

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Отделение школы (НОЦ): Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование взаимодействия ионизирующего излучения с веществом в пакете Geant4

УДК 539.121.7:004.41.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5В	Бобылев Павел Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Алейник А.Н.	к.ф.-м.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШИП	Конотопский В. Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерные физика и технологии	Бычков П.Н.	к.т.н.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
Бычков П.Н.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0A5B	Бобылеву Павлу Александровичу

Тема работы:

Моделирование взаимодействия ионизирующего излучения с веществом в пакете Geant4	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	– Смоделировать процессы рассеяния, поглощения в программе GEANT4
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	– Литературный обзор по теме исследования – Моделирование процессов рассеяния и поглощения – Анализ полученных результатов

Перечень графического материала	– Презентация – Блок схема
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и энергосбережение	Конотопский В.Ю.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке:	
1 Введение	
2 Обзор литературы	
3 Моделирование процессов	
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и энергосбережение	
4 Социальная ответственность	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Алейник А.Н.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5В	Бобылев П.А.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А5В	Бобылев П.А.

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	—
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	—
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	– Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30 %; НДС – 20%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Организация и планирование работ	– Расчет продолжительности этапов работ; – Построение линейного графика работ; – Расчет накопления готовности проекта.
2. Расчет сметы затрат на выполнение проекта	– Выполнить
3. Оценка экономической эффективности	– Выполнить на содержательном уровне

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Линейный график работ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШИП	Конотопский В. Ю.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5В	Бобылев П.А.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А5В	Бобылев Павел Александрович

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, ионизирующее излучение); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
<p>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</p>	<ul style="list-style-type: none"> – требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – пожаровзрывобезопасность; – электробезопасность;

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А5В	Бобылев П.А.		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) 14.03.02. Ядерные физика и технологии
 Уровень образования высшее
 Отделение школы (НОЦ): Отделение ядерно-топливного цикла
 Период выполнения (весенний семестр 2018/2019 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Постановка целей и задач	
	Составление и утверждение ТЗ	
	Подбор и изучение материалов по тематике	
	Разработка календарного плана	
	Обсуждение литературы	
	Разработка расчетных моделей	
	Выбор метода Монте-Карло	
	Расчет геометрии устройства	
	Расчет физических событий	
	Оформление графического материала	
	Подведение итогов	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Алейник А.Н.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерные физика и технологии	Бычков П.Н.	К.Т.Н.		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (компетенции)
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования ; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).

P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, процессов, оборудования и материалов.
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 65 с., 10 рис., 11 табл., 28 источников, 2 прил..

Ключевые слова: моделирование, ионизирующее излучение, GEANT4, метод Монте-Карло.

Объектом исследования является модель пластинки из Si, воды и заряженные частицы.

Цель работы: при помощи компьютерной модели изучить зависимость числа частиц от угла рассеяния при бомбардировке альфа-частицами тонкой мишени (пластинки Si).

Задачи:

- Выполнить аналитический обзор литературы по теме теории рассеяния частиц, методики эксперимента;
- Построить программную модель экспериментальной установки по рассеянию частиц;
- Произвести верификацию результатов на основе известной теоретической зависимости.

В процессе исследования проводились расчеты по процессам рассеяния и поглощения протонов и альфа частиц.

В процессе исследования были установлены:

- зависимость числа частиц от угла рассеяния при взаимодействии альфа частиц с пластинкой из Si;
- зависимость числа поглощенных частиц в воде от длины прохождения.

Область применения: ядерная физика.

Обозначения и сокращения

кэВ – килоэлектрон-вольт;

МэВ – мегаэлектрон-вольт;

нм – нанометр;

эВ – электрон-вольт;

Geant – Geometry and tracking;

GPS – GeneralParticleSource.

Содержание

Введение	13
1 Обзор литературы.....	14
1.1 Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом	14
1.2 Метод Монте-Карло	14
1.3 Нахождение длины свободного пробега до взаимодействия	16
1.4 Генерирование плотности распределения	18
1.5 Адронотерапия	20
1.6 Применение метода Монте-Карло в ядерной физике	21
1.7 Ядро Geant4 и ROOT	22
2 Моделирование.....	25
2.1 Упругое рассеяние.....	25
2.2 Создание геометрии	26
2.3 Описание физических процессов	27
2.4 Добавление первичных частиц	28
2.5 Распределение дозы облучения	30
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	31
3.1 Организация и планирование работ	31
3.1.1 Продолжительность этапов работ	32
3.1.2 Расчет накопления готовности проекта	37
3.2 Расчет сметы на выполнение проекта	38
3.2.1 Расчет затрат на материалы	38
3.2.2 Расчет заработной платы.....	39
3.2.3 Расчет затрат на социальный налог	40
3.2.4 Расчет затрат на электроэнергию	40
3.2.5 Расчет амортизационных расходов	42
3.2.6 Расчет прочих расходов	42
3.2.7 Расчет общей себестоимости разработки.....	43
3.2.8 Расчет прибыли.....	43
3.2.9 Расчет НДС	43
3.2.10 Цена разработки ВКР	43
3.3 Оценка экономической эффективности проекта	44

4 Социальная ответственность	45
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	45
4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ	47
4.2.1 Организационные мероприятия.....	47
4.2.2 Технические мероприятия	47
4.3 Условия безопасной работы	50
4.4 Электробезопасность	52
4.5 Пожарная и взрывная безопасность	53
Заключение	56
Список использованной литературы.....	57
Приложение А	60
Приложение Б.....	61

Введение

Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом составляет важную область знания во многих науках: физике, химии, биологии и медицине, позволяя получить количественные оценки различных радиационных эффектов.

Традиционные методы количественных методов расчетов эффектов взаимодействия опираются на достаточно развитый аналитический аппарат, включающий в себя элементы теории вероятности и статистической физики, оптики. Прямые расчеты для инженерно-прикладных задач оказываются сложны ввиду обилия ветвящихся и конкурирующих процессов.

Последние 70 лет популярным средством расчета полей излучения стали алгоритмы, основанные на методе Монте-Карло, в которых производится моделирование взаимодействий отдельных частиц и по результатам множественных симуляций строятся количественные оценки полей переноса излучения. Популярной реализацией метода Монте-Карло является программный комплекс Geant, созданный в Европейском центре ядерных исследований. Geant4 нашел свое применение не только в физике высоких энергий, но и в медицине, астрофизике, дозиметрии и других науках.

Целью данной работы является изучение использования Geant4 для моделирования прохождения частиц через вещество.

Задачи:

- Провести аналитический обзор литературы;
- Разработать модель, позволяющую рассчитывать процессы рассеяния и поглощения частиц в среде;
- Проанализировать полученные результаты.

1 Обзор литературы

1.1 Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом

Характер взаимодействия частицы с атомом определяется типом частицы и её энергией. При этом проявляется два типа закономерностей при столкновении частиц:

- динамические, обусловленные характером сил, действующих в момент взаимодействия;
- кинематические, являющиеся общими для всех типов частиц и не зависящие от характера действующих сил в момент взаимодействия [1].

Предметом дальнейшего рассмотрения будут лишь кинематические закономерности, а именно законы упругого рассеяния заряженных частиц, позволяющие определить связь количества рассеивающихся частиц в зависимости от угла, а также связь длины пробега частиц в зависимости от их энергии исходя из законов сохранения энергии и импульса.

1.2 Метод Монте-Карло

Метод Монте-Карло можно определить как метод моделирования случайных величин с целью вычисления характеристик их распределений. При использовании метода Монте-Карло моделируются случайные величины с заранее известными функциями плотностями распределения (сечениями) в зависимости от энергии, углов, квантовых чисел, частиц, принимающих участие во взаимодействии; затем из этих величин конструируются более сложные, функции распределения которых сложно или нельзя отыскать при помощи прямых аналитических методов. Полученные распределения могут быть известны с точностью до параметров, в случае чего используется аппарат математической статистики для их оценки. При этом наиболее распространенной задачей является оценка среднего значения случайной

величины, то есть задача вычисления интеграла Лебега по некоторой вероятностной мере, которая может иметь весьма сложную природу [4].

В самом общем виде схема метода Монте-Карло выглядит следующим образом: пусть требуется вычислить l -кратный интеграл вида

$$I = \int_{R^l} g(x) dx, \quad (1.1)$$

где $dx = dx_1 \dots dx_l$, т. е. вычисляется интеграл Лебега – Стильтьеса [14].

