

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Институт автоматике и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматике»



Карманов Алишер Султангалиевич

Разработка программного кода для качественного и количественного анализа элементного состава веществ с использованием сечений резерфордского рассеивания.

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
к дипломному проекту

Специальность 5В071600 – Приборостроение

Алматы 2022г

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматизации»



**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

**Заведующий кафедрой РТиТСА**

**кандидат техн. наук**

**К. А. Ожигенов**

**« 25 » мая 2022 г.**

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

На тему: «Разработка программного кода для качественного и количественного анализа элементного состава веществ с использованием сечений резерфордского рассеивания»

по специальности 5B071600 – Приборостроение



**Выполнил**

Оқу және тәрбие жұмысы басқармасы

**Рецензент**

Управление по учебной работе

(звание, науч. степень)

подпись

ФИО

**«24» май 2022 г.**

**Карманов Алишер**

**Научный руководитель**

**к.ф.м.н., профессор**

**Керимкулов Ж.К.**

**«23» май 2022 г.**

Алматы 2022г

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматизации»

5B071600 – Приборостроение



**УТВЕРЖДАЮ**

**Заведующий кафедрой РТиТСА**

кандидат техн. наук

**К. А. Ожигенов**

«24» мая 2022 г.

### **ЗАДАНИЕ**

**на выполнение дипломного проекта**

Обучающемуся Карманову Алишеру Султангалиевичу

Тема: Разработка программного кода для качественного и количественного анализа элементного состава веществ с использованием сечения

резерфордовского рассеивания

Утверждена приказом Ректора Университета № 489-п от «24» 12 2022 г.

Срок сдачи законченной работы «28» 05 2022 г.

Исходные данные к дипломному проекту: C++

Перечень подлежащих разработке вопросов в дипломном проекте:

а) Изучение кинематики ядерных реакций, импульсных диаграмм рассеяния и реакций;

б) Написание программы для расчетов энергий образовавшихся продуктов после столкновения различных ядер между собой;

в) Аprobация программы для подтверждения ее корректной работы при вычислении кинематических характеристик ядерных реакций.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

представлены 17 слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из 20 наименований 23

**ГРАФИК**  
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Основная часть	17.03.2022	Выполнено
Экспериментальная часть	15.04.2022	Выполнено
Практическая часть	20.04.2022	Выполнено

**Подписи**

консультантов и нормоконтролера на законченный проект с указанием  
относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Кальменов Е.Т., магистр технических наук, лектор	21.05.2022	

Научный руководитель  Керимкулов Ж.К.

Задание принял к исполнению обучающийся  Карманов А.С.

Дата "21" май 2022г.

## ВВЕДЕНИЕ

Ядерная физика изучает процессы радиоактивного распада, механизм ядерных реакций и структуру атомного ядра [15-16].

Ядерную физику относят к физике элементарных частиц. Она возникла ещё до установления факта существования атомного ядра, основалась со времен открытия радиоактивности.

Как и во всей современной физике в ядерной физике существует разделение эксперимента и теории.

Развитие теоретических и экспериментальных ядерных исследований взаимозависимо и тематически связано. Поставленные перед ядерной физикой проблемы слишком сложны, и лишь в немногих случаях могут быть решены чисто теоретическим или эмпирическим путём. Ядерная физика оказала большое влияние на развитие ряда других областей физики в частности, астрофизики и физики твёрдого тела, а также других наук, как химии, биологии, биофизики [15-16].

Основу экспериментальной ядерной физики составляют ядерные реакторы, служащие мощными источниками нейтронов, ускорители заряженных частиц и детекторы ядерных излучений, регистрирующие продукты ядерных реакций. То есть, что арсенал экспериментальных средств ядерной физики разнообразен и технически сложен [15-16].

Для проведения опытов, используются большие интенсивности потоков ускоренных заряженных частиц или нейтронов. Такие частицы позволяют изучать редкие ядерные процессы и явления. Проводится одновременная регистрация нескольких частиц, которые испускаются в одном акте ядерного столкновения. В современном мире по исследованию данных работ используются ЭВМ. ЭВМ сообща работает с регистрирующей аппаратурой. Такие исследования очень трудоемки и сложны, поэтому просто необходимо, чтобы в данных работах было задействовано большое количество специалистов [15-16].

Главной проблемой теоретической ядерной физики и является квантовая задача о движении многих тел, сильно взаимодействующих друг с другом. Характерная особенность теоретической ядерной физики заключается в необходимости использования аппаратов разнообразных разделов теоретической физики [15-16].

Нейтронная физика является обширной составной частью ядерной физики и низких энергии. Она охватывает исследования взаимодействия медленных нейтронов с веществом и ядерные реакции под действием нейтронов [15-16].

Развитие ядерной физики в большой степени определяется исследованиями в такой важной ее области, как ядерные реакции. Однако после того, как Резерфорд впервые наблюдал ядерную реакцию, до появления первой модели ядерной реакции прошло довольно много лет. Частицы от радиоактивных источников могли эффективно преодолеть кулоновский барьер

только на самых легких ядрах. С появлением ускорителей ситуация радикально изменилась, теперь можно было бомбардировать ядра не только частицами. Повысились энергии и интенсивности пучков частиц [15-16].

Первая модель ядерной реакции появилась в 1935 году, это была модель Оппенгеймера - Филлипса, предложенная для интерпретации реакции (d,p) при низких энергиях [15-16].

Дальнейший прогресс представлений о механизмах ядерных реакций долгое время был связан с концепцией составного ядра (компаунд-ядра), которая была предложена в 1936 году Н.Бором для объяснения резонансной структуры сечений захвата нейтронов и протонов низких энергий атомными ядрами.

Первое количественное описание реакции, идущей через компаунд-ядро, было получено Брейтом и Е.Вигнером в 1936 году [15-16].

Широкое распространение в расчетах сечений ядерных реакций получила феноменологическая модель испарения, предложенная В.Вайскопфом в 1937 году. В 30-50-х годах на основе "первых принципов" развивалась формальная теория ядерных реакций. Различные варианты формальной теории не содержали конкретных физических предположений таких, например, как гипотеза независимости, и в принципе могли описывать различные механизмы ядерных реакций. Развитые в этих работах подходы позволили глубже понять физику процессов, происходящих в ядре и были использованы при создании моделей [15-16].

В настоящее время ведутся исследования над ядерной реакцией под действием многозарядных ионов. Используются данные реакции, как для поиска новых тяжёлых ядер, так и для изучения механизма взаимодействия сложных ядер друг с другом [15-16].

Ядерная физика охватывает также темы, как ядерный синтез (это энергии связи различных элементов), ядерное деление (это расщепление тяжелых элементов для получения энергии), а также радиоактивный распад и основная структура и силы, действующие в ядре [20].

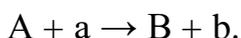
Существует множество практических применений этой области, включая (но не ограничиваясь) работу в ядерной энергетике, ядерной медицине и физике высоких энергий [20].

# 1 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Понятие о ядерной реакции

Ядерные реакции. Энергетический выход ядерных реакций [19].

Ядерной реакцией считается превращение атомных ядер, вызванное их взаимодействиями с какими-либо частицами или друг с другом. В большинстве реакций участвуют два ядра и две частицы; первая пара «ядро — частица» называется исходной, а вторая — конечной. Суммарный электрический и барионный заряды в ходе реакции должны сохраняться. Символически ядерные реакции записываются в виде:



Здесь  $A$  — исходное ядро,  $a$  — бомбардирующая частица,  $B$  — конечное ядро,  $b$  — испускаемая частица. Для протонов и нейтронов в ядерной физике приняты символические обозначения:  ${}^1_1p$  и  ${}^1_0n$ . Для осуществления ядерной реакции под действием положительно заряженной частицы необходимо, чтобы частица обладала кинетической энергией, чтобы преодолеть силы кулоновского отталкивания [19].

При малых энергиях бомбардирующих частиц, представление развитое Бором, ядерные реакции происходят в два этапа(рис.1.1) [19].

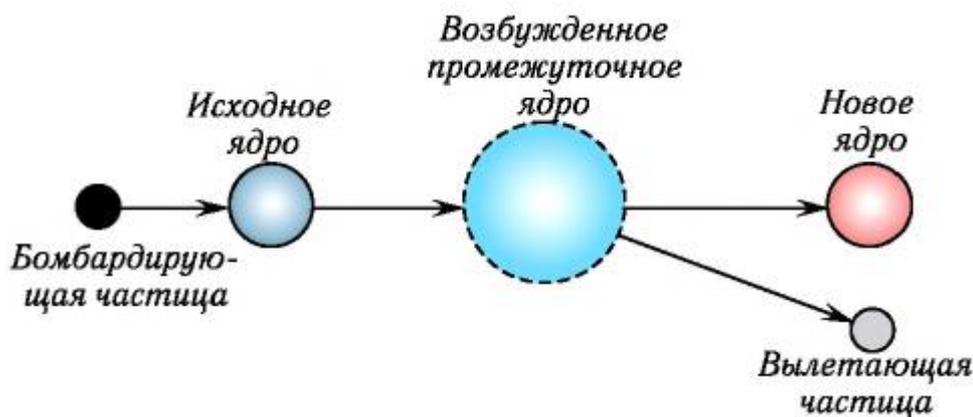


Рисунок 1.1 – Ядерная реакция с переходом ядра в возбужденное состояние

Первый этап - ядро поглощает частицу и образуется составное ядро в возбужденном состоянии. Энергия поглощенной частицы распределяется между всеми нуклонами составного ядра. Энергия, приходящаяся на каждый нуклон, меньше удельной энергии связи) [19].

