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

ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ

НЕБЕСНИЙ АНАТОЛИЙ ФЁДОРОВИЧ

8 БИТЛИ МИКРОКОНТРОЛЛЕР АСОСИДА СПЕКТРОМЕТРЛАРНИ КОМПЬЮТЕРЛАШТИРИШ

01.04.01 - Экспериментал физиканинг асбоблари ва усуллари

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент - 2019

УДК: 681.513.2

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора философии(PhD) по техническим наукам

Content of the dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD) on technical sciences

Небесний Анатолий Фёдорович
8 битли микроконтроллер асосида спектрометрларни компьютерлаштириш…… 5

Небесный Анатолий Фёдорович
Компьютеризация спектрометров на базе 8 битных микроконтроллеров……. 23

Nebesniy Anatoliy Fedorovich
Computerization spectrometers on the base of 8-bit microcontrollers …… 42

Эълон қилинган ишлар рўйхати
Список опубликованных работ
List of published works ……..... 49

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

ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ

НЕБЕСНИЙ АНАТОЛИЙ ФЁДОРОВИЧ

8 БИТЛИ МИКРОКОНТРОЛЛЕР АСОСИДА СПЕКТРОМЕТРЛАРНИ КОМПЬЮТЕРЛАШТИРИШ

01.04.01 - Экспериментал физиканинг асбоблари ва усуллари

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент - 2019

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2019.1.PhD/T973 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси УзФА Ядро физикаси институтида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:	**Ашуров Мухсин Хуррамович** физика-математика фанлари доктори, профессор, академик
Расмий оппонентлар:	**Ражапов Сали Ашурович** физика-математика фанлари доктори
	Вильданов Рамиль Рифгатович физика-математика фанлари номзоди
Етакчи ташкилот:	**Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Конструкторлик бюроси ва тажрибавий ишлаб чиқариш илмий –техник маркази, Тошкент ш.**

Диссертация ҳимояси Ядро физикаси институти, Астрономия институти, Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги DSc. 27.06.2017. FM/T. 33.01 рақамли Илмий кенгаш асосида тузилган Бир марталик Илмий кенгашнинг 2019 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.

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

Диссертация автореферати 2019 йил «___ » _____ куни тарқатилди.
(2019 йил “____”_____даги ____ рақамли реестр баённомаси)

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

Э.М.Турсунов
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш илмий котиби ф.-м.ф.д., катта илмий ходим

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Бугунги кунда дунёда микроконтроллерлар (МК) ёрдамида компьютерлаштириш илм-фан, техника ва саноатнинг турли соҳаларида муҳим иқтисодий ва ижтимоий самарадорликка эришишни таъминламоқда. Компьютерлаштириш – инсон фаолиятининг турли соҳаларида ахборот технологияларни автоматлаштирилишини таъминловчи компьютерларни жорий этиш жараёни бўлиб, унинг мақсади ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш ва меҳнат шароитларини такомиллаштириш орқали инсон ҳаётининг сифатини яхшилашдир. Спектрал таҳлилни компютерлаштириш – инструментал усулларни ривожлантиришнинг ҳал қилувчи асосий йўналишларидан биридир. Моддалар структурасини, таркибини ва хусусиятларини таҳлил қилиш барча замонавий технологияларнинг ажралмас қисмидир. Компьютерлар ёрдамида автоматлаштириш давригача ишлаб чиқарилган кўпгина спектрометрлар ўз хусусиятлари бўйича замонавий спектрометрлардан нафақат қолишмайди, балки баъзи имкониятларига кўра, улардан устунлик ҳам қилади. Уларнинг ягона камчилиги компьютерлаштирилмаганидир. Мазкур масаланинг оптимал ечими – микроконтроллерлардан фойдаланиш ҳисобланади.

Дунё бўйича микроконтроллерлар ишлаб чиқариш саноатнинг муҳим соҳасига айланган бўлиб, йиллик микропроцессорлар ишлаб чиқаришнинг қарийб 90 фоизи унинг ҳиссасига тўғри келади. Компьютерлар воситасида автоматлаштиришнинг бошқарув соҳасида оммавий қўллаш даврининг бошланишини МКларнинг пайдо бўлиши билан боғлашади. 1980 йилда Intel МК: i8051ни ишлаб чиқаради. МК процессори учун ташқи қурилмаларнинг муваффақиятли танланганлиги, ташқи ёки ички дастурий хотиранинг мослашувчанлиги ва мақбул нарх-наво бу МКга бозорда муваффақиятга эришиш имконини берди. Шундан бери МК ишлаб чиқарувчилари сони ва уларнинг номенклатураси доимий равишда ўсиб бормоқда. МКни компьютерлар ва экспериментал ускуналар билан биргаликда қўллаш натижасида замонавий физикавий тажрибалар натижаларининг сифати ва уларни таҳлил қилиш тезлиги ошади.

Мамлакатимизда тажриба усуллари ва спектрал таҳлил тизимларини ривожлантиришга катта эътибор берилмоқда. Республикамизда айни пайтда илмий тадқиқотларда замонавий автоматлаштирилган спектрометрларни қўллаш билан бир қаторда, ўз хусусиятлари билан улардан қолишмайдиган аввал сотиб олинган спектрал ускуналарни компьютерлаштириш масаласи долзарб аҳамиятга эга бўлиб қолмоқда. Бундан келиб чиққан ҳолда илмий-тадқиқот ишларининг сифатини ошириш ва уларнинг импортга боғлиқлигини камайтириш мақсадида спектрометрларни компьютерлаштириш учун электрон тизимларни ишлаб чиқиш устувор йўналишлардан бирига айланмоқда. Ўзбекистон Республикасини 2017-2021 йилларда янада ривожлантиришнинг бешта устувор йўналишлари бўйича

Ҳаракатлар стратегияси[1] дастурида импортнинг ўрнини босувчи маҳсулотлар ишлаб чиқариш дастури аниқланган бўлиб, унга кўра, илмий тадқиқот ва инновацион фаолиятларни ривожлантириш, илмий ва инновацион ютуқларни амалиётга татбиқ этишнинг самарали механизмларини яратиш, олий ўқув юртлари ва илмий-тадқиқот институтларида махсус илмий-тажрибавий лабораториялар, юксак технологиялар марказлари, технопарклар ташкил этиш масалаларини рағбатлантиришга алоҳида эътибор берилади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил, 7 февралдаги ПҚ-4947-сонли "Ўзбекистон Республикасини 2017-2021 йилларда янада ривожлантиришнинг Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида"ги, 2018 йил, 27 апрелдаги ПҚ-3682-сонли "Инновацон ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида"ги, 2018 йил, 7 майдаги ПҚ-3698-сонли "Иқтисодиёт тармоқлари ва соҳаларига инновацияларни жорий этиш механизмларини такомиллаштириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида"ги қарорлари ҳамда ушбу соҳадаги бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация иши муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологияларини ривожлантиришнинг устувор йўналишлари билан мувофиқлиги. Диссертация тадқиқотлари республикада фан ва технологияларни ривожлантиришнинг II. "Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлиги" устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Спектрометрия асбоблари ва тизимларини компьютерлаштириш вазифаси дунёдаги кўплаб олимлар, масалан, буюк британиялик (Т. Ҳирсчфелд), россиялик (Давыдов А.Е., Ухов А.А., Василева И.Е., Шабанова Е.В., Замятин Н.И.), украиналик (А.Ф.Даниленко) ва бошқа мутахассислар томонидан илм-фаннинг турли соҳаларида спектрометрларни компьютерлаштириш бўйича катта ҳажмдаги ишлар амалга оширилган. МКнинг барча мазкур ишларда қўлланилиши уларнинг параметрларини сезиларли даражада оширишга ёрдам берган. Бундан ташқари, ўзбекистонлик олимлар ҳам (Ашуров М.Х., Гасанов Э.М., Валиев У.В., Коблик Ю.Н., Артёмов С.В. ва бошқалар) спектрометрларни ва бошқа ускуналарни компьютерлаштириш масалаларини ҳал этиш билан шуғулланганлар.

Ўзбекистонда мавжуд бўлган аппаратура ўз хусусиятлари бўйича ҳозирда ҳам хорижий аппаратурадан қолишмайди, баъзан эса улардан устун ҳам чиқади. Масалан, Совет даврида ишлаб чиқарилган МДР монохроматори асосидаги электрон ҳисоблаш машиналари (ЭХМ) орқали бошқариладиган универсал спектрометрик ҳисоблаш комплекслари КСВУ-2, КСВУ-6, КСВУ-12 ва КСВУ-23 бунга мисол бўла олади. КСВУ типидаги комплексларнинг

[1] Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил, 7 февралдаги № ПФ-4947 сонли Фармони «2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегияси».

бошқарув тизимлари ва дастурий таъминоти ҳам жисмонан, ҳам маънан эскирган, одатда ишламайдиган аҳволда бўлса-да, аммо унинг таркибига кирувчи МДР монохроматорининг ўзи замон талаби даражасида ишлатилиши мумкин. Уларни ишлатилишнинг асосий тўсиқларидан бири – ундаги қадамли восита бўлиб, уни автоматлаштириш учун бошқарувнинг рақамли тизими керак бўлади. Ядро физикавий тадқиқотларда бўлиниш маҳсулотларини (БМ) масс-спектрометр ёрдамида қайд қилиш учун магнит сепораторнинг фокус текислигида жойлаштириладиган бир марта ишлатиладиган қаттиқ жисмли детекторлардан (шиша пластинкалардан) фойдаланилган.

Аммо натижаларни қайта ишлаш кўп вақт сарфлашни талаб қилар эди, чунки бунинг учун шиша пластинкаларни жойлаштириш, уларга маълум вақт БМни таъсир эттириш, детекторларни олиш ва уларга кейинги кимёвий ишлов бериш талаб қилинар эди ва ундан кейин ҳодисалар сони қўлда ҳисоб-китоб қилинар эди. Спектрометрларнинг юқорида санаб ўтилган камчиликлари уларни эксплуатация қилишда муаммоларга ва бир қатор масалаларни ечишда имкониятларнинг чекланишига олиб келади.

Диссертацион тадқиқотнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасаси илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқотлари Ядро физикаси институтининг илмий-тадқиқот режасининг Ф-2.1.13 "Оптик-тола ва стинтилляцион материалларида ностационар радиацион жараёнлар" (2003-2007), ФА-Ф2-Ф065 + Ф071 "Ўринбосар ва киритма қаттиқ эритмаларда термо ва радиация билан стимуллашган ҳодисалар” (2007-2011), ФА-Ф2-Ф078 "Актинид ядроларининг кластер структураси ва уларнинг массалар тақсимотидаги кучли ассимметрия соҳасида реактор нейтронлари воситасида бинар бўлинишини тадқиқ қилиш" (2007- 2011), Ф2-ФА-Ф112 “Юқори ва паст энергияларда ядровий материя хоссалари ва ҳолатини экспериментал тадқиқ қилиш” (2012-2016), Ф2-ФА-Ф118 “Ионлаштирувчи нурлар детекторлари сифатида қўлланиладиган оксид ва фторид қаттиқ жисм материалларда радиация билан уйғотиладиган жараёнларнинг қонуниятлари” (2012-2016) илмий лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади 8 битли PIC18F448 ва C8051F127 МК асосида оптикавий ва ядро спектрометрияси соҳасидаги физикавий тажрибаларни автоматлаштириш воситаларини ишлаб чиқиш ва яратиш, спектрларни, шу жумладан, оптикавий спектрларни гауссианларга ажратиш учун экспериментал натижаларни қайта ишлаш усулларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

универсал спектрометрик ҳисоблаш комплекслари (КСВУ-12) электрон тизимини микроконтроллерсиз микросхемалардан фойдаланган ҳолда модернизация қилиш;

микроконтроллерни бошқариш, реал вақт режимида акс эттириш билан маълумот йиғиш ва уларни қайта ишлаш мақсадида КСВУ-12даги барча электрон қисмларни битта МК модулига алмаштириш;

масс-спектрометр қурилмасининг Si 32 стрипли детекторлар ва бўлиниш маҳсулотларини реал вақт режимида электрон қайд қилишни ўз ичига олувчи модернизациясини амалга ошириш;

қайд қилинадиган БМнинг кинетик энергияси ҳақидаги маълумотлар олиш учун экспериментал маълумотларни тўплаш ва уларни қайта ишлашни амалга оширувчи дастурларни ишлаб чиқиш ва яратиш.

Тадқиқотнинг объектлари дифракцион панжарали монохроматори МДР-12нинг бошқариш тизими, материалларнинг оптикавий спектрлари, Ядро физикаси институти масс-спектрометрининг бошқариш ва БМни қайд қилиш тизими, ^{235}U ядроларининг БМ спектрлари, ВВР-СМ тадқиқот реакторида иссиқлик нейтронлар таъсирида вужудга келадиган ^{235}U ядроларининг БМ спектрларидан иборат.

Тадқиқотнинг предмети МДР-12 монохроматорини персонал компьютер орқали бошқариш, маълумотлар тўплаш ва маълумотларни қайта ишлашни таъминловчи PIC18F448 МКи асосида компьютерлаштирилган электрон тизими, C8051F127 МК асосида ЯФИнинг масс-спектрометрида БМни қайд қилишнинг мульти микроконтроллер тизимида ташкил этилган персонал компьютер орқали бошқариладиган компьютерлаштирилган электрон тизими ҳисобланади.

Тадқиқот усуллари. Оптикавий материаллар спектрларида чегарадан ташқарида максимум мавжуд бўлган ҳолатда спектрларни таҳлил қилишнинг спектрометрик усули, ^{235}U ядролари БМнинг чизиқли спектрларини таҳлил қилишнинг масс-спектрометрик усули, эксперимента маълумотларни қайта ишлашнинг математик ва ҳисоблаш усуллари, спектрларни суперпозициялаш усули ва бошқалар.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

персонал компьютердан бериладиган буйруқ орқали МДР-12 монохроматорини бошқарадиган, маълумотларни тўплайдиган ва мониторда доимий токда ёки импульс режимида ўлчанган оптикавий спектрларни акс эттирган ҳолда сақлайдиган микроконтроллер тизими ишлаб чиқилган;

чегарадан ташқарида максимуми бўлган оптикавий спектрларни Гаусс ташкил этувчиларига ёйиш учун дастур ишлаб чиқилган;

масс-спектрометр учун ВВР-СМ реактори иссиқлик нейтронлари таъсирида ^{235}U ядроларининг бўлиниш маҳсулларини қайд қилишнинг ҳар бир энергетик спектрини акс эттирувчи 32 каналли мультимикроконтроллер тизими ишлаб чиқилган;

микроконтроллер ва персонал компьютер учун 32 каналли детектрлаш тизимини бошқариш, бирламчи маълумотларни тўплаш ва уларни сақлаш дастурлари ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

бошқарувнинг микроконтроллер тизимини қўллаган ҳолда МДР-12 асосида компьютерлаштирилган оптикавий спектрометр яратилган;

ВВР-СМ ядро реакторида ўрнатилган секинлашмаган маҳсуллар масс-сепаратори асосида бўлиниш маҳсулотларини қайд қилувчи компьютерлаштирилган он-лайн масс-спектрометри яратилган;

спектрометрнинг фокал текислигининг чизиқли ўлчамларини M/Z* бирликларидаги координаталарга ўзгарувчи иккинчи даражали полином кўринишидаги аппарат функцияси олинган;

маълумотларни гаусс ташкил этувчиларга ёйган ҳолда қайта ишлаш учун M/Z* шкаласи бўйича бутун спектрни шакллантириш дастури ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилигига тажрибавий тадқиқотларнинг замонавий усулларини ва ўлчовларни замонавий воситаларини қўллаган ҳолда олиб борилиши, ишлаб чиқилган услубларни спектрларни ўлчашнинг бошқа тизимларни қўллаган ҳолда, қиёсий таҳлил қилиниши, бошқа ускуналардан фойдаланган ҳолда назорат ўлчовларнинг амалга ошириш ва турли тадқиқотчилар олган натижалар билан солиштириш орқали асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларнинг илмий аҳамияти шундаки, ^{235}U ядроларининг иссиқлик нейтронлари таъсирида БМни қайд қилишнинг ишлаб чиқилган компьютерлаштирилган тизимидан фойдаланган ҳолда олинган тажрибавий натижалар жаҳон маълумотлар базасини тўлдиришга ёрдам беради ва бу маълумотлардан ядроларнинг бўлиниши муаммоларини ҳал қилиш бўйича янги назариявий ёндашувларни ривожлантиришда фойдаланиш мумкин. Ядроларнинг БМ қайд этиш бўйича яратилган электрон тизими оғир ядроларнинг бўлиниш жараёнларини ўрганиш бўйича тажрибалар қўйиш ҳамда уларни ўтказиш ва бошқа масалаларида талаб қилиниши мумкин.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундаки, яратилган компьютерлаштирилган МК тизими илмий ёки таълим муассасаларида спектрометрларни такомиллаштиришда қўлланилиши мумкин.

