для разных типов налетающих частиц нуклотрона дифференциальное сечение выхода дельта-электронов. Допустим, что налетающими ядрами является Ar (Z_p = 18), тогда дифференциальное сечение находиться с учетом $Z_p^2 = 18^2 = 324$ значения.

Далее описывается метод расчета ожидаемого числа выхода δ-электронов из внутренней мишени. Ожидаемое число δ- электронов из внутренней мишени при ее взаимодействии с циркулирующим пучком ядер за время цикла его работы (T_c) определяется выражением[1]:

$$\frac{dN_e}{d\Omega_e}(\theta_e) = \bar{L}_c T_c Z_t \frac{d\sigma_e}{d\Omega_e}(\theta_e), \qquad (5)$$

где $\bar{L}_c$ – усредненная за время цикла светимость.

Экспериментальное определение величины $d\sigma_e/d\Omega_e(\theta_e)$ в принципе может быть осуществлено, при этом нужно лишь с достаточной точностью контролировать толщину мишени t и число N_oпадающих на нее за цикл ядер. В этом случае число δ-электронов из однокомпонентной внутренней мишени будет равно:

$$\frac{dN_e}{d\Omega_e}(\theta_e)|_c = t \cdot \frac{Z_t}{A_t} \cdot 6 \cdot 10^{23} \cdot N_o \cdot \frac{d\sigma_e}{d\Omega_e}(\theta_e), \qquad (6)$$

где t – толщина мишени (г/см^2), Z_t, A_t – заряд и атомный вес мишени.

В первых экспериментах с полупроводниковым детектором были использованы ^{29}Cu и ^{47}Ag мишени с толщиной35 и 21 мг/см^2 соответственно. Энергия ускоренных дейтронов была в интервале от 326 МэВ/н до 366 МэВ/н, а интенсивность пучка $I_d = (7 \div 7{,}9) \times 10^9$ за секунду.

[1]АникинаМ.Х., Афанасьев С.В., Анисимов Ю.С.идр. Программа исследований по физике η-мезонных ядер на нуклотроне ЛВЭ ОИЯИ //Препринт ФИАН.- Москва.-2003.–(с.21).

Анализ полученных экспериментальных данных для ^{29}Cu и ^{47}Ag мишеней показывает три раздельные области частиц –cut1, cut2 и cut3, соответствующие трем типам частиц (рис.6).

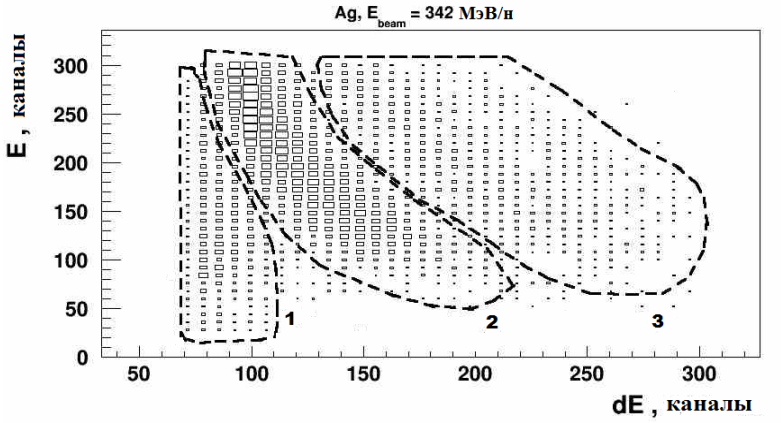


Рис.6. dE – E зависимость экспериментальтальных данных для Ag мишени при энергии дейтронов E_d =342 МэВ/н. Линиями обводятся три области, соответствующие трем типам частиц: cut 1 − электроны, cut 2 − протоны, cut 3 − дейтроны и более тяжелые частицы

Для каждой группы частиц, для которой соответствует своя функция Гаусса, можно вычислить их количество, например, вычислением суммы частиц в каждом экспериментальном бине. Расчет ожидаемого выхода электронов делается по следующей схеме:

1. определяется количество электронов, попадающих в единицу времени в детектор $N_e/t_{изм}$;
2. вычисляется общее количество электронов $dN_e/d\Omega_e(\theta_e)$, вылетающих из мишени под углом 64^0 с учетом углового аксептанса ($1{,}6 \times 10^{-5}$ ср) детектора.

При известной толщине и материале мишени, а также интенсивности пучка N_o (имп/сек), ожидаемое число электронов вылетающих под углом θ_e, определяется формулой (6). Затем, используя формулу (1) и зная $\frac{d\sigma_e}{d\Omega_e}$ (см.таблицу 1), можно определить усредненную за время цикла светимость реакции $\bar{L}_c$(см$^{-2}\times$с$^{-1}$). Таким образом, сделанные расчеты ожидаемого числа дельта-электронов из внутренней мишени при ее взаимодействии с циркулирующим пучком дейтронов по экспериментальным данным N_e(exp.)

Таблица 2

Ожидаемое число электронов для внутренней мишени из серебра при разных энергиях ускоренного пучка дейтронов

Ag(MeV/n)	326	334	340	342	356
N_e(exp.)	$8{,}93 \cdot 10^4$	$1{,}02 \cdot 10^5$	$0{,}99 \cdot 10^5$	$0{,}93 \cdot 10^5$	$0{,}87 \cdot 10^5$
N_e(calc.)	$1{,}77 \cdot 10^8$	$1{,}79 \cdot 10^8$	$1{,}68 \cdot 10^8$	$1{,}67 \cdot 10^8$	$1{,}59 \cdot 10^8$

и по формуле (6) N_e(calc.) дали результаты, представленные в таблице 2 и таблице 3.

Таблица 3

Ожидаемое число электронов для внутренней мишени из меди при разных энергиях ускоренного пучка дейтронов

Cu(Mev/n)	350	352	356	360	366
N_e(exp.)	$4{,}34 \cdot 10^4$	$3{,}9 \cdot 10^4$	$3{,}92 \cdot 10^4$	$4{,}23 \cdot 10^4$	$4{,}4 \cdot 10^4$
N_e(calc.)	$3{,}07 \cdot 10^8$	$3{,}0 \cdot 10^8$	$2{,}99 \cdot 10^8$	$3{,}14 \cdot 10^8$	$3{,}08 \cdot 10^8$

Из полученных данных можно отметить, что соотношение ожидаемого выхода электронов N_e(calc.) (вычисляемого по формуле (6)) к количеству электронов, определяемых экспериментальным путем N_e(exp.), для одного и того же типа мишени фактически постоянно и не зависит от энергии налетающих ядер. В данном случае, для ^{47}Ag мишени это соотношение равно:

$$K_{Ag} = N_e(\text{calc.})/N_e(\text{exp.}) = 1803 \pm 80 \qquad (7)$$

Поскольку светимость реакции прямо пропорциональна ожидаемому выходу электронов из внутренней мишени:

$$\bar{L}_e(\text{calc})/\bar{L}_e(\text{exp.}) = N_e(\text{calc})/N_e(\text{exp.}) = K_{Ag},$$

то можно написать, что светимость, определяемая по дельта-электронам $\bar{L}_e$(exp.), и истинная светимость dAg – реакции связаны соотношением:

$$\bar{L}_e(\text{dAg}) = K_{Ag} \times \bar{L}_e(\text{exp.}) = (1803 \pm 80) \cdot \bar{L}_e(\text{exp.}), \qquad (8)$$

и коэффициент K_{Ag} практически не меняется с изменением энергии налетающих дейтронов ускорителя.

