

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Отношение фазовых объемов реакций одиночного и двойного фоторождения пионов на дейтроне</b>

УДК 539.126.341.7:539.128

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A5B	Кузин Матвей Ярославович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер испытательного центра ИШНКБ	Логинов А.Ю.	к.ф.-м.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

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.		

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии  
Отделение школы (НОЦ) 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	Кузин Матвей Ярославович

Тема работы:

Отношение фазовых объемов реакций одиночного и двойного фоторождения пионов на дейтроне

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№1550/с от 27.02.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	– Данные с экспериментов «ДЕЙТРОН» на ускорительно-накопительном комплексе ВЭПП-3.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	– кинематическое моделирование реакций одиночного и двойного фоторождения пионов на дейтроне и реализация моделирования на языке программирования C++ с использованием программного обеспечения ROOT; – расчет отношения долей экспериментальных фазовых объемов; – оценка фонового вклада реакции двойного фоторождения.

Перечень графического материала	– Презентация
---------------------------------	---------------

**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 Фотореакции на дейтроне
2 Кинематика
3 Отношение фазовых объемов
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и энергосбережение
5 Социальная ответственность

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер испытательного центра ИШНКБ	Логинов А.Ю.	к.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A5B	Кузин М.Я.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А5В	Кузин М.Я.

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОЯТЦ</b>
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	Тариф на электроэнергию – 5,748 руб. за 1 кВт·ч.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	– Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30 %.

**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	
3. Оценка экономической эффективности	

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Линейный график работ
--------------------------

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОГСН ШИП	Конотопский В. Ю.	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А5В	Кузин М.Я.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А5В	Кузин Матвей Ярославович

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

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

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

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

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

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А5В	Кузин М.Я.		

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки (специальность) 14.03.02. Ядерные физика и технологии  
 Уровень образования высшее  
 Отделение школы (НОЦ) 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)
23.04.2019	<i>Выдача задания</i>	
25.04.2019	<i>Выбор изучаемой реакции</i>	
06.05.2019	<i>Получение алгоритма моделирования</i>	
15.05.2019	<i>Реализация алгоритма на языке программирования C++</i>	
17.05.2019	<i>Проверка результатов</i>	
04.06.2019	<i>Сдача работы</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер испытательного центра ИШНКБ	Логинов А.Ю.	к.ф.-м.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 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).

Код результата	Результат обучения (компетенции)
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 61 с., 12 рис., 11 табл., 71 формула, 23 источника, 1 прил.

Ключевые слова: фоторождение пионов, пион, дейтрон, фазовый объем.

Объектом исследования является первичная обработка экспериментальных данных с помощью кинематики.

Цель работы – рассчитать доли фазовых объемов и их отношение ядерных реакций и при различных значениях энергии гамма-квантов

В процессе исследования реализован алгоритм для расчета доли экспериментального фазового объема, произведён расчёт финансовой составляющей работы, описаны внешние факторы, влиявшие на выполнение работы. В результате исследования оценен фоновый вклад реакции двойного фоторождения в наблюдаемую реакцию одиночного фоторождения.

Область применения: ядерная физика.

## **Обозначения и сокращения**

ВЭПП-3 – электрон-позитронный накопитель на встречных пучках;

ЛСК – лабораторная система координат;

СЦМ – система центра масс

## Содержание

Обозначения и сокращения.....	10
Введение.....	13
1 Фотореакции на дейтроне .....	14
1.1 Ускорительно-накопительный комплекс ВЭПП-3 .....	15
1.2 Детектирующая система.....	17
2 Кинематика .....	19
2.1 Фазовый объем .....	19
2.2 К-процедура .....	20
3. Отношение фазовых объемов .....	26
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .	32
4.1 Организация и планирование работ .....	32
4.1.1 Продолжительность этапов работ .....	33
4.1.2 Расчет накопления готовности проекта.....	38
4.1.3 Расчет сметы на выполнение проекта.....	39
4.1.4 Расчет затрат на материалы .....	39
4.1.5 Расчет заработной платы.....	40
4.1.6 Расчет затрат на социальный налог.....	41
4.1.7 Расчет затрат на электроэнергию .....	41
4.1.8 Расчет амортизационных расходов .....	43
4.1.9 Расчет прочих расходов.....	43
4.1.10 Расчет общей себестоимости разработки .....	44
4.1.11 Расчет прибыли .....	44
4.1.12 Расчет НДС .....	44
4.1.13 Цена разработки ВКР.....	44
4.1.14 Оценка экономической эффективности проекта .....	45
5 Социальная ответственность .....	46
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	46
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней.....	48

опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ .....	48
5.2.1 Организационные мероприятия.....	48
5.2.2 Технические мероприятия.....	49
5.3 Условия безопасной работы.....	51
5.4 Электробезопасность .....	53
5.5 Пожарная и взрывная безопасность .....	54
Заключение .....	57
Список использованной литературы.....	58
Приложение А .....	61

## Введение

Исследование взаимодействий элементарных частиц – важная и сложная область физики высоких энергий. Стандартная модель позволяет выполнить расчеты дифференциальных сечений реакций с участием сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий. Однако в общем случае расчеты динамики высокоэнергетических процессов являются чрезвычайно сложными. Поэтому важно найти такие особенности превращений элементарных частиц, которые не зависят от конкретного динамического механизма. Для этого нужно опереться на законы, заслуживающие безусловного доверия, и постараться чисто логически найти следствия из них. Этим следствиям мы будем вправе доверять столько же безоговорочно, как и самим законам. К числу таких законов можно отнести сохранение энергии, импульса, момента количества движения и постулаты квантовой механики.

В этой связи кинематическое моделирование ядерных реакций с помощью статистических методов широко используется при планировании и проведении экспериментов в области физики высоких энергий. Это обусловлено тем, что статистическое моделирование ядерных реакций позволяет определить оптимальное расположение детектирующей аппаратуры и предварительно оценить выход исследуемой реакции. Кроме того, моделирование позволяет предварительно оценить вклад фоновых событий в измеренные экспериментальные выходы исследуемой реакции.

Цели и задачи данной работы заключаются в следующем:

- рассчитать доли фазовых объемов и их отношение ядерных реакций  $\gamma d \rightarrow pp\pi^-$  и  $\gamma d \rightarrow pp\pi^-\pi^0$  при различных значениях энергии гамма-квантов;
- построить с помощью языка программирования C++ и программного пакета ROOT графики зависимостей отношения фазовых объемов от энергии гамма-квантов.

## 1 Фотореакции на дейтроне

Дейтрон является простейшим ядром, состоящим из протона и нейтрона, поэтому он удобен для изучения ядерных сил, экспериментальных проверок теорий об элементарном нуклон-нуклонном взаимодействии.

Изучение дейтрона ведется с первой половины прошлого столетия. В 1934 году была опубликована первая работа по фоторасщеплению дейтрона [1].

В настоящее время экспериментально исследуются как неполяризационные, так и поляризационные наблюдаемые величины. Неполяризационные наблюдаемые представляют из себя поперечные сечения реакции (дифференциальные или полные), усредненные по спиральностям начальных частиц и просуммированные по спиральностям конечных частиц. Поляризационные наблюдаемые представляют из себя квадратичные формы различных комбинаций действительных и мнимых частей амплитуды реакции. Неполяризационные наблюдаемые выражаются суммой квадратов амплитуд реакции.

Первые экспериментальные исследования неполяризационных наблюдаемых в процессах фотообразования пионов были выполнены на синхротронах и линейных ускорителях. Основную часть полученной информации составили данные, полученные в реакциях  $\gamma d \rightarrow pp\pi^-$  и  $\gamma d \rightarrow nn\pi^+$  [2, 3]. Впервые экспериментальное измерение асимметрии дифференциального сечения фотообразования пионов было выполнено на линейно-поляризованном пучке фотонов [4].

На данный момент в ИЯФ им. Будкера СО РАН на ускорительно-накопительном комплексе ВЭПП-3 ведется измерение поляризационных наблюдаемых реакций на тензорно-поляризованных дейтронах [5,6]. В этих экспериментах был применен метод внутренней сверхтонкой мишени [7]. Измерение поляризационных наблюдаемых позволяет получить информацию о

динамике системы. Экспериментально наблюдаются реакции, представленные в системе (1.1):

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma d \rightarrow d\pi^+, \\ \gamma d \rightarrow d\pi^0, \\ \gamma d \rightarrow pn, \\ \gamma d \rightarrow pn\pi^0, \\ \gamma d \rightarrow pp\pi^-, \\ \gamma d \rightarrow nn\pi^0, \\ \gamma d \rightarrow pn. \end{array} \right. \quad (1.1)$$

В работе [8] обоснован теоретический переход от реакции электрождения пиона к реакции фоторождения.

### 1.1 Ускорительно-накопительный комплекс ВЭПП-3

Накопитель ВЭПП-3 (длина 74.4 м, энергия инжекции 350 МэВ, максимальная энергия 2000 МэВ) построен в 1967 - 71 г.г., модернизирован в 1986 - 87 г.г.

Основные направления деятельности в последние годы:

- инжекция электронов и позитронов в коллайдер ВЭПП-4М;
- работа на станциях синхротронного излучения (СИ);
- работы по рентгеновской литографии и LIGA-технологии;
- изучение упругого и неупругого рассеяния электронов на внутренней поляризованной мишени (эксперимент "ДЕЙТРОН") [9].

На рисунке 1.1 представлен схематический вид ВЭПП-3.