Тадқиқот натижаларини жорий қилиниши. 8 битли МК базасида спектрометрларни компьютерлаш бўйича олинган натижалар асосида:

персонал компьютердан бериладиган буйруқ орқали МДР-12 монохроматорини бошқарадиган оптик спектрни сканерлаш учун модул сифатида ишлаб чиқилган микроконтроллер тизимига Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг фойдали модель патенти олинган (№ FAP 00570, 2010 й.). Илмий натижаларининг қўлланилиши компьютердан бериладиган буйруқларидаги маълумотларни тўплаш, қайта ишлаш ва мониторда доимий токда ёки импульс режимида ўлчанган оптикавий спектрларни акс эттирган ҳолда сақлаш имконини берган;

чегарадан ташқарида максимуми бўлган оптикавий спектрларни Гаусс ташкил этувчиларига ёйиш учун ишлаб чиқилган дастур Ядро физикаси институтида ОТ-Ф2-23 "Кенг зонали оксид ва фторид қаттиқ жисм материалларда генерациявий ва рекомбинациявий жараёнларнинг ўзига хос хусусиятлари" (2017-2020) фундаментал лойиҳаси доирасида, шунингдек, Ион-плазма ва лазер технологиялари институтида ФА-Ф2-Ф081 “Қаттиқ жисмли наноўлчамли структураларнинг шаклланиш жараёни механизми ва хусусиятларини ҳамда уларнинг электр ва иссиқлик физикавий, оптик ва магнит хоссаларини тадқиқ этиш” (2008-2010) ва ФЕ2-ФА-Ф155 “Ўтувчи

металлар билан легирланган ZnO даги оптик ютилиш чегарасини тадқиқ қилиш” (2012-2013) фундаментал, А4-ФА-Ф156 «ZnO наноструктура ва органик ярим ўтказгичлар асосида юқори самарали гибрид қуёш элементларини яратиш технологиясини ишлаб чиқиш» (2012-2014) амалий лойиҳаларида оптик спектрни сканерлаш учун модуль диффракцион панжарали монохроматор (МДР-12)ни компьютерлашган бошқаруви учун қўлланилган (ЎзР Фанлар академиясининг 2/1255-3252-сонли 2018 йил, 12 декабрдаги хати, Ион-плазма ва лазер технологиялари институтининг 2/1255-3252-сонли 2018 йил 12 декабрдаги хати). Илмий натижаларининг фойдаланиши кенг доирадаги оптикавий материалларнинг оптикавий спектрларини персонал компьютердан бошқариш орқали ёзиб олиш имконини берган;

масс-спектрометр учун ВВР-СМ реактори иссиқлик нейтронлари таъсирида ^{235}U ядроларининг бўлиниш маҳсулларининг автоматик масофавий тартибга солиш бўйича ишлаб чиқилган қурилмасига Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг фойдали модель патенти олинган (№ FAP 00873, 2012 й.). Илмий натижаларининг қўлланиши 32 стрипли ярим ўтказгичли детектор асосида ^{235}U ва ^{239}Pu ядроларини иссиқлик нейтронлари билан бўлиниш маҳсуллари тақсимотининг масс-спектрометрик тадқиқотларини амалга ошириш учун ядроларнинг бўлиниш маҳсулларини детектирлашнинг компьютерлашган 32 каналли электрон системасини яратиш имконини берган;

микроконтроллер ва персонал компьютер учун 32 каналли детектрлаш тизимини бошқариш, бирламчи маълумотларни тўплаш ва уларни сақлаш учун ишлаб чиқилган дастурлар Ядро физикаси институти ФА - Ф2-Ф078 “Актинид ядроларининг кластерли структурасини ва уларнинг реактор нейтронлари билан бинар бўлиниши жараёнларини кучли ассиметрик масса тақсимоти областида тадқиқ этиш” (2007-2011) фундаментал лойиҳаси доирасида оғир ядролар бўлиниш маҳсулотларини тадқиқот реакторидаги масс-спектрометрида қайд этиш учун қўлланилган (ЎзР Фанлар академиясининг 2/1255-3252-сонли 2018 йил 12 декабрдаги хати). Илмий натижаларининг қўлланиши масса сонларининг A = 125дан A =158 гача ва бўлиниш маҳсулларини ион зарядларининг Z* = 16дан Z* =28гача бўлган қийматларида тажриба маълумотларини замонавий талабларга мувофиқ қайта ишлашни тезлаштиришга имкон берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 8 та халқаро ва республика конференцияларида муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларинининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 16 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 6 та мақола, шулардан 4 таси хорижий журналларда нашр этилган, 2 та ихтирога фойдали модель учун патент олинган.

Диссертация тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, уч боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг ҳажми 108 саҳифани ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотнинг долзарблиги ва зарурати, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари асосланган, тадқиқотлар объекти ва предмети тавсифланган, Республика фан ва технологиялар тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён этилган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти, тадқиқот натижаларини амалиётга татбиқ этилиши очиб берилган, нашр этилган мақолалар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

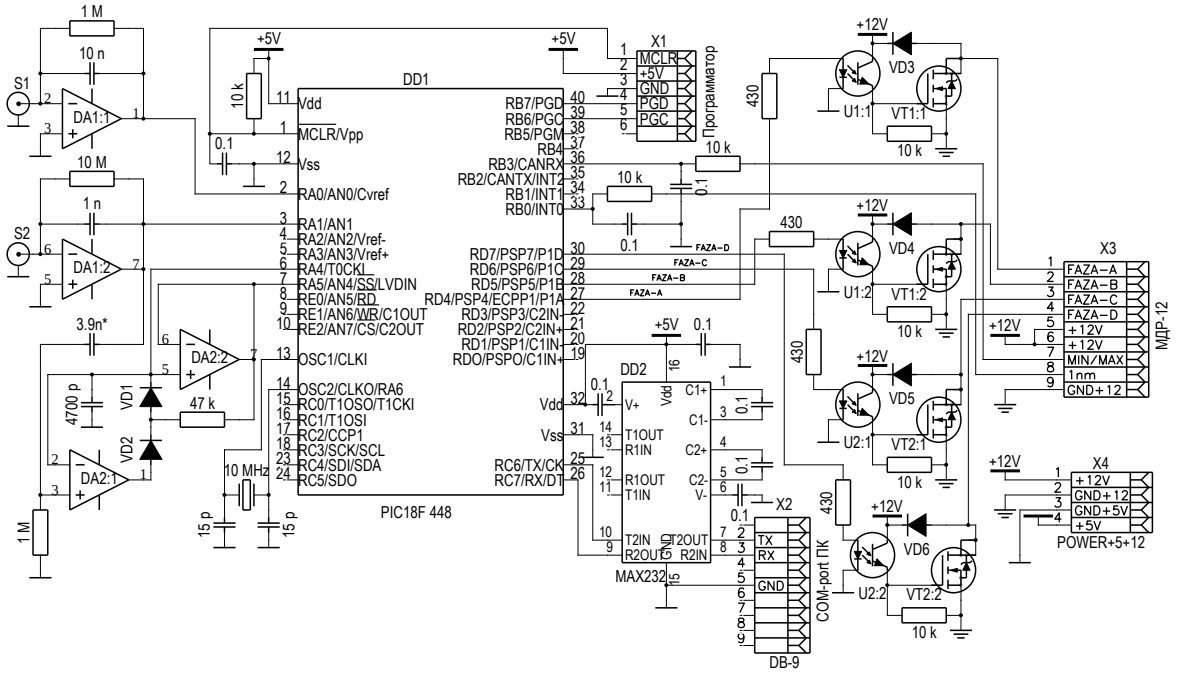
Диссертациянинг **«Микроконтроллерлар: тарихи, тараққиёти, истиқболлари»** деб номланган биринчи бобида МК, уларнинг архитектураси, дастурлаш ва дастурни созлаш воситалари бўйича адабиётлардаги маълумотлар таҳлил қилинган. Замонавий МКни, шунингдек, компьютерлар ва алоқа интерфейсларини ўз ичига олган тизимнинг ишлашини таъминлайдиган аналог ва аналог-рақамли схемали ечимлар кўриб чиқилган ва таҳлил қилинган. Спектрларни нормал гауссианларга ёйиш учун дастурлаш системасини танланиши асосланган.

Диссертациянинг «**МДР-12 асосидаги оптик спетрометр**» деб номланган иккинчи бобида “Спектрометрик ҳисоблашнинг универсал комплекси–12” (КСВУ-12)ни модернизациялашнинг икки варианти кўрсатилган.

Биринчи вариантда 16 битли “умумий шина”га эга бўлган ДВК-3М типидаги эскирган ЭҲМ ўрнига КСВУ-12га IBM-PC типидаги замонавий компьютерларни улашда вужудга келадиган муаммолари кўрсатилган. IBM-PCни комплексга улаш учун схемаларга ўзгартиришлар киритилган ва ПК билан боғланиш учун ташқи қурилмалар контроллери ишлаб чиқилган. Модернизациялаш натижасида КСВУ-12ни IBM-PCдан бошқаришни таъминлаш мумкин бўлди. Аммо кўпсонли микросхемалар, плато ва боғланиш кабелларининг мавжудлиги комплекснинг ишончли ишлашини таъминлай олмади.

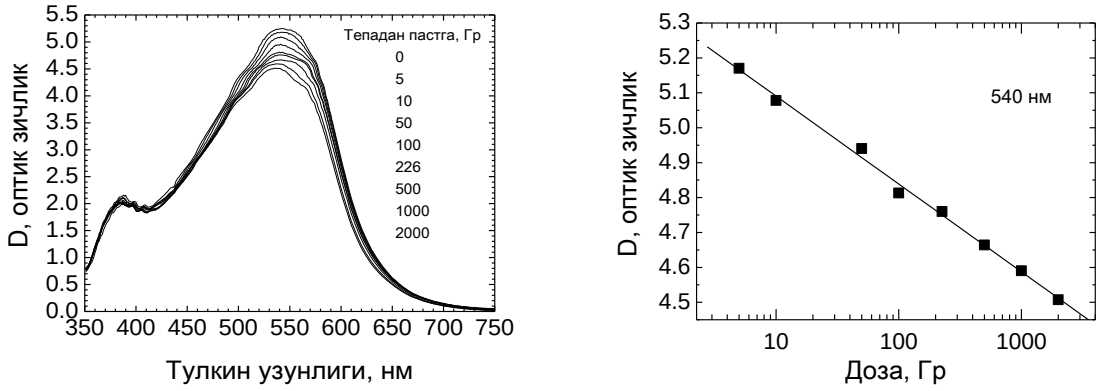
Компютерлаштиришнинг иккинчи вариантида замонавий элемент базасидаги электрон модули ишлаб чиқилди ва тайёрланди. У КСВУ-12нинг деярли барча электроникасини алмаштирди. Модулнинг асосини таркибида RISC архитектура ва ташқи қурилма бўлган PIC18F448-IP МК ташкил этади. МК таркибида таймерлар, аналог-рақамли ўзгартиргич (АЦП), кенглик-импулсь модули (КИМ), универсал асинхрон қабул қилувчи-узатувчи ва бошқа таркибий қисмлар мавжуд. МДР-12 базасидаги МК спектрометрнинг структураси ва схемали ечими қуйидаги иш режимини таъминлайди: 1- юстировкалаш; 2 - оптик спектрни тўлқин узунлиги бўйича узлуксиз сканирлаш; 3 - тўлқин узунлиги бўйича қадамли сканирлаш режими; 4 - бир

тўлқин узунлигидаги вақт бўйича ёйиш. Ўлчаш бошлангандан сўнг, МК модуль (1 - Расм), RS-232 канали бўйича, X2 разъем DD2 схема орқали компьютердан бошқариш сигналини қабул қилади, ФЭУдан аналогли сигналларни рақамлаштиради, МДР-12дан 1 нм белги сигналини қабул қилади ва ишлаб чиқилган маълумотларни компьютерга жўнатади. RD4-RD7 портлари ва VT1:1 VT2:2 куч калитлари орқали КИМ режимида қадамли двигатель (ҚД) ишини бошқаради. ФЭУ S1 ёки S2 разъемларига уланади. ФЭУнинг ток сигнали кучайтиргич – айлантиргичда DA1 микросхемасида ток-кучланишга айлантирилади. Шундан кейин сигнал АЦПнинг AN0 ёки AN1 киришларининг бирига келиб тушади. Агар сигнал импульсли бўлса - ФЭУ S2 киришига уланади ва DA1:2 чиқишидан импульсли кучланиш сигнали DA2 пик детекторига келади. Кейинчалик сигнал АЦПнинг AN4 киришига келади. Сигнал рақамланиб бўлгач, пик детектордан унинг сиғими RA4 порт сигнали билан нолга айлантирилади. Спектрларни сканерлашнинг 10 та тезлиги кўзда тутилган. Максимал сканерлаш тезлиги 120 нм/мин ёки 2 нм/с бўлиб, у 1 нмга ФЭУ сигналини 20 мингдан кам бўлмаган ўлчанишини таъминлайди. Монохроматор рухсат этилган чегарадан чиққанида, МДР-12 энг охирдаги контакти ишга тушади ва min/max линияси бўйича монохроматордан X3 разъеми орқали МКга спектрни сканирлашни тўхтатиш ҳақидаги сигнал келади. Конструктив жиҳатдан модуль ўлчами 90x90 мм бўлган платадан иборат. Энергия таъминоти ПК таъминот блокидан амалга оширилиши мумкин, аммо 5Адан кам бўлмаган токли 12 Вли ташқи таъминот блокидан фойдаланиш афзалроқдир. МК учун дастурий таъминот (ДТ) Microchip компанияси томонидан интеграллашган MPLAB IDE муҳитда ишлаб чиқилган С типида МКни бевосита платода дастурлаштириш орқали бажарилди. ПК учун ДТ Windows XPда ишлаш учун Borland C++ Builder 6да ёзилган.



1-расм. Микроконтроллерли модулнинг принципиал схемаси

2а - расмда биз томонимиздан яратилган система ёрдамида ёзиб олинган ЎзР ФА ЯФИда ишлаб чиқилган визуал рангли суюқ дозиметрининг сувга нисбатан оптик ютилиш спектрлари кўрсатилган. Нейтронлар дозасининг ошиши билан ютилиш полосаси максимумидаги оптик зичлик камаяди. Суюқликнинг ранги ўзгаради, бу эса олинган дозани сифат жиҳатидан баҳолаш имкониятини беради. 2б расмда 540 нм тўлқин узунлигида дозиметрнинг оптик зичлигининг пасайишининг дозадан боғлиқлиги логарифмик масштабда кўрсатилган.

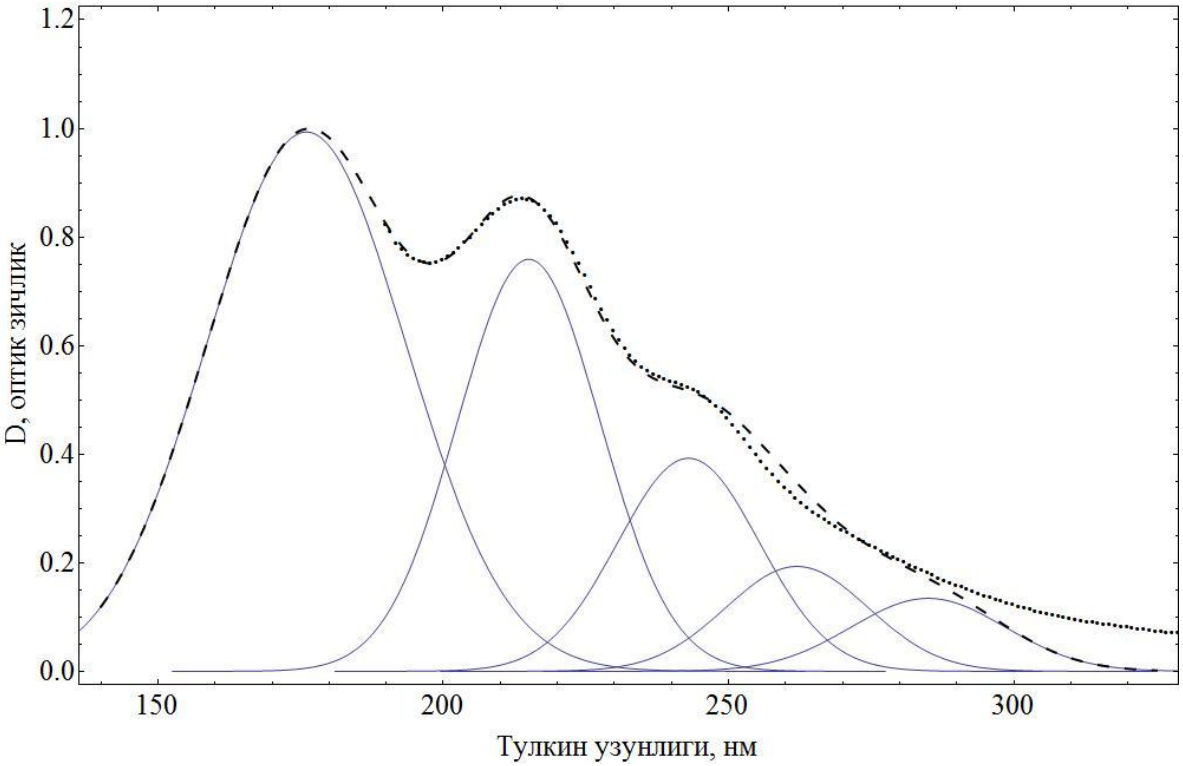


а) б)

2-расм. а- визуал рангли суюқ дозиметрининг дозиметрнинг сувга нисбатан оптик ютилиш зичлиги спектрлари; б - ушбу спектрнинг 540 нмдаги дозавий боғлиқлиги

Кўпчилик ҳолларда маълум бир ускунада ўлчанган оптикавий спектрларни қайта ишлаш жараёнида спектрни унинг чегарасидан ташқарисида мавжуд бўлган максимумни ҳисобга олган ҳолда гауссианларга ёйиш зарурати келиб чиқади. Чегарадан ташқаридаги максимумни спектрометрнинг қайд қилиш соҳаси чекланганлиги туфайли ёзиб олиб бўлмайди. Масалан, оддий спектрометрлар билан вакуум ултрабинафша соҳасидаги спектрни қайд қилиб бўлмайди, чунки ҳаво ёруғлик нурини ютиб қолади. Бу соҳадаги максимум физикавий ахборот бериши мумкин, бошқа томондан эса чегарадан ташқарида максимумнинг мавжудлигини ҳисобга олмаслик спектрни гауссианларга нотўғри ёйишга олиб келади. Айтайлик, кварц шишаларида спектрнинг вакуум ультрабинафша соҳасида максимуми 175 нм атрофида бўлган ютилиш полосаси мавжуд бўлиб, спектр оддий спектрометларда ёзиб олинганида унинг катта энергия соҳасининг кўтарилишига олиб келади, бу спектларни тўғри ёйишга ҳалақит қилади. Ушбу ҳолат гауссианларга ёйишда чегарадан ташқаридаги максимумни ҳисобга оладиган ёйиш дастурини яратишни талаб қилади. 3-расмда нуқталар билан KS-4V маркли кварц шишасининг экспериментда ёзиб олинган ютилиш спектри кўрсатилган, унда 200 нм. дан паст тўлқин узунлигида юқорига кўтарилиш мавжуд бўлиб, у спектр ёзиб олинган чегарадан ташқарида максимум борлигидан далолат беради. Спектрни тўғри ёйиш учун ушбу максимумнинг қийматини билиш талаб этилади. Биз гауссианларга ёйишнинг чегарадан ташқарида максимум борлигини ҳисобга олувчи

алгоритмини ва дастурини ишлаб чиқдик, у тажрибада олинган спектрнинг ёйилгандан кейинги спектрга қаноатланарли мос келишига олиб келди (3-расм, узлуксиз чизиқ).