Второй этап-вследствие обмена энергиями между нуклонами на одном (нескольких) из них может сконцентрироваться энергия, достаточная для преодоления действия ядерных сил и вылета из ядра. В итоге исходное ядро

превращается в конечное и испускаемую частицу. Промежуток времени от поглощения частицы исходным ядром до испускания частицы (время жизни ядра в возбужденном состоянии) составляет порядка  $10^{-12}$  с [19].

В истории первой ядерной реакции под действием  $\alpha$ -частиц считается реакция, в результате которой Резерфордом был открыт протон:



где \* означает составное ядро в возбужденном состоянии (рис.1.2)) [19].

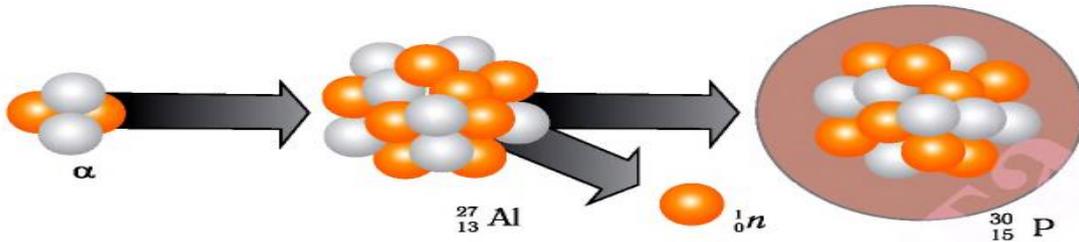
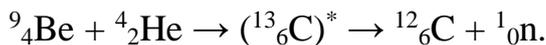


Рисунок 1.2 – Превращение алюминия в радиоактивный изотоп фосфора.

Нейтрон был открыт Чедвиком в реакции радиоактивного превращения ядер бериллия в изотоп углерода при бомбардировке  $\alpha$ -частицами:



Ядерные реакции различают двух типов: эндотермические (с поглощением энергии) и экзотермические (с выделением энергии).

Если сумма масс исходного ядра и частиц, вступающих в реакцию, больше суммы масс конечного ядра и испускаемых частиц, то энергия выделяется, и наоборот) [19].

Рассчитаем выход некоторой ядерной реакции  $A + a \rightarrow B + b$ . Если сумма масс частиц до реакции  $m_A + m_a$ , а после реакции —  $m_B + m_b$ , то разность энергий конечного и исходного состояний частиц

$$\Delta E = (m_B + m_b) c^2 - (m_A + m_a) c^2 = (m_B + m_b - m_A - m_a) c^2$$

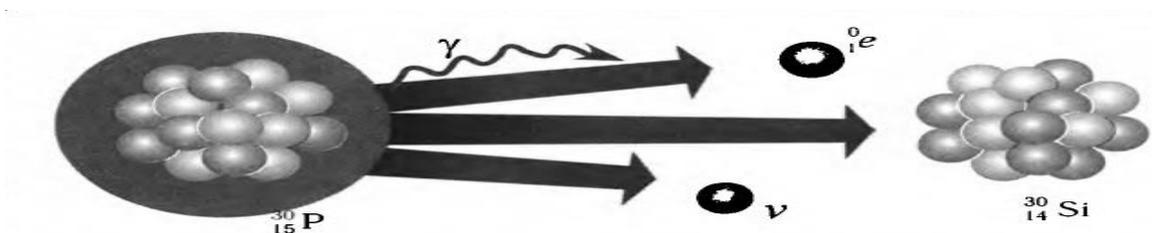


Рисунок 1.3 – Распад радиоактивного изотопа фосфора с образованием кремния и испусканием позитрона.

Если  $\Delta E < 0$ , то при данной реакции энергия выделяется, а если  $\Delta E > 0$ , то — поглощается. Энергия, высвобождающаяся при ядерной реакции, называется энергетическим выходом ядерной реакции) [19].

Цепной реакцией деления- это самоподдерживающаяся реакция деления тяжелых ядер, непрерывно воспроизводящая нейтроны, которые делят новые ядра) [19].

Характеристикой реакции деления это коэффициент размножения нейтронов  $k$  — отношение числа нейтронов в данном поколении к числу нейтронов предыдущего поколения. Если  $k = 1$ , то число нейтронов в реакторе все время остается неизменным. Если  $k > 1$  общее число нейтронов увеличивается со временем и возможно их неконтролируемое размножение, приводящее к взрыву. Если  $k < 1$  число нейтронов уменьшается, и реакция с течением времени прекращается) [19].

Учитывая все возможные потери коэффициент размножения должен быть больше единицы. Нейтроны могут поглощаться различными примесями, покидать область, в которой происходит реакция, терять свою энергию в результате большого числа актов рассеяния) [19].

Ядерный реактор — это такое устройство, в котором происходит управляемая ядерная реакция деления ядер тяжелых элементов под действием нейтронов. В ходе реакции освобождается энергия, которую можно использовать для производства электрической энергии) [19].

Энергия, освобождаемая при цепной ядерной реакции деления, уносится осколками деления, нейтронами,  $\gamma$ -квантами и электронами с сопровождающими их антинейтрино. В результате эта энергия переходит во внутреннюю энергию, которая выделяется, как в самом реакторе, так и в окружающих его материалах (в бетонной защите и пр.) [19].

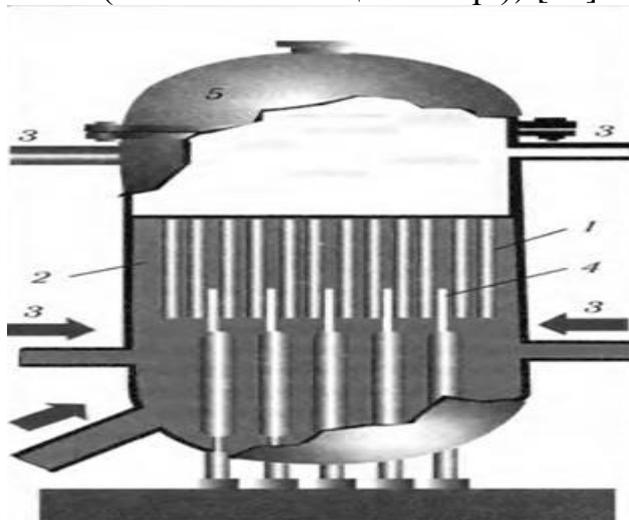


Рисунок 1.4 – Схема ядерного реактора

Ядерный реактор состоит из пяти основных составных частей (рис. 1.4)) [19]:

– Активная зона, содержащая ядерное горючее, которое находится в

ТВЕЛАХ — ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТАХ. Это очень длинные трубки, проходящие через всю активную зону реактора. Здесь в ТВЕЛАХ идет цепная реакция. Активная зона окружена отражателем нейтронов, возвращающим их внутрь активной зоны. Отличным отражателем является бериллий.

– Замедлитель быстрых нейтронов (графит, тяжелая вода, бериллий, оксид бериллия, гидриды металлов, органические жидкости). Средняя энергия нейтронов, появляющихся в реакторе, где-то 2 МэВ.

– Система охлаждения — это теплоноситель для отвода из активной зоны реактора выделяющейся в ней энергии (вода, газы, жидкий натрий).

– Система регулирования необходима для управления цепной реакцией. В системе регулирования используются кадмий, бор. Это поглотители — вещества, активно поглощающие нейтроны. Если стержни с поглотителем ввести в активную зону, то коэффициент размножения нейтронов уменьшается. А выведение стержней из активной зоны увеличивает коэффициент размножения. Так достигается управление реакцией.

– Система безопасности — это оболочка из бетона с железным наполнителем (для защиты окружающего пространства от ионизирующего излучения компонентов топлива и продуктов ядерной реакции) [19].

## 2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Краткое описание ядерных установок

Краткое описание ядерных установок предназначенных для измерения спектров взаимодействия различных ядерных процессов, полученных на установках РГП «Институт ядерной физики» РК [1-14].

Изохронный циклотрон У-150М. Эта установка позволяет ускорять протоны до 30 МэВ (МегаэлектронВольт), дейтроны до 25 МэВ,  $^3\text{He}$  до 60 МэВ и  $\alpha$ -частицы до 50 МэВ [22].