Этот же коэффициент для ^{29}Cu мишени будет другим и здесь светимость реакции равна:

$$\bar{L}_e(\text{dCu}) = K_{Cu} \times \bar{L}_e(\text{exp.}) = (7352 \pm 220) \cdot \bar{L}_e(\text{exp.}), \qquad (9)$$

и K_{Cu}-также имеет фиксированное значение при разных энергиях ускоренного пучка дейтронов.

Например, пользуясь данными таблиц 2 и 3, можно определить светимость (рис. 7) для dCu реакции (E_d = 360 МэВ/н):

$$\bar{L}_e = (1{,}18 \pm 0{,}12) \times 10^{26} \text{ см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1} \text{ (exp.)} \qquad (10)$$

Если светимость $\bar{L}_e$(10), определенную по дельта-электронам, умножить на коэффициент K_{Cu}, то получим истинную светимость реакции:

$$\bar{L}_e(\text{dCu}) = K_{Cu} \times \bar{L}_e = (0{,}9 \pm 0{,}03) \times 10^{30} \text{ см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}, \qquad (11)$$

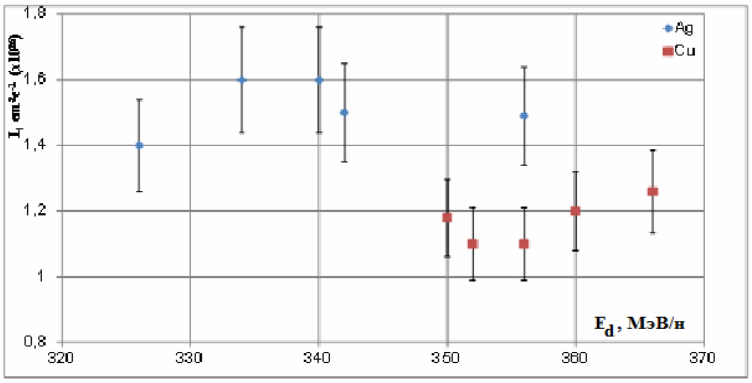


Рис.7. Светимости, определенные по экспериментальным данным от ΔE-E детекторов, т.е. по дельта-электронам для dAg- и dCu- реакций

Далее в данной главе сделан ряд выводов относительно дальнейшего развития метода дельта-электронов по диагностике светимости реакций на внутренней мишени нуклотрона.

В четвертой главе диссертации **«Эта-мезонные ядра и методы идентификации экзотических ядер, рождающихся на ядрах внутренней мишени нуклотрона»** приведены результаты по поиску экзотических ядер и исследованию их свойств. Описывается решение проблемы предварительной оценки эффективности регистрации и «ожидаемого выхода» искомых событий (эффекта) на созданной установке СКАН, которая была предназначена для поиска эта-мезонных ядер в pA, dA - реакциях на внутренней мишени нуклотрона. Для решения этой проблемы предлагается использовать известную реакцию, например образование покоящейся Δ(1232)-изобары в ядре-остатке после pA-взаимодействия. В указанной реакции один из механизмов процесса образования изобары Δ(1232) в ядре мишени повторяет во всех стадиях пути формирования η-мезонного ядра. Для решения указанной выше задачи был разработан новый метод оценки сечения рождения Δ(1232)-резонанса на внутренней углеродной мишени нуклотрона и был проведен кинематический расчет двухступенчатого процесса образования Δ(1232)-резонанса в ядре мишени. Данный метод позволяет по значению энергии налетающих протонов (или дейтронов) на внутреннюю мишень оценить полное сечение образования покоящегося Δ(1232)-резонанса. Оценка полного сечения рождения дельта-резонансав pA-реакции для разных кинетических энергий налетающих протонов дает значения: σ_1=13.15 mb (T_{p1} =1,4 ГэВ), σ_2=10.80 mb (T_{p2} =1,7 ГэВ), σ_3=9.86 mb (T_{p3}=1,9 ГэВ). Полное сечение образования η-ядер на внутренней мишени нуклотрона в pA-столкновениях, рассчитанное по данному методу, получилось равным $\sigma_\eta(p^{12}C)$ = 3,3 μb. Расчеты (по предложенной методике) ожидаемого выхода «событий» от распада η-мезонного ядра (для ^{12}C-мишени и энергии протонов $E_p \sim 2$ ГэВ/н) дают значение $Y(\pi^- p) \approx 133$ событий/ час.

Далее в четвертой главе обсуждаются полученные результаты по исследованию свойств эта-мезонных ядер на внутреннем пучке нуклотрона,

сформулированы те основные выводы и положения, на основании которых можно говорить о свойствах исследуемых η-мезонных ядер. Например, *пороговый эффект* по энергии налетающих ядер (в нашем случае дейтронов) назван одним из простых и достаточно надежных критериев возникновения η-ядер. Следующим критерием указывается *энергия связи* $S_{11}(1535)$-резонанса и η-мезона в η-мезонном ядре.

На основе экспериментальных данных, полученных на станции внутренних мишеней нуклотрона ЛФВЭ ОИЯИ в течение нескольких лет (с использованием двухплечевой установки СКАН) сделан анализ характеристик нуклонного резонанса $S_{11}(1535)$ и η-мезона в ядерной среде. Ниже приводятся полученные результаты по спектрам эффективных масс πp-пары от распада $S_{11}(1535)$резонанса (связанного в η-мезонном ядре) для разных энергий налетающего пучка дейтронов:

-при энергии первичного пучка дейтронов E_d= 1.5 ГэВ/н пик в спектре эффективных масс πp-пары имеет характеристики M_{eff} = (1480 ± 18) МэВ/c^2, а ее ширина равна 23 МэВ/c^2 (рис. 8.а);

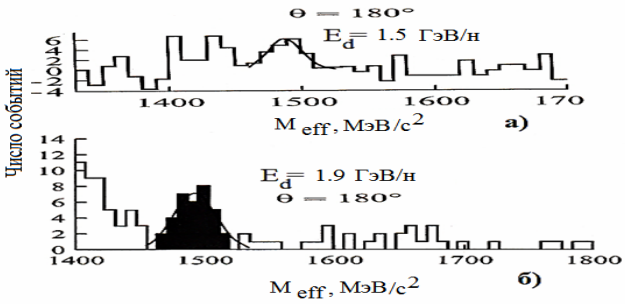


Рис.8. Распределение эффективной массы πp-пары в области резонанса $S_{11}(1535)$ для энергии налетающего пучка дейтронов 1,5 ГэВ/н (а) и 1,9 ГэВ/н (б)

-тоже самое для энергии пучка дейтронов E_d= 1.9 ГэВ/н показывает значения M_{eff}=(1493 ± 4) МэВ/c^2 и ширину 38.3 МэВ/c^2 (рис.8.б);

- при энергии налетающего пучка дейтронов E_d= 2.1 ГэВ/н получен пик на отметке (1481 ± 8.4) МэВ/c^2, а его ширина получилась равной (47 ± 9) МэВ/c^2 (см.рис. 9).