Нуқталар билан эксперименталь спектр, узлуксиз чизиқлар билан спектрни гаусианларга ёйиш натижаси, узлукли чизиқ билан гауссианларни қўшиш натижаси кўрсатилган.

3-расм. KS-4V маркали кварц шишаси оптикавий спектрини чегарадан ташқаридаги максимум мавжудлигини ҳисобга олган ҳолда гауссианларга ёйиш.

«Ядролар бўлиниши маҳсулларининг спектрометрияси», деб аталган учинчи бобида ВВР-СМ ядровий реакторининг горизонтал каналига ўрнатилган масс-спектрометрда реактор нейтронлари таъсирида ядролар бўлиниши маҳсуллари (БМ)ни қайд қилиш мақсадида ишлаб чиқилган ва яратилган МКли компьютерлаштирилган система баён қилинган.

Биз томондан ядроларнинг БМни қайд қилиш тизими яратилган бўлиб, унда ядроларнинг бирламчи БМни қайд қилиш масс-спектрометрнинг фокал текислигидаги детектрлаш камерасида (ДК) зарядларга сезгир бўлган олдкучайтиргич (предусилитель)лар билан боғланган, юзаси 60х60 мм^2, стрипининг кенглиги 1,8 мм бўлган координатали 32 стрипли кремнийли ярим ўтказгич детекторида ZENIT-A типидаги микросхемаларда амалга оширилади.

Система ҳар бирида 4 тадан спектрометри бўлган 8 та модулни ўз ичига олади. 4-расмда 4 каналли спектрометр модули (МС-4х)нинг схемаси кўрсатилган. Модулда спектрометрик кучайтиргич ва сақлашни танлаш қурилмаси (УВХ)ни ўз ичига олувчи 4 амплитудавий анализатор мавжуд. Модулнинг асосини С8051F27 типидаги МК ташкил этиб, унда аниқлик даражаси юқори 10 битли АЦП (АРЎ), тўртта спектрни тўплаш ва сақлаш

учун 8к×8 бит сиғимли хотира, I^2C ташқи боғланиш қурилмаси, УВХни бошқариш портлари мавжуд. Сигнал стрипнинг олдкучайтиргичидан МС-4х.нинг киришларидан бири орқали унга мос келувчи спектрометрга келиб тушади. Айтайлик, сигнал МС-4х спектрометрик модулининг S1 киришига келиб тушади. Ундан кейин сигнал икки томони очиқ канал бўйлаб DA1 спектрометрик кучайтиргич ва DA2 масштаблаштирувчи кучайтиргичлар орқали DA3 микросхемада тайёрланган УВХга, ундан кейин эса МК АЦПсининг ANO 1 киришига келади. Бир вақтнинг ўзида сигнал УВХдан МК компараторининг CP1+ киришига келиб тушади. Компаратордан келган сигнал орқали мос спектрометрнинг АЦПси ишга тушади. АЦПда ўзгартириш амалга оширилгандан кейин МКнинг P1.4 порти VG1 калитининг IN4 киришига импульсни узатади ва S4-D4 калитли ушбу калит УВХ сиғимини ерга улайди. Натижада УВХ “нулга айланади” ва спектрометр янги сигнални қабул қилиш учун тайёр бўлади. Рақамлаштирилган сигнал МК хотирасида қайд қилинаётган заррачанинг энергиясига мос келувчи ячейкасида берилган амплитуда билан эслаб қолинади, шу тариқа спектр шаклланади. Ҳар бир спектр тўпланади, эслаб қолинади ва ўлчашлар охирига етганида ёки операторнинг талаби билан МС-4х.нинг барча модуллари ўлчанган спектрларни бошқариш модули (МУ) орқали 1024х16 бит форматдаги маълумотлар массиви кўринишида ПКга узатади. МУнинг схемаси (5-расм) электр таъминотини, ҳар бир МС-4х га буйруқ беришни ва улардан маълумотлар қабул қилиб олишни амалга оширади. МУ, шунингдек, кучланишнинг 1 В/с.дан чизиқли ошиб боришини ёки камайиб боришини таъминловчи детекторнинг бошқариладиган юксак кучланишли электр таъминоти стабилизаторини ҳам ўз ичига олади. Компьютер билан боғланиш (1000 м.гача) интерфейс кўприги (МИ) RS485 – USB орқали амалга оширилади (6-расм). ПКга ўлчашнинг барча параметрлари юкланади. ПК программаси дарчасида системанинг вертуал ташкил этувчиларини бошқарувчи тўртта панел мавжуд. Унинг марказида 32та спектрлардан бирини акс эттирувчи графиклар дарчаси жойлашган бўлиб, спектрлардан қай бирини танлаш оператор томонидан уларга мос келувчи тугмани босиш орқали амалга оширилади.

МК учун **дастур таъминоти** С-тилида, ПК учун эса BorlandC++ Builder6да ёзилган. Дастурнинг интерфейси махсус ўрганишни талаб қилмайди, Windows-XP муҳитида ишлашни билиш ва иш тажрибасига эга бўлишнинг ўзи етарли.

Қайд қилиш тизимининг конструкцияси учта алоҳида блок кўринишида амалга оширилган: 1 – масс-спектрометрнинг фокал текислигида жойлашган зарядга сезгир кучайтиргич (ЗЧП); 2 – таркибида МС-4Х модулларини улаш учун 8 та разёмга эга бўлган МУ платаси, стабиллашган электр таъминоти узеллари, бошқариш ва боғланиш схемалари жойлашган электроника блоки; 3 – 2- блокни ўлчаш хонасида жойлашган ПК билан боғловчи интерфейс кўприги (МИ).

Система амплитудаси нулдан максимал қиймат – БМ энергиясига мос келувчи ~ 100 МэВгача чизиқли ошиб борувчи манфий қутбланган

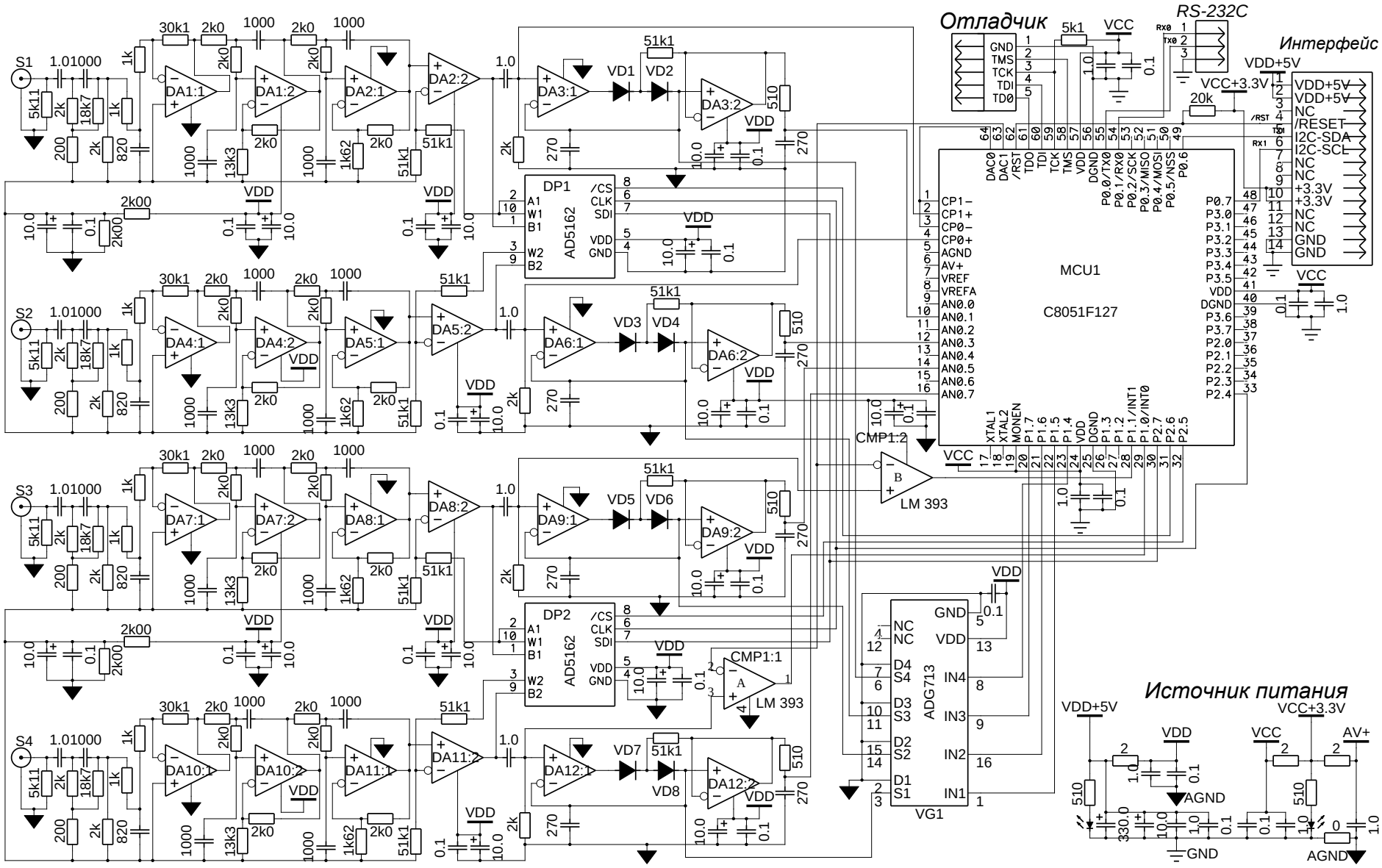
импульслар бериш орқали синаб кўрилди. Чизиқлилик барча 32 спектрометрлар учун ва система параметрларининг стабиллиги узоқ вақт (~ 48 соат) давомида ўлчанди.

Бундан кейин ўз-ўзидан (спонтан) бўлинувчи радиоактив манба ^{252}Cf билан синаб кўрилди. БМнинг энергиявий спектрлари барча 32 стриптлар бўйича яхши мос келди. 7-расмда 14 стрипт учун ^{252}Cf манбасининг БМ спектрлари кўрсатилган. Чапдаги максимум энергияси E_α=6,118 МэВ бўлган α - заррачаларга, кейингилари эса ^{252}Cf манбасининг спектрига, ўнгдаги максимум эса генераторнинг 110 МэВлик таянч сигналига мос келади.

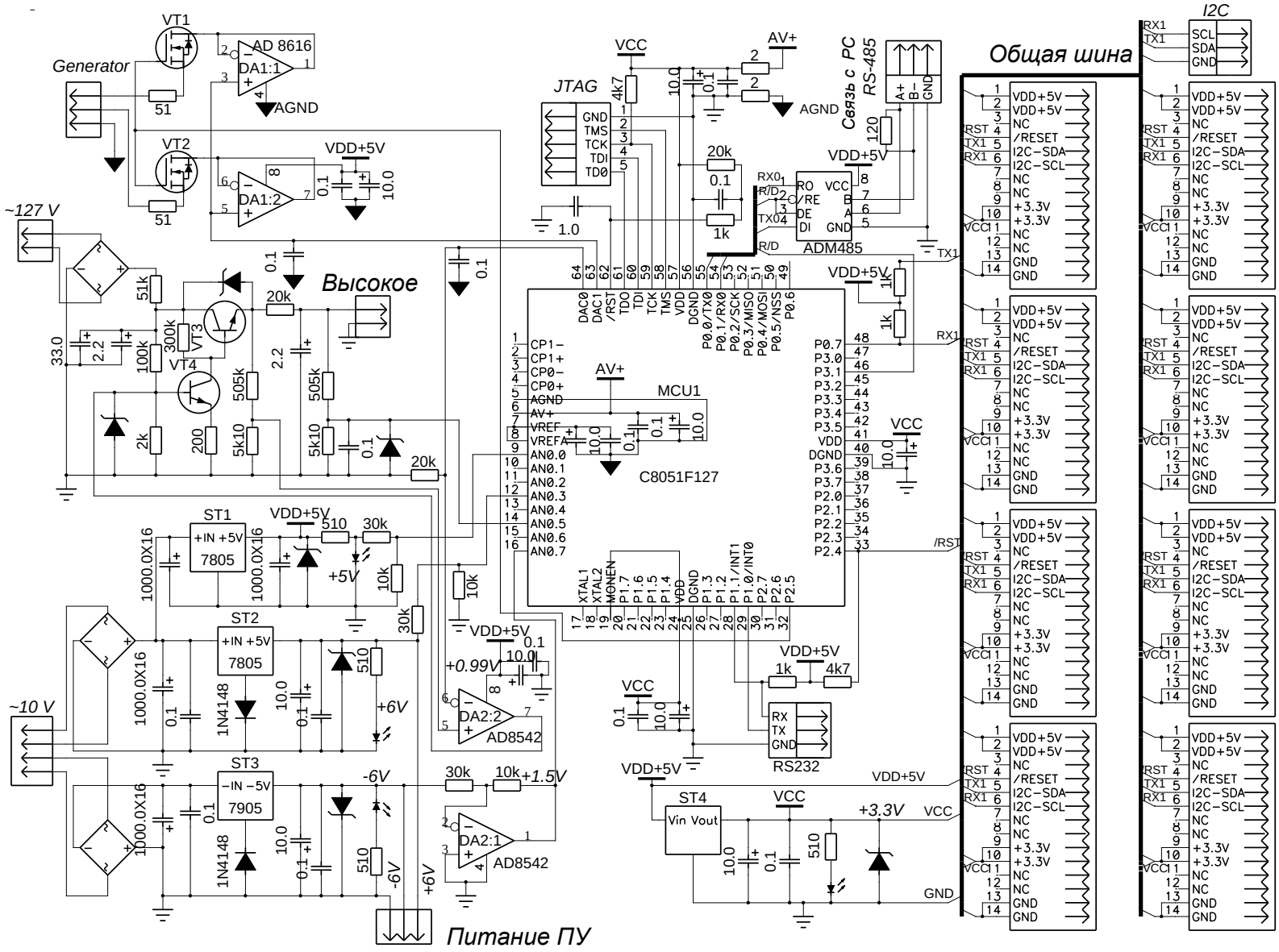
Импульсли сигналлар ва ^{252}Cf манбаси билан қилинган тест натижалари системанинг юқори даражадаги спектрометрик параметрларга эга эканлигини кўрсатди.

Кейинги босқич реактор нейтронлари таъсиридаги реал нишонлар ёрдамида детектрловчи системанинг калибровкасини амалга ошириш бўлди. Нишон жойлашган жойдаги иссиқлик нейтронлари оқими $\Phi_т$ = 1,8×10^{12} нейтрон/см^2 .га, кадмий нисбати эса $\Phi_т/\Phi_б \cong$ 25га мос келди. Al тагликка пуркалган, қалинлиги 150 мкг/см^2, актив қатлами 40×5 мм^2 ўлчамга эга бўлган 90% ли бойитилган ^{235}U нишонидан фойдаланилди. БМни ўлчаш қуйидаги ораликда амалга оширилди: масса сонлари A=125-156, энергиялар E_x = 55-85 МэВ ва зарядлар 18 ≤ z* ≤ 29. Дастлабки детектрлаш шиша асосидаги қаттиқ жисм детекторларида, кейинчалик эса таҳлилни таққослаш учун Si-стрипли координата детекторларида амалга оширилди.

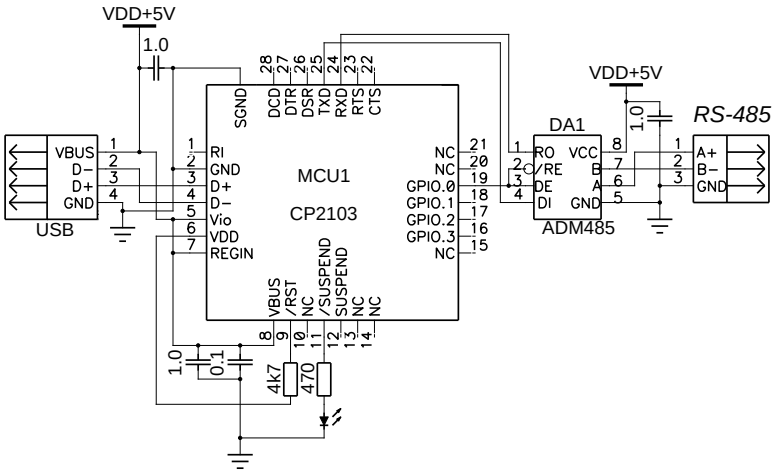
Аввалги тажрибаларда ^{235}U ядроларинг ВВР-СМ реактори иссиқлик нейтронлари билан БМни детектрлаш учун ўлчамлари 40×60 мм^2 бўлган шиша пластинкаларидан фойдаланилган эди. Ядроларнинг кўпзарядли БМ электростатик анализатордан, ундан кейин масс-спектрометрнинг магнит майдонидан ўтишлари натижасида максимумлардан ташкил топган спектр ҳосил бўлади. Детектрлаш камераси (КД)нинг ўлчамлари конденсатор қопламаларига берилган кучланишнинг ва магнит майдонининг бирор қийматида тўлиқ спектрни олиш имконини бермайди, шунинг учун турли магнит майдонларида спектрнинг фрагментлари ўлчанган. Тўлиқ спектрни олиш учун фрагментлар ҳар иккала томондан 25% лик ўзаро кесишувга эга бўлган. Нурлантиришдан кейин пластинкалар микроскоп остида 0,2 мм қадам билан қаралган. ^{235}U.нинг БМ спектрининг фрагменти 7тагача максимумга эга бўлган. БМнинг тўлиқ спектрини олиш учун фрагментларни бир-бирларига мослаштириш ва масштабни метрик масштабдан X ўқи учун M/Z* бўйича масштабига алмаштириш керак бўларди, бунинг учун эса алмаштиришнинг аппарат функциясини топиш керак эди. Ундан кейин эса спектр максимумларини ташкил этувчи гауссианларга ёйиш керак бўларди. Бу ишни қўлда бажарилганда жуда катта вақт сарфлашни талаб этарди. Тўлиқ спектрни олиш ва уни гуссианларга ёйишни тезлаштириш учун чизиқли ўлчамлардан M/Z* бирликларга ўтиш жараёнини автоматлаштириш лозим бўлар эди.