Выберем плотность распределения случайного вектора ξ такую, что

$$f(x) \geq 0; \int f(x) dx = 1 \text{ и } f(x) \neq 0 \text{ при } g(x) \neq 0 \forall x \in R^l.$$

Перепишем интеграл в виде математического ожидания.

$$I = \int_{R^l} g(x) dx = I = \int_{R^l} q(x) f(x) dx = E\xi \quad (1.2)$$

Предполагается, что можно построить случайную величину ξ с математическим ожиданием $E\xi$, равным I , и с конечной дисперсией $D\xi$, причем выборочные значения ξ_i случайной величины реализуются на компьютере. Построив большое количество n выборочных значений ξ_1, \dots, ξ_n , на основе закона больших чисел получаем приближенное значение искомой величины [12].

$$I = E\xi \approx \bar{\xi}_n = \frac{\xi_1 + \dots + \xi_n}{n} \quad (1.3)$$

Для оценивания параметра Θ распределения случайной величины ξ используется некоторая функция её выборочных значений ξ_1, \dots, ξ_n . При этом ξ_1, \dots, ξ_n рассматриваются как векторная случайная величина, определенная на вероятностном пространстве. Если $(\Omega, \mathfrak{A}, P)$ – исходное вероятностное пространство, на котором определена ξ и ξ_1, \dots, ξ_n – её независимые реализации, то выборочное пространство $(\Omega^N, \mathfrak{A}^N, P^N)$ есть произведение N экземпляров исходных пространств, т.е. $\Omega^N = \underbrace{\Omega \times \dots \times \Omega}_N, \mathfrak{A}^N$ – σ – алгебра множеств вида $A^N = A_1 \times \dots \times A_N$, где $A_j \in \mathfrak{A}, j = 1, \dots, N$ и $P_{\Xi}(A_1, \dots, A_N) = P_{\xi_1}(A_1) \dots P_{\xi_N}(A_N)$ [6,7,10].

1.3 Нахождение длины свободного пробега до взаимодействия

Средняя длина свободного пробега до взаимодействия является важной статистической характеристикой для описания процессов взаимодействия частиц с веществом. На движущуюся в среде частицу влияют различные процессы упругого и неупругого взаимодействия с атомами вещества, она принимает участие в электромагнитном взаимодействии с внешними полями и т.д.

Пусть поток частиц с энергией E падает на тонкий слой вещества толщиной Δx и площадью S . Концентрация атомов в веществе — $n, \text{см}^{-3}$, а сечение взаимодействия — $\sigma(E)$, бн.

Пусть функция распределения длины пробега ξ есть $F(x) = P\{\xi \leq x\}$. Тогда вероятность $P\{\xi > x\}$ того, что частица пройдет путь x без взаимодействия, равна $1 - F(x)$. Найдем вероятность того, что частица не испытает взаимодействие на отрезке x , а испытает его на следующем интервале Δx . Согласно свойствам функции распределения эта вероятность равна

$$P\{x \leq \xi \leq x + \Delta x\} = F(x + \Delta x) - F(x) \quad (1.4)$$

С другой стороны эту вероятность можно определить как произведение вероятностей двух независимых событий: частица не испытала взаимодействие на отрезке x , частица испытала взаимодействие на пути Δx .

$$P\{x \leq \xi \leq x + \Delta x\} = P_1 P_2 = (1 - F(x))(\Sigma_i \Delta x).$$

Приравнивая правые части и разделив на Δx ,

$$\frac{F(x + \Delta x) - F(x)}{\Delta x} = \Sigma_i (1 - F(x))$$

Решая полученное уравнение относительно $F(x)$ и учитывая граничное условие $F(0) = 0$, получим:

$$F(x) = 1 - e^{-\int_0^x \Sigma(s) ds} \quad (1.5)$$

Формула для длины пробега ξ находится из уравнения $F(\xi) = \gamma$ [19].

$$\eta(\xi) = -\ln \gamma, \quad (1.6)$$

где γ – случайное число из промежутка $(0,1)$;

$\eta(\xi)$ имеет смысл длины интервала $(0,x)$, измеренной в длинах среднего свободного пробега.

η рассчитывается заново после каждого шага Δx по формуле $\eta' = \eta - \frac{\Delta x}{\lambda}$ до тех пор, пока $\eta\lambda(x)$ не окажется наименьшей и это приведет к взаимодействию в конце пробега. В противном случае частица вылетит из мишени без взаимодействия.

В случае взаимодействия, если поперечное сечение σ_i изотопа массы m_i , составляющего массовую часть x_i материала с плотностью ρ есть σ_i , то

$$\frac{1}{\lambda} = \rho \sum_i \frac{x_i \sigma_i}{m_i}, \quad (1.7)$$

При прохождении через вещество заряженная частица теряет энергию на возбуждение и ионизацию атомов среды. Средние потери заряженных частиц описываются формулой Бете-Блоха

$$\frac{dE}{dx} = D\rho \left(\frac{Z_m}{A_m}\right) \left(\frac{Z_p}{\beta}\right)^2 \left(\text{Ln}\left(\frac{2m_e \gamma^2 \beta^2 c^2}{I}\right) - \beta^2 - \frac{\delta}{2} - \frac{C}{Z_m}\right) (1 + v) \quad (1.8)$$

где D, δ, C, v – постоянная;

ρ, Z_m, A_m – параметры среды;

Z_p – заряд частицы;

I – потенциал ионизации атома, эВ.

Зная тормозную способность вещества как функцию энергии $\frac{dE}{dx}(E)$ можно вычислить среднюю длину пробега до остановки R_0 частицы с энергией E_0 .

$$R_0 = \int_0^{E_0} \frac{dE}{\frac{dE}{dx}(E)} \quad (1.9)$$

При моделировании различных взаимодействий в Geant4, например адронных превращений в мишени или ионизационных потерь заряженных частиц в живой ткани, ограничиваются лишь небольшим числом процессов с заданным интервалом энергий в зависимости от специфики проблемы, причем для различных процессов используются определенное η [4].

1.4 Генерирование плотности распределения

Общеупотребимыми методами для генерирования последовательности чисел с заданной плотностью являются: метод Неймана, метод обратной функции и модифицированный метод Неймана.

Пусть нам задан закон распределения вероятности $F(x)$

$$F(x) = \int_0^x f(x)dx, \quad (1.10)$$

где $f(x)$ – функция плотности вероятности и $F(x)$ изменяется на интервале от нуля до единицы.

В методе обратной функции для генерации случайного события x достаточно найти $F^{-1}(r)$. Здесь r – случайное число, генерируемое в интервале от 0 до 1. Метод удобно пользоваться, когда $F(x)$ задана аналитически и возможно взятие обратной функции. Пример для дискретного и непрерывного спектров приведен на рисунке 1.1

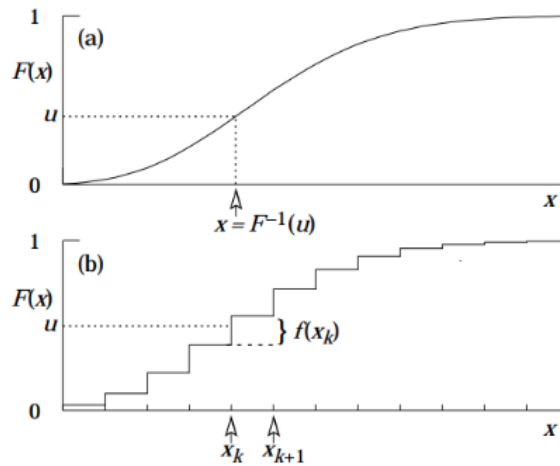


Рисунок 1.1 – Метод обратных функций для непрерывного и дискретного спектров

Довольно часто аналитическая форма $F(x)$ неизвестна или является довольно сложной, что не позволяет использовать метод обратной функции. В этом случае применяют другие методы.

Метод Неймана использует функцию плотности вероятности $f(x)$. Пусть в n -мерном пространстве переменных x_1, \dots, x_n задана многомерная случайная величина $\xi = \xi_1, \dots, \xi_n$ с функцией распределения и некоторая область пространства X . Рассмотрим одномерную случайную величину η , определенную формулой

$$\eta = g(\xi) \quad (1.10)$$

Для розыгрыша η надо сгенерировать случайную величину ξ и проверить ее принадлежность к X . Если $\xi \in X$, то вычисляем $\eta = g(\xi)$, в противном случае отбрасываем и генерируем следующий.

Суть прямого метода Неймана в одновременном разыгрывании пар независимых случайных величин x, y и проверке какого-нибудь числа на условие $y \leq f(x)$. Пример для функции $f(x) = \frac{1}{x^2+1}$ показан на рисунках 1.2-1.3.