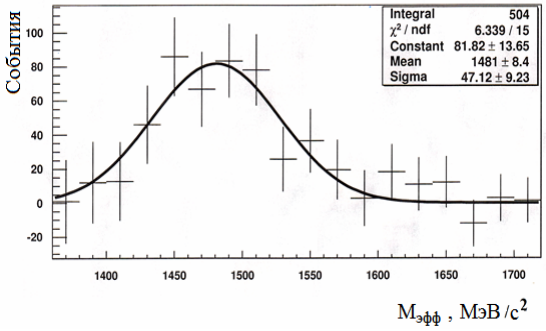


Рис.9.Спектр эффективных масс отобранных событий (π^-p-пары) от распада $S_{11}(1535)$-резонанса для энергии пучка дейтронов 2.1 ГэВ/нуклон

На основе полученных выше экспериментальных данных дана оценка энергетического сдвига ΔE положения максимума распределения суммарной энергии E(π+p) от распада связанного в ядре S_{11}(1535)-резонанса, относительно положения максимума аналогичного распределения свободного S_{11}(1535)-резонанса. В итоге, для S_{11}(1535)-резонанса величина энергетического сдвига, для трех значений энергий налетающего пучка дейтронов, получилась равной:

1. ΔE = 1535 МэВ – (1480 ± 18) МэВ = (55 ± 18) МэВ при E_d= 1.5 ГэВ/н;
2. ΔE = 1535 МэВ – (1493 ± 4) МэВ = (42 ± 4) МэВ при E_d= 1.9 ГэВ/н;
3. ΔE = 1535 МэВ – (1481 ± 8.4) МэВ = (54 ± 8.4) МэВ при E_d= 2.1 ГэВ/н.

Смещение по энергии ΔE означает, что на эту величину изменилась масса S_{11}(1535)-резонанса, связанного в η-мезонном ядре по сравнению с массой свободного и не связанного в ядре S_{11}(1535)-резонанса. Как видно из полученных данных, для энергий E_d= 1.5, 1.9 и 2.1 ГэВ/нуклон значения ΔE получились близкими, в среднем (50.3 ± 20) МэВ и для дальнейших расчетов берется это среднее значение. Погрешности в измерении ΔE энергии сдвига S_{11}(1535)-резонанса (связанного в η-мезонном ядре) оценивается исходя из точности измерения времени пролета частиц в π и p-спектрометрах, а также погрешностью в решении обратной задачи.

Учитывая, что S_{11}(1535)-резонанс возникает в результате слияния η-мезона и нуклона в ядре, и что энергия связи нуклона в ядре Δm = 7.3 МэВ, получено значение дефекта массы η-мезона, связанного в ядре:

$$\Delta m(\eta) = (50.3 \pm 20)\ \text{МэВ} - 7.3\ \text{МэВ} = (43 \pm 20)\ \text{МэВ} \qquad (13)$$

Таким образом, энергии связи (или дефект массы) S_{11}(1535)-резонанса и η-мезона в ядре ^{12}C-углерода дают следующие значения:

$$E_g(S_{11}) = (50.3 \pm 20)\ \text{МэВ} \qquad (14)$$

$$E_g(\eta) = (43 \pm 20)\ \text{МэВ} \qquad (15)$$

Ширина пика в спектре эффективных масс π^-p-пары от распада S_{11}(1535)-резонанса, в среднем для трех значений энергий дейтронов, составляет ~(36.1 ± 9) МэВ. По оценкам разных авторов, ожидаемые энергии связи и ширины составляют ~10−20 МэВ и ~30 МэВ, соответственно. Как видно из сравнения полученных данных, значение ширины в пределах ошибок соразмерно с предсказанными величинами, но энергия связи получается немного больше, что можно объяснить некоторым импульсом, имеющегося у почти покоящегося S_{11}(1535)-резонанса. Здесь также следует учесть ферми-распределение нуклонов в ядре, но можно утверждать, что его влияние на измеряемые характеристики, т.е. на корреляцию (π^-p)-пары по углу разлета и по энергиям компонент слабое.

Далее дается оценка *полного сечения рождения* η-мезонного ядра в реакции:

$$d + {}^{12}C \rightarrow (A_2)_\eta + ... \rightarrow \pi + p + ... \qquad (16)$$

Соответственно распределению N_{in}=1.5 ÷ 2.2×10^9 неупругих взаимодействий, с учетом телесного угла спектрометра ($\Omega \approx 8 \times 10^{-3}$стер.) и сечения неупругих взаимодействий $d^{12}C$ реакции σ_{in} = 426 ± 22 мбарн для энергии 2.1 ГэВ/н, полное сечение процесса оценивается следующим количеством:

$$\sigma(A_\eta) = \frac{4\pi}{\Omega}\frac{N_{eff} - N_{fon}}{N_{in}}\sigma_{in} \approx 11 \pm 8\,\mu b$$

Полученное значение полного сечения образования эта-мезонного ядра в $d^{12}C$-реакции хорошо согласуется с данными, полученными в работах других авторов, где для $p^{12}C$-реакции расчеты дают значение ≈ 4 μb (для дейтронов значение полного сечения примерно вдвое больше).

В конце главы констатируется тот факт, что полученные результаты напрямую связаны с правильным выбором метода идентификации η-мезонных ядер, выбором подходящих реакций и условий проведения эксперимента, использованием спектрометра СКАН. Все эти принятые меры позволили провести измерение искомого эффекта, выделить его в потоке большого фона, несмотря на его малое сечение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований, проведенных по теме докторской диссертации «Образованиеэта-мезонных ядер в p,d(^{12}C) - соударениях в интервале энергий 1,5 ÷ 2,1 Гэв/нуклон», представлены следующие выводы:

1. Получена новая экспериментальная оценка σ_η = 11± 8 μb полного сечения образования эта-мезонного ядра в d^{12}C - взаимодействии при энергии пучка дейтронов 2,1 ГэВ/нуклон.