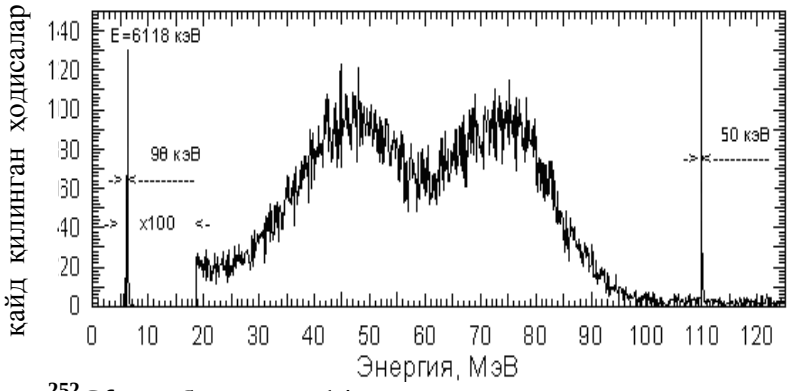
4-расм. Спектрометр модули (МС-4х)нинг принципиал схемаси.



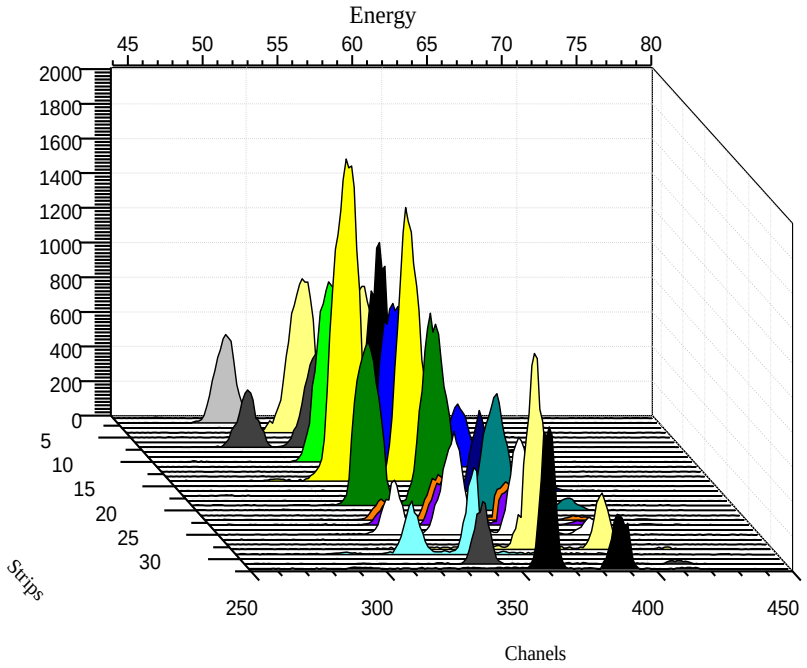
5-расм. Бошқариш модули (МУ)нинг принципиал схемаси.



6-расм - RS485 – USB интерфес кўпригининг приципиал схемаси қайд қилинган ҳодисалар.



7-расм ^{252}Cf манбасининг 14 стрипда олинган энергетик спектри.



8-расм. 32-каналли Si - стрипли детектор билан ^{235}U ядролари БМнинг M/Z* диапазонда олинган спектри.

Биз тўлиқ спектрни олиш ва уларнинг максимумларини гауссианларга ёйишни амалга ошириш учун M/Z* ўтишларнинг аппарат функциясини

олиш, фрагментларни бир-бирига улашга имкон берувчи тажриба натижаларини компьютерда қайта ишлаш имконини берувчи дастур ишлаб чиқдик.

Дастурнинг биринчи қисмида, электростатик анализаторнинг юксак кучланишини ва масс-спектрометр магнит майдонининг катталигини ҳисобга олган ҳолда:

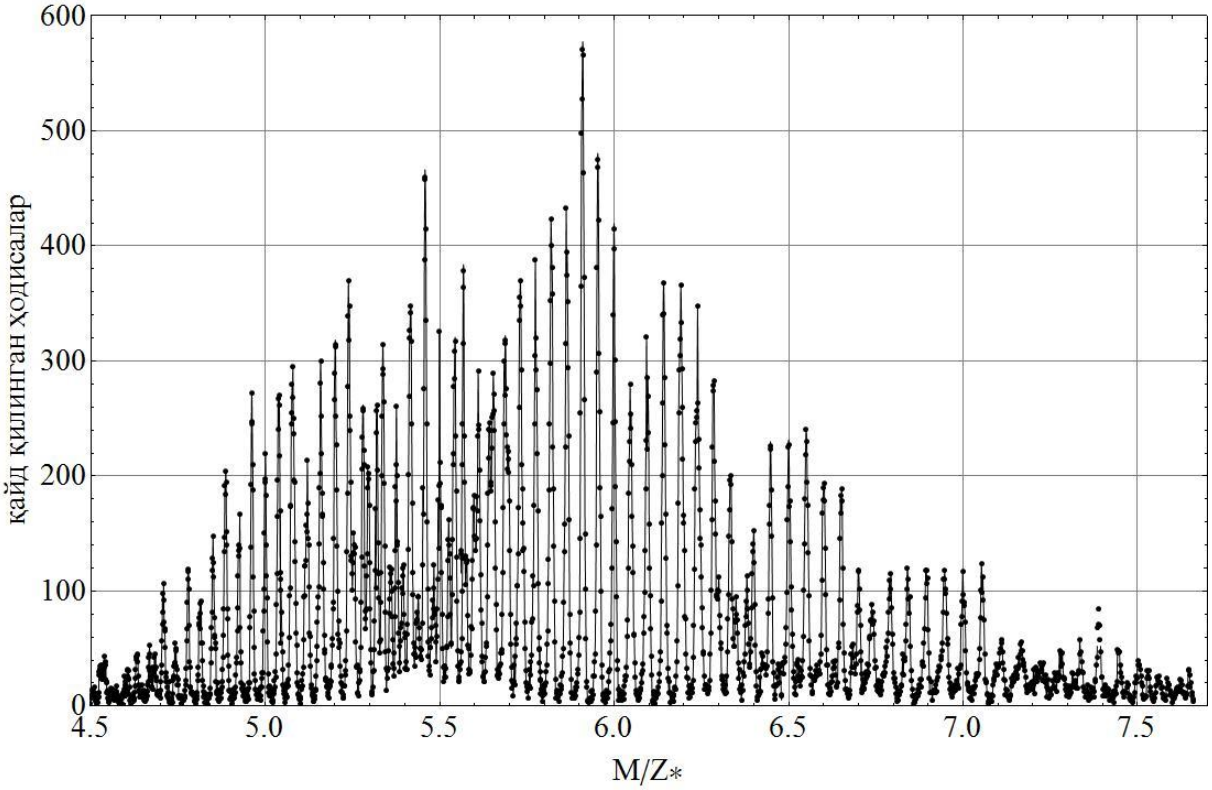
$$M/Z^* = 4.697 + 5.276\times10^{-3}L + 3.51\times10^{-6}L^2 \qquad (1)$$

полином кўринишидаги L (мм)дан M/Z*га ўтиш аппарат функциясининг функционал боғлиқлиги топилди.

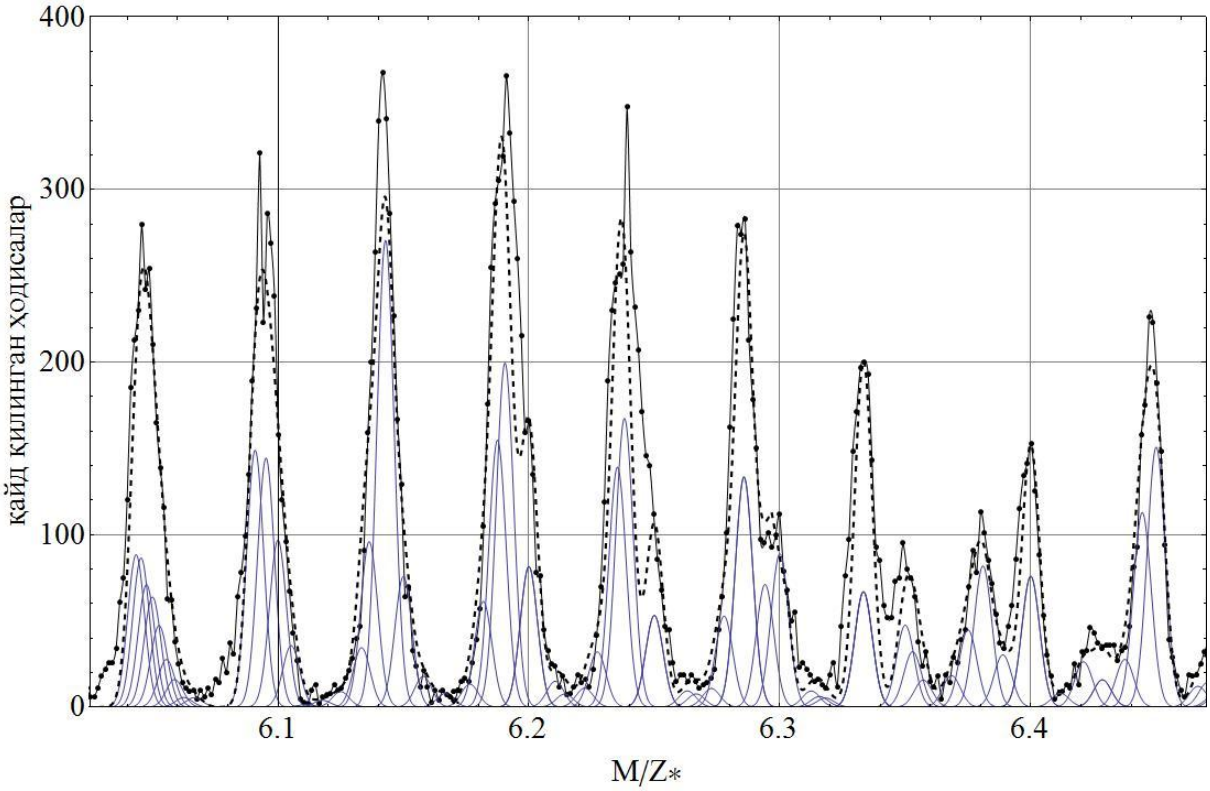
Дастурнинг иккинчи қисмида тажрибавий маълумотларни киритгандан кейин бутун спектрни қуриш амалга оширилиб, унда унча катта бўлмаган ораликдаги спектр фрагментлари бўлаклари коррдинаталарини мувофиқлаштириш ва уларни кесиш назарда тутилган. Тажрибавий максимумларни ёйишда ҳар бир M ва Z* учун M/Z* ўқи бўйича Гаусс тақсимотининг нормал функциясидан фойдаланилади. Ундан кейин натижавий спектрни қуриш билан гауссианларга ажратиш ва уни реал спектр билан солиштириш амалга оширилади. Ундан сўнг эса мослаштирган гауссианлар амплитудаси бўйича такроран ўтган ҳолда гауссианлар амплитудаси тўғриланади ва охирги натижавий спектрни қуриш иши амалга оширилади.

9-расмда қайд қилинган ҳодисаларнинг барча магнит майдонлари қийматларида кучланишнинг бир қиймати учун электростатик сепаратор пластинкаларида ёзиб олинган, 15 фрагментдан йиғилган БМнинг тўлиқ спектри келтирилган.

10-расмда БМ M/Z* буйича умумий спектрининг бир қисми кўрсатилган. Ёйилган гауссианлар ва барча гауссианларнинг йиғиндиси сифатидаги натижавий эгри чизиқнинг тажрибавий нуқталар билан жуда яхши мос келиши яхши кўриниб турибди.



9-расм. 15 магнит майдони учун бир хил кучланишда барча қайд қилинган ҳодисалар спектрининг M/Z* шкала бўйича умумий кўриниши.



10-расм. M/Z* шкала бўйича гауссианларга ёйилган умумий спектрнинг бир қисми: устида нуқта қўйилган узлуксиз чизиқ билан тажрибавий спектр, узлуксиз чизиқлар билан спектрни гауссианларга ёйиш натижаси, узликли чизиқ билан гауссианларни қўшиш натижаси кўрсатилган.

ХУЛОСА

«8 битли микроконтроллерлар асосида спектрометрларни компьютеризациялаш» мавзусидаги техника фанлари бўйича филсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича ўтказилган тадқиқотлар асосида қуйидаги маълумотлар олинди:

1. Юқори даражадаги интеграцияловчи микросхемаларни қўллаган ҳолда дискрет электроника базасида, IBM-PC типидаги компьютердан бошқарилувчи КСВУ-12 ни модернизациялаш амалга оширилди.
2. МДР-12 базасида IBM-PC типидаги компьютердан бошқарилувчи микроконтроллерли оптикавий спектрометр яратилди, унинг асосини “Microchip” компаниясида ишлаб чиқилган кўпкаррали дастурланувчи PIC18F448 микроконтроллери ташкил этиб, у спектрометрни созлаш (юстировкалаш), узлуксиз сканирлаш, қадамли сканирлаш ва бир тўлқин узунлигидаги вақт бўйича ёйиш каби тўрт режимдан бирида ишлаш имкониятини беради. Спектрометр ўзгармас ток ёки импульс режимида ўлчанадиган оптикавий спектрларни мониторда акс эттиради.
3. Чегарадан ташқарида максимуми бўлган ҳол учун оптикавий спектрларни Гаусс ташкил этувчиларига ёйишнинг алгоритми ва дастури ишлаб чиқилди.
4. ВВР- СМ ядро тадқиқот реакторидан иссиқ нейтронлар билан оғир ядроларнинг бўлиниши бўйича экспериментлар учун масс-спектрометрнинг фокал текислигида зарядланган БМ детекторлашнинг «on-line» электрон 32 каналли оригинал системаси яратилди ва синовдан ўтказилди. Система 8 битли SiLabs фирмасининг C8051F127 микроконтроллерлари базасида 32 стрипли ярим ўтказгичли детекторлардан фойдаланиш билан ишлайди, олисдаги компьютерга бўлиниш маҳсуллари фазовий тақсимоти, унинг миқдори ва энергияси ҳақидаги маълумотларни тўплайди ва узатади.
5. МК ва ПК учун 32 каналли детектрлаш системасини бошқариш дастурлари ишлаб чиқилди ва созланди. ПК орқали бошқариладиган система маълумотларни МКда дастлабки тўплаш ва уларни ПКда сақлаш ишларини амалга оширади.
6. Спектрометр фокал текислигининг чизиқли ўлчамлардан (L, мм) M/Z* бирликларидаги координаталарга ўзгартиришнинг иккинчи даражали полином кўринишидаги аппарат функцияси олинди.
7. Масс-спетрометрда магнит майдонининг турли қийматларида ва бир хил кучланишда олинган фрагментлар бўйича умумий спектрни қуриш учун алгоритм ва дастур ишлаб чиқилди. Бундан ташқари, дастур ^{235}U ядроларининг масса ва зарядларнинг кенг соҳасида олинган спектрларини гауссианларга ёйиш имконини беради.

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

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

НЕБЕСНЫЙ АНАТОЛИЙ ФЁДОРОВИЧ

КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ СПЕКТРОМЕТРОВ НА БАЗЕ 8-БИТНЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

01.04.01- Приборы и методы экспериментальной физики

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам

Ташкент – 2019

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером № B2019.1.PhD/T973.

Докторская диссертация выполнена в Институте ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан.

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

Научныйруководитель:	**Ашуров Мухсин Хуррамович,** доктор физико-математических наук, профессор, академик
Официальные оппоненты:	**Ражапов Сали Ашурович** доктор физико-математических наук
	Вильданов Рамиль Рифгатович кандидат физико-математических наук
Ведущая организация:	**Научно-технический центр с конструкторским бюро и опытным производством Академии наук Республики Узбекистан, г.Ташкент**

Защита диссертации состоится «____» _____ 2019 года в _____ часов на заседании Разового научного совета на базе Научного совета DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 при Институте ядерной физики, Астрономическом институте, Национальном университете Узбекистана. (Адрес: 100174, г.Ташкент, пос.Улугбек, ИЯФ. Тел.: (+99871) 289-31-18; факс: (+99871)289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ядерной физики (зарегистрирована за №_____). Адрес: 100214, г.Ташкент, поселок Улугбек, ИЯФ. Тел.: (+99871) 289-31-19).

Автореферат диссертации разослан «____» _____ 2019 г.
(реестр протокола рассылки № _____ от _____ 2019 г.).

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

Э.М.Турсунов
ученый секретарь Научного совета по присуждению
ученых степеней, д.ф.-м.н., старший научный сотрудник

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время компьютеризация с использованием микроконтроллеров (МК) в различных областях науки, техники и промышленности обеспечивает получение значительного экономического и социального эффекта в мире. Компьютеризация - процесс внедрения компьютеров, обеспечивающих автоматизацию информационных процессов и технологий в различных сферах человеческой деятельности, а её цель состоит в улучшении качества жизни людей за счет увеличения производительности и облегчения условий труда. Компьютеризация спектрального анализа – одно из определяющих направлений развития инструментальных методов. Анализ структуры, состава и свойств веществ – неотъемлемое звено всех современных технологий. Многие спектрометры, произведенные ранее до эры компьютерной автоматизации, по своим характеристикам, не уступают современным, а по некоторым возможностям даже превосходят их. Единственный их недостаток – они не компьютеризированы. Оптимальное решение их компьютеризации - применение МК.