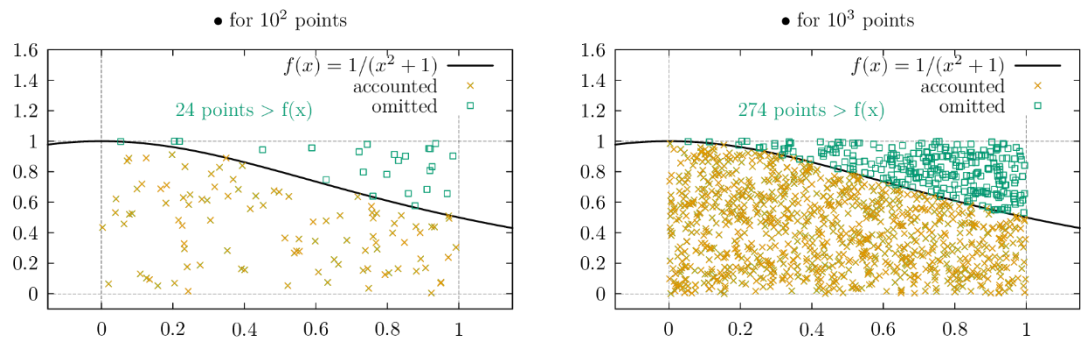


Рисунок 1.2 – Результат генерирования чисел по прямому методу Неймана

На рисунке 1.3 показан критерий хи-квадрат для различного числа точек [24].

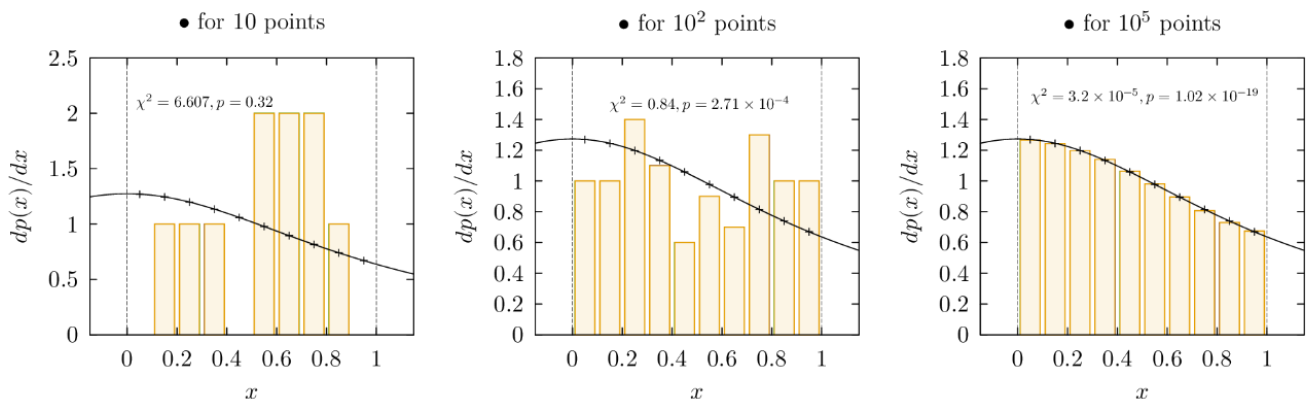


Рисунок 1.3 - χ^2 -критерий для различных выборок

Модифицированный метод Неймана является комбинацией прямого метода Неймана и метода обратной функции, где отыскивается обратная функция для какой-нибудь мажорирующей исходную функцию зависимости.

1.5 Адронотерапия

В Национальном институте ядерной физики (Италия) находится установка для адронотерапии CATANA. Установка использует ускоренные циклотроном до 62 МэВ пучки протонов для радиотерапевтического воздействия на опухоли.

Метод Монте-Карло может играть важную роль для применения в клинической практике протонов и ионов. Используемые сегодня алгоритмы для

оценки поглощенной дозы в случае протонной терапии полагаются на параметризацию эмпирически определенного распределения дозы протонов, что ограничено используемыми в данных моделях приближениями и упрощениями. Метод Монте-Карло может дать точную оценку поглощенной дозы, учитывая все физические процессы, включая потерю энергии в процессе электромагнитного взаимодействия, случайный разброс по энергиям, многократное кулоновское рассеяние, упругие и неупругие ядерные взаимодействия, а также перенос вторичных частиц [19].

1.6 Применение метода Монте-Карло в ядерной физике

Адронные взаимодействия подразделяют на: высокоэнергетические, включающие в себя струнные модели, среднеэнергетические, включающие внутриядерные каскадные модели, и низкоэнергетические с делением, захватом радиоактивным распадом. Нейтроны от 20 МэВ до тепловой энергии рассчитываются с помощью баз данных поперечных сечений через пакет High Precision [HP] package [17,23].

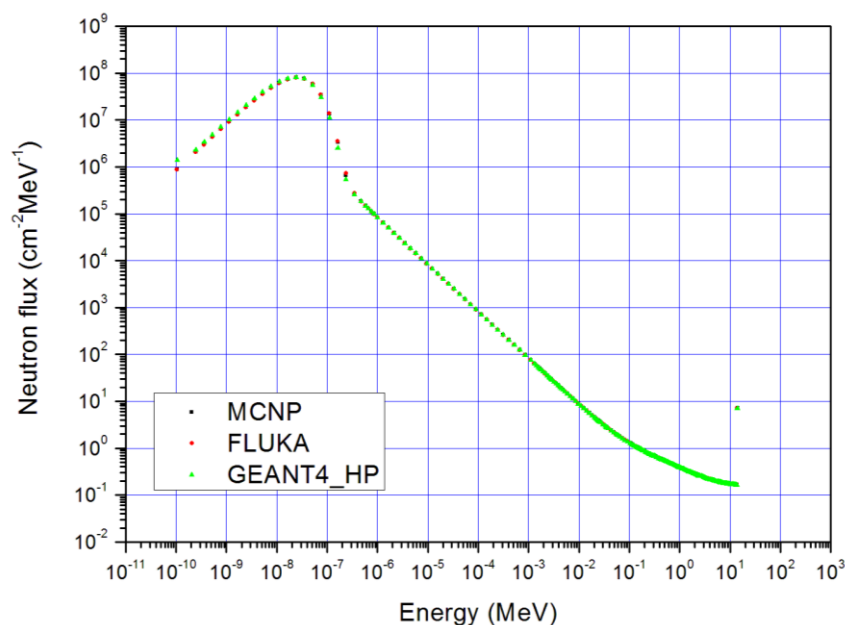


Рисунок 1.4 – Сравнение результатов взаимодействий нейтронов Geant4 с экспериментальными данными

Взаимодействия частиц в микромире носят вероятностный характер, обусловленный квантовой механикой. Поэтому эксперимент в ядерной физике представляет собой, как правило, многократное измерение совокупности случайных процессов – взаимодействия частиц и прохождения их через аппаратуру (детектор).

1.7 Ядро Geant4 и ROOT

Состоит из 17 категорий классов. Классы, описывающие основные понятия: сеанс, событие, трек, шаг, срабатывание, траектория.

Срабатывание (Hit). Описывает единичное взаимодействие частицы с веществом в детектирующем объеме. Содержит информацию о координате и времени взаимодействия, энергии и импульсе частицы в этой точке, энерговыделении, геометрическую информацию (объем, в котором произошло взаимодействие и т. п.). Служит исходной информацией для моделирования оцифрованного сигнала.

Время жизни частицы задается генератором или физическим процессом (распадом), определяется если частица исчезает (распад или поглощение частицы, приобретает нулевую энергию или пользователь удаляет её).

Шаг — базовая единица эксперимента, содержит две точки и обладает информацией о частице (потеря энергии, время счета). Каждая точка обладает информацией об объеме и типе материала. Если величина шага ограничена границей, то конечная точка стоит на границе, но уже является частью следующего объема

Поэтому такие граничные процессы как отражение и переходное излучение могут быть изучены.

В отличие от Geant3, который был создан специально для физики высоких энергий и затем был расширен до области низких энергий, Geant4 был создан явно для того, чтобы его можно было применять в медицинских целях.

Geant4 представляет инструменты с функционалом для моделирования различных процессов сгруппированных с помощью разных функций внутри

классовой структуры C++. Функции и классы позволяют обозначать нужные частицы, основные события, трек частиц в материалах и электромагнитных полях, физические процессы, управляющие взаимодействием частиц, реакцию чувствительных компонентов детекторов, визуализация полученной информации и анализ данных с необходимой степенью.

Не существует программ по умолчанию, пользователь задает необходимую информацию для запуска симуляции, предварительно выбрав определенные средства Geant4.