**VEPP - 3**  
**Storage Ring, Novosibirsk**  
 $E=2\text{GeV}$

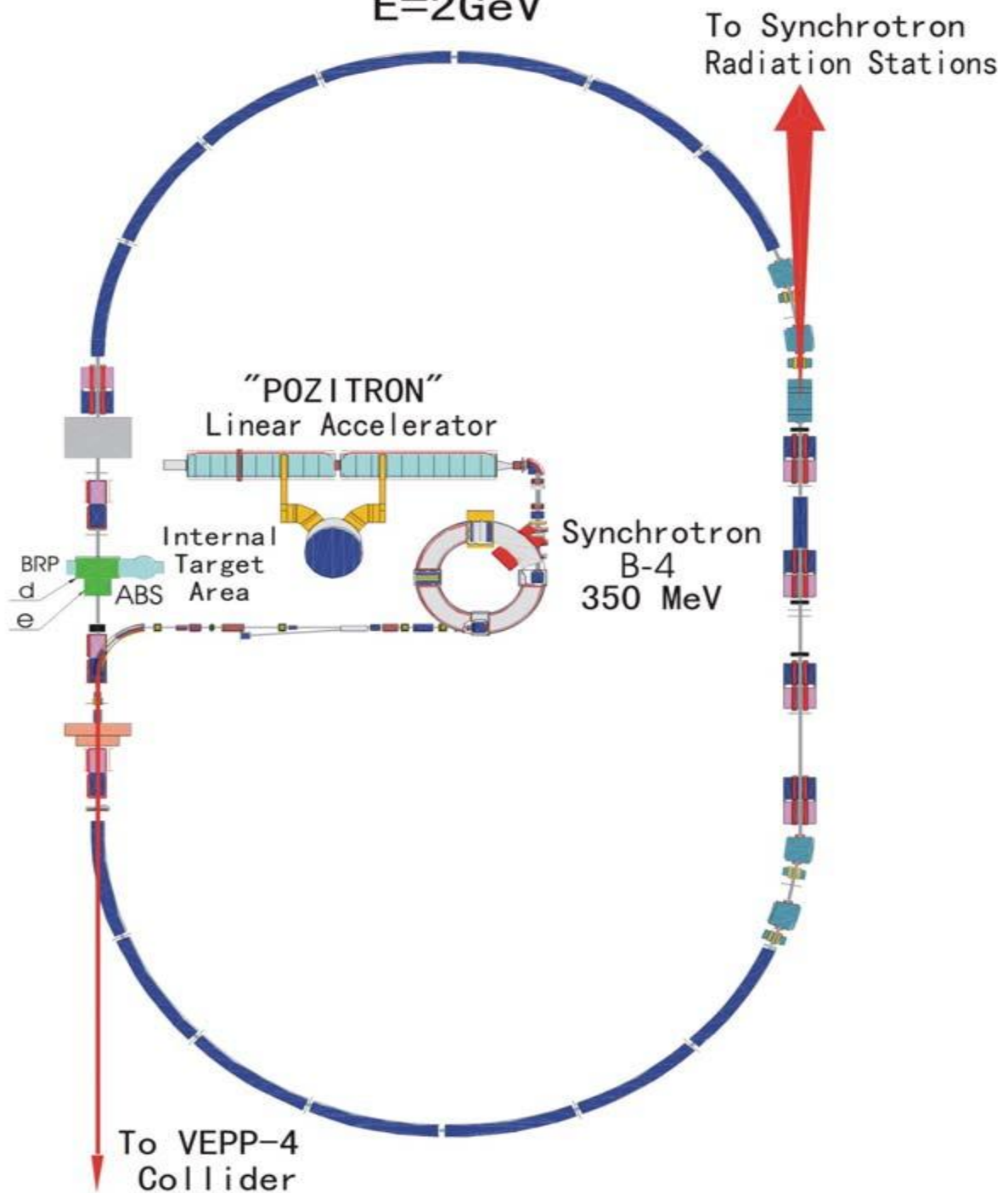


Рисунок 1.1 – Схематический вид накопителя ВЭПП-3



## 1.2 Детектирующая система

Детектирующая система проектировалась для изучения реакции фоторасщепления дейтрона [10, 11], но также возможно наблюдение реакции фоторождения пиона на дейтроне, события которой регистрируются на совпадении по двум протонам. На рисунке 1.2 представлена схема детектирующей системы.

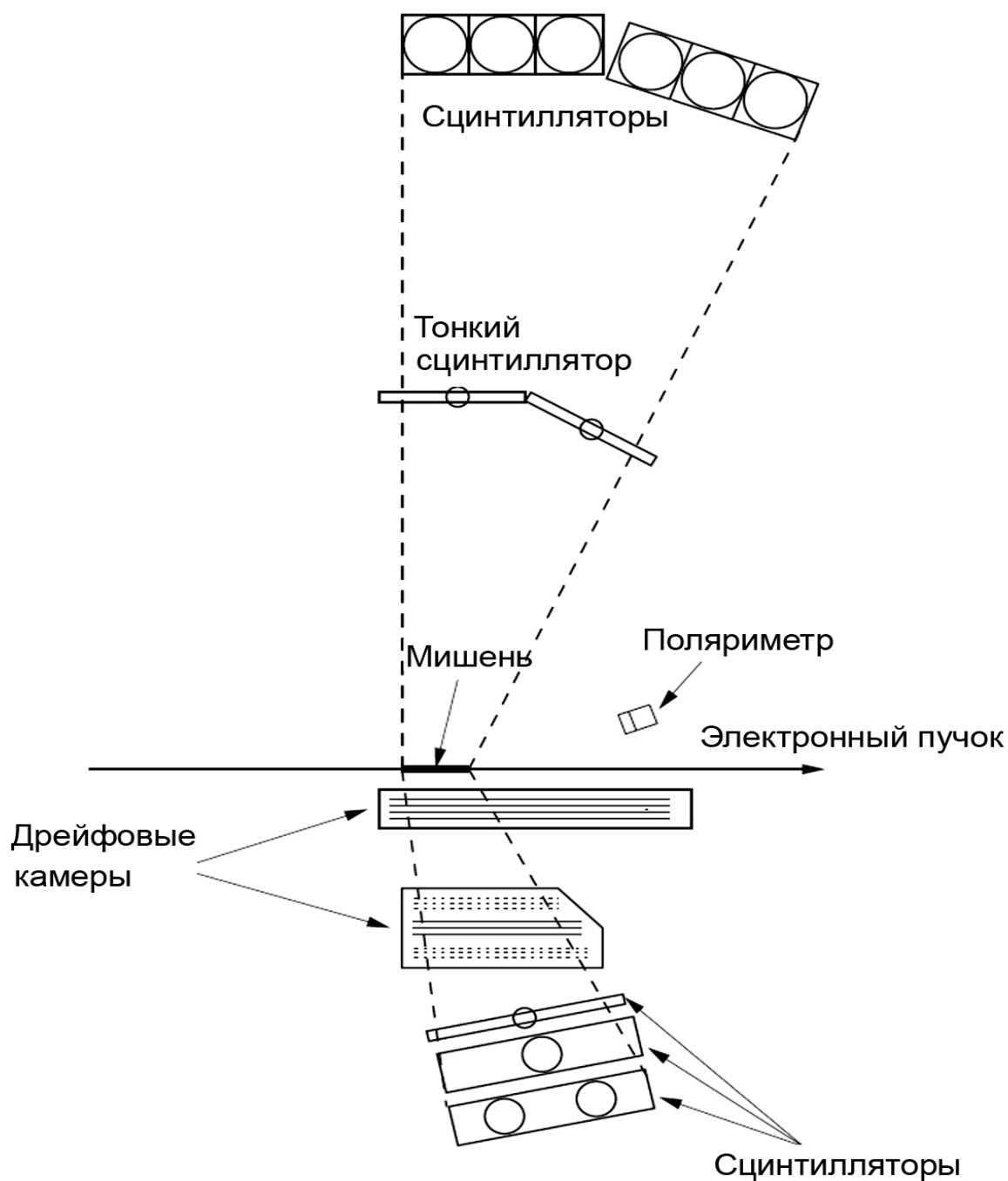


Рисунок 1.2 – Схематическое изображение детектирующей системы

Для измерения углов вылетающих частиц и определения координат вылета частицы из мишени использовались дрейфовые камеры. Возможность измерения координаты пролета частицы основана на зависимости времени дрейфа ионных пар, образованных пролетающей частицей, от расстояния между треком частицы и сигнальной проволокой.

Сцинтилляционные детекторы нижнего плеча предназначены для измерения энергии и идентификации заряженной частицы. Сцинтилляционные детекторы верхнего плеча предназначены для измерения энергии по времени пролета и углов вылета протонов и нейтронов, а также для идентификации типа частицы.

Поляриметр предназначен для определения средней поляризации атомов дейтериевой мишени за время набора статистики.

## 2 Кинематика

При наблюдении реакции  $\gamma d \rightarrow pp\pi^-$  события отбираются по двум регистрируемым протонам, однако также по двум протонам может наблюдаться реакция  $\gamma d \rightarrow pp\pi^-\pi^0$ , поэтому необходимо предварительно оценить фоновый вклад реакции двойного фоторождения с кинематической точки зрения.

Отношение фазовых объемов позволит количественно оценить фоновый вклад в зависимости от энергии фотона.

### 2.1 Фазовый объем

Совокупность следствий, вытекающих из релятивистской инвариантности и сохранения энергии-импульса, образует кинематику превращений элементарных частиц [12]. Кинематика отвечает на вопрос: что можно сказать о превращениях частиц, опираясь только на законы сохранения?

Законы сохранения 4-импульса ограничивают собою область допустимых значений импульсов системы нескольких частиц. Говоря о состоянии  $n$  частиц, задаются 4-импульсы этих частиц. Пространство состояний – импульсное пространство. Элемент объем фазового пространства  $dS$  – это произведение 4-х дифференциалов  $d^4 p_i$ :

$$dS = d^4 p_1 d^4 p_2 \dots d^4 p_n.$$

Интеграл состояний – весь объем названного фазового пространства. Требование помещать частицу на «массовую поверхность», а все их вместе – на «энергетическую поверхность», вынуждают записывать элемент фазового пространства в виде:

$$dS = \prod_1^n d^4 p_i \delta(p_i^2 - m_i^2) \delta^4 \left( \sum_1^n p_i - P_n \right), \quad (2.1)$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -ой частицы,  $P_n$  – 4-импульс всей системы  $n$  частиц.