Во всем мире производство МК превратилось в важную отрасль индустрии, на которую приходится порядка 90% годового производства всех микропроцессоров. С появлением МК связывают начало эры массового применения компьютерной автоматизации в области управления. В 1980 году, Intel выпускает МК: i8051. Удачный набор периферийных устройств по отношению к процессору МК, удобство выбора внешней или внутренней программной памяти и приемлемая цена обеспечили этому МК успех на рынке. С тех пор число производителей МК и их номенклатура постоянно растут. Благодаря применению МК в качестве устройств сопряжения компьютеров (ПК) с экспериментальной техникой повышается качество и скорость обработки данных в современном физическом эксперименте.

В настоящее время в Узбекистане уделяется большое внимание развитию экспериментальных методов и систем спектрального анализа. Наряду с применением современных автоматизированных спектрометров, становится актуальным компьютеризировать ранее приобретенные спектральные приборы, не уступающие современным по своим характеристикам. В связи с этим, разработка электронной системы для компьютеризации спектрометров с целью повышения качества научно-исследовательских работ и снижения зависимости от импорта является одной из приоритетных задач. В соответствии со Стратегией действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан по пяти приоритетным направлениям на 2017–2021 гг.[2] определены задачи для выполнения программы по импортозамещению в области автоматизации, для чего необходимо стимулирование научно-исследовательской и инновационной деятельности, создание эффективных механизмов внедрения научных и инновационных достижений в практику, создание при высших образо-

[2]Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 годы» от 7 февраля 2017 г.

вательных учреждениях и научно-исследовательских институтах научно-экспериментальных специализированных лабораторий, центров высоких технологий, технопарков.

Данное диссертационное исследование в определённой степени соответствует задачам, обозначенным Указом Президента Республики Узбекистан №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы» от 7 февраля 2017 года, №ПП-3682 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения иновационных идей, технологий и проектов” от 27 апреля 2018 года, №ПП-3698 “О дополнительных мерах по совершенствованию механизмов внедрения инноваций в отрасли и сферы экономики» от 7 мая 2018 года, а также в других нормативно-правовых документах имеющих отношение к данной области деятельности

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

Степень изученности проблемы. Задача компьютеризации спектрометрических приборов и систем решается многими учеными мира, например: английскими (T. Hirschfeld), российскими (Давыдов А.Е., Ухов А.А., Васильева И. Е., Шабанова Е.В., Замятин Н.И.), украинскими (А.Ф. Даниленко) и другими специалистами выполнен большой объем работ по компьютеризации спектрометров в самых разных областях науки и техники. Применение МК во всех этих работах позволило существенно улучшить их параметры.

Узбекистанские ученые (Ашуров М.Х., Гасанов Э.М., Валиев У.В., Коблик Ю.Н., Артемов С.В. и др.) также занимались решением задач по компьютеризации спектрометров и других установок.

Имеющаяся в Узбекистане аппаратура, по своим характеристикам, и сейчас не уступает, а порой и превосходит зарубежные образцы, например: автоматизированные комплексы спектрометрические вычислительные универсальные типа КСВУ-2, КСВУ 6, КСВУ -12, КСВУ 23, с управлением от ЭВМ советского производства, на базе монохроматора дифракционного решетчатого (МДР). Хотя системы управления и программное обеспечение КСВУ морально и физически устарели, находятся, как правило, в нерабочем состоянии, однако сами МДР, входящие в состав комплекса, могут использоваться на современном уровне. Основное препятствие их использования – их шаговый двигатель, для которого нужна цифровая система управления. В масс-спектрометре для регистрации продуктов деления (ПД) в ядерно-физических исследованиях использовались одноразовые твердотельные детекторы (стеклянные пластинки), располагавшиеся в фокальной плоскости магнитного сепаратора. Однако, работы по обработке результатов требовали больших временных затрат из-за необходимости установки этих детекторов, экспонирования ПД на них, съёма и последующей химической обработки детекторов, а затем подсчета числа событий в ручном режиме. Указанные

выше недостатки спектрометров приводят к проблемам в эксплуатации и ограниченным возможностям для решения целого ряда задач.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научных проектов Института ядерной физики по темам: Ф-2.1.13 «Нестационарные радиационные процессы в волоконно-оптических и сцинтилляционных материалах» (2003-2007), ФА -Ф2-Ф065 + Ф071 «Термо- и радиационно-стимулированные явления в твердых растворах замещения и внедрения» (2007-2011), ФА-Ф2-Ф078 «Исследование кластерной структуры актинидных ядер и процессов их бинарного деления реакторными нейтронами в сильно асимметричной области массовых распределений» (2007-2011), Ф2-ФА-Ф112 «Экспериментальные исследования свойств и состояний ядерной материи при высоких и низких энергиях» (2012-2016), Ф2-ФА-Ф118 «Закономерности радиационно-стимулированных явлений в оксидных и фторидных твердотельных материалах, применяемых в качестве детекторов ионизирующих излучений» (2012-2016).

Целью исследования является разработка и создание средств автоматизации физического эксперимента в оптической и ядерной спектрометрии на основе 8-битных МК PIC18F448 и C8051F127, разработка методов обработки экспериментальных результатов для разложения спектров на гауссианы, в том числе оптических в присутствии запредельного пика.

Задачи исследования:

модернизация электронной системы комплекса спектрометрического вычислительного универсального (КСВУ-12) с использованием микросхем без микроконтроллера;

замена всей электроники КСВУ-12 на один МК модуль, для управления монохроматором, сбора данных с отображением в режиме реального времени и их обработкой;

модернизация измерительной установки масс-спектрометра, включающая оснащение её Si 32-х стриповыми детекторами и электроникой регистрации ПД в режиме реального времени;

разработка и создание программ для накопления и обработки экспериментальных данных с целью получения информации о кинетических энергиях регистрируемых ПД.

Объектами исследования являются система управления МДР-12 и спектры оптических объектов; система управления и регистрации ПД на масс-спектрометре ИЯФ АН РУз и спектры ПД ядер ^{235}U, образующихся в результате воздействия тепловыми нейтронами от исследовательского реактора ВВР-СМ ИЯФ АН РУз.

Предметами исследования являются компьютеризированная электронная система на базе МК PIC18F448, обеспечивающая управление монохроматором МДР-12 от персонального компьютера (ПК), сбор и обработку данных; компьютеризированная электронная система на базе МК

C8051F127, организованных в мульти-микроконтроллерную систему регистрации ПД на масс-спектрометре ИЯФ АН РУз с управлением от ПК.

Методы исследований. Спектрометрический метод анализа спектров оптических материалов в присутствии запредельного максимума; масс-спектрометрический метод анализа линейчатых спектров продуктов деления ядер ^{235}U; математические и вычислительные методы обработки экспериментальной информации, метод суперпозиции спектров и др.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана микроконтроллерная система управления монохроматором МДР-12, сбора, обработки и сохранения данных по командам ПК, с отображением на мониторе оптических спектров, измеряемых на постоянном токе или в импульсном режиме;

разработана и отлажена программа разложения оптических спектров на гауссовы составляющие в присутствии запредельного максимума.

разработана, изготовлена и отлажена для масс-спектрометра мультимикроконтроллерная 32-х канальная система детектирования осколков деления ядер ^{235}U от воздействия тепловыми нейтронами реактора ВВР-СМ с отображением каждого энергетического спектра;

разработаны и отлажены для МК и ПК программы управления 32-х канальной системой детектирования, первичного накопления данных и их сохранения.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

создан компьютеризированный оптический спектрометр на базе МДР-12 с использованием микроконтроллерной системы управления;

создан компьютеризированный on-line масс-спектрометр для регистрации ПД на базе масс-сепаратора незамедленных осколков на ядерном реакторе ВВР-СМ;

получена, в виде полинома второй степени, аппаратная функция преобразования линейных размеров фокальной плоскости спектрометра к координатам в единицах M/Z*;

разработана и отлажена программа формирования всего спектра по шкале M/Z* для обработки данных с разложением на гауссовы составляющие.

Достоверность результатов исследования обосновывается проведением экспериментальных исследований с применением современных методов и средств измерений, сравнительным анализом разработанных методик с использованием других систем для измерения спектров, проведением параллельных измерений и сопоставлением данных различных исследователей.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов определяется тем, что полученные научные данные с применением компьютеризированной системы регистрации экспериментальной информации ПД ядер ^{235}U тепловыми нейтронами позволят пополнить мировую базу данных и эти данные могут быть использованы для развития новых теоретических подходов к решению проблемы деления ядер. Созданная электронная система регистрации ПД ядер может быть востребо-

вана при постановке и проведении экспериментов по исследованию процессов деления тяжёлых ядер и других приложениях.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что созданные компьютеризированные МК системы могут использоваться в модернизации спектрометров в научных или учебных заведениях.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов по компьютеризации спектрометров на базе 8-битных МК:

разработанная микроконтроллерная система управления монохроматором МДР-12, как модуль для сканирования оптического спектра зарегистрирована в Агентстве по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (патент РУз на полезную модель № FAP 00570 от 16.07 2010 г.). Использование системы позволяет осуществлять сбор, обработку и сохранение данных по командам ПК, с отображением на мониторе оптических спектров, измеряемых на постоянном токе или в импульсном режиме;

разработанная программа разложения оптических спектров на гауссовы составляющие в присутствии запредельного максимума с системой для сканирования оптического спектра использована для компьютеризированного управления монохроматором дифракционным решетчатым (МДР-12) в рамках научно-технических проектов по фундаментальным и прикладным исследованиям Института ядерной физики АН РУз ОТ-Ф2-23 «Особенности генерационных и рекомбинационных процессов в широкозонных оксидных и фторидных твердотельных материалах» (2017-2020) и Института ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз ФЕ2-ФА-Ф155 «Исследование края оптического поглощения в ZnO, легированного переходными металлами» (2012 –2013), А4-ФА-Ф156 «Разработка технологии создания высокоэффективных гибридных солнечных элементов на основе ZnO - наноструктур и органических полупроводников» (2012 – 2014), ФА-Ф2-Ф081 «Исследование механизмов и особенностей процессов формирования твердотельных наноразмерных структур и их электро-, теплофизических, оптических и магнитных свойств» (2008-2010) (Письмо АН РУз № 2/1255-3252 от 12.12.2018 г., письмо Института ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз №1-393 от 12.12.2018 г.). Использование модуля позволяет производить съемку оптических спектров широкого круга оптических материалов с управлением от персонального компьютера;

разработанная для масс-спектрометра мультимикроконтроллерная 32-х канальная система детектирования осколков деления ядер ^{235}U, как устройство автоматического дистанционного регулирования для масс-спектрометра продуктов деления ядер зарегистрирована в Агентстве по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (патент РУз на полезную модель № FAP 00873, от 27.04.2012 г.). Использование данной разработки позволило создать оригинальную компьютеризированную 32-х канальную электронную систему детектирования продуктов деления ядер на базе 32-х стрипового полупроводникового детектора для проведения масс-спектрометрических ис-

следований распределений продуктов деления ^{235}U и ^{239}Pu тепловыми нейтронами;

разработанные для МК и ПК программы управления 32-х канальной системой детектирования, первичного накопления данных и их сохранения использованы для регистрации ПД тяжелых ядер на масс-спектрометре исследовательского ядерного реактора ВВР-СМ Института ядерной физики в рамках научно-технического проекта по фундаментальным исследованиям ФА - Ф2-Ф078 «Исследование кластерной структуры актинидных ядер и процессов их бинарного деления реакторными нейтронами в сильно асимметричной области массовых распределений» (2007-2011) (Письмо АН РУз № 2/1255-3252 от 12.12.2018 г.). Использование программ в диапазоне массовых чисел от A = 125 до A = 158 и при значениях зарядовых ионных состояний ПД от Z* = 16 до Z* =28 позволило ускорить процесс обработки экспериментальных данных в соответствии с современными требованиями.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования обсуждены на 8 международных и республиканских конференциях.

Опубликованность результатов. По теме диссертации получены 2 патента на полезную модель Республики Узбекистан, опубликовано 16 научных работ, из них 6 научных статей в рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации научных изданиях, из которых 4 статьи в международных научных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 108 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Микроконтроллеры: история, развитие, перспективы…»** проводится анализ литературных сведений по МК, их архитектуре, программированию и средствам отладки программ. Рассматриваются и анализируются аналоговые и аналого-цифровые схемные решения, обеспечивающие работу систем, включающих современные МК, а также интерфейсы связи с компьютером. Обосновывается выбор системы программирования для нормального разложения спектров на гауссианы

Во второй главе диссертации **«Оптический спектрометр на базе МДР-12»** показаны два варианта модернизации “Комплекса спектрометрического вычислительного универсального -12 “(КСВУ-12).

В первом варианте показаны проблемы подключения современных компьютеров типа IBM-PC к КСВУ-12 вместо устаревшей ЭВМ типа ДВК – 3М, из-за наличия 16-битной «общей шины». Для подключения к комплексу IBM-PC были внесены изменения в схемы и разработан контроллер внешних устройств для связи с ПК. В результате модернизации удалось обеспечить управление КСВУ-12 от IBM-PC. Однако, большое число микросхем, плат и соединительных кабелей не обеспечило надежную работу комплекса.

Во втором варианте компьютеризации был разработан и изготовлен модуль электроники на современной элементной базе. Он практически заменил всю электронику КСВУ-12. Основой модуля является МК PIC18F448-IP с RISC архитектурой и периферией. В составе МК имеются: таймеры, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), модуль широтно-импульсной модуляции (ШИМ), универсальный асинхронный приемо-передатчик (УАПП) и др.

Структура и схемные решения МК спектрометра на базе МДР-12 обеспечивают следующие режимы работы: 1 – юстировка; 2 – непрерывное сканирование оптического спектра по длинам волн; 3 – режим пошагового сканирования по длинам волн; 4 - временная развертка на одной длине волны. После запуска на измерение, модуль МК (Рис. 1), по каналу RS-232, через разъем X2 и микросхему DD2 принимает управляющие сигналы от компьютера, оцифровывает аналоговые сигналы от ФЭУ, принимает сигнал метки 1 нм от МДР-12 и отправляет обработанные данные на компьютер. Через порты RD4-RD7 и силовые ключи VT1:1-VT2:2 управляет работой шагового двигателя (ШД) в режиме ШИМ. ФЭУ подключается к разъемам S1 или S2. Токовый сигнал ФЭУ преобразуется в напряжение в усилителе-преобразователе ток-напряжение на микросхеме DA1. Далее сигнал поступает на один из входов АЦП AN0 или AN1. Если сигнал импульсный – ФЭУ подключается ко входу S2 и с выхода DA1:2 импульсный сигнал напряжения поступает на пиковый детектор на DA2. Далее сигнал поступает на вход АЦП AN4. По окончании оцифровки сигнала с пикового детектора его емкость сбрасывается в ноль сигналом порта RA4. Предусмотрено 10 скоростей сканирования спектра. Максимальная скорость сканирования 120 нм/мин или 2 нм/с, что обеспечивает не менее 20 тыс. измерений сигнала ФЭУ на 1 нм. При выходе за допустимые пределы монохроматора, срабатывают концевые контакты МДР-12, и, по линии min/max с монохроматора через разъём X3 на МК поступает сигнал остановки сканирования спектра. Конструктивно модуль представляет собой плату размером 90x90 мм. Питание может осуществляться от блока питания ПК, однако, предпочтительно использование внешнего блока питания на 12 В с током не менее 5 А. Программное обеспечение (ПО) для МК выполнено на языке С в интегрированной среде разработки MPLAB IDE компании Microchip, с программированием МК непосредственно на плате. ПО для ПК написано в Borland C++ Builder 6, для работы в Windows XP.

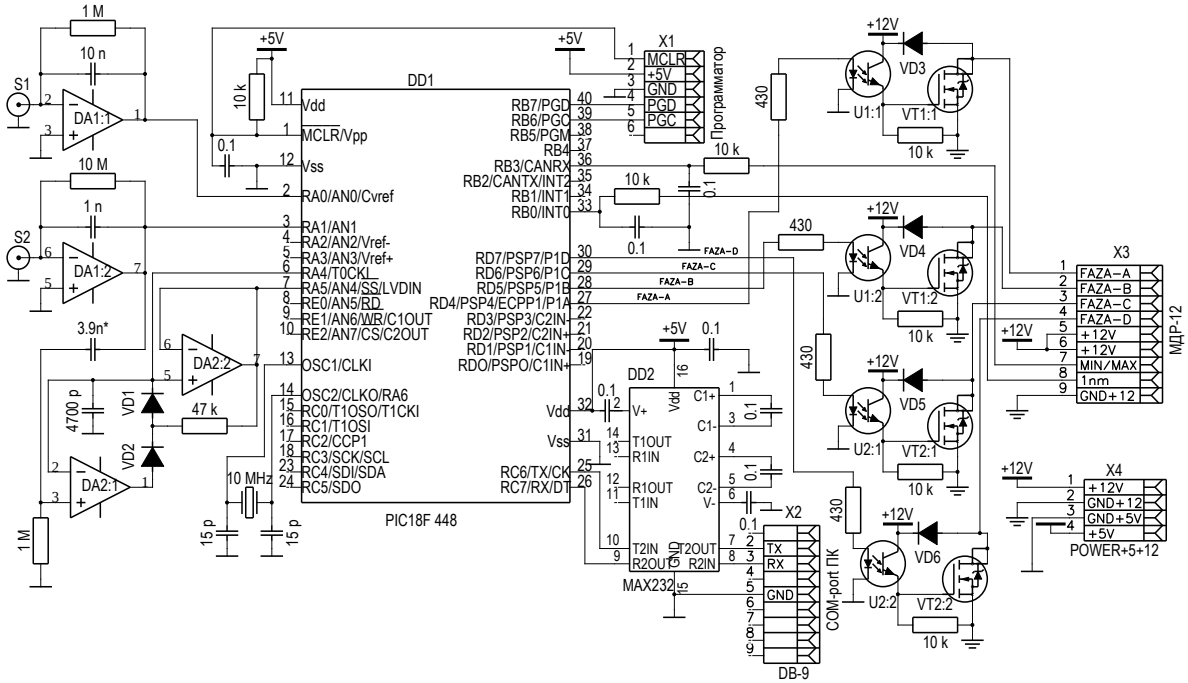
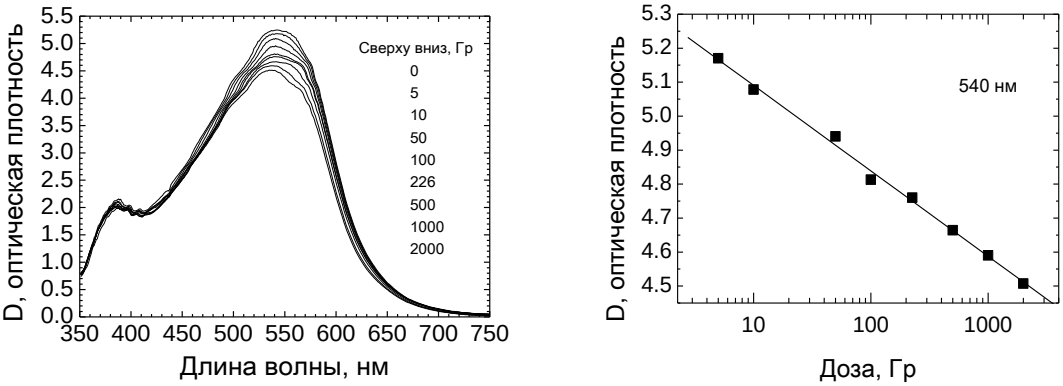


Рис. 1. Принципиальная схема микроконтроллерного модуля

На Рис. 2а показаны результаты измерения спектров оптического поглощения жидкостного визуального цветового дозиметра, разработаного в ИЯФ АН РУз, относительно воды, записанные с помощью созданной нами системы. С набором дозы облучения нейтронами, оптическая плотность максимума полосы поглощения снижается. Цвет раствора меняется, что позволяет качественно оценить набранную дозу. На Рис. 2б, на длине волны 540 нм показана дозовая зависимость спада оптической плотности дозиметра в логарифмическом масштабе. Это позволяет точнее определить поглощенную дозу.