Заряженные частицы в циклотроне образуются в источнике, расположенном в центральной части камеры в дуговом разряде при подаче соответствующего газа (водорода, дейтерия, гелия-3, гелия-4). Ускорение их происходит в межполюсном пространстве 1,5-метрового магнита в момент пролёта частиц между дуантами [22].

При установке рабочих параметров ускорения частиц особое внимание уделяется режиму работы источника ионов, его скважности, микроструктуре импульса тока, а также качеству проводки пучка на мишень. Такая оптимизация пространственных и временных характеристик пучка позволила существенно снизить уровень различных помех, неравномерность загрузки электронной аппаратуры [22].

Схема транспортировки пучка ускоренных ионов от камеры циклотрона до камеры рассеяния, расположенной в 24 м от выхода пучка приведена на рисунке 2.1.1 [22]. Она включает в себя систему квадрупольных линз, два поворотных, разводящий, два нацеливающих магнита и систему коллиматоров. Все эти установки вместе с элементами нацеливания и коррекции, обеспечивают на мишени пучок заряженных частиц с угловым раствором не более 0,4 и диаметром 3 мм. Юстировка положения коллиматора и центра камеры рассеяния относительно оси ионопровода осуществлялась оптическим методом и контролировалась при помощи двенадцати кварцевых экранов и телевизионных камер, передающих изображение на пульт управления циклотрона [22].

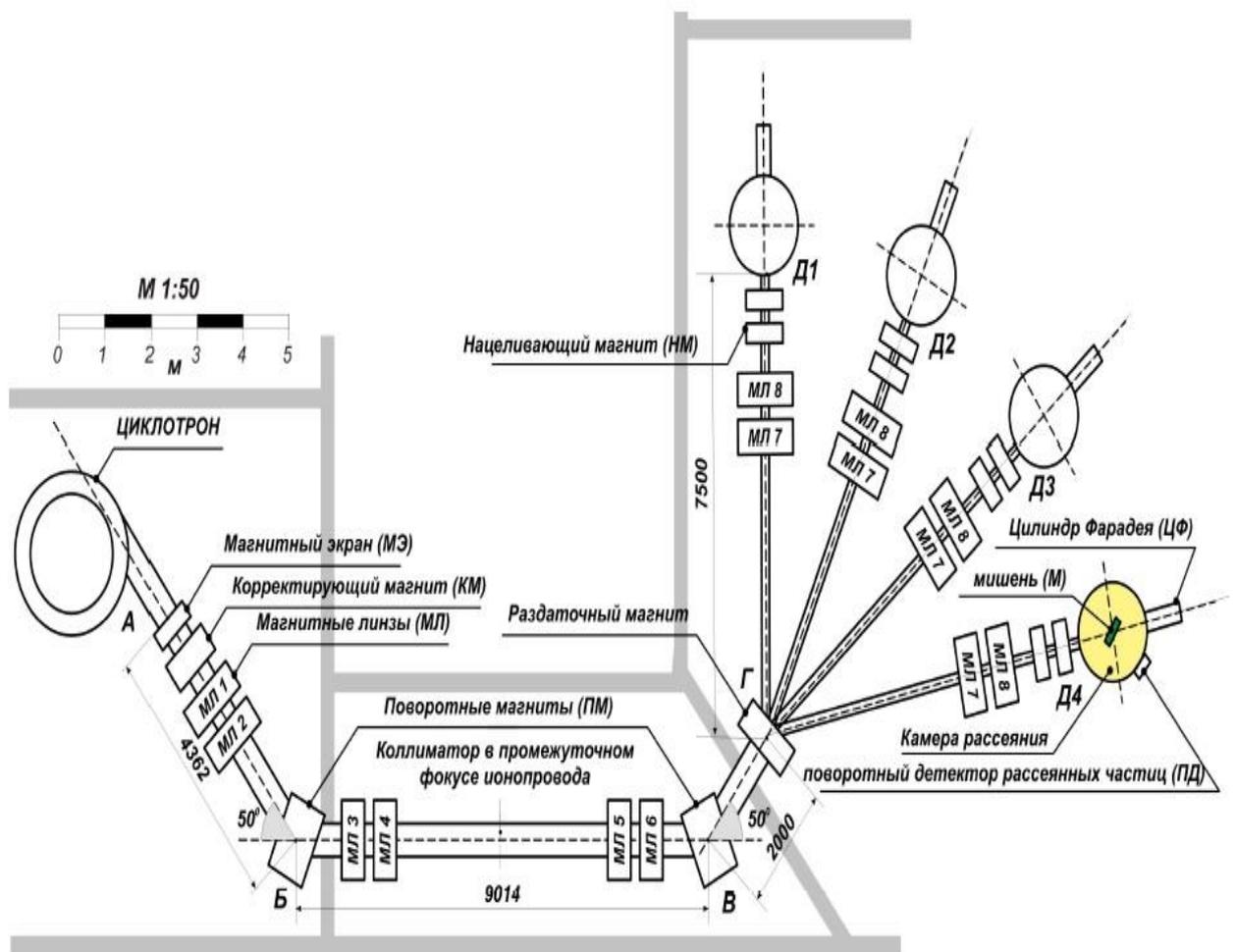


Рисунок 2.1.1 – Схема транспортировки пучка на циклотроне У-150М

ДЦ-60 циклотроны [23]. Циклотрон ДЦ-60 ускоритель тяжелых ионов введен в эксплуатацию в 2007 году на междисциплинарном научно-исследовательском комплексе при Евразийском национальном университете им.Л. Н.Гумилева в г. Астане и оснащен необходимым оборудованием для исследования процессов ядерно-ядерного взаимодействия при энергии вблизи кулоновского барьера и позволяет ставить эксперименты для реакций упругого рассеяния и синтеза тяжелых ионов. Для подготовки и проведения этих исследований возникает необходимость разработки экспериментальных устройств для получения размеров дифференциального сечения с усовершенствованным угловым допуском и разработки экспериментов по изучению взаимодействия тяжелых ионов с ядрами на ускорителе ДЦ-60 (а также измерения дифференциального сечения и функций возбуждения упругого рассеяния) (Рисунок 2.1.2,2.1.3) [22].



Рисунок 2.1.2 – Внешний вид ускорительного комплекса ДЦ-60.

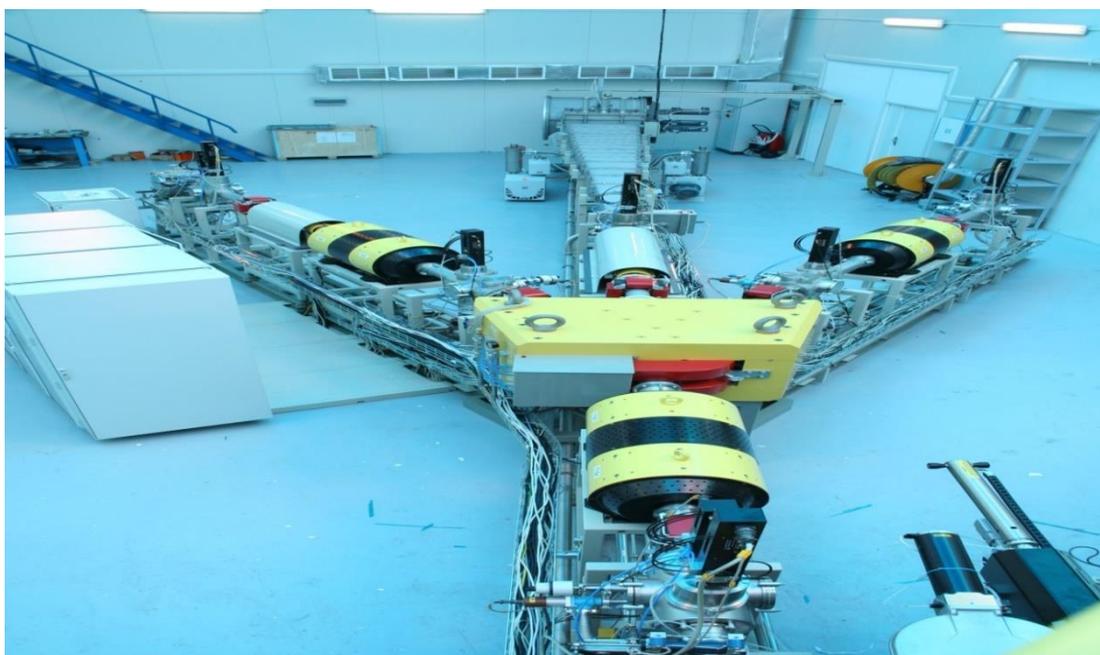


Рисунок 2.1.3 – Вид каналов транспортировки ускорителя ДЦ-60.

Ускорительный комплекс перезарядный (УКП-2-1) – базовая экспериментальная установка лаборатории НЭЯР ИЯФ РК является прецизионным ускорителем, позволяющим получать разные виды ускоренных ионов, включая инертные газы. На рисунке 2.4 показана схема ускорителя УКП. В состав тандема входят два независимых канала транспортировки, объединённых одним источником высокого напряжения. Каскадный генератор типа Кокрофта - Уолтона позволяет изменять ускоряющее напряжение от 100 кэВ до 1050 кэВ. Для стабилизации ускоряющего напряжения используются

стабилизационные щели, сигнал с которых заводится в систему питания каскадного генератора [23].