С помощью фазовых объемов можно находить полную вероятность  $\omega$  распада на данные частицы или сечение процесса  $\sigma$ , также можно находить

распределения по любым физическим величинам, характеризующим системы  $n$  частиц.

## 2.2 К-процедура

В экспериментах невозможно расположить детектирующую аппаратуру, которая способна регистрировать частицы во всех направлениях, помимо этого имеется энергетический порог регистрации частиц. Вместо полного фазового объема приходится иметь дело с экспериментальным, который определяется ограничениями детектирующей аппаратурой.

Нет необходимости брать интеграл по (2.1), отношения экспериментальных фазовых объемов удобно считать с помощью К-процедуры, которая позволяет разыгрывать звезды равномерно во всем фазовом объеме. Экспериментальные ограничения будут учитываться при переводе переменных в ЛСК.

Задача решается с помощью расчета основных кинематических величин в системе центра масс (СЦМ) и в дальнейшем переводе их в лабораторную систему с помощью преобразований Лоренца (переменные в СЦМ будут выделены индексом \*). В СЦМ сначала будут определяться импульсы и энергии пиона и компаунд-частицы. Фотон и дейтрон образуют частицу, которая распадется на  $\pi^0$ -мезон и компаунд-частицу 1, затем компаунд-частица 1 распадется на  $\pi^-$ -мезон и компаунд-частицу 2, затем компаунд-частица 2 распадется на 2 протона.

Так как мы знаем энергию налетающего фотона  $\omega_\gamma$ , то его импульс будет равен его полной энергии. Так как дейтрон покоится, то его полная энергия будет равна его энергии покоя  $M_d$ . В лабораторной системе полная энергия  $E_0$  равна сумме энергий фотона и дейтрона, а полный импульс  $p_0$  равен энергии фотона:

$$E_0 = \omega_\gamma + M_d ; \quad (2.2)$$

$$p_0 = \omega_\gamma . \quad (2.3)$$

Одним из основных кинематических инвариантов является эффективная масса группы частиц  $m_0$ , рассчитываемая по формуле:

$$m_0 = \sqrt{E_0^2 - p_0^2}. \quad (2.4)$$

Разница между эффективной массой в СЦМ и суммой масс покоя продуктов распада называется энергосвободением  $T^*$  и определяется по формуле:

$$T^* = m_0 - \mu, \quad (2.5)$$

где  $\mu$  – сумма масс продуктов распада.

Определим кинетическую энергию компаунд-частицы 1  $T_{\kappa 1}^*$  в СЦМ. Энергосвободение  $T^*$  будет распределено между компаунд-частицей 1 и  $\pi^-$ -мезоном. Доля  $T_{\kappa 1}^*$ , приходящаяся на компаунд-частицу, будет определяться выражением:

$$T_{\kappa 1}^* = T^* \xi_3. \quad (2.6)$$

$\xi_3$  определяется из таблицы А.1, представленной в приложении А.

Эффективная масса компаунд-частицы 1 будет определяться выражением:

$$M_{\kappa 1} = \mu_3 + T_{\kappa 1}^*, \quad (2.7)$$

где  $\mu_3$  – сумма масс двух протонов и пи-ноль-мезона.

Рассчитаем энергии и импульсы пиона и компаунд-частицы в СЦМ:

$$\omega_{\pi^-}^* = \frac{m_0^2 + m_{\pi^-}^2 - M_{\kappa 1}^2}{2m_0}; \quad (2.8)$$

$$p_{\pi^-}^* = \sqrt{\omega_{\pi^-}^{*2} - m_{\pi^-}^2}; \quad (2.9)$$

$$\omega_{\kappa 1}^* = \frac{m_0^2 + M_{\kappa 1}^2 - m_{\pi^-}^2}{2m_0}; \quad (2.10)$$

$$p_{\kappa 1}^* = \sqrt{\omega_{\kappa 1}^{*2} - M_{\kappa 1}^2}. \quad (2.11)$$

Положение частицы в СЦМ определяется полярным углом  $\theta^*$  и азимутальным углом  $\varphi^*$ . Для азимутального угла  $\varphi^*$  с помощью генератора

случайных чисел разыгрывались значения от 0 до  $2\pi$ , а для косинуса полярного угла  $\theta^*$  от -1 до 1.

Составляющие импульса пиона и компаунд-частицы в СЦМ:

$$p_{\pi^-z}^* = p_{\pi^-}^* \cdot \cos\theta_{\pi^-}^* ; \quad (2.12)$$

$$p_{\pi^-y}^* = p_{\pi^-}^* \cdot \sin\theta_{\pi^-}^* \cdot \sin\varphi_{\pi^-}^* ; \quad (2.13)$$

$$p_{\pi^-x}^* = p_{\pi^-}^* \cdot \sin\theta_{\pi^-}^* \cdot \cos\varphi_{\pi^-}^* ; \quad (2.14)$$

$$p_{\kappa 1z}^* = -p_{\kappa 1}^* \cdot \cos\theta_{\pi^-}^* ; \quad (2.15)$$

$$p_{\kappa 1y}^* = -p_{\kappa 1}^* \cdot \sin\theta_{\pi^-}^* \cdot \sin\varphi_{\pi^-}^* ; \quad (2.16)$$

$$p_{\kappa 1x}^* = -p_{\kappa 1}^* \cdot \sin\theta_{\pi^-}^* \cdot \cos\varphi_{\pi^-}^* . \quad (2.17)$$

Энергии  $\pi^-$ -мезона и компаунд-частицы 1 в лабораторной системе будут равны:

$$\omega_{\pi^-} = \frac{\omega_{\pi^-}^* \cdot E_0 + p_0 \cdot p_{\pi^-z}^*}{m_0} ; \quad (2.18)$$

$$\omega_{\kappa 1} = \frac{\omega_{\kappa 1}^* \cdot E_0 + p_0 \cdot p_{\kappa 1z}^*}{m_0} . \quad (2.19)$$

Составляющие импульса  $\pi^-$ -мезона и компаунд-частицы 1 в лабораторной системе получены по формулам:

$$p_{\pi^-x} = p_{\pi^-x}^* ; \quad (2.20)$$

$$p_{\pi^-y} = p_{\pi^-y}^* ; \quad (2.21)$$

$$p_{\pi^-z} = p_{\pi^-z}^* + p_0 \frac{\omega_{\pi^-} + \omega_{\pi^-}^*}{E_0 + m_0} ; \quad (2.22)$$

$$p_{\kappa 1x} = p_{\kappa 1x}^* ; \quad (2.23)$$

$$p_{\kappa 1y} = p_{\kappa 1y}^* ; \quad (2.24)$$

$$p_{\kappa 1z} = p_{\kappa 1z}^* + p_0 \frac{\omega_{\kappa 1} + \omega_{\kappa 1}^*}{E_0 + m_0} . \quad (2.25)$$

Зная все проекции, найдем полный импульс  $\pi^-$ -мезона и компаунд-частицы 1 в лабораторной системе:

$$p_{\pi^-} = \sqrt{p_{\pi^-x}^2 + p_{\pi^-y}^2 + p_{\pi^-z}^2}; \quad (2.26)$$

$$p_{\kappa 1} = \sqrt{p_{\kappa 1x}^2 + p_{\kappa 1y}^2 + p_{\kappa 1z}^2}. \quad (2.27)$$

Полярный и азимутальный углы пиона в лабораторной системе определяются следующими формулами:

$$\theta_{\pi^-} = \arccos \frac{p_{\pi^-z}}{p_{\pi^-}}; \quad (2.28)$$

$$\varphi_{\pi^-} = \arctg \frac{p_{\pi^-y}}{p_{\pi^-x}}. \quad (2.29)$$

Кинетическая энергия  $T_{\kappa 1}^*$  будет распределена между компаунд-частицей 2 и  $\pi^0$ -мезоном. Определим кинетическую энергию компаунд-частицы 2  $T_{\kappa 2}^*$  в СЦМ компаунд-частицы 2 и  $\pi^0$ -мезона:

$$T_{\kappa 2}^* = T_{\kappa 1}^* \xi_2. \quad (2.30)$$

$\xi_2$  определяется из таблицы А.1, представленной в приложении А.

Эффективная масса компаунд-частицы 2 будет определяться выражением:

$$M_{\kappa 2} = \mu_2 + T_{\kappa 2}^*, \quad (2.31)$$

где  $\mu_2$  – сумма масс двух протонов.

Энергия и импульс  $\pi^0$ -мезона в СЦМ компаунд-частицы 2 и  $\pi^0$ -мезона:

$$\omega_{\pi^0}^* = \frac{M_{\kappa 1}^2 + m_{\pi^0}^2 - M_{\kappa 2}^2}{2M_{\kappa 1}}; \quad (2.32)$$

$$p_{\pi^0}^* = \sqrt{\omega_{\pi^0}^{*2} - m_{\pi^0}^2}. \quad (2.33)$$

Далее необходимо найти энергии и импульсы  $\pi^0$ -мезона в результате распада компаунд-частицы 1 в лабораторной системе координат.

Удобно рассматривать распад компаунд-частицы 1 в локальной системе координат, в которой орт  $\vec{k}$  служит продолжением импульса компаунд частицы либо полярной осью сферической системы координат, орт  $\vec{i}$  лежит в плоскости  $(\vec{k}, \vec{z})$ , орт  $\vec{j}$  перпендикулярен этой плоскости. Полярный угол  $\theta_{\pi^0}^*$  сферической системы координат отсчитывается от полярной оси  $\vec{k}$ , азимутальный угол  $\varphi_{\pi^0}^*$  отсчитывается в плоскости  $(\vec{i}, \vec{j})$  от оси  $\vec{i}$ .