Базовые концепты:

- Необходимо задать геометрию системы
- Используемые материалы
- Задать первичные частицы для моделирования
- Задание первичных событий
- Отслеживание перемещения частиц через различные материалы и электромагнитные поля
- Физические процессы
- Реакция чувствительных компонентов детектора
- Генерация данных событий
- Хранение
- Визуализация

Дополнительно может потребоваться:

- Взаимодействовать с программным кодом Geant4 для контроля экспериментально
- Визуализировать полученный результат

В начале процесса, событие включает в себя первичные частицы, например от генератора, которые инжектируются в сборку. В течение процесса, каждая частица взаимодействует со сборкой и отслеживается. Когда установка заканчивается, процесс прерывается.

В конце процесса имеются следующие объекты: список первичных частиц, координаты взаимодействия, траектории частиц (моментальный снимок частицы в её среде) [21].

Geant4 позволяет отслеживать движение лептонов, бозонов, мезонов, барионов, ионов и короткоживущих частиц. В сравнении с электромагнитными взаимодействиями, которые однозначны при моделировании, ядерные взаимодействия должны описать множество каналов.

Geant4 включает различные типы взаимодействия при широком спектре энергий: от квантов света и тепловых нейтронов до высокоэнергетических реакций в Большом Адронном Коллайдере (LHC) и экспериментов с космическими лучами.

ROOT, или framework for data analysis, называют набор библиотек, объединенных связным и совместимым программным интерфейсом, с гибкой интеграцией. К примеру приведем несколько включенных библиотек:

- а) *libFFTW* – быстрое преобразование Фурье
- б) *libHistPainter* – отрисовка гистограмм
- в) *libTree* – работа с собственным форматом хранения данных.

На рисунке 1.5 показаны результаты экспериментов CMS по поиску бозона Хиггса стандартной модели, где все представленные графики были сделаны с помощью ROOT.

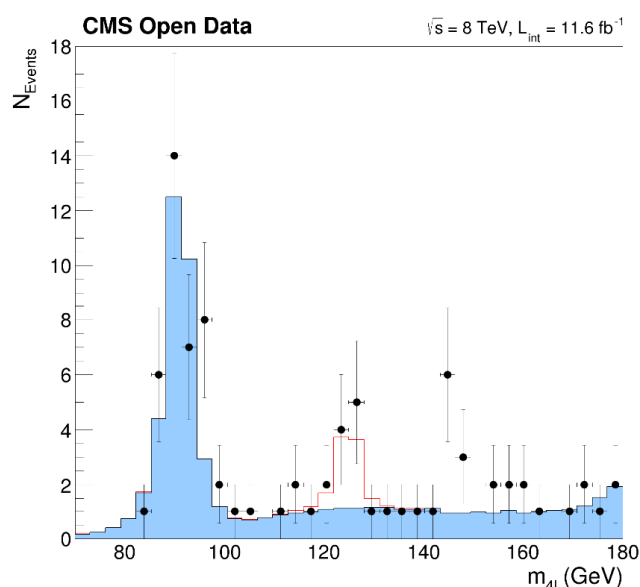


Рисунок 1.5 – Результаты CMS за 2012 год

2 Моделирование

2.1 Упругое рассеяние

Чтобы начать моделирование в GEANT4, нужно в начале задать важные параметры, а именно:

- G4DetectorConstruction: в этом классе задается геометрия детектора;
- G4PhysicsList: в этом задаются частицы и взаимодействия в котором они участвуют;
- G4PrimaryGeneratorAction: в этом классе задаются первичные частицы, тут же задаются главные параметры: энергия, направления движения и т.д.

Также, обычно переопределяют так называемые UserAction-классы – это позволяет выполнять необходимые действия на некоторых этапах моделирования в общем случае, определенных стандартной логикой Монте-Карло симуляции:

- G4UserRunAction: позволяет задать действия в начале/конце run-a. Обычно используют для того, чтобы открыть/закрыть файлы в которые будут сохраняться результаты моделирования;
- G4UserEventAction: позволяет задать действия в начале/конце event-a. Обычно используется для инициализации/сохранения гистограмм и первичного анализа;
- G4UserStackingAction: позволяет задать действия в момент появления вторичных частиц;
- G4UserTrackingAction: позволяет задать действия при начале-завершении движения частицы. Используют, например, для получения такой информации, как длина трека частицы;
- G4UserSteppingAction: позволяет задать действия выполняемые на каждом шаге движения частиц.

2.2 Создание геометрии

Геометрия модели создается в `DetectorConstruction` и будет описываться в виде иерархии тел. Наибольшее тело называется «Мировым (World)» и содержит все остальные тела геометрии. Мировой объем так же называется материнским. Для создания компьютерной модели, необходимо задать параметры материнского объема, назовем его «World», размеры которого будут соответствовать размерам пластинки:

```
G4double world_sizeX = 40 sizeX;  
G4double world_sizeY = 40 sizeY;  
G4double world_sizeZ = 40 sizeZ;
```

Далее с помощью функции `nist->FindOrBuildMaterial` задается материал «воздух», который выбирается из базы данных библиотеки. При этом будет произведена инициализация соответствующего материала в базе данных GEANT4. Форма «World» – параллелепипед.

```
G4Box* solidWorld = new G4Box("World", //its name  
world_sizeX, world_sizeY, world_sizeZ); //its size
```

Далее создается логический объем, где подключается материал, из которого сделан объем. Последний этап создания материнского объема — это создание физического объема. В данном объеме показан не только материал, но и информация о положении самого объекта в пространстве. Визуальная модель представлена на рисунке 2.1.

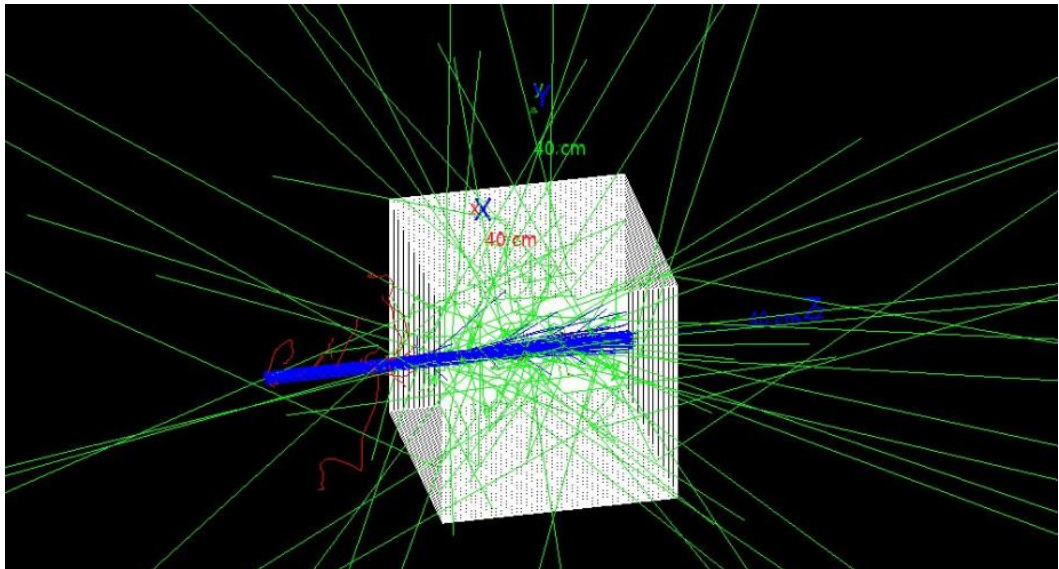


Рисунок 2.1 - Прохождение пучка протонов через исследуемый объем

2.3 Описание физических процессов

При моделировании в обязанность пользователя входит перечисление интересующих физических процессов исходя из проблематики моделирования. Делается это в классе `PhysicsList`. В нем должны создаваться определения всех частиц и для каждой частицы должны выбираться процессы, которые с ней могут происходить.

Код класса `PhysicsList` находится в файлах `PhysicsList.hh` и `PhysicsList.cc`. Он совершенно стандартный, единственный параметр, который в нем может потребоваться изменить — это порог. Он задается в `PhysicsList.cc`:

```
PhysicsList::PhysicsList()
: G4VUserPhysicsList() {
  defaultCutValue = 0.01*mm;
  SetVerboseLevel(1); }
```

Как видно, это величина с размерностью длины. Смысл ее таков: для каждого типа частиц — электронов, фотонов и т. д., — и для каждого материала вычисляется энергия, при которой эта величина совпадает со средним пробегом в данной среде. Затем, в ходе моделирования, если на некотором шаге должна родиться вторичная частица, но ее энергия меньше, чем пороговая энергия, то

эта частица не рождается, а считается поглощенной в среде в данной точке. При этом ее энергия добавляется к TotalEnergyDeposit.