Инжектор тяжёлых ионов включает в себя ионный источник, предварительную систему формирования пучка, масс - анализатор, электростатический корректор и цилиндры Фарадея с кварцевыми стеклами. Источник с цезиевым распылением позволяет получать пучки с током до 60 мкА. Масс - анализатор состоит из 45 магнита с двойной фокусировкой и ирисовой диафрагмы [22].

Инжектор лёгких ионов предназначен для получения пучков  $H_1^-$  и атомарных пучков инертных газов. Он содержит ионный источник, систему предварительного формирования пучка, прибор отклонения электронов, газовую мишень нейтрализации и цилиндр Фарадея. Ионный источник позволяет получать  $H_1^-$  и  $He^+$ ,  $Xe^+$  ионные пучки с током до 100 мкА [1-14].

Совершенно идентичные каналы транспортировки включают в себя дублеты электростатических квадрупольных линз, анализирующие магниты, поворотные магниты, сканирующие устройства и мишенные камеры. В центральной мишенной камере имеется возможность одновременного облучения образцов двумя пучками [1-14].

Турбомолекулярные и магниторазрядные насосы, используемые для откачки трактов, обеспечивают вакуум в каналах  $2 \div 3 \cdot 10^{-6}$  Торр. Каждая из мишенных камер имеет независимую форвакуумную и высоковакуумную системы откачки [1-14].



Рисунок 2.4 – Внешний вид ускорителя УКП-2-1

## 2.2 Анализ различных спектров с использованием разработанной программы

В экспериментах использовались кремниевые детекторы, обладающие линейной зависимостью амплитуды электрических сигналов от энергии продуктов ядерного взаимодействия [1-14]. На рисунках 2.2.1-2.2.4 [1-14] представлена энергетическая калибровка различных спектров.

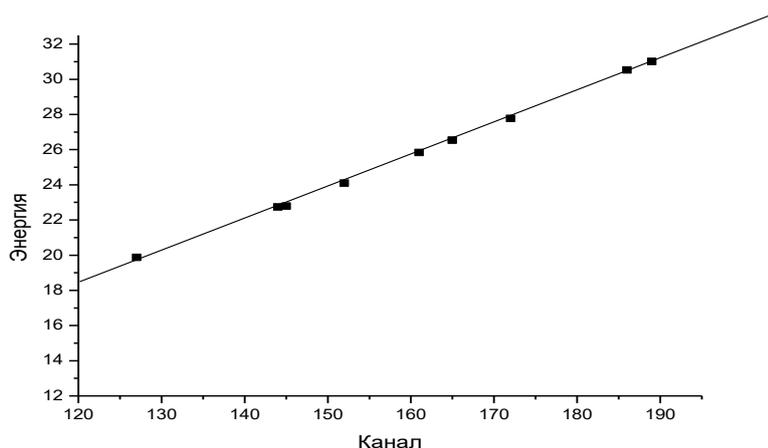


Рисунок 2.2.1 – Калибровка спектра реакции  ${}^6\text{Li}({}^3\text{He},d){}^7\text{Be}$ , измеренного при угле  $16^\circ$  при энергии  $E_{\text{He}^3} = 34$  МэВ

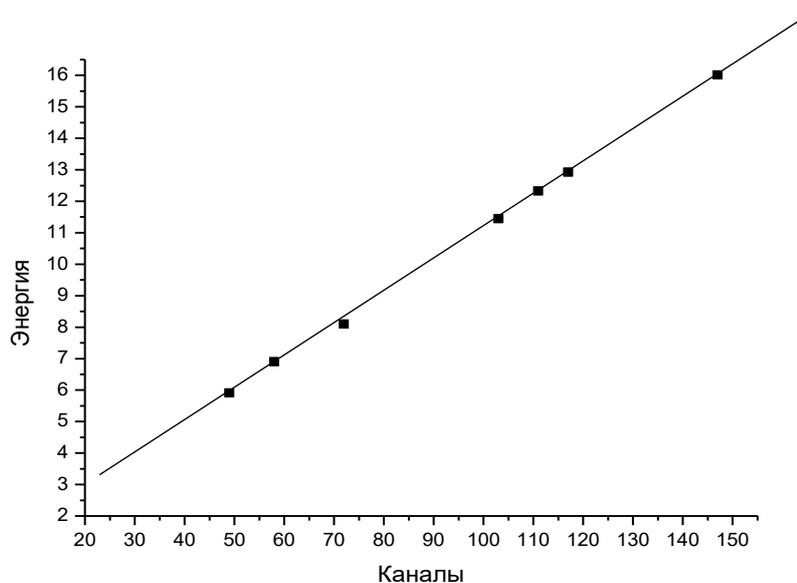


Рисунок 2.2.2 – Калибровка спектра реакции  ${}^{13}\text{C}(d,d){}^{13}\text{C}$ , измеренного при угле  $44^\circ$  при энергии  $E_d = 18$  МэВ

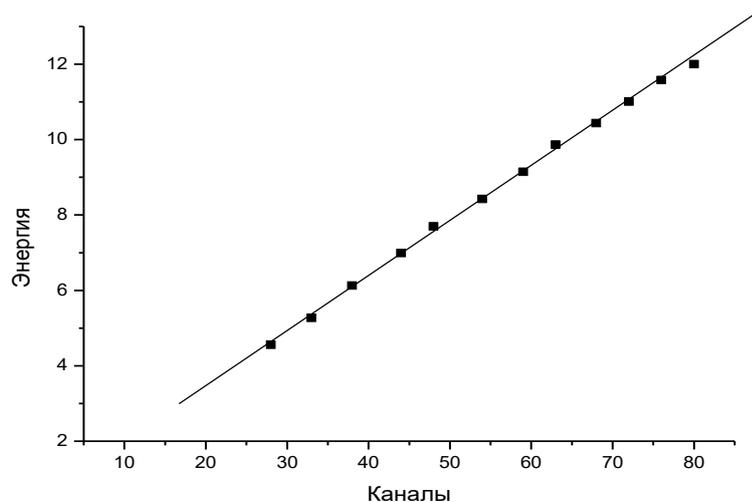


Рисунок 2.2.3 – Калибровка спектров рассеяния ионов  $^{14}\text{N}$  на ядрах  $^{12}\text{C}$ , измеренных при энергии  $E_{^{14}\text{N}} = 1.75$  МэВ/нуклон

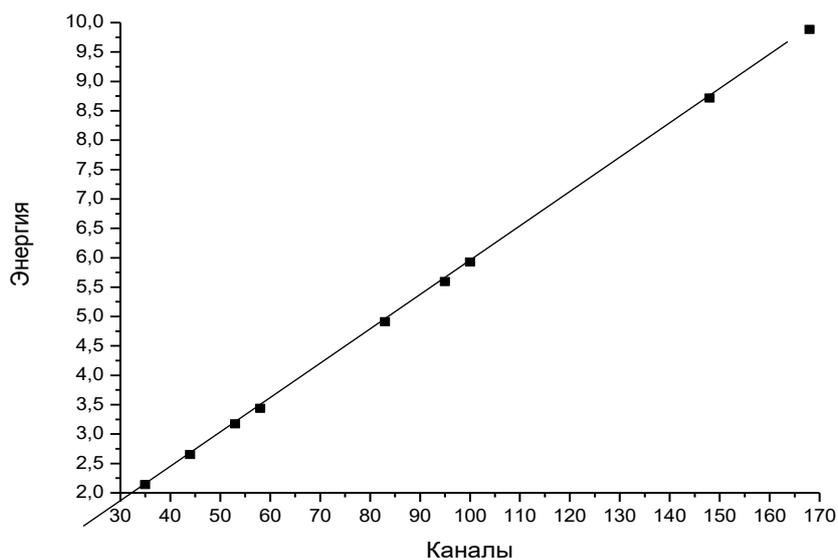


Рисунок 2.2.4 – Калибровка спектров рассеяния дейтронов на ядрах  $^7\text{Li}$ , измеренных при энергии  $E_d = 14.5$  МэВ

Результаты качественного анализа некоторых спектров, проведенного с использованием созданной программы, представлены на рисунках 5 – 15 [1-14].