С помощью векторной алгебры можно прийти к формулам перевода из локальной системы координат в основную (в данном случае в СЦМ).

Преобразование от повернутой системы координаты можно записать в виде:

$$\begin{pmatrix} p_{\pi^0 x}^* \\ p_{\pi^0 y}^* \\ p_{\pi^0 z}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_{\kappa 1}^* \cos \varphi_{\kappa 1}^* & -\sin \varphi_{\kappa 1}^* & \sin \theta_{\kappa 1}^* \cos \varphi_{\kappa 1}^* \\ \cos \theta_{\kappa 1}^* \sin \varphi_{\kappa 1}^* & \cos \varphi_{\kappa 1}^* & \sin \theta_{\kappa 1}^* \sin \varphi_{\kappa 1}^* \\ -\sin \theta_{\kappa 1}^* & 0 & \cos \theta_{\kappa 1}^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_{\pi^0 i}^* \\ p_{\pi^0 j}^* \\ p_{\pi^0 k}^* \end{pmatrix}, \quad (2.34)$$

где  $p_{\pi^0 i}^* = p_{\pi^0}^* \sin \theta_{\pi^0}^* \cos \varphi_{\pi^0}^*$ ,  $p_{\pi^0 j}^* = p_{\pi^0}^* \sin \theta_{\pi^0}^* \sin \varphi_{\pi^0}^*$ ,  $p_{\pi^0 k}^* = p_{\pi^0}^* \cos \theta_{\pi^0}^*$ .

Для азимутального угла  $\varphi_{\pi^0}^*$  с помощью генератора случайных чисел разыгрывались значения от 0 до  $2\pi$ , а для косинуса полярного  $\theta_{\pi^0}^*$  – от -1 до 1.

Энергия  $\pi^0$ -мезона в лабораторной системе будет равна:

$$\omega_{\pi^0} = \frac{\omega_{\pi^0}^* \cdot \omega_{\kappa 1} + \vec{p}_{\kappa 1} \cdot \vec{p}_{\pi^0}^*}{M_{\kappa 1}}. \quad (2.35)$$

Составляющие импульса протона в лабораторной системе получены по формулам:

$$p_{\pi^0 x} = p_{\pi^0 x}^* + p_{\kappa 1 x} \lambda_{\pi^0}; \quad (2.36)$$

$$p_{\pi^0 y} = p_{\pi^0 y}^* + p_{\kappa 1 y} \lambda_{\pi^0}; \quad (2.37)$$

$$p_{\pi^0 z} = p_{\pi^0 z}^* + p_{\kappa 1 z} \lambda_{\pi^0}, \quad (2.38)$$

где  $\lambda_{\pi^0} = \frac{\omega_{\pi^0} + \omega_{\pi^0}^*}{\omega_{\kappa 1} + M_{\kappa 1}}$ .



Полный импульс  $\pi^0$ -мезона в лабораторной системе равен:

$$P_{\pi^0} = \sqrt{P_{\pi^0_x}^2 + P_{\pi^0_y}^2 + P_{\pi^0_z}^2}. \quad (2.39)$$

Полярный и азимутальный углы  $\pi^0$ -мезона в лабораторной системе отсчета будут равны:

$$\theta_{\pi^0} = \arccos \frac{P_{\pi^0_z}}{P_{\pi^0}}; \quad (2.40)$$

$$\varphi_{\pi^0} = \arctg \frac{P_{\pi^0_y}}{P_{\pi^0_x}}. \quad (2.41)$$

Те же операции были проделаны для компаунд-частицы 2 и ее продуктов распада, в результате чего были определены углы и импульсы обоих протонов:

$$P_{p_i} = \sqrt{P_{p_i_x}^2 + P_{p_i_y}^2 + P_{p_i_z}^2}; \quad (2.42)$$

$$\theta_{p_i} = \arccos \frac{P_{p_i_z}}{P_{p_i}}; \quad (2.43)$$

$$\varphi_{p_i} = \arctg \frac{P_{p_i_y}}{P_{p_i_x}}. \quad (2.44)$$

### 3. Отношение фазовых объемов

В данной работе проводился расчет отношений экспериментальных фазовых объемов для экспериментов 1999 [13], 2002 [14, 15] и 2018 годов. В таблице 3.1 представлены ограничения детектирующей аппаратуры, определяющие экспериментальный фазовый объем каждого эксперимента. Индекс 1 относится к протонам, регистрируемым в верхнем плече, индекс 2 к протонам, регистрируемым в нижнем.

Таблица 3.1 – Ограничения детектирующей аппаратуры

	1999	2002	2018
$E_1$ , МэВ	50÷200	15÷200	50÷400
$E_2$ , МэВ	50÷200	15÷200	50÷200
$\theta_1$ , °	50÷90	50÷90	40÷100
$\theta_2$ , °	50÷90	50÷90	50÷95
$\varphi_1$ , °	0±30	0±12	0±40
$\varphi_2$ , °	180±30	180±30	180±15

Для двух реакции на языке программирования C++ [16] был реализован алгоритм К-процедуры (2.2-2.44) на  $10^8$  итераций для энергии фотона от порогового значения до 2 ГэВ с шагом 20 МэВ. События, которые попадали в ограничения детектирующей аппаратуры, принимались счетчиком. Доля экспериментального фазового объема определялась отношением значения счетчика в конце программы ко всем разыгранным событиям. Отношение долей экспериментальных фазовых объемов позволяет оценить фоновый вклад реакции двойного фоторождения.

В результате с помощью программного пакета ROOT были получены рисунки 3.1-3.9.

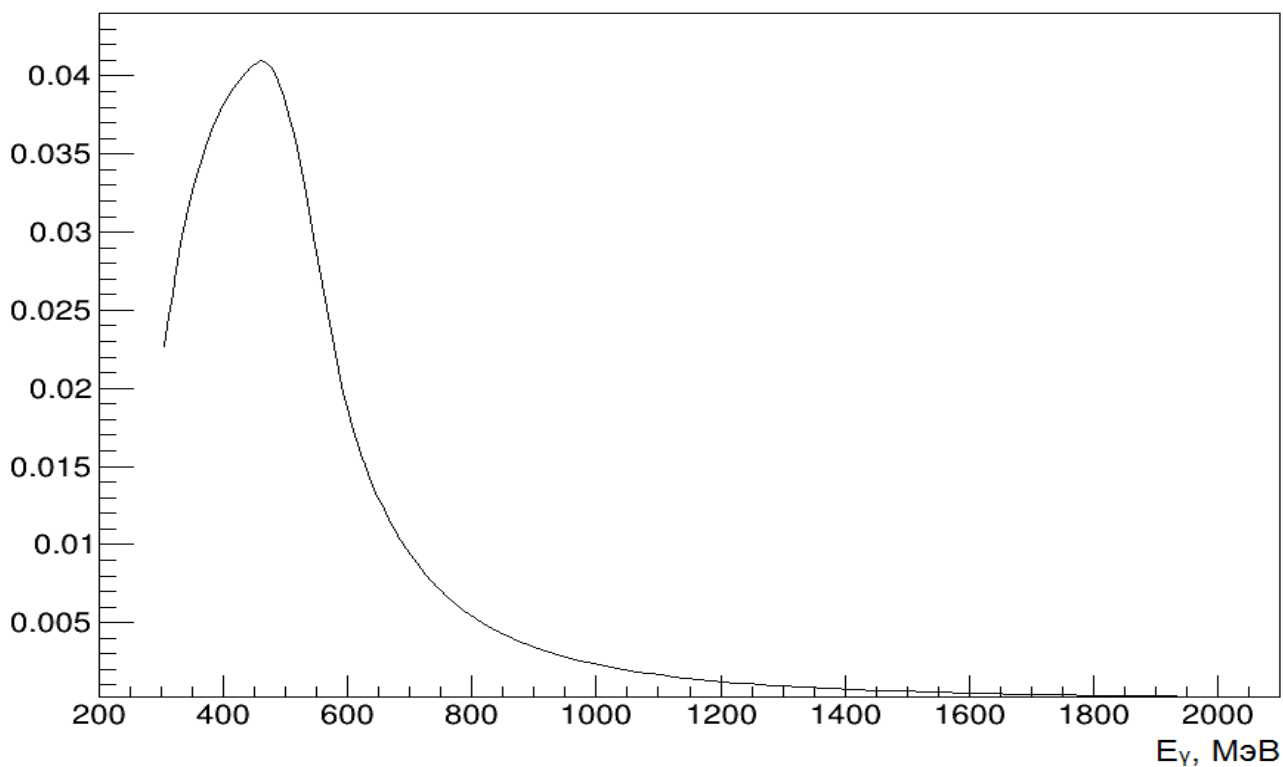


Рисунок 3.1 – Доля экспериментального фазового объема реакции одиночного рождения пи-мезона в зависимости от энергии фотона в эксперименте 1999г.