2.4 Добавление первичных частиц

Для моделирования первичной частицы используется класс PrimaryGeneratorAction. Данный класс отвечает за генерацию первичных частиц. Он устанавливает тип и энергию частиц, положение источника и направление вылета частиц. Этот метод вызывается в начале каждого события и частицы, сгенерированные этим методом проходят сквозь геометрию системы до тех пор, пока либо не потеряют всю энергию, либо вылетят за пределы мирового объема. Таким образом, каждый запуск программы моделирования представляет собой последовательную обработку набор.

Генерируется с помощью G4ParticleGun или G4GeneralParticleSource (GPS).

Главное отличие этих классов, состоит в том, что, G4ParticleGun – генерирует первичные частицы с одной энергией и движущихся в одном направлении. GPS позволяет пользователю контролировать следующие характеристики первичных частиц:

- Геометрия: на 2D или 3D поверхностях, таких как диски, сферы и коробки.
- Угловое распределение: однонаправленное, изотропное, косинусное или произвольное.
- Спектр: линейный, экспоненциальный, степенной, гауссовский.
- Источники: несколько независимых источников могут использоваться в одном и том же режиме.

Рассеяние двух атомов будем считать полностью классическим, происходящим под действием потенциала:

$$V(r) = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r} \varphi\left(\frac{r}{a}\right), \quad (2.1)$$

где Z_1 и Z_2 число протонов в атомах;

e – элементарный заряд;

r – межядерное расстояние;

φ – экранирующее поле;

a – характерное расстояние экранирования.

Для большинства случаев не требуется особого поведения функции φ , поскольку используемый метод позволяет получать точное решение для большинства физически возможных случаев. С помощью потенциала $V(r)$ можно рассчитать угол рассеяния в системе центра масс

$$\varepsilon = \frac{E_c a}{Z_1 Z_2 e^2}, \quad (2.2)$$

где E_c – кинетическая энергия в системе центра масс.

Для сравнения расчета с экспериментальными данными были выбрано рассеяние α частиц с энергией 2 МэВ на пластинке Si толщиной 100 нм. Результат представлен на рисунке 2.2, при расчете использовалось 10^8 частиц.

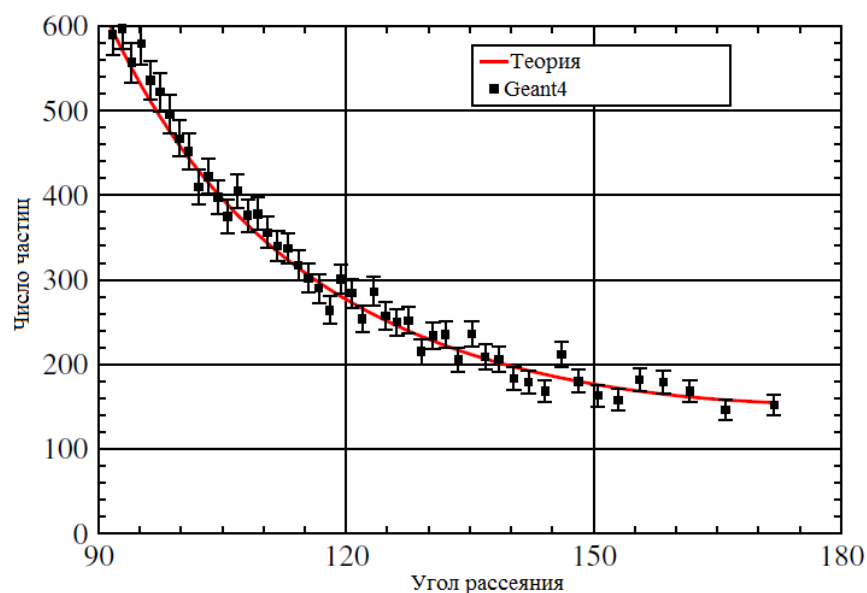


Рисунок 2.2 – Зависимость числа частиц от угла рассеяния при взаимодействии с пластинкой из Si.

2.5 Распределение дозы облучения

Сравнение между экспериментальным и смоделированным распределением дозы облучения необходимо для верификации результата. Для сравнения кривых Брэгга смоделированный куб был разделен на 4000 частей, перпендикулярных направлению пучка протонов или ядер углерода, с толщиной 10 мкм. Полученные данные были сравнены с экспериментами на INFN–LNS как для протонов, так и для ядер углерода и представлены на рисунках 2.3-2.4.

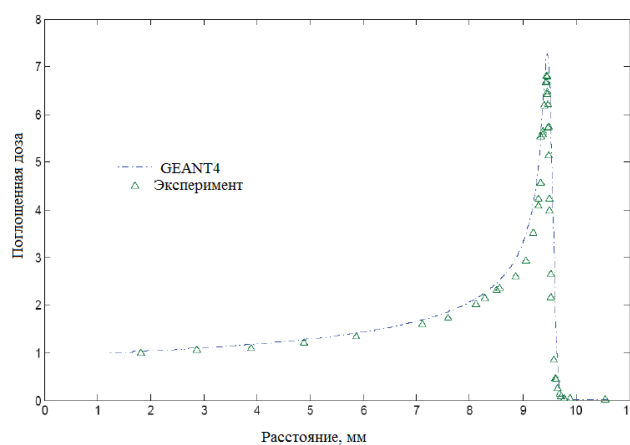


Рисунок 2.3— Зависимость поглощенной дозы от длины прохождения протона в воде

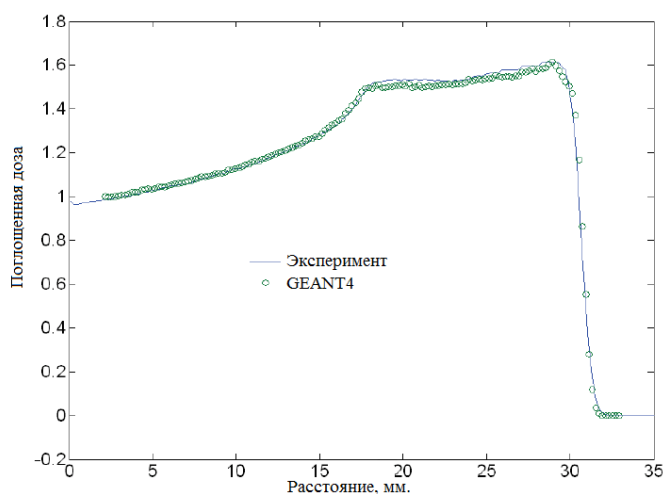


Рисунок 2.4 – Зависимость поглощенной дозы от длины прохождения ядер углерода в воде

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные денежные затраты на исследование (проект), а также дать приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы. Раздел должен быть завершен комплексной оценкой научно-технического уровня ВКР на основе экспертных данных.

3.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей не превышает двух, предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные вышеуказанные данные представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%

Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Выбор метода Монте-Карло	НР, И	НР – 100% И – 70%
Расчет геометрии устройства	НР, И	НР – 100% И – 80%
Расчет физических событий	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

3.1.1 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости плаВКРуемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя ВКР не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой ВКР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов.

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных значений продолжительности работ $t_{ОЖ}$ применяется по усмотрению исполнителя одна из двух формул.

$$t_{ОЖ} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5}; \quad (3.1)$$

$$t_{ОЖ} = \frac{t_{\min} + 4t_{\text{prob}} + t_{\max}}{6}, \quad (3.2)$$

где t_{\min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{\max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

Вторая формула дает более надежные оценки, но предполагает большую «нагрузку» на экспертов.

Для выполнения перечисленных в таблице 3.1 работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель ВКР;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях:

$$T_{\text{рд}} = \frac{t_{ОЖ}}{K_{\text{вн}}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (3.3)$$

где $K_{\text{вн}}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей;

$K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ.

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_K = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}}, \quad (3.4)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни;

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни;

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни.

При $T_{\text{КАЛ}} = 365$, $T_{\text{ВД}} = 52$, $T_{\text{ПД}} = 10$.

В таблице 3.2 приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах 3 – 5 реализован экспертный способ по формуле 3.1, при использовании формулы 3.2 необходимо вставить в таблицу дополнительный столбец для $t_{\text{проб}}$. Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта, научного руководителя и инженера, с учетом коэффициента $K_D = 1,2$.

Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{\text{ож}} \cdot K_D$. Столбцы 8 и 9 – трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на $T_K = 1,212$. Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Величины трудоемкости этапов по исполнителям ТКД, данные столбцов 8 и 9 кроме итогов, позволяют построить линейный график осуществления проекта, представленного в таблице 3.3.

Таблица 3.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{РД}$		$T_{КД}$	
					НР	И	НР	И
Постановка задачи	НР	1	2	1,4	1,54	–	1,85	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	1	3	1,8	1,71	0,27	2,05	0,32
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	7	10	8,2	-	9,02	-	10,82
Разработка календарного плана	НР, И	2	3	2,4	2,31	0,33	2,77	0,4
Обсуждение литературы	НР, И	3	4	3,4	0,61	3,13	0,73	3,76
Выбор метода Монте-Карло	НР, И	5	8	6,2	4,25	2,49	5,1	2,99
Расчет геометрии устройства	НР, И	7	14	9,8	3,87	6,91	4,64	8,29
Расчет физических событий	И	8	14	10,4	–	11,44	–	13,73
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	6	9	7,2	–	7,92	–	9,5
Оформление графического материала	И	1	3	1,8	–	1,98	–	2,38
Подведение итогов	НР, И	2	5	3,2	1,99	1,53	2,39	1,84
Итого:				55,8	16,28	45,02	19,54	54,02

Таблица 3.3 – Линейный график работы

Этап	НР	И	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
1	1,85	-	■												
2	2,05	0,32	■ ■												
3	-	10,82		■	■	■									
4	2,77	0,4				■	■								
5	0,73	3,76				■	■	■							
6	5,1	2,99					■	■	■						
7	4,64	8,29						■	■	■					
8	-	13,73								■	■	■	■		
9	-	9,5										■	■	■	■
10	-	2,38												■	■
11	1,22	2,04													■ ■

НР – ■; И – ■

3.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Цель данного пункта – оценка текущих состояний (результатов) работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего (i -го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Введем обозначения:

- $TP_{\text{общ}}$ – общая трудоемкость проекта;
- TP_i (TP_k) – трудоемкость i -го (k -го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;
- TP_i^H – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении;
- TP_{ij} (TP_{kj}) – трудоемкость работ, выполняемых j -м участником на i -м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ – индекс исполнителя, в нашем примере $m = 2$.

Степень готовности определяется формулой (3.1.2.1)

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}}. \quad (3.5)$$

Применительно к таблице (3.1.1.1) величины TP_{ij} (TP_{kj}) находятся в столбцах (6, $j = 1$) и (7, $j = 2$). $TP_{\text{общ}}$ равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Пример расчета TP_i (%) и CG_i (%) на основе этих данных содержится в таблице (3.4).

Таблице 3.4 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	TP_i , %	CG_i , %
Постановка задачи	2,51	2,51
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	3,23	5,74
Подбор и изучение материалов по тематике	14,71	20,45
Разработка календарного плана	4,31	24,76
Обсуждение литературы	5,94	30,70
Выбор метода Монте-Карло	17,58	48,28

Продолжение таблицы 3.4

Этап	ТР _i , %	СГ _i , %
Расчет геометрии устройства	18,66	66,94
Расчет физических событий	12,92	79,86
Оформление расчетно-пояснительной записки	3,23	83,09
Оформление графического материала	5,77	88,86
Подведение итогов	4,86	100,00

3.2 Расчет сметы на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

3.2.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и

прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того, статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приближенно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 – 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в границах, представленных в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	250	1 уп.	250
Картридж для принтера	1550	1 шт.	1550
Итого:			1800

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 1800 \cdot 1,05 = 1890$ руб.

3.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, в его роли выступает исполнитель проекта, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25,083}, \quad (3.6)$$

где 25,083 – среднее количество рабочих дней в месяце при шестидневной рабочей недели.

Пример расчета затрат на полную заработную плату приведены в таблице 3.6. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 3.1. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{ПР} = 1,1$; $K_{ДОП.ЗП} = 1,188$; $K_{Р} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент:

$$K_{И} = K_{ПР} \cdot K_{ДОП.ЗП} \cdot K_{Р}; \quad (3.7)$$

$$K_{И} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699.$$

Таблица 3.6 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад руб./мес.	Среднедневная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	$K_{И}$	Фон з/п, руб.
НР	33664	1342,10	16	1,699	36483,64
И	15470	616,75	45	1,62	47153,62
Итого:					81444,72

3.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту:

$$C_{СОЦ} = C_{ЗП} \cdot 0,3; \quad (3.8)$$

$$C_{СОЦ} = 83637,26 \cdot 0,3 = 25091,18.$$

3.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{ЭЛОБ} = P_{ОБ} \cdot t_{ОБ} \cdot C_{Э}, \quad (3.9)$$

где $P_{\text{ОБ}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{\text{Э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{ОБ}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $C_{\text{Э}} = 5,748$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 3.2 для инженера ($T_{\text{РД}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{ОБ}} = T_{\text{РД}} \cdot K_t, \quad (3.10)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{РД}}$, определяется исполнителем самостоятельно.

В ряде случаев возможно определение $t_{\text{ОБ}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot K_C, \quad (3.11)$$

где $P_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности.

Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Расчет затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 3.7.

Таблица 3.7. – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$, руб.
Персональный компьютер	360	0,1	206,93
Струйный принтер	2	0,1	1,15
Итого:			208,08

3.2.5 Расчет амортизационных расходов

В данной статье представлен расчёт амортизации используемого оборудования за время выполнения проекта по следующей формуле:

$$C_{\text{AM}} = \frac{H_{\text{A}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot C_{\text{ОБ}} \cdot n}{F_{\text{Д}}}, \quad (3.12)$$

где H_{A} – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{\text{ОБ}}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

$F_{\text{Д}}$ – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;

$t_{\text{ОБ}}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Например, для ПК в 2019 г., при 298 рабочих днях и 8-ми часовом рабочем дне, $F_{\text{Д}}$ равен:

$$F_{\text{Д}} = 298 \cdot 8 = 2384.$$

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

H_{A} определяется как величина обратная СА, в данном случае это:

$$H_{\text{A}} = \frac{1}{2,5} = 0,4$$

Для принтера величина годовой амортизации составляет 0,4%.

Зная значения всех коэффициентов, можно рассчитать:

$$C_{\text{AM}} = \frac{0,4 \cdot 360 \cdot 45000}{2384} + 0,004 \cdot 5000 = 2738,12.$$

3.2.6 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (C_{\text{МАТ}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{СОЦ}} + C_{\text{ЭЛ.ОБ}} + C_{\text{АМ}}) \cdot 0,1. \quad (3.13)$$

Прочие расходы в нашем случае:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (2738,12 + 208,08 + 24433,47 + 81444,89 + 1890) \cdot 0,1 = 11069,46$$

3.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта. В таблице 3.8 представлена смета затрат на разработку проекта.

Таблица 3.8 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	1890,00
Основная заработная плата	$C_{\text{ЗП}}$	81444,89
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{СОЦ}}$	24433,47
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$	208,08
Амортизационные отчисления	$C_{\text{АМ}}$	2738,12
Прочие расходы	$C_{\text{ПРОЧ}}$	11069,46
Итого:		121784,02

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 121784,02$ руб.

3.2.8 Расчет прибыли

Ввиду отсутствия данных, прибыль G рассчитана как 20 % от полной себестоимости проекта:

$$G = 121784,02 \cdot 0,2 = 24356,80. \quad (3.14)$$

3.2.9 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли:

$$\text{НДС} = (C + G) \cdot 0,2; \quad (3.15)$$

$$\text{НДС} = (121784,02 + 24356,80) \cdot 0,2 = 29228,16$$

3.2.10 Цена разработки ВКР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{ВКР}} = C + G + \text{НДС}; \quad (3.16)$$

$$C_{\text{ВКР}} = 29228,16 + 121784,02 + 24356,80 = 175368,99$$

3.3 Оценка экономической эффективности проекта

Так как данная работа носит исследовательский характер и перспективы использования её результатов не определены, то оценка экономической эффективности невозможна.

4 Социальная ответственность

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [20].

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководителями, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, согласно [20], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего, в определенных условиях, приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы ГОСТ 12.03.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на ПЭВМ, Отделение ЯТЦ НИ ТПУ	Электромагнитное излучение, вибрация	—	СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96
	—	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	—	Пожарная безопасность	Пожарная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.004-91

На студента, работающего на компьютере, воздействуют следующие факторы:

- физические: температура и влажность воздуха; шум; статическое электричество; электромагнитное поле низкой частоты; освещённость; наличие излучения;
- психофизиологические.