а) б)

Рис. 2. а - Спектры оптической плотности поглощения жидкостного цветового визуального дозиметра относительно воды, с набором дозы; б - Дозовая зависимость того же спектра на длине волны 540 нм

Во многих случаях при обработке измеренных оптических спектров в конкретных приборах возникает необходимость разложения спектра на гаус-

сианы с учетом запредельного максимума. Этот максимум не может быть зарегистрирован из-за ограничений спектральной области регистрации спектрометра. Например, обычными спектрометрами регистрация спектра в области вакуумного ультрафиолета невозможна по причине сильного поглощения излучения воздухом. Наличие максимума в этой области несёт физическую информацию, с другой стороны при разложении спектра на гауссианы, не учет запредельного пика приводит к некорректному разложению. Так, в кварцевом стекле в области вакуумного ультрафиолета имеется полоса поглощения с максимумом в области 175 нм, который при регистрации обычными спектрометрами, приводит к подъёму спектра в высокоэнергетической области, что мешает корректному разложению спектра. Это обстоятельство требует создания программы разложения спектров на гауссианы в присутствии запредельного пика. На Рис. 3 точками показан экспериментальный спектр кварцевого стекла марки KS-4V, где на длинах волн ниже 200 нм имеется подъём, что свидетельствует о наличии пика за пределами измеренного спектра. Для корректного разложения спектра требуется определить положение максимума этого пика. Нами были разработаны алгоритм и программа разложения на гуссианы с учетом запредельного пика, которые привели к удовлетворительному совпадению экспериментального спектра со спектром разложения (рис.3, пунктирная линия).

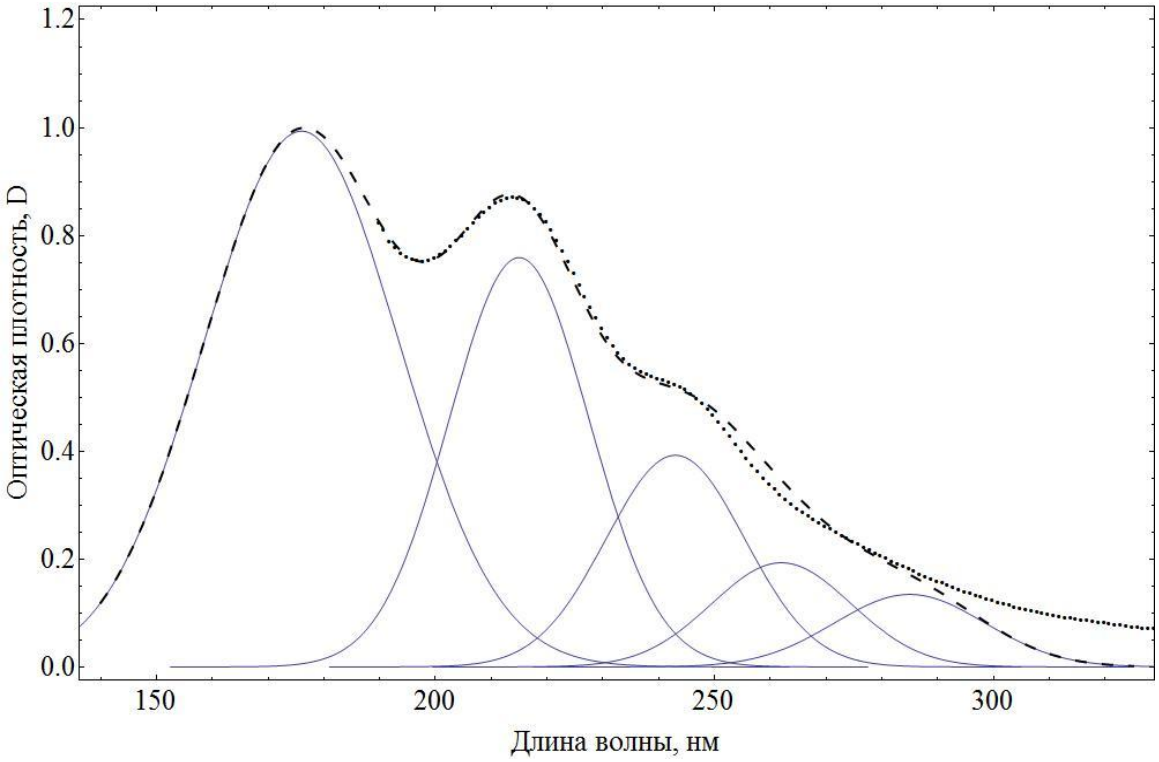


Рис.3. Разложение оптического спектра кварцевого стекла марки KS-4V на гауссианы в присутствии запредельного пика: экспериментальный спектр (точками), результат разложения на гауссианы (сплошные линии), результат суммирования гауссиан (пунктирная линия).

В третьей главе диссертации «Спектрометрия осколков деления ядер» изложена разработанная и созданная МК компьютеризированная система регистрации ПД ядер под действием реакторных нейтронов в масс–спектрометре на горизонтальном канале ядерного реактора ВВР-СМ.

Создана система регистрации ПД ядер в масс-спектрометре**,** где регистрация первичных ПД ядер осуществляется в камере детектирования (КД) в фокальной плоскости масс-спектрометра координатным полупроводниковым 32-х стриповым кремниевым детектором с площадью 60×60 мм^2 и толщиной 300 мкм, с шириной стрипа 1,8 мм, сопряжённым с 32 зарядочувствительными предусилителями на микросхемах типа ZENIT-A.

Система содержит 8 модулей по 4 спектрометра в каждом. На рис. 4 показана схема 4-х канального спектрометрического модуля (МС-4х). В модуле 4 амплитудных анализатора, в состав которых включаются: спектрометрический усилитель и устройство выборки хранения (УВХ). Основой модуля является МК типа C8051F127, где имеются: точный четырехканальный 10-битовый АЦП; память емкостью 8к×8 бит для набора и хранения четырех спектров; устройство внешней связи I^{2}C; порты управления УВХ. Сигнал от предусилителя стрипа поступает на один из входов МС-4х соответствующего спектрометра. Допустим, что сигнал попадает на вход S1 спектрометрического модуля МС-4х. Далее сигнал по сквозному каналу через спектрометрический и масштабирующий усилители на DA1 и DA2 поступает на УВХ, выполненный на микросхеме DA3 и затем на вход AN0.1 АЦП МК. Одновременно с УВХ сигнал попадает на вход CP1+ компаратора МК. По сигналу компаратора запускается АЦП соответствующего спектрометра. По окончании преобразования в АЦП порт P1.4 МК выдает импульс на вход IN4 ключа VG1 и этот ключ контактами S4-D4 замыкает емкость УВХ на землю. В результате УВХ «обнуляется» и спектрометр будет готов к приему нового сигнала. Оцифрованный сигнал запоминается в памяти МК в ячейке соответствующей энергии регистрируемой частицы с данной амплитудой, таким образом формируется спектр. Каждый спектр накапливается, запоминается и по окончании измерения или по запросу оператора, все модули МС-4х передают измеренные спектры на ПК через модуль управления (МУ) в виде массива данных формата 1024×16 бит. Схема МУ (рис.5), обеспечивает питание, передачу команд на каждый МС-4х и прием данных от них. МУ содержит также регулируемый высоковольтный стабилизатор питания детектора с линейным нарастанием и спадом напряжения 1 В/с. Связь с компьютером (до 1000 м) осуществляется через мост интерфейса (МИ) RS485 – USB (рис.6). На ПК задаются все параметры измерения. В окне программы ПК имеются четыре панели с виртуальными компонентами управления системой. В её центре располагается графическое окно для отображения одного из 32 спектров, а его выбор осуществляется оператором нажатием соответствующей кнопки.

Программное обеспечение для МК написано на языке С, а для ПК – BorlandC++ Builder6. Интерфейс программы не требует специального обучения, достаточно знаний и опыта работы в среде Windows-XP.

Конструкция системы регистрации реализована в виде трёх отдельных блоков: 1 –детектор с зарядо-чувствительным усилителем (ЗЧУ), расположенный в фокальной плоскости масс-спектрометра; 2 – блок электроники, в котором располагаются: плата МУ с 8-ю разъёмами для подключения модулей МС-4Х, узлы стабилизированного питания, схемы управления и связи; 3 – МИ для связи блока 2 с ПК в измерительной комнате.

Система испытывалась подачей импульсов отрицательной полярности с линейным нарастанием амплитуды от нуля до максимальной – соответствующей энергии ПД~100 МэВ. Измерены линейность для всех 32 спектрометров и стабильность параметров системы за (~ 48 часов) период испытаний.

Затем проводились испытания с радиоактивным источником спонтанного деления ^{252}Cf. Энергетические спектры ПД по всем 32 стрипам имеют хорошее совпадение. На рис. 7 показан энергетический спектр ПД от источника ^{252}Cf для 14 стрипа. Левый пик соответствует α – частицам с E_α=6,118 МэВ, далее спектр ПД ^{252}Cf. Правый пик – реперный сигнал от генератора эквивалентный энергии в 110 МэВ.

Результаты тестирования от импульсных сигналов и источника ^{252}Cf показали высокие спектрометрические параметры системы.

Следующим этапом была выполнена калибровка детектирующей системы на реальной мишени под действием реакторных нейтронов. Поток тепловых нейтронов в месте расположения мишени соответствовал $\Phi_т = 1{,}8\times10^{12}$ нейтронов/см^2·с, а кадмиевое отношение $\Phi_т/\Phi_б \cong 25$. Использовалась мишень ^{235}U 90%-ного обогащения толщиной 150 мкг/см^2 с активным слоем размерами 40×5 мм^2, напыленная на Al подложку. Измерения ПД проводились в диапазоне: массовых чисел A = 125 – 156, энергий $E_к$ = 55 – 85 МэВ и зарядов 18 $\leq z^* \leq$ 29. Предварительно детектирование выполнено твердотельными детекторами на стеклянных пластинках, а затем координатным Si-стриповым детектором для сравнительного анализа.

В предыдущих экспериментах по детектированию ПД ядер ^{235}U тепловыми нейтронами на реакторе ВВР-СМ использовались стеклянные пластины 40×60 мм^2. При прохождении через электростатический анализатор, а затем магнитное поле масс-спектрометра многозарядных ионов ПД ядер образуется спектр в виде пиков. Размеры КД не позволяют получить полный спектр при заданном напряжении на пластинах конденсатора и одном значении магнитного поля, поэтому измерялись фрагменты спектра при различных магнитных полях. Для получения полного спектра фрагменты имели перекрытие ~25% с каждой стороны. После облучения пластины просматривались под микроскопом с шагом 0,2 мм. Для получения полного спектра ПД необходимо было совместить фрагменты и преобразовать масштаб из метрического в масштаб по M/Z* для оси X, для чего необходимо было найти аппаратную функцию преобразования.