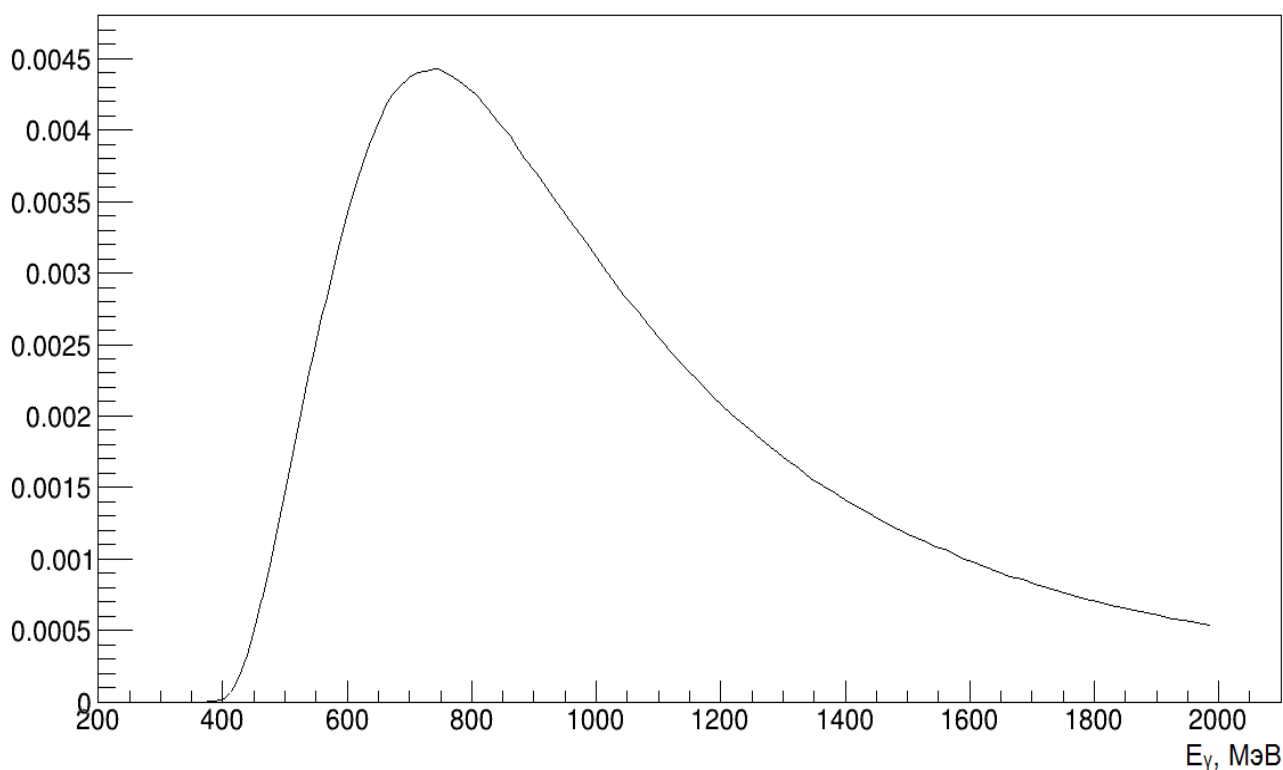


Рисунок 3.2 – Доля экспериментального фазового объема реакции двойного рождения пи-мезонов в зависимости от энергии фотона в эксперименте 1999г.

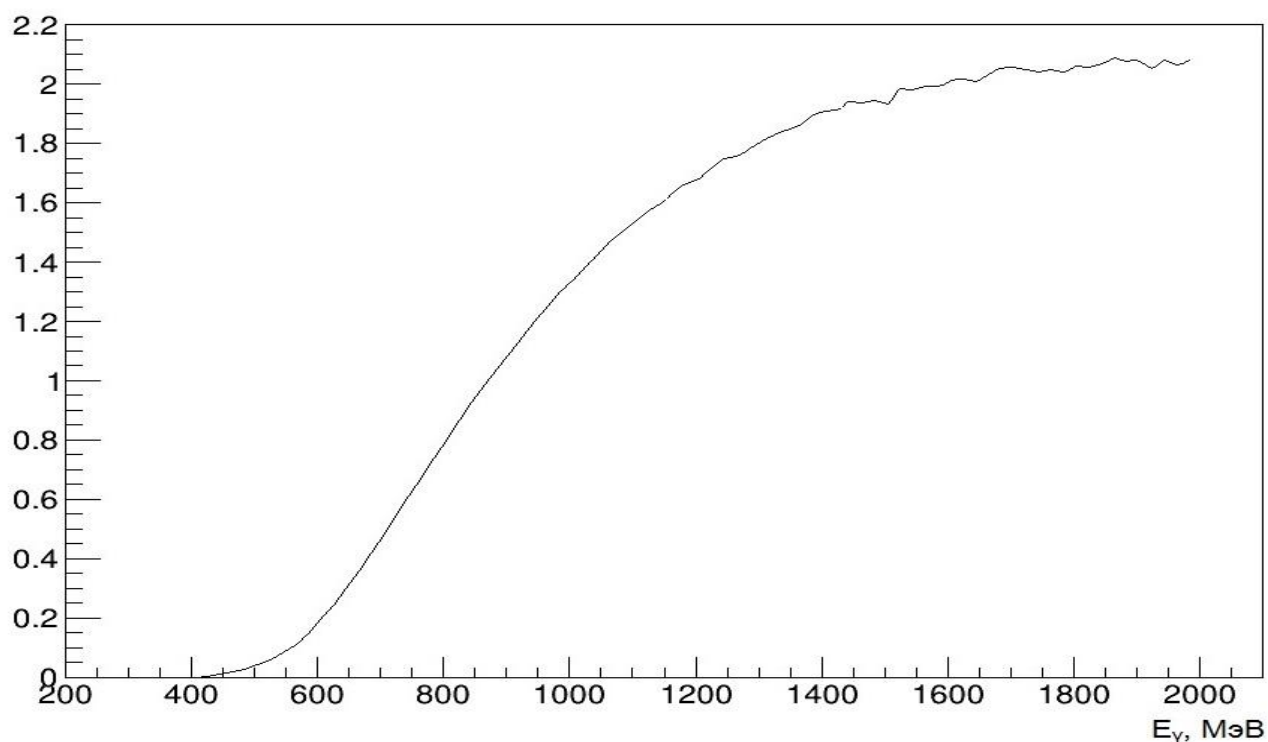


Рисунок 3.3 – Отношение долей экспериментальных фазовых объемов реакций двойного и одиночного фоторождения пи-мезона от энергии фотона в эксперименте 1999г.

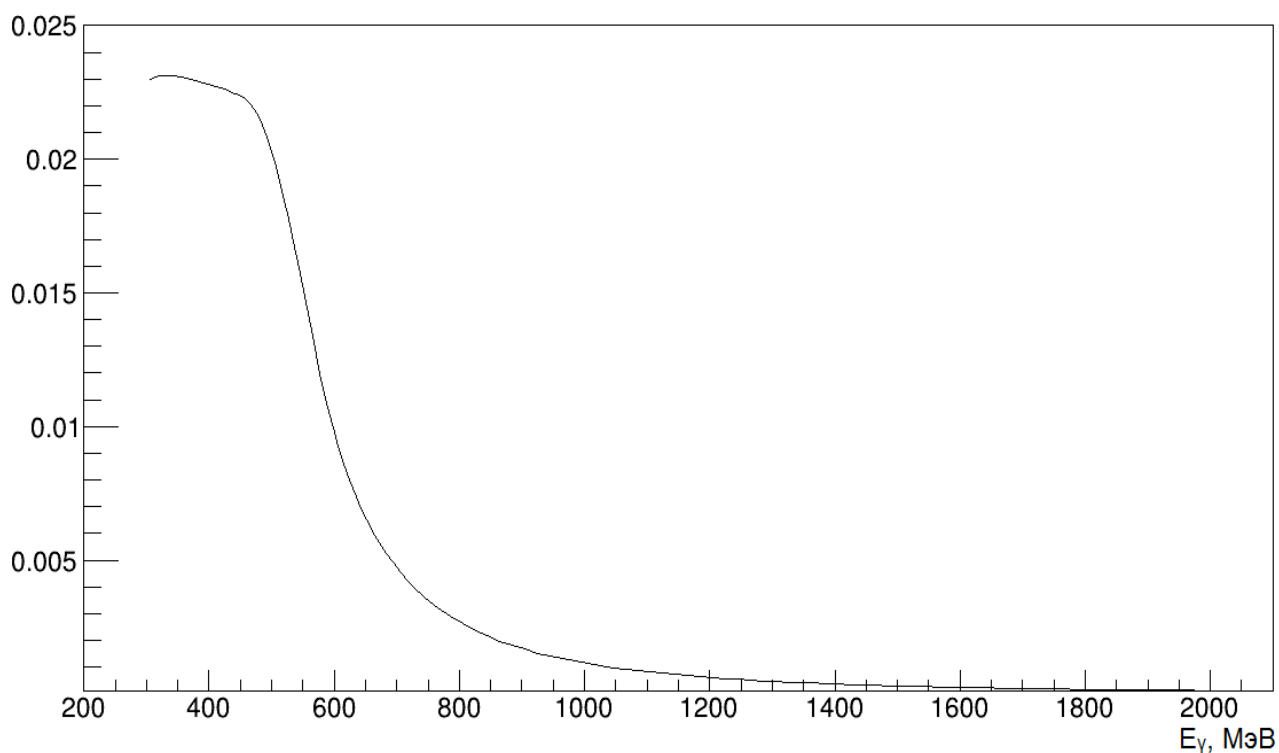


Рисунок 3.4 – Доля экспериментального фазового объема реакции одиночного рождения пи-мезона в зависимости от энергии фотона в эксперименте 2002г.