2. Определена энергия связи S_{11}(1535)-резонанса $E_g(S_{11})$=(50.3 ± 20) МэВ в ядре-остатке углерода, в среднем по трем энергиям налетающих дейтронов (1,5; 1,9 и 2,1 ГэВ/н) нуклотрона. Эта величина вычислена по обнаруженному пику на отметке (1484.7 ± 20) МэВ/с^{2}в спектре эффективных масс π^-p-пары от распада S_{11}(1535)-резонанса, ширина пика оказалось равной (36.1 ± 9) МэВ/с^2. Получено новое значения для энергии связи η-мезона в экзотическом ядре углерода с учетом того, что S_{11}(1535) нуклонный резонанс появляется в результате слияния η-мезона и нуклона в ядре (энергия связи нуклона Δm = 7.3 МэВ): $E_g(\eta)$ = (43 ± 20) МэВ.

3. Предложен алгоритм нахождения коэффициента пропорциональности между истинной светимостью и измеряемой по δ-электронам светимости реакций для ^{29}Cu и ^{47}Ag мишеней нуклотрона. Получено среднее значение истинной светимости $\bar{L}_e$(dCu) = (0,9 ± 0,03) ×10^{30} см$^{-1}$·с$^{-1}$для медной мишени и $\bar{L}_e$(dAg) = (0,27 ± 0,012) ×10^{30} см$^{-1}$·с$^{-1}$для серебренной мишени при энергиях налетающих дейтронов E_d= 326÷366 МэВ/нуклон.

4. Предложен новый метод оценки сечения рождения Δ(1232) - резонанса для внутренней мишени нуклотрона в неупругих pA-столкновениях. Получено полное сечение рождения дельта-резонанса для разных кинетических энергий налетающих протонов нуклотрона: σ_1 = 13.15 mb (T_{p1} = 1,4 ГэВ), σ_2 = 10.80 mb (T_{p2} = 1,7 ГэВ),σ_3 = 9.86 mb (T_{p3} = 1,9 ГэВ). Рассчитанное полное сечение образования η-ядер на внутренней мишени нуклотрона в pA-столкновениях получилось равным σ_η (p^{12}C) = 3,3 μb.

5. Разработан универсальный метод определения светимости реакций для различных внутренних мишеней и типов ускоряемых ядер пучка нуклотрона. Для регистрации дельта-электронов, вылетающих из внутренней мишени нуклотрона под определенным углом, использован полупроводниковый ΔE-E детектор, специально разработанный для диагностики светимости реакций на внутренней мишени нуклотрона.

6. Разработана и создана двухплечевая установка СКАН и двухступенчатая система электроники к ней, предназначенная для изучения структуры экзотических ядер и исследования свойств связанных в ядерной среде η-мезонови нуклонных резонансов.

7. Достигнута высокая эффективность регистрации протонов и заряженных пионов от распада S_{11}(1535)-резонанса в диапазоне их импульсов ~ 90% для пионов и ~ 95% для протонов. Геометрический

аксептанс каждого из плеч установки СКАН при этом составил $\theta = 6^0$ и $\varphi = 35^0$. Разрешение TOF-системы получилось равным ~ 150 ps.

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

JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

IGAMKULOV ZAFAR ABDUJABBAROVICH

ETA-MESIC NUCLEI PRODUCTION IN p,d(^{12}C) - COLLISIONS IN ENERGY INTERVAL 1.5 ÷ 2.1 GEV/NUCLEON

01.04.08 – Atomic nucleus and elementary particle physics. Acceleratory facilities

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

Tashkent – 2018

The doctoral dissertation was carried out at the Joint Institute for Nuclear Research.

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

Scientific consultant:	**Malakhov Alexandr Ivanovich** Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
Official opponents:	**Lutpullaev Sagdulla Lutfullaevich** Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
	Artemov Sergey Victorovich Doctor of Physical and Mathematical Sciences
	Kurepin Aleksey Borisovich Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
Leading organization:	**Russian Academy of Sciences P.N. Lebedev Physics Institute**

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, 100124 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.

The abstract of dissertation was distributed on "_____"_____2018.
(Registry record No. ____ dated "__" _____ 2018.)

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

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

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

INTRODUCTION (annotation of doctoral dissertation)

The urgency and relevance of the topic of the dissertation. At present time, the study of the structure of exotic nuclei, which are bound states of various mesons, and residue nucleus and other interactions is of great interest.Obtaining information about the properties of the eta-mesons and nucleon resonances bound in nucleus are among the high-priority tasks of the modern fundamental nuclear physics studied. It can be determined that binding energy and width of the eta-meson nuclei, as well as the probabilities of the main decaying modes are possible experimentally only. Experimental informations which are obtained by that path are so essantial to determine the mechanisms of interaction of eta-mesons and nucleon resonances with nucleons of nuclei, on checking the available theoretical predictions and models for the restoration of chiral symmetry in dense nuclear matter.

At the present time, there are not practically experimental apparatus for determining the luminosity of reactions on the internal target of accelerators. Because of used apparatus and their scientific methods are not able to give information about nuclear reactions in internal target, a accurit experimental resutls are not achieved. Therefore, estabilishing research methods on the internal target of accelerators, creating experimental facilities which are aimed to study exotic nuclei structure and nucleon resonances in a nuclear medium, as well as creating methods of determination of the luminosity of reactions on the internal target of the accelerator and making an apparatus that is aimed to accomplish it and unperturbed the Nuclotron beam is considered as actual issues.

In our Republic, great attention is paid to the development of theoretical physics and the conduct of fundamental research on these areas at the world level. In this respect, significant results have been achieved in nuclear physics and elementary particle physics. a substantial gained results should be emphasized In particular: in solving existing problems in the field of accelerator technology and their practical application; in the development and creation of methods in determining the luminosity of reactions on accelerators; studying the properties of various mesons and nucleon resonances in a nuclear medium; in creation of a necessary installations for studying the structure of exotic nuclear. In accordance with the "Strategy of actions on further development of the Republic of Uzbekistan", the actual task is to improve the efficiency of the industry on the basis of theoretical and practical research in the field of the atomic nucleus and elementary particle physics by introducing innovative technologies in determining the problem of the origin of the elementary mass particles and verification of theoretical models of quantum chromodynamics.

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

of the Republic of Uzbekistan No.PD-4958 “On the further improvement of the system of postgraduate education” of 16 February 2017.

Relevance of the research to the priority areas of science and technology development of the Republic of Uzbekistan. The dissertation research was carried out in accordance with the priority directions of science and technology development in the Republic of Uzbekistan II. "Energy, energy-saving and resource-management".