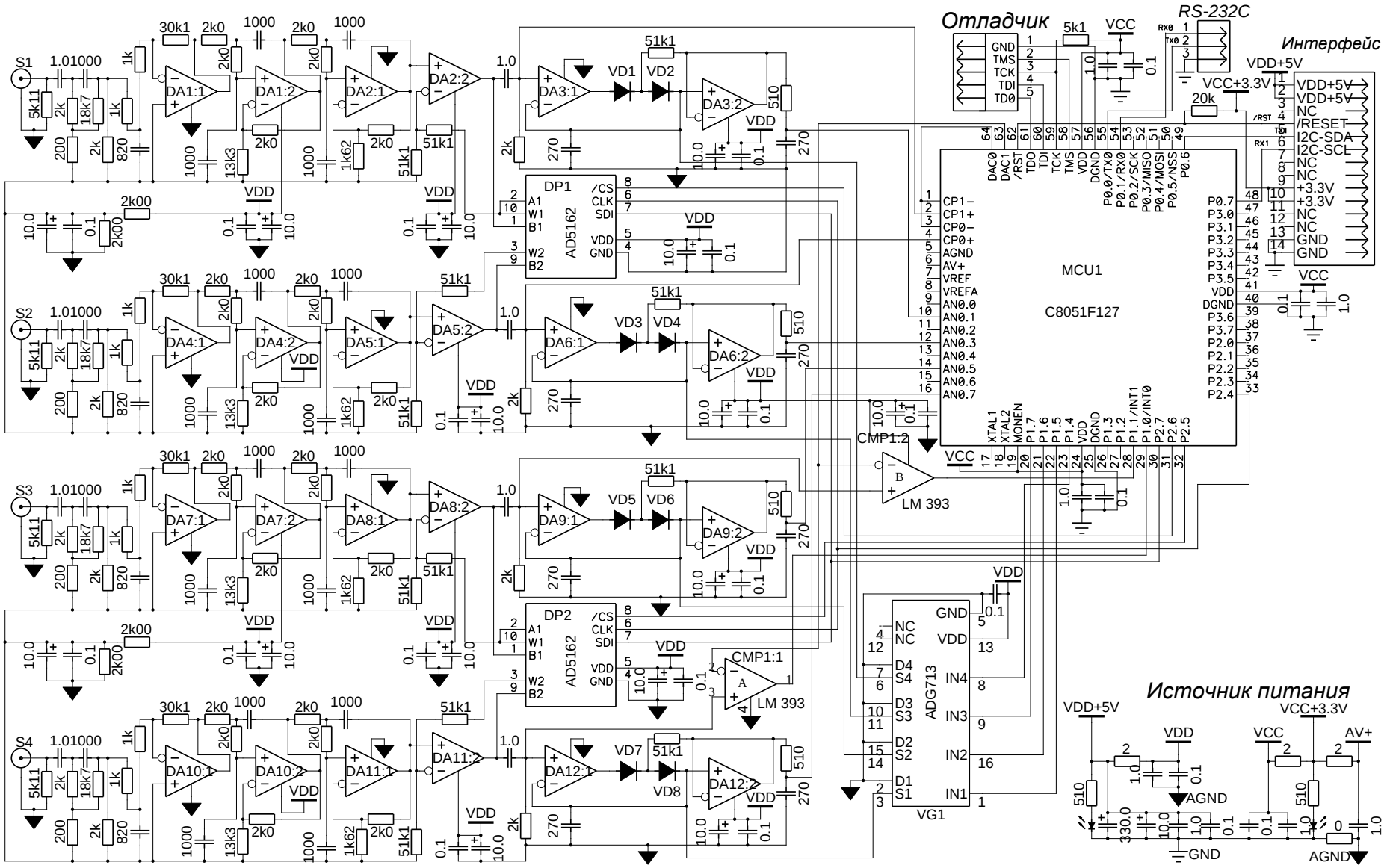


Рис.4. Принципиальная схема модуля МС-4х

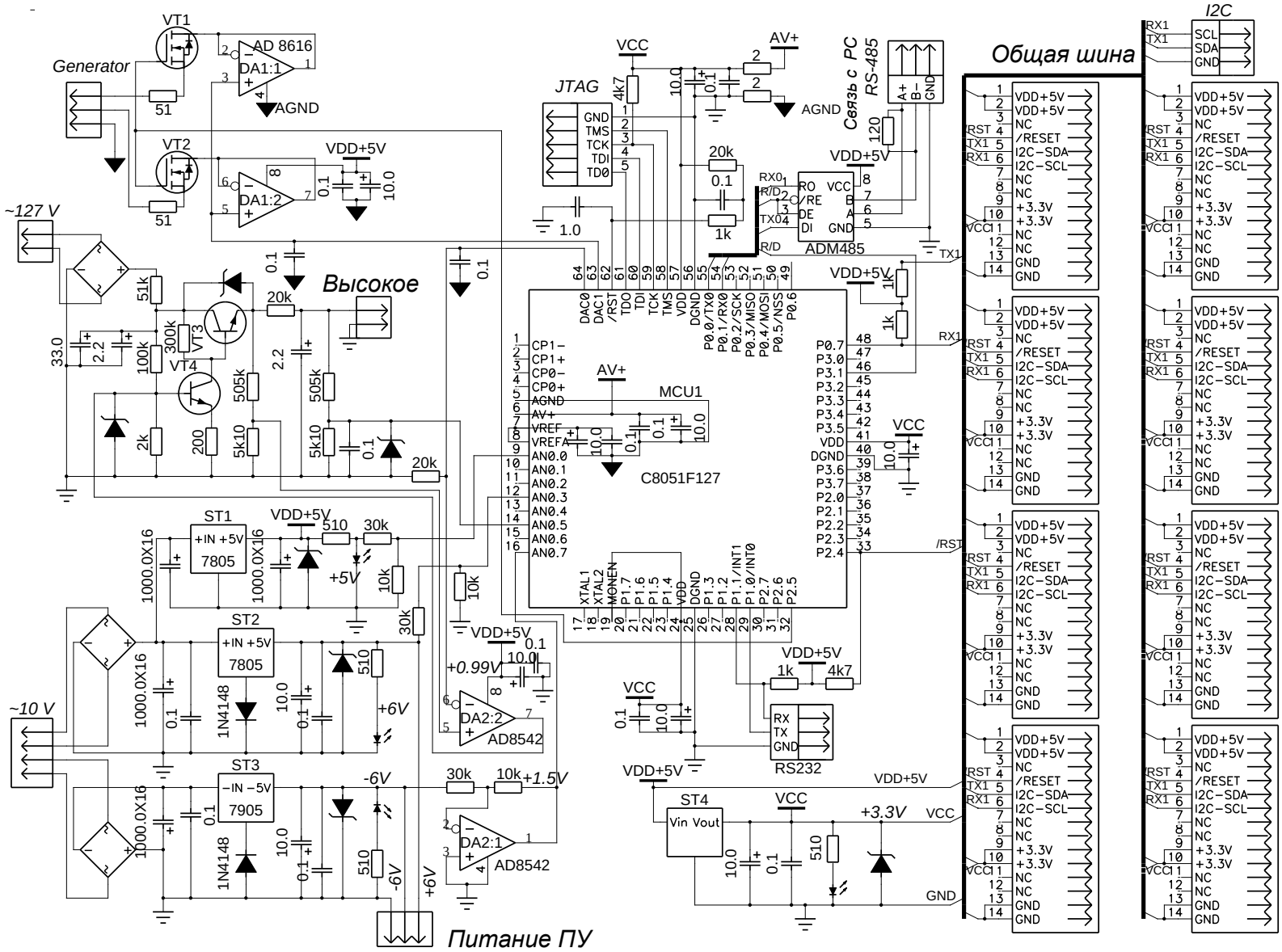


Рис.5. Принципиальная схема модуля управления

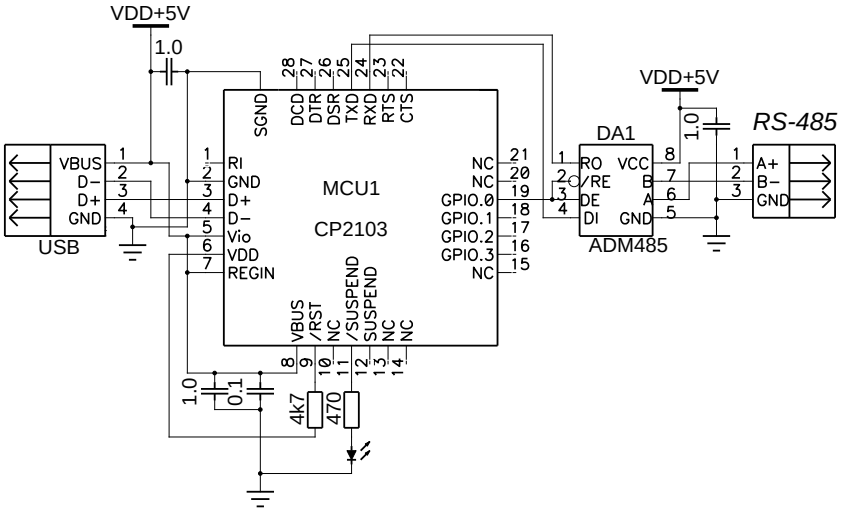


Рисунок 6 - Принципиальная схема моста интерфейса RS485 – USB

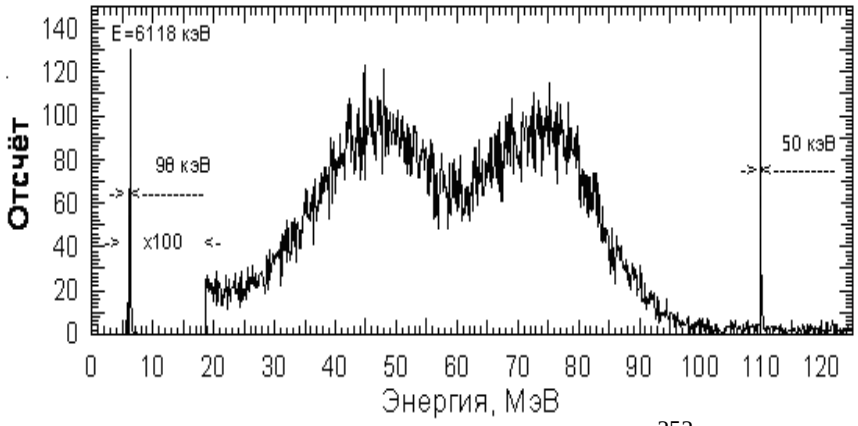


Рис.7. Энергетический спектр от источника ^{252}Cf (14 стрип).

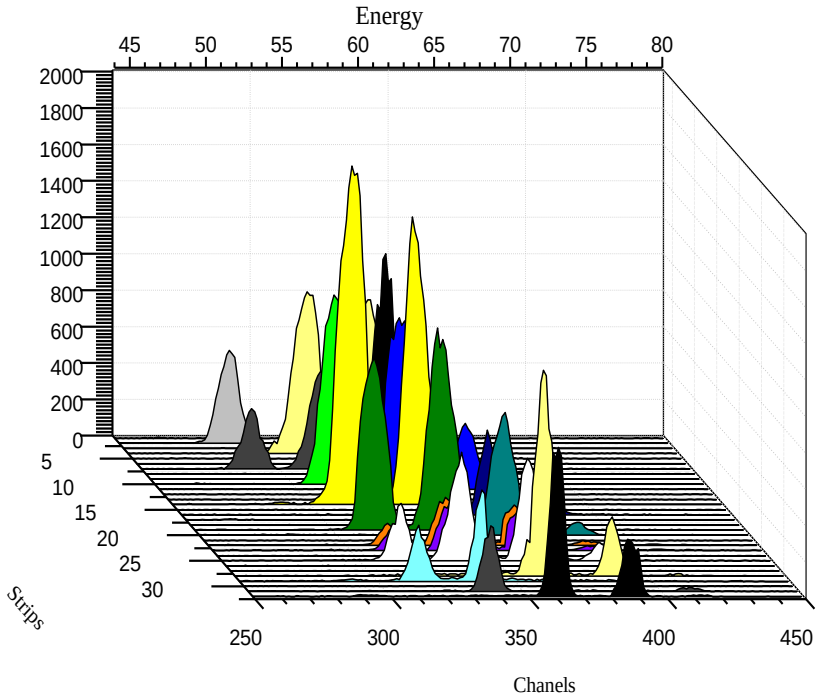


Рис.8. Участок спектра ПД ядер ^{235}U, снятый 32-х Si - стриповым детектором в диапазоне M/Z*.

Далее необходимо было выполнить разложение пиков спектра на составляющие гауссианы. Данная работа в ручном режиме требовала больших временных затрат. Для ускорения получения полного спектра и его разложения на гауссианы необходимо было автоматизировать процесс перехода от линейных размеров к единицам M/Z*.

Нами разработана программа компьютерной обработки экспериментальных данных, позволяющая получить аппаратную функцию преобразования в M/Z*, сшивку фрагментов для получения полного спектра и разложения пиков на гауссианы.

В первой части программы, с учетом высокого напряжения электростатического анализатора и величины магнитного поля масс-спектрометра, найдена функциональная зависимость аппаратной функции перехода от L (мм) к M/Z* в виде полинома:

$$M/Z^* = 4.697 + 5.276\times10^{-3}L + 3.51\times10^{-6}L^2 \qquad (1)$$

Во второй части программы, после ввода экспериментальных данных идет построение всего спектра, где предусмотрена возможность коррекции координат фрагментов спектра в небольших пределах и их обрезка. При разложении экспериментальных пиков используется нормальная функция гауссова распределения по оси M/Z* для каждого M и Z*. Далее идет разложение на гауссианы с построением суммарного спектра и сопоставление его с реальным. Затем производится корректировка амплитуд гауссиан с повторным проходом откорректированных амплитуд гауссиан и окончательное построение результирующего спектра.

На рис. 9 приведен полный спектр ПД зарегистрированных событий, собранный из 15 фрагментов, снятых при всех магнитных полях для одного напряжения на пластинах электростатического сепаратора.

На рис. 10 показана часть от общего спектра ПД по M/Z*. Хорошо видны гауссианы разложения и результирующая кривая как сумма всех гауссиан, с хорошим совпадением с огибающей экспериментальные точки.

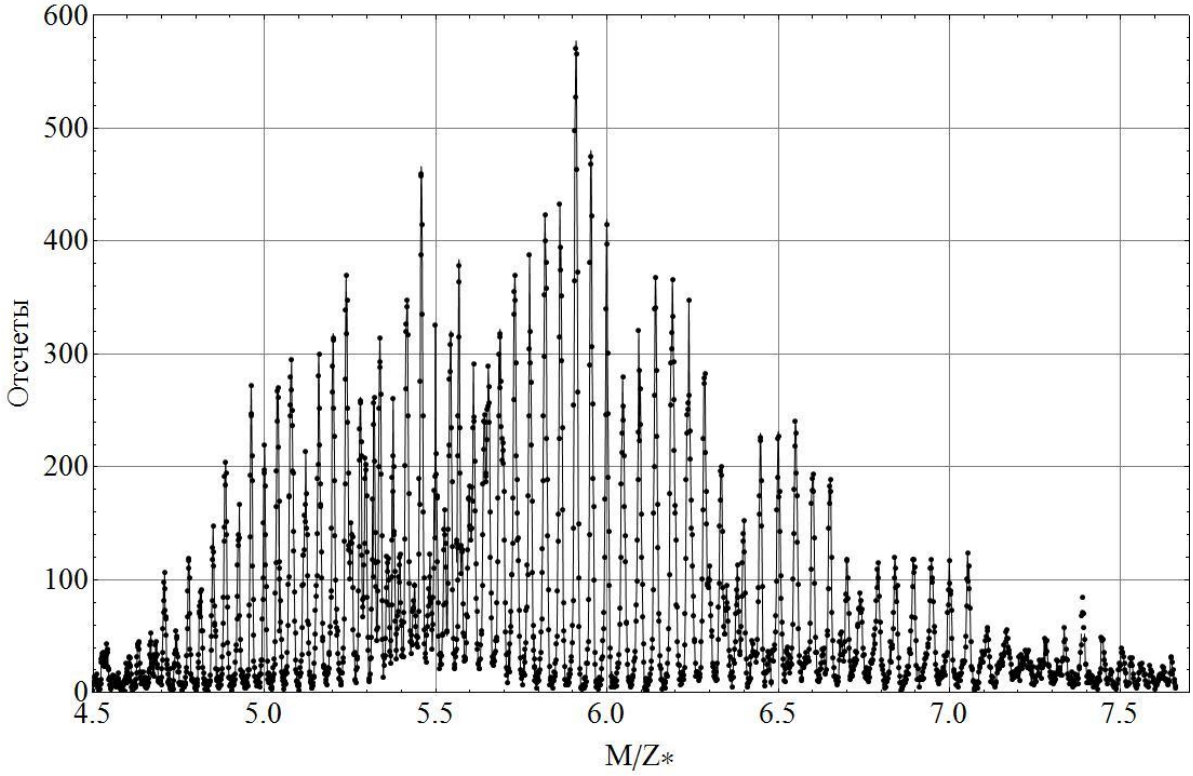
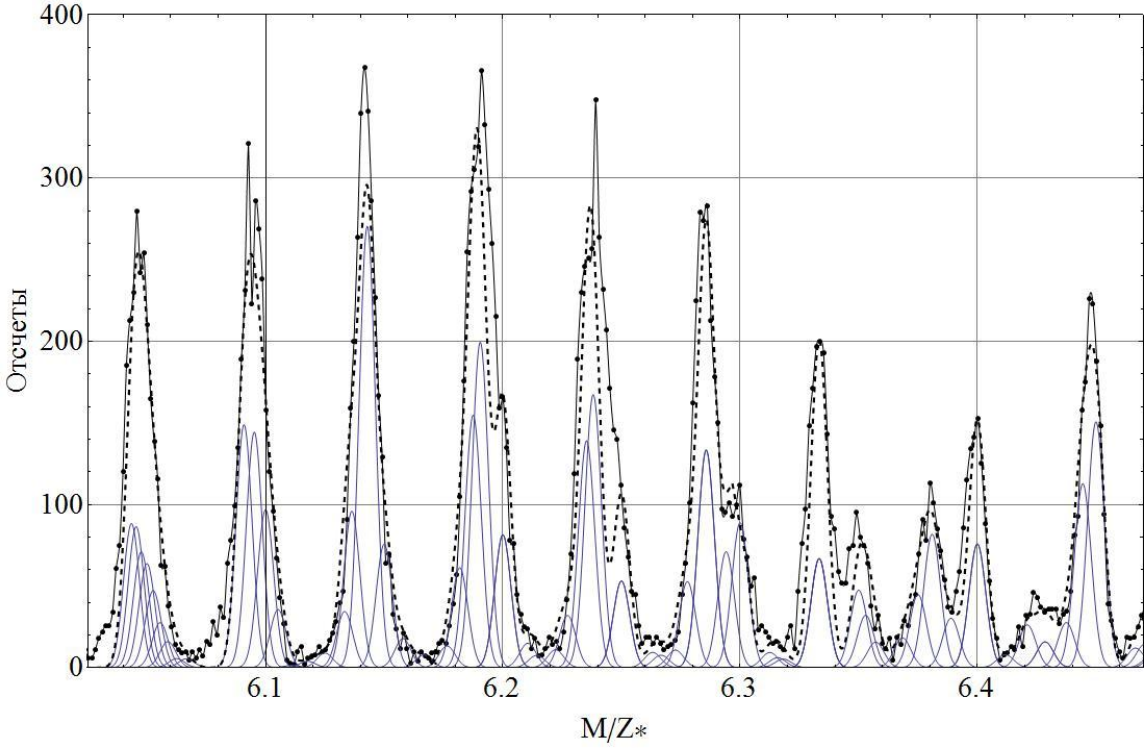


Рис.9. Вид общего спектра числа зарегистрированных событий от M/Z* для всех 15 магнитных полей при одном напряжении



Сплошная линия с точками – экспериментальный спектр, сплошными линиями – результаты разложения на гауссианы, пунктирная линия – результат суммирования гауссиан

Рис.10. Часть общего спектра с разложением на гауссианы по шкале M/Z*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам на тему: «Компьютеризация спектрометров на базе 8-битных микроконтроллеров» получены следующие результаты:

1. Выполнена модернизация КСВУ-12 на базе дискретной электроники с применением микросхем высокой степени интеграции для управления от компьютера типа IBM-PC.
2. Создан микроконтроллерный оптический спектрометр на базе МДР-12 с управлением от компьютера типа IBM-PC, основой которого является многократно-программируемый микроконтроллер PIC18F448 производства компании Microchip, с возможностью работы спектрометра в одном из четырех режимов: юстировка, непрерывное сканирование, пошаговое сканирование и временная развертка на одной длине волны. Спектрометр отображает на мониторе оптические спектры, измеряемые на постоянном токе или в импульсном режиме.
3. Разработан алгоритм и составлена программа разложения оптических спектров на гауссовы составляющие в присутствии запредельного максимума.
4. Для экспериментов по делению тяжёлых ядер тепловыми нейтронами от исследовательского ядерного реактора ВВР-СМ создана и протестирована оригинальная 32-х канальная электронная «on-line» - система детектирования заряженных продуктов деления в фокальной плоскости масс-спектрометра. Система функционирует на базе 8-битных микроконтроллеров C8051F127 фирмы SiLabs с использованием 32-х стрипового полупроводникового детектора, позволяющая накапливать и передавать на удаленный компьютер информацию о пространственном распределении продуктов деления, их количестве и энергии.
5. Разработаны и отлажены для МК и ПК программы управления 32-х канальной системой детектирования. Управляемая от ПК система осуществляет первичное накопление данных в МК и их сохранение в ПК.
6. Получена, в виде полинома второй степени, аппаратная функция преобразования линейных размеров (L, мм) фокальной плоскости спектрометра к координатам в единицах M/Z*.
7. Разработаны алгоритм и программа для построения общего спектра из фрагментов, полученных на масс-спектрометре при различных значениях магнитного поля и одном напряжении. Программа также позволяет разлагать на гауссианы полученный спектр ПД ядер ^{235}U в широком диапазоне масс и зарядов.

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

INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS

NEBESNIY ANATOLIY FEDOROVICH

COMPUTERIZATION SPECTROMETERS ON THE BASE OF 8-BIT MICROCONTROLLERS

01.04.01 – Instruments and methods of experimental physics

DISSERTATION ABSTRACT
OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON TECHNICAL SCIENCES

Tashkent - 2019

The subject of the doctor of philosophy dissertation is registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan No B2019.1.PhD/T973.

The dissertation has been carried out at Institute of Nuclear Physics AS RUz**.**

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian and English (resume)) is posted on the web page at the address of www.inp.uz and Information-educational portal "Ziyonet" (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor:	**Ashurov Muxsinjan Xuramovich** doctor of sciences in physics and mathematics, professor, academic
Official opponents:	**Rajapov Sali Ashurovich** doctor of sciences in physics and mathematics
	Vildanov Ramil Rifgatovich Philosofy doctor of sciences in physics and mathematics
Leading organization:	**Scientific and technical center with a design office and pilot production of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent**

The defense of dissertation will take place on the _____ at the meeting of Scientific council DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 at Institute of Nuclear Physics, Astronomical Institute, National University of Uzbekistan to address: Institute of Nuclear Physics, Ulugbek, Tashkent 100174, ph.: (+99871)289-31-18; fax: (+99871)289-36-65; e-mail: info@inp.uz.