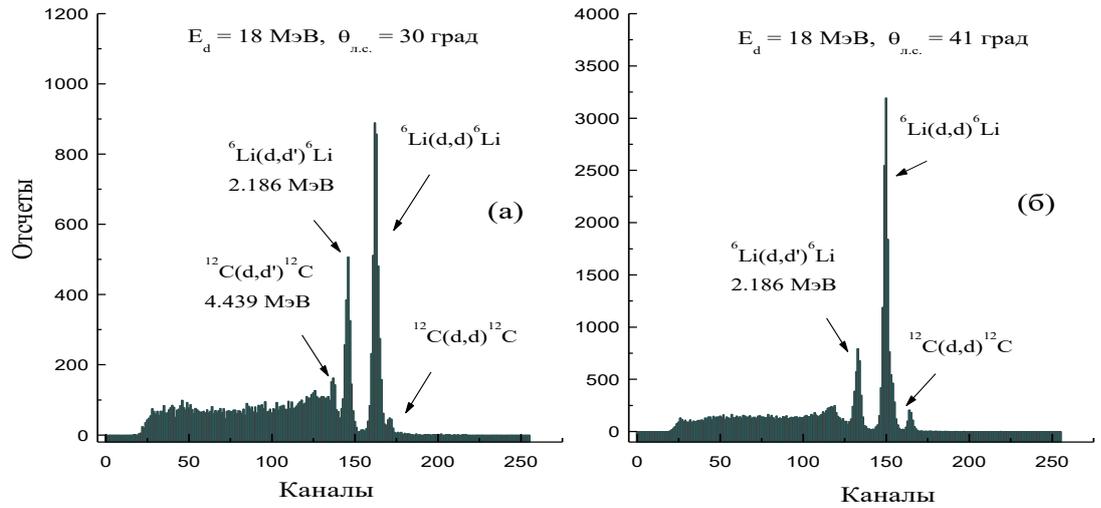


Рисунок 2.2.5 – Спектры рассеянных на ядрах  ${}^6\text{Li}$  дейтронов, измеренные при углах 30 (а) и 41 (б) градусов при энергии  $E_d = 18$  МэВ

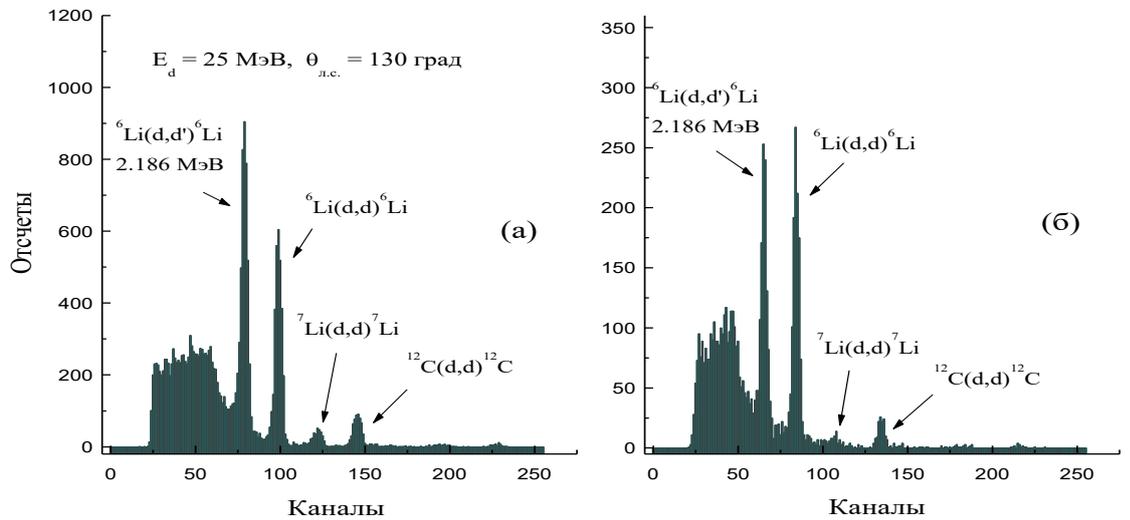


Рисунок 2.2.6 – Спектры рассеянных на ядрах  ${}^6\text{Li}$  дейтронов, измеренные при углах 130 (а) и 145 (б) градусов при энергии  $E_d = 18$  МэВ

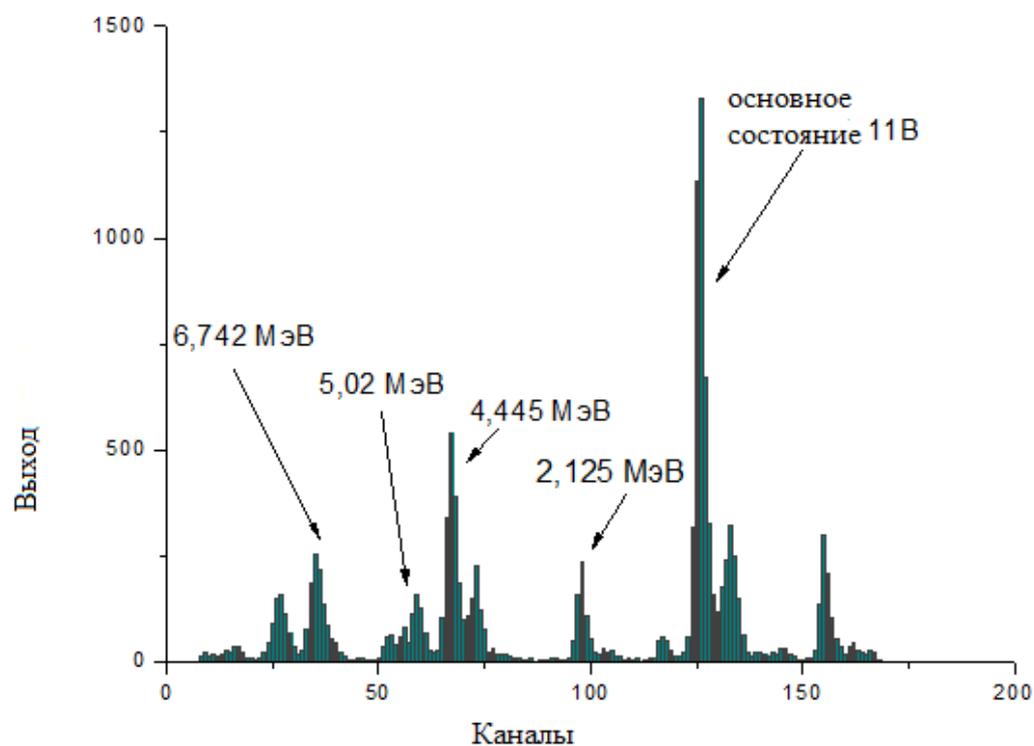


Рисунок 2.2.7 – Спектр рассеянных на ядрах  $^{11}\text{B}$  дейтронов, измеренный при угле 130 градусов при энергии  $E_d = 14,5$  МэВ

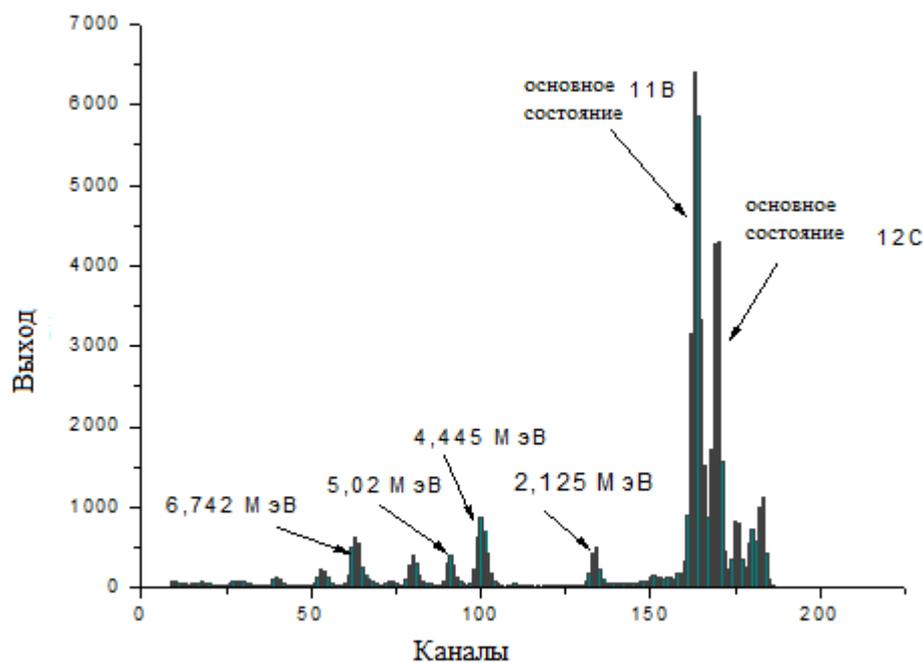


Рисунок 2.2.8 – Спектр рассеянных на ядрах  $^{11}\text{B}$  дейтронов, измеренный при угле 44 градусов при энергии  $E_d = 14,5$  МэВ