Review of international scientific researches on the theme of the dissertation. The research on the study of the structure of exotic nuclei, in particular to investigate the properties of the eta-mesons in the world’s leading research centers and higher education establishments, particularly, in Helmholtz science centre of studying heavy ions (Darmstadt, Germany), Yulix science research centre (Yulix, Germany), the P.N.Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia), Joint Institute for Nuclear Research (Dubna, Russia), Graal international collaboration (Grenobl, France), Tomas Jefferson national laboratory (Newport News, USA), Brookhaven national laboratory (Brookhaven, USA) and Los Alamos national laboratory (Los-Alamos, USA), Osaka university (Osaka, Japan) there have already been conducted scientific researchs.

According to the investigation of features of the structure of exotic nuclei and eta-mesons and nucleon resonances in a nuclear medium at the world level has yielded a number of important results including: availability of eta- meson nuclears has been predicted and ηN interaction in the scattering for calculations of scattering length $(a_{\eta N})$ has been calculated in nearing *s*-walve (Los-Alamos, USA), the initial positive results in photoreactions brith of eta-mesons have obtained (at the P.N. Lebedov Physical Institute, Russia), N*(1535) nucleon resonans and the properties of the eta-mesons in nuclear medium have studied (Osaka University, Japan), in photoreactions, signals by decaying eta-mesons have taken (Helmholtz Science Centre of studying heavy ions, Darmstadt, Germany), the aromat of singlet companent of eta- mesons have determined and information about the structure of eta-mesons have obtained and scattering length $(a_{\eta N})$ of tided system of nuclear have estimated theoretically (International Collaboration, France, Germany, Russia,), the couple particles which have formed by decaying a born eta-mesons nurclear in photoreaction have registered (at the P.N. Lebedov Physical Institute, Russia).

According to the study of eta-mesons, the following fundamental research is being conducted in the World: calculating level of energy and its width of η-meson and S_{11}-resonans in eta-mesons nuclear; determining amplitude of ηN-interaction; investigating S*N →NN process in nuclear medium; studying influence of nuclear medium to features (mass, time of living) of η-meson and S_{11}-resonans linked of nuclear medium; determining the potential of ηN-interaction in nuclear medium; studying the possibilities which are born in light nuclear of eta-mesons.

Degree of study of the problem. At present, the world's leading research centers have carried out a large amount of experimental and a number of fundamental theoretical works on the search for and study of the properties of eta-mesic nuclei. The following theoretical and experimental work was performed on the problems studied in the dissertation work:

The first experiment on the search for η-mesic nuclei was carried out in 1988 at Brookhaven Laboratory (BNL, USA) by Chrien et al. (also see A.M. Chrien A. et al.), where the spectrum of missing M_X masses was studied in the $\pi^- A \rightarrow pX$ reaction. Based on the developed theory, it was expected to see peaks of about 5-10 MeV in width. However, no clear signal could be detected and a possible reason for this was an essentially larger width of the peak, caused both by the bound η-meson itself and by the excitation of the residual nucleus.

An alternative method of searching for η-mesic nuclei by recording the products of their decay (correlated πN pairs) was proposed by G.A. Sokol and V.A. Tryasuchev (FIAN, Troitsk). Following this idea, an experiment was performed on a photon beam in the FIAN electron synchrotron, but these experiments for η-mesic nuclei did not results.

In subsequent years, thesearch for η-mesic nuclei was performed on the products of their decay, for example, on the ion beam GSI (Darmstadt, Germany) and the proton beam COSY (Jülich, Germany), but these experiments did not yield positive results.

An electron storage facility in Grenoble, France, considered the possibility of conducting experiments to study the properties of eta-mesic nuclei formed by photons from electron-laser scattering by using the GRAAL installation.

At the end of 2003, Pfeiffer et al published a paper with experimental data on the observation of the η-meson bound state in ^{3}He studied at the electron microtron MAMI-B (Mainz, Germany). Narrow peaks in the mass spectrum were observed in the Mainz experiment in 2004 (binding energy was about 4 MeV for the ^{3}He nucleus, width was about 25 MeV, the peak was observed in the π^0p-pair spectrum) and in COSY experiment in 2009 (binding energy was about 13 MeV for the ^{25}Mg nucleus, width was about 10 MeV, the peak was observed in the missing mass spectrum with simultaneous detection of the ^{3}He fragment and π^-p-pair).

In all these experiments conducted in various nuclear centers around the world, a large amount of experimental data has been obtained, but so far many questions about the characteristics and properties of eta-mesic nuclei and nucleon resonances in the nuclear medium remain unresolved.

It is important to determine reaction luminosity to carry out various internal target physical experiments at the Nuclotron. In the theoretical work of A.S. Artemov[1] and others (Dubna, Russia) the possibility of using delta-electrons to determine the luminosity of the reactions on the inner target of the Nucloron was

[1]Артемов А.С., Афанасьев С.В., В.С. Алфеев и др. Схема и расчет магнитного анализатора электронов для исследований по релятивист-ской атомной физике на внутренних мишенях Нуклотрона // Письма в ЭЧАЯ. - 2007. -Т.4, № 3(139). -С.434-442.

considered. The idea of using a two-magnet analyzer for electron selection was put forward. This analyzer should create a magnetic field with an induction of $\vec{B} \approx 0.6$ T for selection delta-electrons emitted from the internal target of the Nuclotron. This field will be perpendicular to the momentum of the accelerated nuclei in the Nuclotron, and that would interfer the beam acceleration. Due to technical problems and the complexity of the implementation of this project has not been completed. Thus, the problem aimed at determination of the luminosity of the reactions at the internal target of the Nuclotron is topical and remains unresolved.

Connection of the theme of dissertation with the scientific researches of the higher educational institution, where the dissertation was conducted. The work was carried out within the framework of scope of the research and development problem plans and the JINR international cooperation plans, topic 02-1-1087-2005 / 2017 "Researches in relativistic heavy and light ions physics at Nuclotron, SPS and SIS18".

The aim of the research is to determine the peculiarities of the exotic nuclei structure and study the properties of eta-mesons and nucleon resonances in nuclear medium.

The tasks of the research: To achieve the goal, the following **tasks** are formulated:

to create a two-arm magnetless spectrometer for detecting and analyzing charged particles emitted from the internal target of the Nuclotron at angles ≤ 90°;

to measure paired (π^-p)-particles simultaneously scattered into opposite directions from the inner target at angles ≈ 180°, and to change the detection angle for background measurements;

to develop a universal and accessible method of measuring the luminosity of reactions on internal targets of the Nuclotron;

to create an apparatus aimed to determine the luminosity of the reactions by detecting and selecting the delta-electrons emitted from the internal target of the Nuclotron at a certain angle;

The objects of the researchare physical processes taking place on the inner target that occur when it interacts with different accelerated nuclei in the Nuclotron, as well as the properties of the produced exotic nuclei.

The subjects of the research is the formation of resonant structures and exotic nuclei in pA and dA-reactions on internal target of the Nuclotron.