With a doctoral dissertation can be found in the Information and Resource Center of the Institute of Nuclear Physics (registered under №_____). Address: 100214, Tashkent, settlement Ulugbek, INP., phone: (+99871) 289-31-19).

Abstract of dissertation sent out on «___» _____ 2019 year
(mailing report number _____dated _____ 2019)

M.Yu. Tashmetov
Chairman of scientific council on award of scientific degrees, D.Ph.M.S., professor

E.M.Tursunov
Scientific secretary of scientific council on award of scientific degrees D.Ph.M.S.

I.Nuritdinov
Chairman of scientific seminar under scientific council on award of scientific degrees, D.Ph.M.S., professor

INTRODUCTION (annotation of the (PhD) dissertation)

The relevance and demand of the topic of the dissertation. Currently computerization using microcontrollers (MC) in various fields of science, technology and industry provides a significant economic and social effect in the world. Computerization is the process of introducing computers that automate information processes and technologies in various spheres of human activity, and its goal is to improve the quality of life of people by increasing productivity and facilitating working conditions. Computerization of spectral analysis is one of the defining directions for the development of instrumental methods. Analysis of the structure, composition and properties of substances is an integral part of all modern technologies. Many spectrometers manufactured before the era of computer automation, in their characteristics, are not inferior to modern ones, and even surpass them in some possibilities. Their only drawback is that they are not computerized. The optimal solution for their computerization is the use of MC.

Worldwide, the production of MC has become an important industry, which accounts for about 90% of the annual production of all microprocessors. With the advent of MC bind the beginning of the era of mass application of computer automation in the field of management. In 1980, Intel releases the MC: i8051. A successful set of peripheral devices with respect to the MC processor, the convenience of choosing external or internal program memory and an acceptable price ensured this MC success in the market. Since then, the number of manufacturers MC and their nomenclature is constantly growing. Thanks to the use of MCs as devices for interfacing computers (PCs) with experimental equipment, the quality and speed of data processing in modern physics experiments is improved.

Currently, Uzbekistan pays great attention to the development of experimental methods and spectral analysis systems. Along with the use of modern automated spectrometers, it becomes relevant to computerize previously acquired spectral instruments that are not inferior to modern in their characteristics. In this regard, the development of an electronic system for the computerization of spectrometers to improve the quality of scientific-research worke and reduce dependence on imports is one of the priorities task. In accordance with the Strategy for Action on the Further Development of the Republic of Uzbekistan in five priority areas for 2017–2021[3] identified tasks for the implementation of the import substitution program in the field of automation, which requires stimulation of scientific research and innovation activities, the creation of effective mechanisms for introducing scientific and innovation achievements to the practice, the creation scientific-experimental specialized laboratories and centers of high technology, technology parks at higher educational institutions and at scientific research institutes.

This dissertation research to a certain extent corresponds to the tasks designated by the Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. UP-4947

[3]Decree of the President of the Republic of Uzbekistan № DP-4947 «On the Strategy of Actions for the Further Development of the Republic of Uzbekistan for 2017-2021» dated February 7, 2017.

“On the Strategy of Actions for Further Development of the Republic of Uzbekistan for 2017–2021” of February 7, 2017, No. PP-3682 “On Measures on further improvement of the system of practical implementation of innovative ideas, technologies and projects” dated April 27, 2018, No. PP-3698 “On additional measures to improve the mechanisms for introducing innovations in the industry and the economy” dated May 7, 2018, as well as in other law regulatory documents related to this field of activity.

Compliance of the research with priority directions of development of science and technologies of the republic. The dissertation research was carried out in accordance with the priority directions of development of science and technologies in the Republic of Uzbekistan: II. "Energy, energy and resource saving".

The degree of studied of the problem. The task of computerization of spectrometric instruments and systems, have been solving by many scientists of the world for example: english (T. Hirschfeld), russian (Davydov A.E., Ukhov A.A., Vasilyeva I.E., Shabanova E.V., Zamiatin N .I.), ukrainian (A.F. Danilenko) and other specialists performed a large amount of work on computerization of spectrometers in various fields of science and technology. The use of MC in all these works has significantly improved their parameters.

Uzbek scientists (Ashurov M.Kh., Gasanov E.M., Valiev U.V., Koblik Yu.N., Artemov S.V., and others) also worked on solving problems of computerization of spectrometers and other installations.

The equipment available in Uzbekistan, according to its characteristics, is still not yield to, and sometimes even surpasses foreign models, for example: automated computer-based universal spectrometric complexes such as KSVU-2, KSVU 6, KSVU-12, KSVU 23, have been drived by Soviet-made computers and based on a diffraction grating monochromator (MDR). Although the control systems and software of the KSVU are morally and physically obsolete, they are, as a rule, inoperable, but the MDRs themselves, which are part of the complex, can be used as up-to-date. The main obstacle of their using is their stepping motor, which requires a digital control system. In the mass spectrometer for the registration of fission products (FP) in nuclear physics studies have been used disposable solid-state detectors (glass plates), located in the focal plane of the magnetic separator. However, works on processing the results required a lot of time because of the need to install these detectors, exposure FPs to them, removing them and then chemically processing the detectors, and then counting the number of events in manual mode. The above-mentioned disadvantages of spectrometers lead to operational problems and limited capabilities for solving a variety of tasks.

The connection of the dissertation research with the plans of the research work of the research institution where the dissertation was carried out. The thesis study was carried out in the framework of research projects of the Institute of Nuclear Physics on the following topics: Ф-2.1.13 “Non-stationary radiation processes in fiber-optic and scintillation materials” (2003-2007), FA-F2-F065 + F071 “Thermo- and radiation-stimulated phenomena in solid solutions of substitution and introduction "(2007-2011), FA-F2-F078" Study of the cluster structure of actinide nuclei and the processes of their binary fission by reactor neutrons in a

strongly asymmetric region of mass distributions "(2007-2011), F2 -FA-F112 "Experimental research properties and states of nuclear matter at high and low energies "(2012-2016), FA-F2-F118" The patterns of the radiation-stimulated phenomena in oxide and fluoride solid materials used as detectors for ionizing radiation "(2012-2016).

The aim of the study is to develop and create tools for automating a physical experiment in optical and nuclear spectrometry based on 8-bit MCs PIC18F448 and C8051F127, developing methods for processing experimental results for decomposing spectra into Gaussians, including optical ones, in the presence of an peak outside measurement limits.

Objectives of the study:

modernization of the electronic system of the spectrometric computing universal complex (KSVU-12) using microchips without a microcontroller;

replacement of the entire KSVU-12 electronics by one MC module for controlling the monochromator, collecting data with display in real-time mode and their processing;

modernization of the measuring installation of the mass spectrometer, including equipping its Si with 32 strip detectors and electronic for registration FPs in real time mode;

development and creation of programs for the accumulation and processing of experimental data in order to obtain information about the kinetic energies of the recorded FP.

The objects of study are: the MDR-12 control system and the spectra of optical objects; control system and registration of FP at the mass spectrometer of the INP, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan and the FP spectra of ^{235}U nuclei resulting from exposure to thermal neutrons from the WWR-SM research reactor of the Nuclear Physics Institute of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

The subjects of the study are a computerized electronic system based on the PIC18F448 MC, which provides control of the MDR-12 monochromator from a personal computer (PC), data collection and processing; computerized electronic system based on the MC C8051F127, organized into a multi-microcontroller FP recording system on a mass spectrometer of the INP Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan with control from PC.

Research methods. Spectrometric method for analyzing the spectra of optical materials in the presence of a peak out of range; mass spectrometric method for analyzing the line spectra of ^{235}U nuclear fission products; mathematical and computational methods for processing experimental information, the method of superposition of spectra, etc.

The scientific novelty of the research is as follows:

developed a microcontroller control system of the MDR-12 monochromator, collecting, processing and storing data on PC commands, displaying on the monitor optical spectra measured on a direct current or pulsed mode;

a program was developed and debugged for decomposing optical spectra into Gaussian components in the presence of an outrange maximum;

a multi-microcontroller 32-channel system for detecting ^{235}U nuclear fission fragments from the effects of thermal neutrons from the WWR-SM reactor with the display of each energy spectrum was developed, manufactured and debugged for a mass spectrometer;

developed and debugged for the MC and PC of the control programs for a 32-channel detection system, data primary accumulation and storage..

The practical results of the study are as follows:

a computerized optical spectrometer based on the MDR-12 was created with using a microcontroller control system;

a computerized on-line mass-spectrometer was created for recording FP on the basis of a mass-separator of unmoderated fragments at the WWR-SM nuclear reactor;

has been obtained, in the form of the second-degree polynomial, the apparatus function of transforming the linear dimensions of the focal plane of the spectrometer to the coordinates in units of M/Z*;

the program has been developed and debugged the formation of the entire spectrum on the M/Z* scale for data processing with decomposition into the Gaussian components.

The reliability of the research results is substantiated by conducting experimental studies using modern methods and measuring instruments, comparative analysis of the developed methods using other systems for measuring spectra, conducting parallel measurements and comparing data from various researchers.

The scientific and practical significance of the research results. The scientific significance of the results is determined by that the scientific data obtained with the use of a computerized system for recording experimental information on FPs of ^{235}U nuclei of thermal neutrons. They will allow the world database to be replenished and these data can be used for new theoretical approache developing for solving problem fission of nuclear . The created electronic system for registration of FP of nuclei can be used in the formulation and conduct of experiments to study the processes of fission of heavy nuclei and at the other applications.

The practical significance of the results of the study lies in the fact that the created computerized MC systems can be used in the modernization of spectrometers in scientific or educational institutions.

The introduction of research results. On the base of the derived results of computerization spectrometers based on 8-bit MK:

the developed microcontroller control system of the MDR-12 monochromator as a module for scanning the optical spectrum was registered in the Agency for intellectual property of the Republic of Uzbekistan (patent of the Republic of Uzbekistan for utility model № FAP 00570 from 16.07 2010). The use of the system allows the collection, processing and storage of data by the commands of the PC, with the display on the monitor of optical spectra measured at a constant current or in a pulse mode;

the developed program for decomposing optical spectra into Gaussian components in the presence of an extraordinary maximum with a system for scanning the optical spectrum was used for computerized control of a diffraction grating

monochromator (MDR-12) as part of scientific and technical projects on fundamental and applied research of the Institute of Nuclear Physics AS RUz OT-Ф2-23 "Features of generation and recombination processes in wide-gap oxide and fluoride solid-state materials" (2017-2020) and the Institute of Ion-P laser technologies and technologies of the Academy of Sciences of Uzbekistan RU FE2-FA-F155 “Study of the optical absorption edge in ZnO doped with transition metals” (2012–2013), A4-FA-F156 “Development of technology for creating highly efficient hybrid solar cells based on ZnO - nanostructures and organic semiconductors "(2012 - 2014), FA-F2-F081" Research of the mechanisms and features of the processes of formation of solid-state n-dimensional structures and their electrical, thermal, optical and magnetic properties "(2008-2010) (Letter of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan No. 2 / 1255-3252 of 12.12.2018, letter of the Ion Institute to-plasma and laser technologies №1-393 RUz from 12.12.2018 city). The use of the module allows you to capture optical spectra of a wide range of optical materials controlled by a personal computer;

the multi-microcontroller 32-channel system for detecting 235U nuclear fission fragments developed for a mass spectrometer as an automatic remote control device for a mass spectrometer of nuclear fission products was registered by the Agency for Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan (patent of the Republic of Uzbekistan on utility model No. FAP 00873 April 27, 2012). The use of this development made it possible to create an original computerized 32-channel electronic system for detecting nuclear fission products based on a 32-strip semiconductor detector for conducting mass spectrometric studies of distributions of fission products of ^{235}U and ^{239}Pu by thermal neutrons;

developed for MCs and PCs programs for control 32-channel system detection, primary data accumulation and preservation were used to register FP of heavy nuclei at the mass spectrometer of the WWR-SM research nuclear reactor of the Institute of Nuclear Physics as the part of scientific-technical project at the basic research FA - F2-F078 “Study of the cluster structure of actinide nuclei and the processes of their binary fission by reactor neutrons in a strongly asymmetric region of mass distributions” (2007-2011) (Letter of the Academy of Sciences of Uzbekistan No. 2/125 5-3252 dated 12.12.2018). The use of programs in the range of mass numbers from A = 125 to A = 158 and with the values of charge ionic states of FP from Z*=16 to Z*=28 allowed us to accelerate the process of processing the experimental data in accordance with modern requirements.

Approbation of research results. The results of this study were discussed at 8 international and republican conferences.

Publication of research results. On the topic of the thesis, 2 patents on the useful model of the Republic of Uzbekistan were received, 16 scientific works were published, of which 6 scientific articles were recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publication of the main scientific results of the thesis scientific publications, of which 4 articles in international scientific journals .

The structure and scope of the thesis: introduction, three chapters, conclusion, list of literature. The volume of the thesis is 108 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. **Патент** на полезную модель № FAP00570. Модуль для сканирования оптического спектра / Гасанов Э.М., Нам И.В., Небесный А.Ф., Поляк О.Ю. - 16. 07. 2010.
2. **Патент** на полезную модель № FAP00873. Устройство автоматического дистанционного регулирования масс-спектрометра продуктов деления ядер / Коблик Ю.Н., Нам И.В., Небесный А.Ф.- 27. 04. 2012.
3. Гасанов Э.М., Нам И.В., Небесный А.Ф., Юлдашев Б.С. Оптический спектрометр КСВУ-12, сопряженный с IBM компьютером // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2005.- №4-5.- С.81-84 (05.00.00. №5)
4. Артёмов С.В., Бажанин А.Г., Буртебаев Н., Бактыбаев М.К., Караходжаев А.А., Нам И.В., Небесный А.Ф., Радюк Г.А., Якушев В.П. Двумерный анализатор на микроконтроллерах для идентификации и спектрометрии заряженных частиц // Приборы и техника эксперимента. – Москва, 2009. - №1. - С.168-170. (№ 3. Scopus; IF=0.673)
5. Pikul V.P., Koblik Yu.N., Ioannou P.D., Abdullaeva G.A., Nebesniy A.F. On Analysis of potential energy and form of fissionable nucleus in a scission point // Uzbek Journal of Physics. – Tashkent, 2010. - Vol.12, No 4-6. -p. 322-332 (01.00.00. №5)
6. Коблик Ю.Н., Абдуллаева Г.А., Морозов А.П., Небесный А.Ф. Пикуль В.П. Определение выхода и изобарного состава тяжелых продуктов реакции ^{236}U(*n*,*f*) //Атомная энергия. - Москва, 2014. - т.116, №.6. – С.331-338 ((№ 3. Scopus; IF=0.384).
7. Коблик Ю.Н., Нам И.В., Небесный А.Ф., Пикуль В.П., Замятин Н.И., Ioannou P., Loukas D. Система регистрации продуктов деления ядер в магнтном спектрометре // Приборы и техника эксперимента. – Москва, 2011. - №4. -С.40-45. (Koblik Yu. N., Nam I.V., Nebesnyi A. F., Pikul V. P., Zamyatin N.I., Ioannou P., Loukas D. A Fission Product Detection System of the Magnetic Spectrometer // Instruments and Experimental Techniques. – Moscow, 2011.- Vol. 54, N 4. - pp. 482–487 (№ 3. Scopus; IF=0.673)
8. Небесный А.Ф., Ашуров М.Х., Нам И.В., Нуритдинов И. Микроконтроллерный оптический спектрометр на базе МДР-12 // Приборы и техника эксперимента. – Москва, 2018. - №3. -С.156-158 (№ 3. Scopus; IF=0.673)

II бўлим (II часть; part II)

9. Коблик, Ю.Н. Нам И.В., Небесный А.Ф. Электронная система регисирации спектров с 32-х ка-нального Si-стрипового детектора // Труды 6 межд. конф. “ICNRP’07”. - Алматы, 2008. - Т.1. – С. 238-240.

10. Abdullaeva G.A., Koblik Yu.N., Nebesniy A.F., Pikul V.P. Fission Products Registration at Mass-Spectrometer //Book of abstracts the Seventh International Conference “Modern Problems of Nuclear Physics”.- Tashkent, 2009.- P.99-100.
11. Gasanov E.M., Nam I.V., Nebesniy A.F., Polyak O.Yu. Design and making microcontroller module for light spectra registration // Book of abstracts the Seventh International Conference “Modern Problems of Nuclear Physics”.- Tashkent, 2009. - P.163-165.
12. Абдуллаева Г.А., Абдурахимов А.А., Коблик Ю.Н., Морозов А.П., Небесный А.Ф., Пикуль В.П. Определение выходов продуктов деления ^{235}U реакторными нейтронами// Фундаментальные и прикладные вопросы физики: Межд.Конф., 24-25 ноября 2010 г. –Ташкент, 2010. – С.6-7.
13. Абдуллаева Г.А., Абдурахимов А.А., Морозов А.П., Небесный А.Ф. Измерение выходов продуктов деления ^{235}U на реакторе ВВР-СМ ИЯФ АН РУз //Материалы научной конференции молодых учёных и студентов, 21-22 апреля 2011 г. - Ташкент, 2011. - С.178-181.
14. Абдуллаева Г.А., Морозов А.П., Небесный А.Ф. Получение градуировочной функции M/z*=f(L) масс-спектрометра //Материалы научной конференции молодых учёных и студентов, 21-22 апреля 2011 г. - Ташкент, 2011. - С.203-206.
15. Абдуллаева Г.А., Коблик Ю.Н., Небесный А.Ф., Пикуль В.П. Масс-спектрометрическое определение выхода продуктов деления ^{239}Pu тепловыми нейтронами //8-я Международная конференция «Ядерная и радиационная физика», 20-23 сентября 2011. –Алматы (Казахстан), 2011. - С.153.
16. Пикуль В.П., Коблик Ю.Н., Абдуллаева Г.А., Небесный А.Ф. Потенциальная энергия делящегося ядра в точке разрыва для разных мод деления // 8-ая Международная конференция «Ядерная и радиационная физика», 20-23 сентября 2011.- Алматы (Казахстан), 2011. - С.162-163.

Илмий раҳбар М.Х.Ашуров

Талабгор А.Ф.Небесний