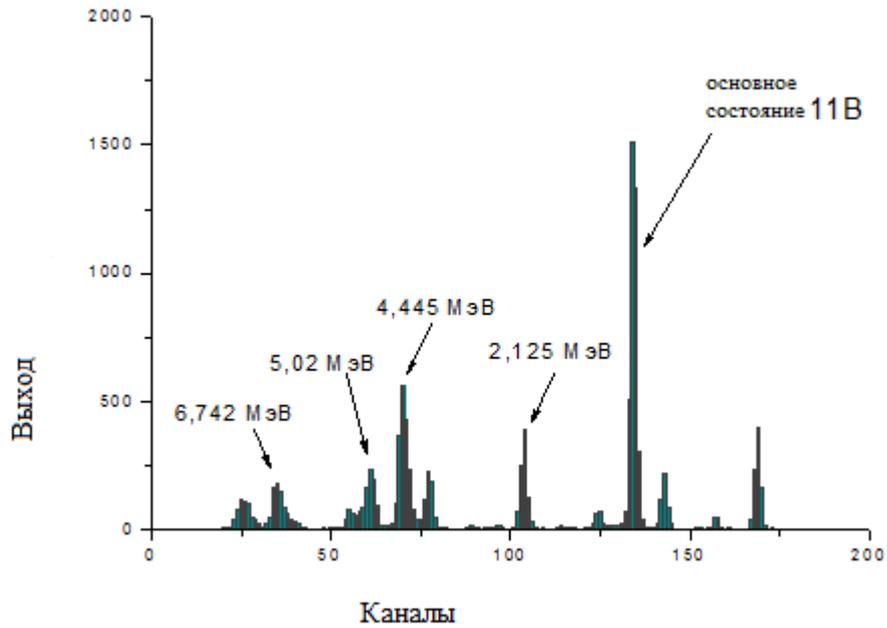


Рисунок 2.2.9 – Спектр рассеянных на ядрах  $^{11}\text{B}$  дейтронов, измеренный при угле  $140^\circ$  при энергии  $E_d = 14,5 \text{ МэВ}$

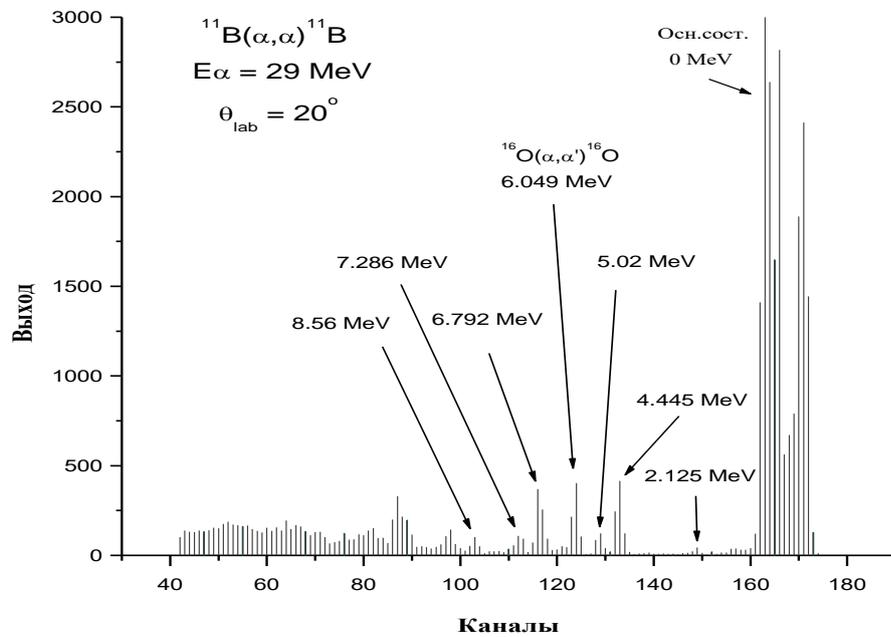


Рисунок 2.2.10 – Спектр рассеянных на ядрах  $^{11}\text{B}$   $\alpha$ -частиц, измеренный при угле  $20^\circ$  при энергии  $E_\alpha = 29 \text{ МэВ}$

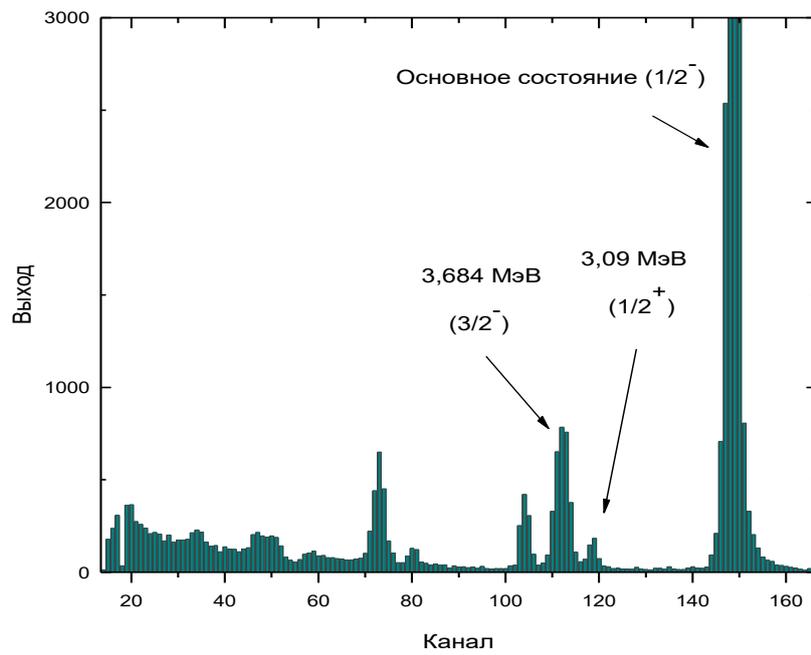


Рисунок 2.2.11 – Спектр рассеянных на ядрах  $^{13}\text{C}$  дейтронов, измеренный при угле 30 градусов при энергии  $E_d = 14,5$  МэВ

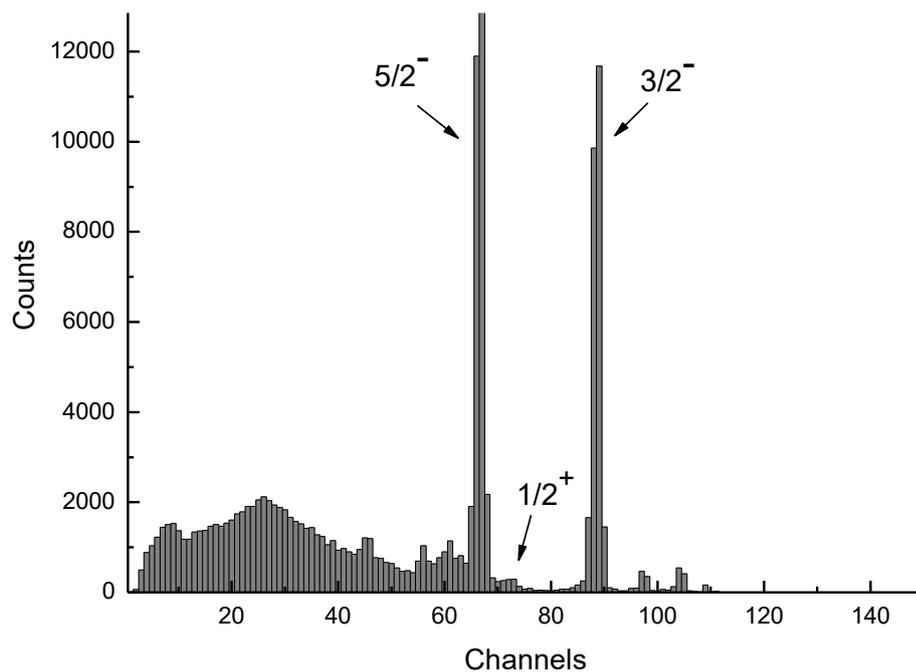


Рисунок 2.2.12 – Спектр рассеянных на ядрах  $^9\text{Be}$  дейтронов, измеренный при угле 40 градусов при энергии  $E_d = 14,5$  МэВ

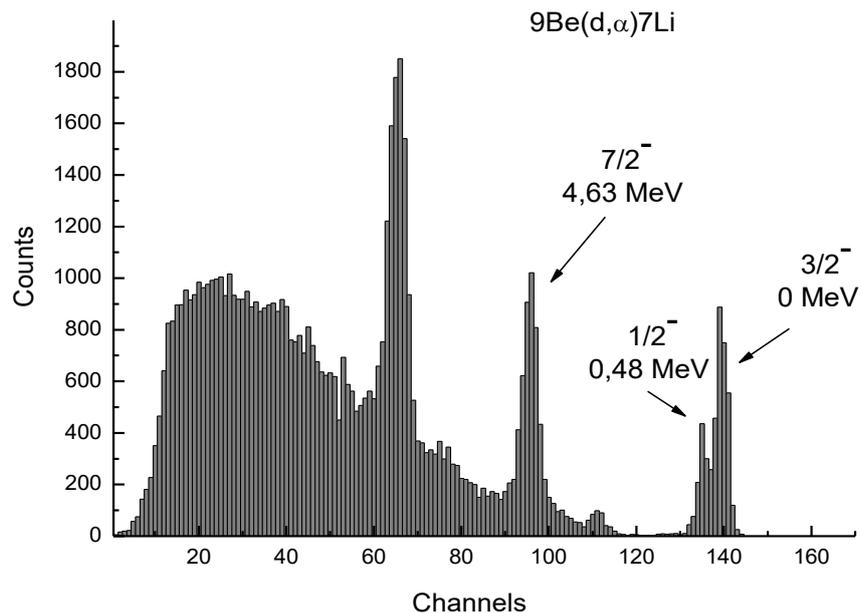


Рисунок 2.2.13 – Спектр реакции  ${}^9\text{Be}(d,\alpha){}^7\text{Li}$ , измеренный при угле 40 градусов и энергии  $E_d = 14,5$  МэВ