The methods of research. By means of the method of internal targets secondary particles emitted from the target during its interaction with the incident beam of nuclei are detected. In this case, the physical processes occurring during the interaction of the nuclei of the beam with the nuclei of the internal targets of the Nuclotron are studied. For example, according to the research program, collection of the DST's containing data corresponding to reactions and experimental conditions to search for eta-mesic nuclei, their subsequent processing and analysis of the data obtained. The experimental data obtained under certain physical processes are then analyzed and compared with the simulated data (various modeling programs, like GEANT, RQMD ... are used).

The scientific novelty of the research is based on the following results obtained for the first time:

New experimental estimations are obtained for the total cross-section for the eta-mesic nucleus production in the $d^{12}C$ interaction $\sigma_\eta = 11 \pm 8$ μb at a deuteron beam energy of 2.1 GeV/nucleon;

Binding energy of the $S_{11}(1535)$-resonance $E_g(S_{11}) = (50.3 \pm 20)$ MeV in the exotic nucleus of carbon is determined on the average by three energies of incident nucleon (1.5, 1.9 and 2.1 GeV/nucleon) of the Nuclotron. This value was calculated from the detected peak in the effective mass spectrum of the π^-p-pair from the decay of the $S_{11}(1535)$-resonance at the level (1484.7 ± 20) MeV/c^2, the width of the peak turned out to be equal to (36.1 ± 9) MeV/c^2;

New values are obtained for the η-meson binding energy in the exotic carbon nucleus under the assumption that the mass defect of the $S_{11}(1535)$-resonance is the result of the fusion of the η-meson and the nucleon in the nucleus (taking into account that the nucleon binding energy $\Delta m = 7.3$ MeV): $E_g(\eta) = (43 \pm 20)$ MeV

Calibration algorithm is identified by calculating the proportionality coefficient between the true and the measured reaction luminosity for δ-electron for the ^{29}Cu and ^{47}Ag targets of the Nuclotron. The mean true luminosity $\bar{L}_e(dCu) = (0.9 \pm 0.03) \times 10^{30}$ cm^{-1} s^{-1} is obtained for copper target and $\bar{L}_e(dAg) = (0.27 \pm 0.012) \times 10^{30}$ cm^{-1} s^{-1} for silver target.

A new method is proposed to estimate Δ(1232) resonance production cross-section for the internal target of the Nuclotron. An estimation of the delta-resonance production total cross-section in the pA reaction for different kinetic energies of the incident protons yielded the values: $\sigma_1 = 13.15$ mb ($T_{p1} = 1.4$ GeV), $\sigma_2 = 10.80$ mb ($T_{p2} = 1.7$ GeV), $\sigma_3 = 9.86$ mb ($T_{p3} = 1.9$ GeV).

Practical results of the researchconsist of the following:

A universal method for the operative determination of the luminosity of reactions for various internal targets and types of accelerated nuclei of the Nuclotron beam has been developed. For the selection of delta-electrons, a semiconductor ΔE-E detector was developed, specially designed to diagnose the luminosity of reactions at the internal target of the Nuclotron;

A two-level system of electronics was developed and created for detection and data collection in a SCAN installation designed for studies of the structure of exotic nuclei and the properties of η-mesons and nucleon resonances bound in nuclear medium;

A high efficiency of protons and charged pions (from the $S_{11}(1535)$-resonance decay) detection was achieved in the range of their momenta of ~ 90% for pions and ~ 95% for protons. The geometric acceptance of each of the system's arms was $\theta = 6^0$ and $\varphi = 35^0$. The resolution of the TOF system was ~ 150 ps;

The reliability of the research results is based primarily on the large statistics of the experimental material (data for several years of Nuclotron sessions), the more accurate identification of particles by mass, and by measuring their momenta and velocities with higher accuracy; the use of generally accepted statistical methods for processing and analyzing experimental data, as well as the

use of both inclusive and exclusive approaches to interpreting the results; the correspondence of the obtained experimental data with the results of other experiments and the main conclusions of theoretical work on the study of exotic nuclei.

Scientific and practical significance of the research results. The results of the dissertation are important both for fundamental nuclear physics and for testing theoretical models and approaches in searches for eta-mesic nuclei in pA, dA-interactions.

The obtained results can also be used in planning and carrying out experiments, like the one conducted in the HEP Laboratory on similar ion accelerators, as well as in creating more advanced and adapted installations for solving physical problems posed on this topic.

Implementation of the research results. On the basis of the results obtained for the formation of eta-meson nuclei in p,d(^{12}C)-collision:

a universal method for determining the true luminosity of reactions in pA-, dA-reactions involving delta-electrons emitted at a certain angle from the inner target was used in several sessions of the Nuclotron at the JINR HEP Laboratory. According to the results obtained, in accordance with the JINR international cooperation program, a technical order was prepared for the production of an optimized version of the semiconductor ΔE-E detector for the Horia HulubeiNational Institute of Physics and Nuclear Technology (Bucharest, Romania) (a letter No. 010-43/545 of the Joint Institute for Nuclear Research dated 14.12.2017). The new detector will be used in subsequent sessions of the Nuclotron at the JINR HEP Laboratory.

The proposed method for estimating the cross section for the production of a delta-isobar and all the results obtained in this study were used in subsequent experiments to find the eta-mesic nuclei on the inner target of the Nuclotron by using the SCAN installation (a letter No. 010-43/545 of the Joint Institute for Nuclear Research dated 14.12.2017).The experience gained during use of the two-arm SCAN installation, technique and experimental data on the search for exotic nuclei is used when the three-arm SCAN-3 device with a magnet in the third arm is being developed.

The obtained experimental value of the eta-mesic nucleus production total cross-section in the d^{12}C-interaction, the determined binding energy of the S_{11}(1535)-resonance in the exotic carbon nucleus, new value of the binding energy of η-meson bound in the residual carbon nucleus,were used in theoretical calculations and in the planning of new experiments to study the properties of eta-mesons and nucleon resonances in nuclear medium in the Russian Academy of Sciences P.N. Lebedev Physics Institute (a letter No. 11220-9311-1650 of the P.N. Lebedov Physical Institute dated 14.12.2017)

Testing of the research results. The main results of the dissertation were reported and discussed at 12 international scientific conferences.