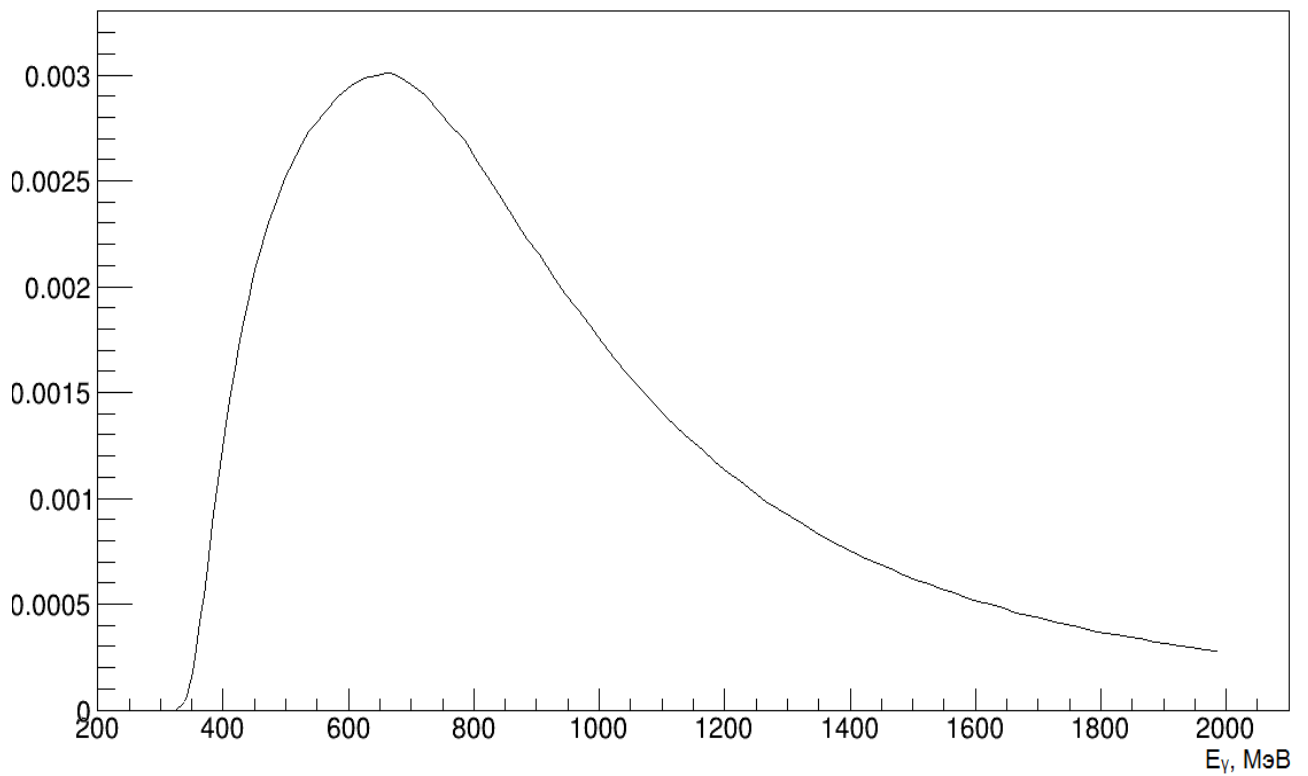


Рисунок 3.5 – Доля экспериментального фазового объема реакции двойного рождения пи-мезонов в зависимости от энергии фотона в эксперименте 2002г.

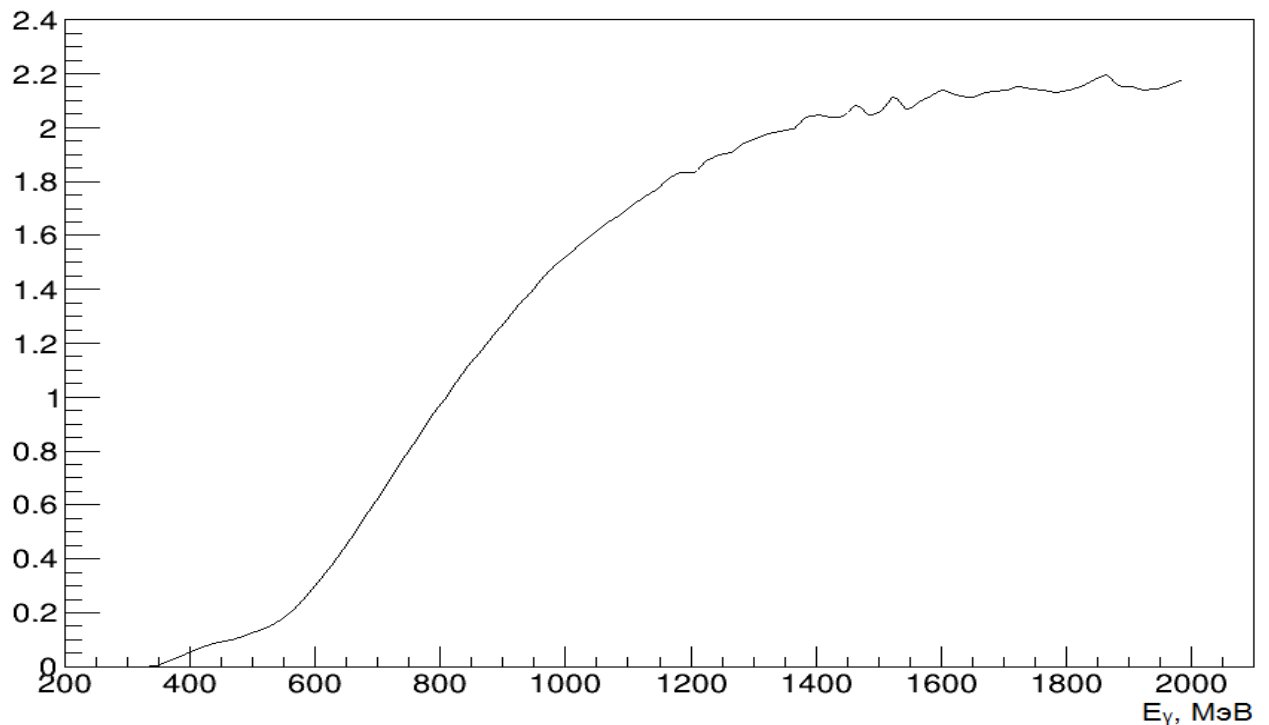


Рисунок 3.6 – Отношение долей экспериментальных фазовых объемов реакций двойного и одиночного фоторождения пи-мезона от энергии фотона в эксперименте 2002г.

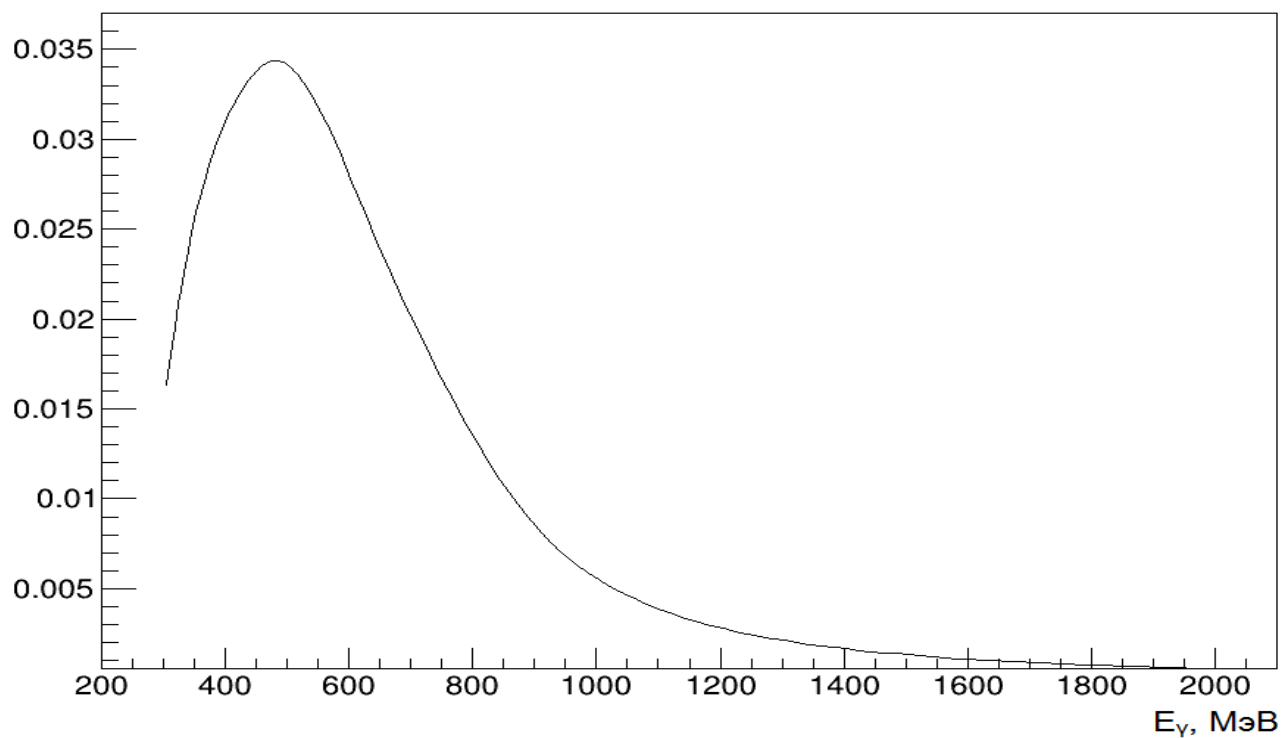


Рисунок 3.7 – Доля экспериментального фазового объема реакции одиночного рождения пи-мезона в зависимости от энергии фотона в эксперименте 2018г.