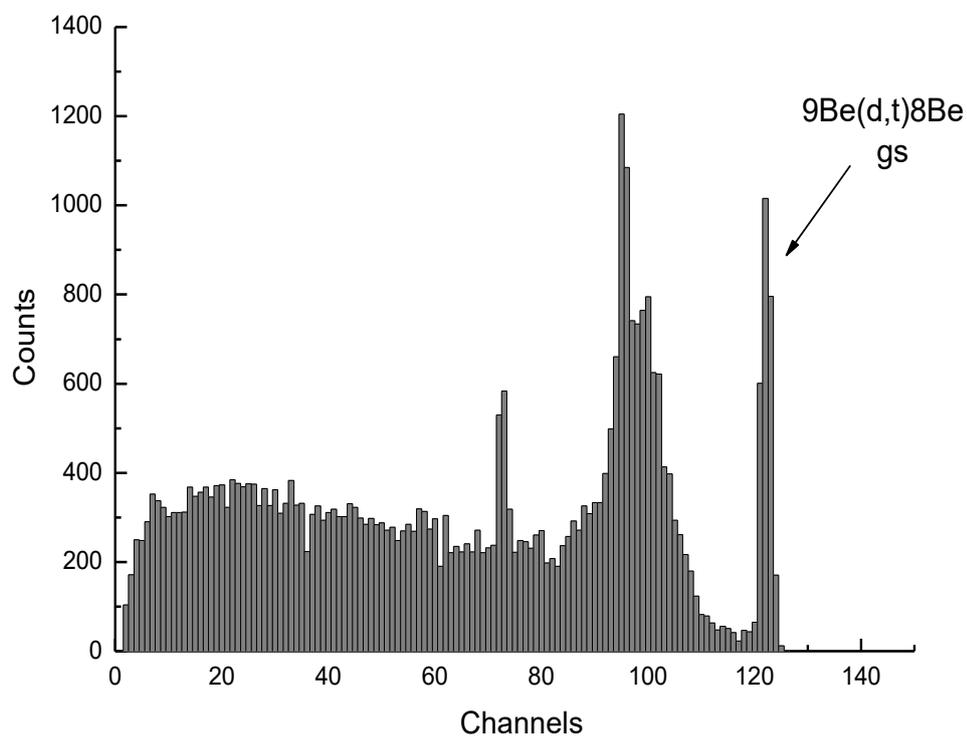


Рисунок 2.2.14 – Спектр реакции  ${}^9\text{Be}(d,t){}^8\text{Be}$ , измеренный при угле 40 градусов и энергии  $E_d = 14,5$  МэВ

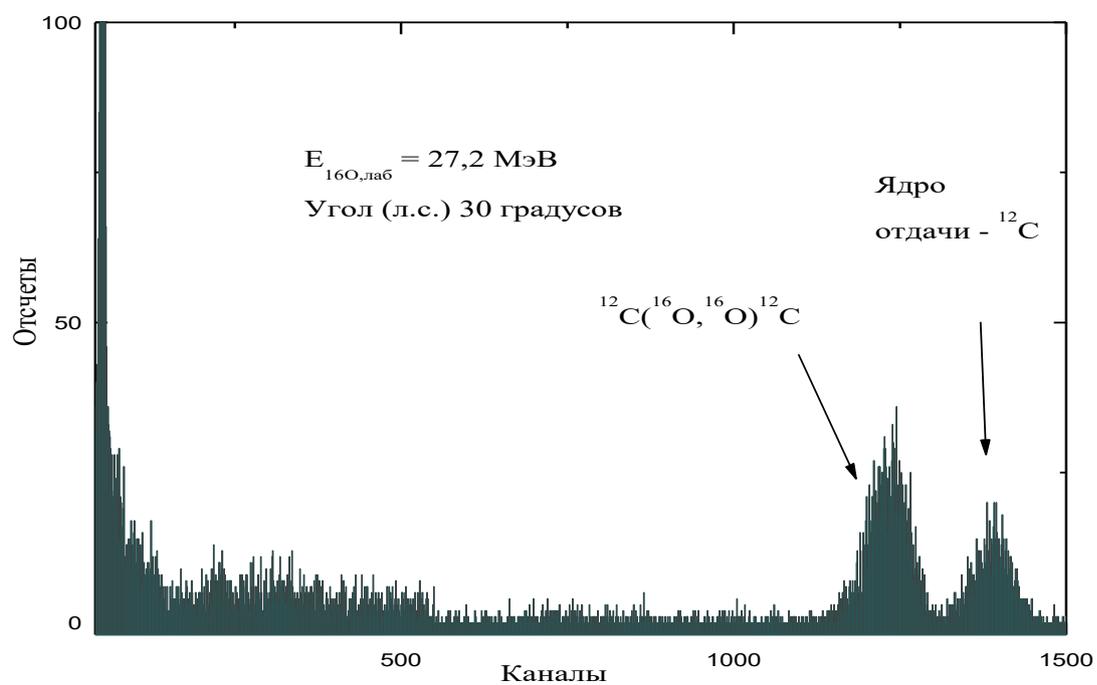


Рисунок 2.2.15 – Спектр рассеянных на ядрах  $^{12}\text{C}$  ядер  $^{16}\text{O}$ , измеренный при угле 30 градусов при энергии  $E_{^{16}\text{O}} = 27,2 \text{ МэВ}$

## 3 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 3.1 Основные понятия языка программы, написанной на языке высокого уровня C++

В дипломной работе используется язык C++, с помощью программы производится идентификация полученных спектров (пиков) и калибровка спектра для определения состава частицы. Язык C++ один из универсальных языков программирования, считается языком системного программирования. Среди преимуществ языка C++ есть переносимость программ на компьютеры различной архитектуры и из одной операционной системы в другую, лаконичность записи алгоритмов, логическую стройность программ, а также возможность получить программный код, сравнимый по скорости выполнения с программами, написанными на языке ассемблера. Последнее связано с тем, что C++ обладает набором низкоуровневых средств, обеспечивающих доступ к аппаратным средствам компьютера. Сейчас, кроме стандарта ANSI C разработан международный стандарт ISO C (International Standard Organization C) [21].

Программа, написанная на языке C++, состоит из операторов. При написании операторов применяются латинские прописные и строчные буквы, цифры и специальные знаки.

Различают видимые и управляющие символы. Первые могут быть отображены на экране дисплея либо отпечатаны на принтере. Вторые вызывают определенные действия в машине [21].

Для представления каждого символа в персональном компьютере используется один байт, поэтому общее число символов равно  $2^8 = 256$ .

Важным понятием языка является идентификатор, который используется в качестве имени объекта (функции, переменной, константы и др.).

В программах на языке C++ важная роль отводится комментариям. Они повышают наглядность и удобство чтения программ. Комментарии обрамляются символами /\* и \*/. Их можно записывать в любом месте программы [21].

В языке C++ введена еще одна форма записи комментариев. Все, что находится после знака // до конца текущей строки, будет также рассматриваться как комментарий [21].

Программы оперируют с различными данными, которые могут быть простыми и структурированными. Простые данные - это целые и вещественные числа, символы и указатели (адреса объектов в памяти). Целые числа не имеют, а вещественные имеют дробную часть. Структурированные данные - это массивы и структуры; они будут рассмотрены ниже [21].

В языке различают понятия "тип данных" и "модификатор типа". Тип данных - это целый, а модификатор - со знаком или без знака. Целое со знаком будет иметь как положительные, так и отрицательные значения, а целое без

знака - только положительные значения. В языке C++ можно выделить пять базовых типов, которые задаются следующими ключевыми словами:

- char - символьный;
- int - целый;
- float - вещественный;
- double - вещественный двойной точности;
- void - не имеющий значения [21].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дипломная работа посвящена автоматизации расчетов одного из важных направлений ядерных исследований – кинематики ядерных реакций, то есть определения кинетических энергий продуктов взаимодействовавших ядер.

При помощи кинематического анализа в данном случае используя язык высокого уровня C++ можно с высокой точностью используя коды программы определить качественный состав спектров образованных частиц, то есть проводить идентификацию частиц и расшифровку спектров, анализ и калибровку спектров.