Publication of the research results. On the theme of the dissertation 23 scientific papers were published, 11 scientific articles from them 8 in international scientific journals recommended by the Supreme Attestation Commission of the

Republic of Uzbekistan for publication of the main scientific results of doctoral dissertations.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion and is printed on 159 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. Afanasiev S.V., Bazilev S.N., Dryablov D.K., Ivanov V.I., *Igamkulov Z.A.*, Isupov A.Yu., Sidorin S.S., Slepnev V.M., Slepnev I.V. A Data Asquisition System and a Trigger of the SCAN Setap // Instruments and Experimental Techniques.- Nauka/Interperiodica/Springer (USA), 2008. - vol.51, N1.- pp.28-33 (№1.Web of Science; IF=0,437).
2. *Игамкулов З.А.,* Афанасьев С.В., Бекмирзаев Р.Н., Дряблов Д.К., Жомуродов Д.М. Оценка сечения рождения Δ-резонанса в pA-столкновениях для внутренней мишени Нуклотрона // Письма в журнал «Физика элементарных частиц и атомного ядра». – ОИЯИ (Россия), 2010. -т.7, № 2(158). - С.200-208 (01.00.00. №38).
3. Afanasiev S.V., Artiomov A.S., Bekmirzaev R.N., Dryablov D.K., Igamkulov Z.A., Ivanov V.I., Isupov A.Yu., Jomurodov D.M., Malakhov A.I., Lebedev A.I., L'vov A.I., Pavlyuchenko L.N., Plekhanov E.B., Polyansky V.V., Sidorin S.S., Sokol G.A., Ŝpavorova M., Sultanov M.U. Search for η-Mesic Nuclei in the Reaction d+C at JINR // Письма в журнал «Физика элементарных частиц и атомного ядра».– ОИЯИ (Россия), 2011. - т.8, №10. -С.68-74 (01.00.00. №38).
4. Afanasiev S.V., Artiomov A.S., Bekmirzaev R.N., Dryablov D.K., *Igamkulov Z.A.,* Ivanov V.I., Isupov A.Yu., Jomurodov D.M., Malakhov A.I., Matousek V., Morhac M., Lebedev A.I., L'vov A.I., Pavlyuchenko L.N., Plekhanov E.B., Polyansky V.V., Sidorin S.S., Sokol G.A., Turzo I. Search results of η-mesic nuclei in the d + C reaction in JINR // Nuclear Physics B. – Elsevier (North-Holland), 2011. – vol. 219-220. - pp. 255-258 (№39. Impact Factor Search; IF= 3,678).
5. Афанасьев С.В., Дряблов Д.К., Жомуродов Д.М., Иванов В.И., *Игамкулов З.А.,* Плеханов Е.Б. Идентификация пучка ионов Хе на ускорительном комплексе Нуклотрон-М ЛФВЭ ОИЯИ методом измерения полного пробега в веществе // Письма в журнал «Физика элементарных частиц и атомного ядра». – ОИЯИ (Россия), 2011. - т.8, №2(165). – С.192-199 (01.00.00. №38)
6. Afanasiev S.V., Bekmirzaev R.N., Baskov V.A., Cruceru I., Constantin F., Cruceru M., Ciolacu L., Dirner A., Dryablov D.K., Dubinchik B.V., Ibadov R.M., *Igamkulov Z.A.,* Ivanov V.I., Isupov A.Yu., Jomurodov D.M., Kravcakova A., Kuznecov S.N., Malakhov A.I., Matouek V., Niolescu G., Lebedev A.I., L`vov A.I., Pavlyuchenko L.N., Plekhanov E.B., Polyansky V.V., Rzhanov E.B., Sidorin S.S., Smirnov V.A., Sokol G.A., Ŝpavorova M., Sultanov M.U., Turzo I., Vokal S., Vrlakova J. New status of the project "eta-nuclei" at the Nuclotron // Nuclear Physics B. –Elsevier (North-

Holland), 2013. - vol.245.-pp.173-176 (№39. ImpactFactorSearch; IF= 3,678).
7. Cruceru M., Afanasiev S., Dryablov D., Dubinchik B., *Igamkulov Z.*A. ΔE-E semiconductor detector combined with CsI(Tl) crystal for monitoring the relative electrons flux generated in interaction of accelerated nuclei beam on thin targets // Journal of Instrumentation. -IOP Publishing Ltd (England), 2015. -vol.10. –id. T07003 (9p.) (№1.Web of Science; IF=1,22).
8. Афанасьев С.В., Дряблов Д.К., *Игамкулов З.А.,* Малахов А.И., Каршиев Д.А., Бозоров Э.Х., Рахмонов Т.Т., Юлдашев Б.С. Исследование дельта-электронов, вылетающих из внутренней мишени нуклотрона в pA, dA – реакциях и определение светимости реакций // Uzbek Journal of Physics. –Tashkent, 2016. -vol.18 (№3). -pp.154-159 (01.00.00. №5).
9. Афанасьев С.В., Дряблов Д.К., Игамкулов З.А., Малахов А.И., Бозоров Э.Х., Каршиев Д.А., Юлдашев Б.С. Метод определения светимости pA- и dA- реакций с помощью детектора, регистрирующего дельта-электроны из внутренней мишени нуклотрона//Доклады АН РУз. - Ташкент, 2016. - №4.-С.26-30 (01.00.00. №7).
10. Афанасьев С.В., Дряблов Д.К., Игамкулов З.А., Малахов А.И., Олимов К., Юлдашев Б.С., Фазылов М.И., Базаров Э.Х., Тожимаматов Ш. Анализ полученных данных по поиску η-мезонных ядер на ускорителе нуклотрон // Узбекский физический журнал. - Ташкент, 2017. – т.19(№4). - С. 199-203 (01.00.00. №5).
11. Afanasiev S.V., Anisimov Yu.S., Baldin A.A., Berlev A.I., Dryablov D.K., Dubinchik B.V., Elishev A.F., Fateev O.V., *Igamkulov Z.A.*, Krechetov Yu.F., Kudashkin I.V., Kuznechov S.N., Malakhov A.I., Smirnov V.A., Shimansky S.S., Kliman J., Matousek V., Gmutsa S., Iurzo I., Cruceru I., Constantin F., Niolescu G., Ciolacu L., Paraipan M., Vokal S., Vrlakova J., Baskov V.A., Lebedev A.I., Lvov A.I., Pavlyuchenko L.N., Polyansky V.V., Rzhanov E.V., Sidorin S.S., Sokol G.A., Glavanakov I.V., Tabachenko A.N., Jomurodov D.M., Bekmirzaev R.N., Ibadov R.M., Sultanov M.U. Creation of the precision magnetic spectrometer SCAN-3 // European Physical Journal Web of Conferences.- EDP Sciences (Italy), 2017. - vol.138. - id.09002 (6p.) (№40. Research Gate; IF=0,26).