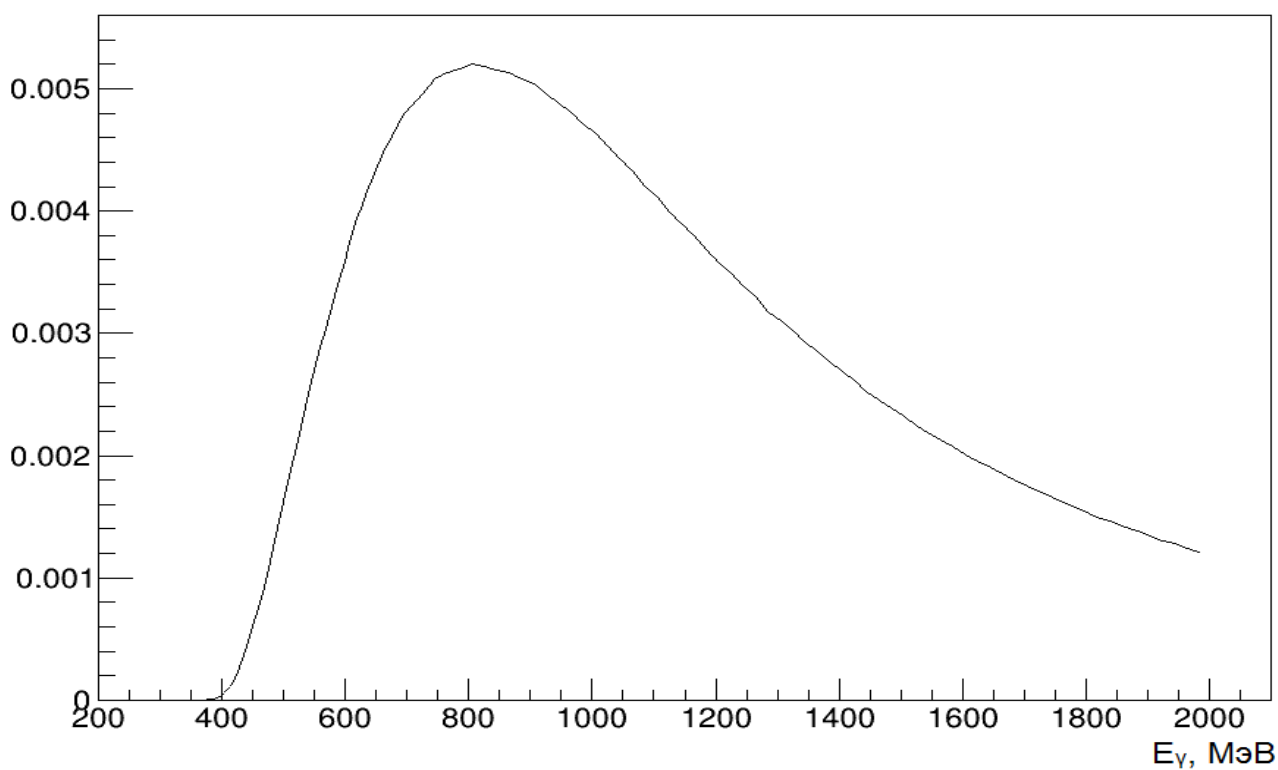


Рисунок 3.8 – Доля экспериментального фазового объема реакции двойного рождения пи-мезонов в зависимости от энергии фотона в эксперименте 2018г

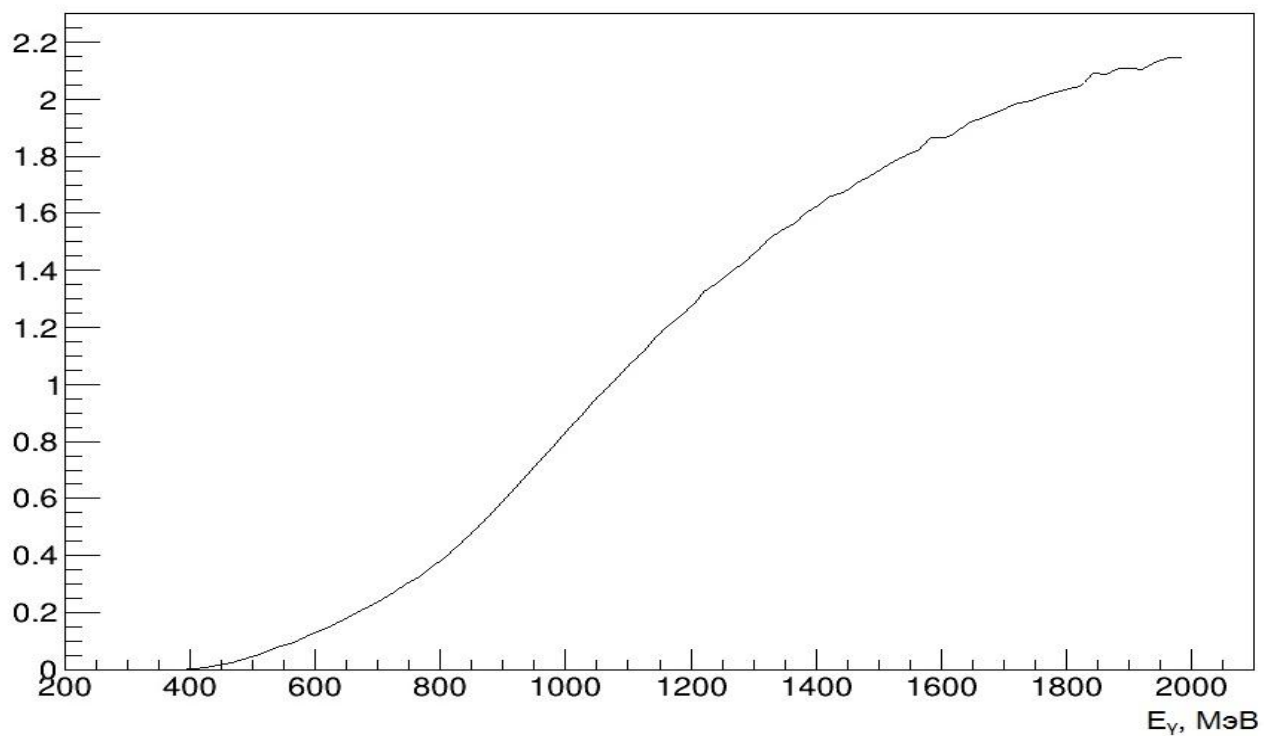


Рисунок 3.9 – Отношение долей экспериментальных фазовых объемов реакций двойного и одиночного фоторождения пи-мезона от энергии фотона в эксперименте 2018г.

## 4 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.

### 4.1 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 4.1.

Таблица 4.1 – 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%



Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Выбор моделируемой реакции	НР, И	НР – 100% И – 70%
Получение алгоритма моделирования	НР, И	НР – 100% И – 80%
Реализация алгоритма на языке C++	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

#### 4.1.1 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 планируемых 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.

$$t_{ОЖ} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5} \quad (4.1)$$

$$t_{ОЖ} = \frac{t_{\min} + 4t_{\text{prob}} + t_{\max}}{6} \quad (4.2)$$

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

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

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

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

Для выполнения перечисленных в таблице 4.1 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:

$$T_{\text{РД}} = \frac{t_{ОЖ}}{K_{\text{ВН}}} \cdot K_{\text{Д}}, \quad (4.3)$$

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:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (4.4)$$

где  $T_{КАЛ}$  – календарные дни;

$T_{ВД}$  – выходные дни;

$T_{ПД}$  – праздничные дни.

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

В таблице 4.2 приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах 3 – 5 реализован экспертный способ по формуле 4.1, при использовании формулы 4.2 необходимо вставить в таблицу дополнительный столбец для  $t_{\text{гроб}}$ . 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 4.3.

Таблица 4.1 – 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
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка задачи	НР	2	4	2,8	3,36	–	4,07	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	3	2,4	2,88	0,29	3,5	0,35
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	12	15	13,2	4,75	15,84	5,75	19,16
Разработка календарного плана	НР, И	2	4	2,8	3,36	0,33	4,07	0,39
Обсуждение литературы	НР, И	3	6	4,2	1,51	5,04	1,83	6,1
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	7	14	9,8	11,76	8,23	14,25	9,9
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	6	9	7,2	8,64	6,91	10,47	8,36
Расчет принципиальной схемы устройства	И	8	14	10,4	–	12,48	–	15,1
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	6	9	7,2	–	8,64	–	10,45
Оформление графического материала	И	5	6	5,4	–	6,48	–	7,84
Подведение итогов	НР, И	5	8	6,2	4,46	7,44	5,4	9
Итого:				71,6	40,54	63,01	49,34	86,65

Таблица 4.3 – Линейный график работы

Этап	НР	И	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42
1	2,04	-	■													
2	2,04	0,20	■	■												
3	0,61	2,04		■	■											
4	2,04	0,20		■	■											
5	0,61	2,04			■	■										
6	2,04	1,43				■	■									
7	9,31	7,45					■	■	■	■						
8	-	11,34								■	■	■	■	■	■	
9	-	4,94													■	■
10	-	2,04														■
11	1,22	2,04														■

НР – ■; И – ■

#### 4.1.2 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:

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}} \quad (4.5)$$

Применительно к таблице 4.1 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 4.4.

Таблица 4.4 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	$TP_i$ , %	$CG_i$ , %
Постановка задачи	4,86	4,86
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	4,86	9,72
Подбор и изучение материалов по тематике	4,86	14,58
Разработка календарного плана	4,86	19,44
Обсуждение литературы	4,86	24,31

Этап	ТР <sub>i</sub> , %	СГ <sub>i</sub> , %
Выбор моделируемой реакции	4,86	29,17
Получение алгоритма моделирования	22,22	51,39
Реализация алгоритма на языке C++	27,08	78,47
Оформление расчетно-пояснительной записки	11,81	90,28
Оформление графического материала	4,86	95,14
Подведение итогов	4,86	100,00

#### **4.1.3 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.

#### **4.1.4 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). Приблизительно 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 6.5.

Таблица 4.5 – 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:

$$C_{\text{МАТ}} = 1800 \cdot 1,05 = 1890.$$

#### 4.1.5 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:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{20,58} \quad (4.6)$$

где 20,58 – среднее количество рабочих дней в месяце при пятидневной рабочей недели.