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ

4.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа непосредственно на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после обучения на рабочем месте. После чего сотруднику присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием перед устройством на работу.

4.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 4.1.

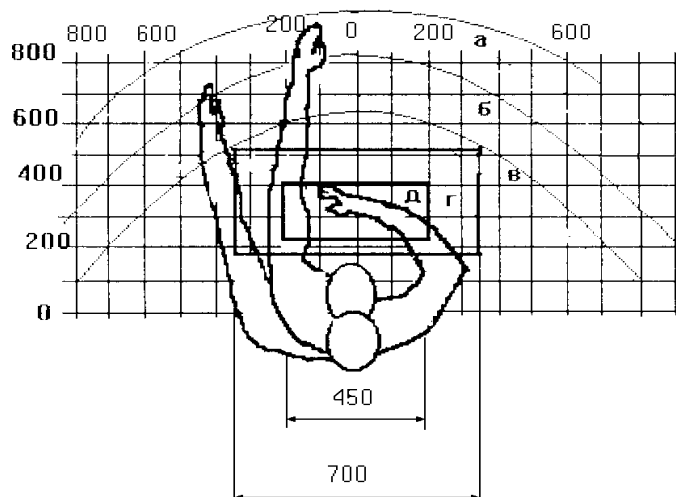


Рисунок 4.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости
 (а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при
 вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони;
 г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;
 д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы)

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах
 досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура в зоне г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);
- документация и литература, необходимая при работе постоянно, в зоне в (слева).
- документация и литература, которая не используется постоянно, в выдвижных ящиках стола в зоне в (справа).

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680 - 800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее

700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной не менее 500 мм, глубиной на уровне колен не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420 - 550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглаблённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз студента на расстоянии 500 - 600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30° . Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии от 100 до 300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15° . Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности,

рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

4.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда – это микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [21] приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23 - 25	40 - 60	0,1
Теплый	23 - 25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещении должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%,

скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20 – 25 °С, зимой – 13-15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основным недостатком такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

При работе с компьютером использовался монитор, дисплей модуль которого изготовлен из жидкокристаллической матрицы, вследствие этого воздействие ионизирующего излучения сведено к минимуму.

Экран (ЖК - мониторы) и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля. Согласно[21] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц – 25 В/м;
- в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц – 250 нТл;
- в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц – 25 нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

4.4 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ЭВМ;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ЭВМ);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Действие электрического тока на организм человека подразделяется на:

термическое воздействие, характеризующееся нагревом кожи и тканей до высокой температуры вплоть до ожогов;

– электролитическое воздействие, которое заключается в разложении органической жидкости, в том числе крови, и нарушении ее физико-химического состава;

– механическое воздействие, которое приводит к расслоению и разрыву тканей организма;

- биологическое воздействие, проявляющееся в раздражении и возбуждении живых тканей и сопровождающееся судорожными движениями мышц;

- световое воздействие, приводящее к поражению слизистых оболочек глаз.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;

- вывешивание плакатов, указывающих место работы;

- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;

- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;

- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, токоведущих частей).

4.5 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [23], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;

- работа с открытой электроаппаратурой;

- короткие замыкания в блоке питания;

- несоблюдение правил пожарной безопасности;

- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике подразделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся установление правил организации работ и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т.д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);

- применение при строительстве и отделке зданий негорюемых или трудно сгораемых материалов;

- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения – предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);

- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;

- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;

- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

Заключение

Для исследования процессов рассеяния и поглощения было проведено моделирование процессов методом Монте – Карло с помощью пакета GEANT4. Были получены следующие результаты:

- Проведен аналитический обзор тематики;
- Построена программная модель экспериментальной установки;
- Смоделированные источники показали такие же спектры, что были получены на экспериментах, упругое рассеяние α частиц на пластинке из Si подчиняется формуле Резерфорда;
- Исходя из расчетов по финансовому менеджменту стоимость ВКР составила 177 000 руб.

Список использованной литературы

1. Беспалов В.И. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом./ В.И. Беспалов. – Томск: Дельтаплан, 2006. – С. 10.
2. Г.Бете, Ю.Ашкин. Прохождение излучения через вещество. В кн.: Экспериментальная ядерная физика. Под ред. Э.Сегре. Т. 1, М., ИЛ, 1955, С. 257- 287
3. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность [Текст]. – Введ. 1983-01-07. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 2 с.
4. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы./ С.М. Ермаков. – М.: Наука, 1975. - С. 10 -37.
5. Кукин, П.П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: учеб. Пособие / П.П. Кукин, В.Л. Лапин – М., Высшая школа, 1999. – 318с.
6. Куратовский К. Теория множеств / Куратовский К., Мостовский А. // М.: Мир, 1970. — С. 14-19.
7. Куратовский К. Топология. / К.Куратовский.— М.: Мир, 1966. — С. 49 -60.
8. Мухин К. Н. Экспериментальная ядерная физика: Учеб. для вузов. В 2 кн. Кн. 1. Физика атомного ядра. Ч. I. Свойства нуклонов, ядер и радиоактивных излучений.— 7-е изд., перераб. и доп.— М.: Энергоатомиздат, 2009.— 376 с.
9. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17 июля 1999 № 181 – ФЗ // Российская газ. – 1999. – 24.07. – [С. 4]
10. Прохоров Ю.В. Теория вероятностей. Основные понятия. Предельные теоремы. Случайные процессы / Ю.В. Прохоров, Ю.А. Розанов. – М.:Наука, 1987. – С. 31-68.
11. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы»

[Текст]. – Взамен СанПиН 2.2.2.542-96; введ. 2003-06-30. – М.: Российская газета, 2003. – 3 с

12. Соболевский Н.М. Метод Монте-Карло в задачах о взаимодействии частиц с веществом.– М.: ФИЗМАЛИТ, 2017. -99 с.

13. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Текст]. – Взамен СНиП 2.01.02-85; введ. 1998-01-01. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1999. – 6 с.

14. Уилкс С. Математическая статистика./ С. Уилкс.– М.: Наука, 1967. - С. 20 -60.

15. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие/ И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

16. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло: учеб. пособ. для студ. вузов / Г.А. Михайлов, А.В. Войтишек. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 147 с.

17. Amako, K., Present status of Geant4. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2000. 453(1-2): p. 455-460.

18. Basic concepts in nuclear physics: theory, experiments and applications / J.García [et al.] // Springer. – 2015. – V) —ol. 182. – P. 145-152.

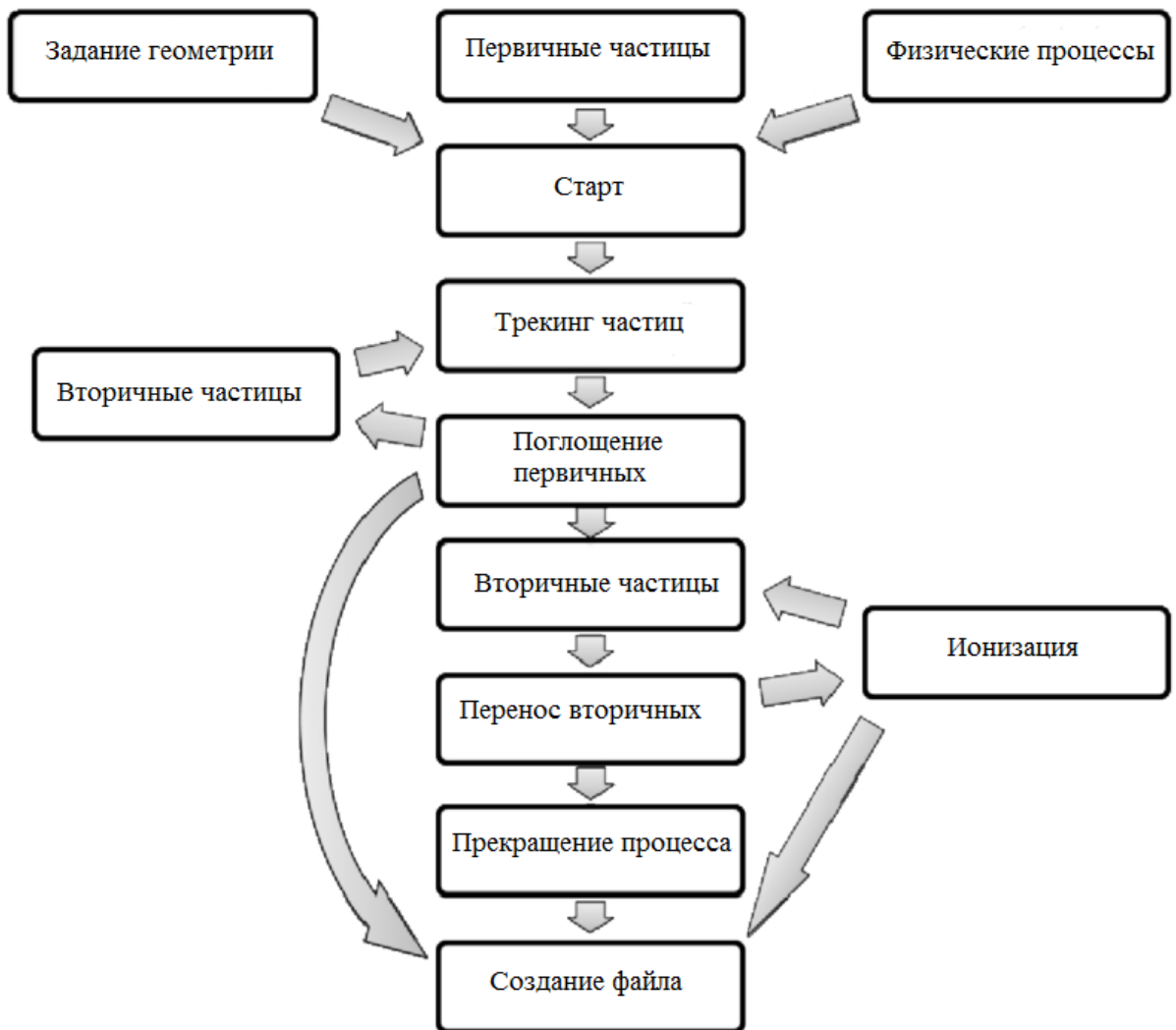
19. Charles J. Applications Of Monte Carlo Methods In Biology, Medicine And Other Fields Of Science / J. Charles, K. Mode // InTechOpen/ – 2011 – Vol. 55– P. 13-25.