Наиболее простой и в то же время точный метод кинематики – это метод импульсных диаграмм ядерных процессов, таких как упругое и неупругое рассеяние, ядерные реакции с образованием ядер в основном и возбужденных состояниях, для чего в данной дипломной работе использованы ускорители ДЦ-60 и У-150М, в которых и будет реализован закон взаимодействия налетающей частицы с ядром мишени, чтобы получать разные виды ускоренных частиц.

## ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ, ТЕРМИНОВ

МэВ – МегаэлектронВольт

ДЦ-60-[Ускоритель](#) тяжелых [ионов](#) (изохронный [циклотрон](#))

УКП-2-1-Ускорительный комплекс перезарядный

РГП ИЯФ РК- Региональное государственное предприятие

[Института ядерной физики Республики Казахстан](#)

ЭВМ-электронно-вычислительная машина

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Dubovichenko S., Burtebayev N., Dzhazairov-Kakhramanov A., Zazulin D., Kerimkulov Zh., Nassurlla M., Omarov Ch., Tkachenko A., Shmygaleva T., Kliczewski S. New measurements and phase shift analysis of  $p^{16}\text{O}$  elastic scattering at astrophysical energies // Chinese Physics C. – 2017. – Vol. 41. – No. 1. – P. 014001(10).
- 2 Burtebayev N., Sakhiyev S.K., Janseitov D.M., Kerimkulov Zh., Alimov D. Investigation of the elastic and inelastic scattering of  $\alpha$ -particles from  $^{13}\text{C}$  in the energy range 26.6–65 MeV // International Journal of Modern Physics E. – 2016. – Vol. 25. – No. 10. – P. 1650078(12).
- 3 Burtebayev N., Janseitov D. M., Kerimkulov Zh., Mukhamejanov Y. S., Nassurlla M., Demyanova A. S., Danilov A. N., Ogloblin, A. A., Aimaganbetov A. S. Investigation of exotic states of  $^{13}\text{C}$  at low energy // International Journal of Modern Physics E. – 2018. – Vol. 27. – No. 3. – P. 1850025(7).
- 4 Burtebayev N., Burtebayeva J. T., Duisebayev A., Kerimkulov Zh. K., Nassurlla M., Zholdybayev T., Artemov S. V., Karakhodzhaev A. A., Salikhbayev U. S., Sakuta S. B., Kliczewski S., Piasecki E., Rusek K., Siudak R., Trzcinska A., Wolinska-Cichocka M., Amar A. Mechanizm of the  $^7\text{Li}(d,t)^6\text{Li}$  reaction at 25 MeV energy of deuterons, values of spectroscopic factors and asymptotic normalization coefficients for the  $\text{Li-7} \rightarrow \text{Li-6} + n$  vertex // Acta Physica Polonica B. – 2015. – Vol. 46. – No. 5. – P. 1037-1054.
- 5 Burtebayev N., Sakuta S. B., Morzabayev A. K., Kerimkulov Zh.K., Amangeldi N., Temerbayev A. A., Mauey B., Kok Ye., Aimaganbetov A. S. Elastic scattering of  $^{15}\text{N}$  ions by  $^{16}\text{O}$  at the energy of 11.59 MeV // Acta Physica Polonica B. – 2017. – Vol. 48. – No. 3. – P. 495-498.
- 6 Nassurlla M., Burtebayev N., Janseitov D.M., Kerimkulov Zh., Alimov D., Morzabayev A.K., Talpakova K., Mukhamejanov Y., Galanina L.I., Demyanova A.S., Danilov A.N., Starastin V. Study of elastic and inelastic scattering of deuterons by  $^9\text{Be}$  at energy  $E = 14.5$  MeV // Acta Physica Polonica B. – 2020. – Vol.51, - No.3. – P. 751-756.
- 7 Janseitov D.M., Burtebayev N., Kerimkulov Zh., Nassurlla M., Mauey B., Valiolda D.S., Demyanova A.S., Danilov A.N., Hamada Sh., Aimaganbetov A. Investigation of deuteron scattering from  $^{13}\text{C}$  at low energy. Acta Physica Polonica B. – 2020. – Vol.51, - No.3. – P. 745-750.
- 8 Burtebayeva N., Kerimkulova Zh.K., Nassurlla Maulen, Burtebayeva J.T., Nassurlla Marzhan , Sakuta S.B., Suzuki T., Rusek K., Trzcinskae A., Wolińska-Cichocka M. Study of the  $^7\text{Li}(d,t)^6\text{Li}$  reaction at the energy of 14.5 MeV // Acta Physica Polonica B. – 2019. – Vol. 50. – No. 3. – P. 703-709.
- 9 Burtebayev N., Amangeldi N., Alimov D., Kerimkulov Zh.K., Mauey B., Nassurlla M., Kok Ye., Sakuta S. B., Artemov S.V., Karakhodjaev A.A., Rusek K., Piasecki E., Trzcinskae A., Wolinska-Cichocka M., Bostosun I., Karakocf M., Hamada Sh., Torilov S.Yu., Zalewski B., Mussaev J.M. Scattering of  $^{15}\text{N}$  ions by

$^{10,11}\text{B}$  nuclei at the energy of 43 MeV // Acta Physica Polonica B. – 2018. – Vol. 11. – No. 1. – P. 99-107.

10 Dubovichenko S.B., Kerimkulov Zh.K., Burtebaev N., Zazulin D.M., Amar A. S. A. Astrophysical S-Factor for the Radiative-Capture Reaction  $p^6\text{Li} \rightarrow ^7\text{Be} \gamma$  // Physics of Atomic Nuclei. – 2011. – Vol. 74. – No. 7. – P. 984–1000.

11 Kerimkulov Zh., Burtebayev N., Burtebayeva J.T., Glushchenko N.V., Amar A., Nassurlla M., Sakuta S.B., Artemov S.V., Igamov S.B., Karakhodzhaev A.A., Rusek K., Kliczewski S. Effects of t- and  $\alpha$ -transfer on the spectroscopic information from the  $^6\text{Li}(^3\text{He},d)^7\text{Be}$  reaction // Nuclear Physics A. – 2013. – Vol. 909. – P. 20-35.

12 Kerimkulov Zh., Burtebayev N., Sakhiyev S.K., Janseitov D.M., Alimov D. Investigation of the elastic and inelastic scattering of  $\alpha$ -particles from  $^{13}\text{C}$  in the energy range 26.6–65 MeV // International Journal of Modern Physics E. – 2016. – Vol. 25. – No. 10. – P. 1650078(12).

13 Chernykh A.V., Chernykh S.V., Baryshnikov F.M., Didenko S.I., Burtebayev N., Britvich G.I., Kostin M.Yu., Chubenko A.P., Kerimkulov Zh., Nassurlla M., Nassurlla M., Zholdybayev T., Glybin Yu.N. and Sadykov T.Kh. Characterization and simulation of fast neutron detectors based on surface-barrier VPE GaAs structures with polyethylene converter // Journal of Instrumentation. – 2016. – Vol. 11. – No. 12. – P. C12005(7).

14 Kerimkulov Zh., Burtebayev N., Burtebayeva J.T., Duisebayev A., Nassurlla M., Zholdybayev T., Artemov S.V., Karakhodzhayev A.A., Salikhbayev U.S., Sakuta S.B., Kliczewski S., Piasecki E., Rusek K., Siudak R., Trzcińska A., Wolińska-Cichocka M., Amar A. Mechanism of the  $^7\text{Li}(d,t)^6\text{Li}$  reaction at 25 MeV energy of deuterons, values of spectroscopic factors and asymptotic normalization coefficients for the  $^7\text{Li} \rightarrow ^6\text{Li} + n$  vertex // Acta Physica Polonica B. – 2015. – Vol. 46. – No. 5. – P. 1037-1054.

15 Э. Ферми "Ядерная физика", пер. с англ., Москва, изд. "Иностранная литература", 1951 г.

16 В.Е. Левин «Ядерная физика», Москва, Атомиздат, 1985 г

17 Мухин К. Н. Экспериментальная ядерная физика : учебник для вузов : в 3 томах / К. Н. Мухин. — 8-е изд., — Том 1 : Физика атомного ядра. — 384 с.

18 Мухин К. Н. Экспериментальная ядерная физика : учебник для вузов : в 3 томах / К. Н. Мухин.-7-ое изд.— Том 1 : Физика ядерных реакций. — 396 с.

19 <https://www.evkova.org/yadernaya-fizika>

20 [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.6dfa7d42-628094e9-4e0748c9-74722d776562/https/sciencing.com/nuclear-physics-what-is-it-who-discovered-it-why-is-it-important-13722580.html](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.6dfa7d42-628094e9-4e0748c9-74722d776562/https/sciencing.com/nuclear-physics-what-is-it-who-discovered-it-why-is-it-important-13722580.html)

21 <http://dfe.petrus.ru/koi/posob/c/>

22 <https://www.nnc.kz/media/bulletin/files/IFq0pT2AfL.pdf>

23 <https://articlekz.com/article/21958>