IIбўлим (IIчасть; IIpart)

12. Afanasev S.V., Dubinchik B.V., Dryablov D.K., *Igamkulov Z.A.*, Vokal S. Simulation of the SCAN3 setup // International Journal of Modern Physics: Conference Series. -World Scientific Publishing Co. (Singapore), 2015.-vol. 39.-id.1560099 (6p.)
13. Afanasiev S.V., Anisimov Yu.S., Cruceru I., Constantin F., Cruceru M., Ciolacu L., Dirner A., Dryablov D.K., Dubinchik B.V., Gmutsa S., *Igamkulov Z.A.,* Kliman J., Malakhov A.I., Matousek V., Niolescu G., Turzo I., Vasilexu A., Vokal S., Vrlakova J. Investigation of Semiconductor Detector at the Internal Target of the Nuclotron, LHEP JINR //«Relativistic

Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV»: 12th International Workshop, Stara-Lesna, Slovak Republic, June 16-20, 2014. –P. 78-83

14. Anikina M.Kh., Anisimov Yu.S., Artemov A.S., Afanasev S.V., Balandina E.V., Baskov V.A., Belyaev V.B., Dryablov D.K., Ivanov V.I., *Igamkulov Z.A.,* Gmutsa S., Grishina V.Yu., Krasnov V.A., Kobushkin A.V., Kondratyuk L.A., Kurepin A.B., Kuznetsov S.N., Lazarev L.M., Lebedev A.I., Leikin E.M., Livanov A.N., Lvov A.I., Morchac M., Malakhov A.I., Nurgozhin N.N., Shevchenko L.N., Sokol G.A., Slovinski B.S., Tamm E.I., Uzikov Yu.N., Wycech S., Yudin N.P. Status of the Project "η-mesonic Nuclei"// «Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV»: 8th International Workshop, Dubna, May 23-28, 2005. –P. 234-239.
15. Afanasiev S.V., Artiomov A.S., Dryablov D.K., *Igamkulov Z.A.,*Ivanov V.I., Isupov A.Yu., Lebedev A.I., L'vov A.I., Malakhov A.I., Pavlyuchenko L.N., Polyansky V.V., Sidorin S.S., Sokol G.A. Eta-Mesic Nuclei Formation dA-collisions at the Nuclotron. First Rezults of the Experimental Study// «Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV»: 9th International Workshop, Modra-Harmonia, Slovakia, May 22-27, 2006.-P.66-75.
16. Афанасьев С.В., Базылев С.Н., Дряблов Д.К., Жомуродов Д.М., Иванов В.И., *Игамкулов З.А.*, Исупов А.Ю., Саттаров А.Р., Сидорин С.С., Слепнев В.М., Слепнев И.В. Система сбора данных и триггер установки СКАН // «Поиск и исследование η-мезонных ядер в pA-реакции на нуклотроне ЛВЭ ОИЯИ»: Первое рабочее совещание, Дубна, 10 мая 2006).-ОИЯИ (Россия), 2007. - ISBN: 5-9530-0146-0. - С.32-33.
17. Afanasiev S.V., Artiomov A.S., Dryablov D.K., *Igamkulov Z.A.,* Ivanov V.I., Isupov A.Yu., Jomurodov D.M., Malakhov A.I., Lebedev A.I., L'vov A.I., Pavlyuchenko L.N., Polyansky V.V., Sattarov A.R., Sidorin S.S., Sokol G.A. First results on search of η-mesic nuclei in dA-collisions at the Nuclotron // «Поиск и исследование η-мезонных ядер в pA-реакции на нуклотроне ЛВЭ ОИЯИ»: Первое рабочее совещание, Дубна, 10 мая 2006).-ОИЯИ (Россия), 2007. - ISBN:5-9530-0146-0. - С. 4-7.
18. Артемов А.С., Афанасьев С.В., Бекмирзаев Р.Н., Дряблов Д.К., Жомуродов Д.М., Иванов В.И., *Игамкулов З.А.,* Исупов А.Ю., Львов А.И., Малахов А.И., Павлюченко Л.Н., Плеханов Е.Б., ПолянскийВ.В., Сидорин С.С., Сокол Г.А. Экспериментальные данные об образовании резонансной структуры в ядре-мишени в дейтрон-ядерном столкновении // «Ядро 2009»-59-е Международное совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра 15-19 июня 2009: Тез. докл.– Чебоксары (Россия), 2009. –С. 108.
19. Dryablov D.K., Afanasiev S.V., Artiomov A.S., Zhomurodov D.M., Isupov A.Yu., *Igamkulov Z.A.*, Ivanov V.I., Malakhov A.I., Plekhanov E.B., Lvov A.I., Pavlyuchenko L.N., Polyanskiy V.V., Sidorin S.S., Sokol G.A., Bekmirzaev R.N. Search for eta-mesic nuclei at the internal target of the JINR Nuclotron // «Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to

TeV»: 10th International Workshop, Stara-Lesna, Slovak Republic, 5-11 June, 2009. - P.120-132.

20. Afanasiev S.V., Anisimov Yu.S., Bekmirzaev R.N., Cruceru I., Constantin F., Cruceru M., Ciolacu L., Dryablov D.K., *Igamkulov Z.A.,* Ivanov V.I., Isupov A.Yu., Kliman J., Lebedev A.I., L'vov A.I., Malakhov A.I., Matousek V., Niolescu G., Pavlyuchenko L.N., Plekhanov E.B., Polansky V.V., Sidorin S.S., Shpavorova M., Sokol G.A., Turzo I., Vokal S. Search for eta-mesic nuclei at the Nuclotron// «Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV»: 11th International Workshop, Slovak Republic, June 17-23, 2012.-P.82-88.
21. Жомуродов Д.М, Афанасьев С.В., Дряблов Д.К., Иванов В.И, *Игамкулов З.А*, Бекмирзаев Р.Н., Плеханов Е.Б. Поиск η-мезонных ядер на нуклотроне ОИЯИ // «Ядерная и радиационная физика»: 9-я международная конференция 24-29 сентября 2013. - Алматы: РГП ИЯФ, 2013. – С. 147-148.
22. Афанасьев С.В., Бекмирзаев Р.Н., Дряблов Д.К., *Игамкулов З.А*. Экспериментальный поиск S11-резонанса на Нуклотроне ОИЯИ и его связь с образованием η-мезонного ядра // «Ядерная и радиационная физика»: 9-я международная конференция 24-29 сентября 2013. - Алматы: РГП ИЯФ, 2013. – С.163-164.
23. Afanasiev S.V., Anisimov Yu.S., Bekmirzaev R.N., Cruceru I., Constantin F., Cruceru M., Ciolacu L., Dirner A., Dryablov D.K., Dubinchik B.V., Gmutsa S., Ibadov R.M., *Igamkulov Z.A.,* Ivanov V.I., Isupov A.Yu., Jomurodov D.M., Kliman J., Lebedev A.I., L'vov A.I., Malakhov A.I., Matousek V., Niolescu G., Pavlyuchenko L.N., Plekhanov E.B., Polansky V.V., Rzhanov E.B., Sidorin S.S., Shpavorova M., Sokol G.A., Sultanov M.U., Turzo I., Vasilexu A., Vokal S., Vrlakova J. New status of project "η-Nuclei" at the Nuclotron //«Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV»: 12thInternational Workshop, Stara-Lesna, Slovak Republic, June 16-20, 2014. - P. 94-99.

Автореферат “Тил ва адабиёт таълими” журнали таҳририятида
таҳрирдан ўтказилди (03.04.2018 йил)