20. Educated Guess Physics Lists for use cases involving hadronic physics [электронный ресурс]. URL: http://geant4.web.cern.ch/geant4/physics_lists/ (дата обращения 03.05.2019)

21. GEANT4 // Geant4.web.cern.ch [электронный ресурс] – URL:<http://geant4.web.cern.ch/geant4/G4UsersDocuments/UsersGuides/ForApplicationDeveloper/html/index.html> (дата обращения 06.05.2019)

22. Geant4 – simulation toolkit. Gostinelli [et al.] //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research – 2003. – P. 57- 68.
23. Geometry and physics of the Geant4 toolkit for high and medium energy applications / J. Apostolakis [et al.] // Radiation Physics and Chemistry – 2009 – P. 859 – 873.
24. HEP Software School II [Электронный ресурс] <https://crank.qcrypt.org> дата обращения: 08.05.2019).
25. M. Mendenhall, An algorithm for computing screened Coulomb scattering in GEANT4 / M. Mendenhall, R. Weller // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B – 2005 – P. 420-430.
26. Physics Reference Manual // Geant4 Collaboration –2018. – P. 79 -92.
27. Validation of the Geant4 electromagnetic photon cross-sections for elements and compounds / G.Cirrone [et al.] // //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A – 2010. – P. 315- 322.
28. W. M. C. Foulkes, L. Mitas, R. J. Needs and G. Rajagopal, Quantum Monte Carlo simulations of solids, reviews of Modern Physics 73 (2001)

Приложение А (обязательное)



Приложение Б

```
///  
// brief Implementation of the PhysicsList class  
//  
//  
// $Id: PhysicsList.cc 70314 2013-05-29 07:50:41Z gcosmo $  
//  
#include "PhysicsList.hh"  
#include "G4ParticleDefinition.hh"  
#include "G4ProcessManager.hh"  
#include "G4ParticleTypes.hh"  
#include "G4ParticleTable.hh"  
#include "G4SystemOfUnits.hh"  
//  
PhysicsList::PhysicsList()  
: G4VUserPhysicsList()  
{  
  defaultCutValue = 0.0*mm;  
  SetVerboseLevel(1);  
}  
//  
PhysicsList::~~PhysicsList()  
{  
}  
//  
void PhysicsList::ConstructParticle()  
{  
  // In this method, static member functions should be called  
  // for all particles which you want to use.  
  // This ensures that objects of these particle types will be  
  // created in the program.  
  ConstructBosons();
```

```

ConstructLeptons();
ConstructHadrons();
G4GenericIon::GenericIonDefinition();
}
//
void PhysicsList::ConstructBosons()
{
G4Gamma::GammaDefinition();
}
//
void PhysicsList::ConstructLeptons()
{
G4Electron::ElectronDefinition();
G4Positron::PositronDefinition();
}
void PhysicsList::ConstructHadrons()
{
G4Alpha::AlphaDefinition();
}
//
void PhysicsList::ConstructProcess()
{
AddTransportation();
ConstructEM();
ConstructHadronic();
}
//
#include "G4PhysicsListHelper.hh"
#include "G4ComptonScattering.hh"
#include "G4GammaConversion.hh"

```

```

#include "G4PhotoElectricEffect.hh"
#include "G4eMultipleScattering.hh"
#include "G4HadronElasticPhysicsHP.hh"
#include "G4IonBinaryCascadePhysics.hh"
#include "G4LossTableManager.hh"
#include "G4UnitsTable.hh"
#include "G4ProcessManager.hh"
#include "G4EmLivermorePhysics.hh"
#include "G4eIonisation.hh"
#include "G4eBremsstrahlung.hh"
#include "G4eplusAnnihilation.hh"
#include "G4HadronPhysicsQGSP_BERT.hh"
#include "G4HadronPhysicsQGSP_BIC.hh"
#include "G4HadronPhysicsQGSP_BERT_HP.hh"
#include "G4HadronPhysicsQGSP_BIC_HP.hh"
#include "G4HadronElasticPhysics.hh"
#include "G4HadronInelasticProcess.hh"
#include "G4EMDissociation.hh"
//
void PhysicsList::ConstructEM()
{
G4PhysicsListHelper* ph = G4PhysicsListHelper::GetPhysicsListHelper();
theParticleIterator->reset();
while( (*theParticleIterator)() ){
G4ParticleDefinition* particle = theParticleIterator->value();
G4String particleName = particle->GetParticleName();
if (particleName == "gamma") {
ph->RegisterProcess(new G4PhotoElectricEffect, particle);
56
ph->RegisterProcess(new G4ComptonScattering, particle);

```

```

ph->RegisterProcess(new G4GammaConversion, particle);
} else if (particleName == "e-") {
ph->RegisterProcess(new G4eMultipleScattering, particle);
ph->RegisterProcess(new G4eIonisation, particle);
ph->RegisterProcess(new G4eBremsstrahlung, particle);
} else if (particleName == "e+") {
ph->RegisterProcess(new G4eMultipleScattering, particle);
ph->RegisterProcess(new G4eIonisation, particle);
ph->RegisterProcess(new G4eBremsstrahlung, particle);
ph->RegisterProcess(new G4eplusAnnihilation, particle);
}
}
}

void PhysicsList::ConstructHadronic()
{
G4PhysicsListHelper* ph = G4PhysicsListHelper::GetPhysicsListHelper();
G4ParticleDefinition* particle = G4Alpha::AlphaDefinition();
ph->RegisterProcess(new G4HadronElasticProcess(), particle);
//ph->RegisterProcess(new G4HadronInelasticProcess(), particle);
G4HadronInelasticProcess* theIPGenericIon = new
G4HadronInelasticProcess("IonInelastic",
G4GenericIon::GenericIon() );
// Cross Section Data Set
G4EMDissociationCrossSection* theEMDCrossSection = new
G4EMDissociationCrossSection;
theIPGenericIon->AddDataSet( theEMDCrossSection );
// Model
G4EMDissociation* theEMDModel = new G4EMDissociation;
theIPGenericIon->RegisterMe(theEMDModel);
//Apply Processes to Process Manager of Neutron

```



```

G4ProcessManager* pmanager = G4GenericIon:: GenericIon()->
GetProcessManager();
pmanager->AddDiscreteProcess( theIPGenericIon );
}
//
void PhysicsList::SetCuts()
{
if (verboseLevel >0){
G4cout << "PhysicsList::SetCuts:";
G4cout << "CutLength : " << defaultCutValue/mm << " (mm)" << G4endl;
}
SetCutValue(defaultCutValue, "gamma");
SetCutValue(defaultCutValue, "proton");
SetCutValue(defaultCutValue, "Alpha");
}

```