Пример расчета затрат на полную заработную плату приведены в таблице 4.6. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 4.1. Для учета в ее составе премий,



дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:  $K_{\text{ПР}} = 1,1$ ;  $K_{\text{ДОП.ЗП}} = 1,133$ ;  $K_{\text{Р}} = 1,3$ . Таким образом, для перехода от тарифной суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент:

$$K_{\text{И}} = K_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{ДОП.ЗП}} \cdot K_{\text{Р}}; \quad (4.7)$$

$$K_{\text{И}} = 1,1 \cdot 1,133 \cdot 1,3 = 1,62.$$

Таблица 4.6 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад руб./мес.	Среднедневная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	$K_{\text{И}}$	Фон з/п, руб.
НР	10223	496,76	17	1,62	13680,34
И	9489	461,07	28	1,62	20914,53
Итого:					34594,87

#### 4.1.6 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:

$$C_{\text{СОЦ}} = C_{\text{ЗП}} \cdot 0,3; \quad (4.8)$$

$$C_{\text{СОЦ}} = 30240,55 \cdot 0,3 = 9072,17.$$

#### 4.1.7 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:

$$C_{\text{ЭЛОБ}} = P_{\text{ОБ}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot C_{\text{Э}}, \quad (4.9)$$

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 4.1 для инженера ( $T_{\text{РД}}$ ) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{ОБ}} = T_{\text{РД}} \cdot K_t, \quad (4.10)$$

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:

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot K_C, \quad (4.11)$$

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 4.7.

Таблица 4.7 – 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	224	0,3	386,30
Струйный принтер	2	0,1	1,15
Итого:			387,42

#### 4.1.8 Расчет амортизационных расходов

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

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot t_{OB} \cdot C_{OB} \cdot n}{F_D}, \quad (4.12)$$

где  $H_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{OB}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

$F_D$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;

$t_{OB}$  – 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,  $F_D$  равен:

$$F_D = 298 \cdot 8 = 2384.$$

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:

$$H_A = \frac{1}{2,5} = 0,4$$

Зная значения всех коэффициентов, можно рассчитать:

$$C_{AM} = \frac{0,4 \cdot 224 \cdot 60000 \cdot 1}{2384} = 2255,03.$$

#### 4.1.9 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:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (C_{\text{МАТ}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{СОЦ}} + C_{\text{ЭЛ.ОБ}} + C_{\text{АМ}}) \cdot 0,1. \quad (4.13)$$

Прочие расходы в нашем случае:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (1890 + 34594,87 + 10378,46 + 387,42 + 2255,03) \cdot 0,1 = 4761,58.$$

#### 4.1.10 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Отношение фазовых объемов реакций одиночного и двойного фоторождения пионов на дейтроне», представленную в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	1890,00
Основная заработная плата	$C_{\text{ЗП}}$	34594,87
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{СОЦ}}$	10378,46
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$	387,42
Амортизационные отчисления	$C_{\text{АМ}}$	2255,03
Прочие расходы	$C_{\text{ПРОЧ}}$	4761,58
Итого:		54267,36

Таким образом, затраты на разработку составили  $C = 54267,36$  руб.

#### 4.1.11 Расчет прибыли

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

$$G = C \cdot 0,2 = 10853,47; \quad (4.14)$$

#### 4.1.12 Расчет НДС

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

$$\text{НДС} = (C + G) \cdot 0,2; \quad (4.15)$$

$$\text{НДС} = (54267,36 + 10853,47) \cdot 0,2 = 13024,17.$$

#### 4.1.13 Цена разработки ВКР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$\Pi_{\text{НИР}} = C + G + \text{НДС}; \quad (4.16)$$

$$\Pi_{\text{НИР}} = 54267,36 + 10853,47 + 13024,17 = 78145.$$

#### **4.1.14 Оценка экономической эффективности проекта**

Оценка экономической эффективности некорректна ввиду чисто научного характера работы.

## **Заключение**

Во всех трех экспериментах экспериментальная зависимость отношения долей экспериментальных фазовых объемов реакций двойного и одиночного фоторождения имеет схожее поведение.

Начиная с энергии фотона 600 МэВ, вклад двойного фоторождения составляет примерно 10% от вклада одиночного, следовательно, при больших энергиях фотона нельзя пренебречь вкладом двойного рождения при восстановлении кинематики реакции по двум зарегистрированным протонам.

С точки зрения кинематики фоновый вклад двойного фоторождения начинает преобладать над одиночным при энергиях фотона 850 МэВ.

Начиная с энергии фотона 1,5 ГэВ, вклад двойного фоторождения превышает вклад одиночного в два раза и становится преобладающим

## Список использованной литературы

1. Chadwick, J. A Nuclear photo-effect: disintegration of the Dipion by  $\gamma$ -rays / J. Chadwick, M. Goldhaber // Nature. – 1934. – № 134. – P.237- 238.
2. Forward electroproduction of single charged pions in the resonance region using a deuterium target / J.V. Morris, D.C. Darvill, M. Davenport // Physics Letters B. – 1978. – Vol. 73. – P.495-499.
3. Александров, Ю.М. Соотношение сечений фоторождения положительных пионов на дейтерии и водороде в районе первого резонанса / Ю.М. Александров, В.Б. Ганенко, В.Ф. Грушин // Ядерная Физика. – 1974. – Т. 20, №5 – С.915.
4. Ганенко, В.Б. Соотношение асимметрий сечения фоторождения положительных пионов на дейтерии и водороде в районе первого резонанса / В.Б. Ганенко, В.Г. Горбенко, Ю.В. Жербовский // Ядерная Физика. – 1976. – Т. 23, № 1. – С.107.
5. Весновский, Д.К. Измерение асимметрии в упругом и неупругом рассеянии электронов на тензорно-поляризованной мишени при энергиях 180 и 400 МэВ / Д.К. Весновский, Б.Б. Войцеховский, В.Ф. Дмитриев // Препринт. – Новосибирск: ИЯФ СО РАН, 1986.
6. The measurement of the asymmetry of tensor-polarized deuteron electrodisintegration at 180 MeV electron energy / M.V. Mostovoy, D.M. Nikolenko, K.T. Ospanov et al. // Physics Letters B. – 1987. – Vol. 188. – P. 181-185.
7. Эксперименты с мишенью в электронном накопителе / Г.И. Будкер, А.П. Онучин, С.Г. Попов, Г.М. Тумайкин // Ядерная физика. – 1967. – Т. 6. – С. 775.
8. Измерение компонент тензорной анализирующей способности реакции  $\gamma d \rightarrow pp\pi^-$  при больших импульсах протонов / В.В. Гаузштейн, С.А Зеваков, А.Ю. Логинов // Ядерная физика. – 2015. – Т. 78 № 1-2. – С.3-11.

9. Ускорительный комплекс ВЭПП-4 / А.Н. Алишаев, В.В. Анашин, О.В. Анчугов, А.М. Батраков и др. // Препринт. – Новосибирск: ИЯФ СО РАН, 2011.
10. Measurement of Tensor Analyzing Powers in Deuteron Photodisintegration / I.A. Rachek, L.M. Barkov, S.L. Belostotsky et al. // Physical Review Letters. – 2007. – Vol. 98. – P. 182303.
11. Рачек И.А. Экспериментальное изучение фотодезинтеграции тензорно-поляризованного дейтрона: диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – Новосибирск: ИЯФ СО РАН им. Г.И. Будкера, 2008. – URL: <http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004236000/rsl01004236291/rsl01004236291.pdf>
12. Копылов, Г. И. Основы кинематики резонансов / Г. И. Копылов – М.: Наука, 1970. – 488 с.
13. Measurement of a double spin asymmetry in the photoproduction of  $\pi^-$ -mesons on deuterons / V.V. Gauzshtein, B.A. Lazarenko, A.Yu. Loginov et al. // European Physical Journal A. – 2018. – № 54. – P. 167.
14. Measurement of tensor analyzing powers of the incoherent pion photoproduction on a deuteron / V.V. Gauzshtein, A.V. Gramolin, B.A. Lazarenko et al. // Nuclear Physics A. – 2017. – Vol. 968. – P. 23-34.
15. Measurement of tensor analyzing power components for the incoherent  $\pi^0$ -meson photoproduction on a deuteron / S.E. Lukonin, V.V. Gauzshtein, M.I. Levchuk et al. // Nuclear Physics A. – 2019. – Vol. 986 – P. 75-85.
16. Павловская, Т. А. C/C++. Программирование на языке высокого уровня / Т. А. Павловская. – СПб.: Питер, 2013. – 460 с.
17. Кинематика ядерных реакций / А. М. Балдин, В. И. Гольданский, В. М. Максименко, И. Л. Розенталь. – М.: Атомиздат, 1968. – 454 с.
18. Бюклинг, Е. Кинематика элементарных частиц / Е. Бюклинг, К. Каянти. – М.: Мир, 1975. – 343 с.



19. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

20. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17 июля 1999 № 181 – ФЗ // Российская газ. – 1999. – 24.07. – С.4.

21. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы» – Взамен СанПиН 2.2.2.542-96; введ. 2003-06-30. – М: Российская газета, 2003. – 3 с.

22. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность – Введ. 1983-01-07. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 2 с.

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

## Приложение А

(справочное)

Таблица А.1 – Таблица нивелирующих функций [10]

$\xi_k$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
0,05	0,0186913	0,000268258
0,10	0,0520423	0,002103750
0,15	0,0940585	0,006954220
0,20	0,1423760	0,016130000
0,25	0,1954990	0,030795700
0,30	0,2523140	0,051959600
0,35	0,3119170	0,080461700
0,40	0,3735280	0,116959000
0,45	0,4364420	0,161911000
0,50	0,5000000	0,215553000
0,55	0,5635540	0,277872000
0,60	0,6264680	0,348570000
0,65	0,6880790	0,427018000
0,70	0,7476820	0,512184000
0,75	0,8044970	0,602539000
0,80	0,8576190	0,695894000
0,85	0,9059380	0,789134000
0,90	0,9479540	0,877559000
0,95	0,9813050	0,959968000
1,00	0,9999990	0,999999000

Индекс  $k$  относится к доле  $\xi_k$  кинетической энергии группы, состоящей из  $k$  частиц.

С помощью генератора случайных чисел разыгрывается соответствующее  $\alpha_k$  от 0 до 1 и с помощью обратной интерполяции определяется  $\xi_k$ .