

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: 01.04.02 Прикладная математика и информатика

Отделение: Отделение экспериментальной физики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Применение правила кваркового счета к пионному форм-фактору в реакции электрон-позитронной аннигиляции в два пи-мезона

УДК 539.12.072:539.126.341.72:539.172.2:539.126.34

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОВМ01	Брагин Сергей Валерьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник ИШФВП	Шевелев Алексей Эдуардович	к.ф.-м. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон. наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федорчук Юрий Митрофанович	Доктор технических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	Семенов М.Е.	к.ф.-м. н., доцент		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
ПК(У)-1	Способен проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива
ПК(У)-2	Способен проводить поиск и анализ научной и научно-технической литературы по тематике проводимых исследований
ПК(У)-3	Способен разрабатывать и анализировать показатели качества информационных систем, используемых в производственной деятельности
ПК(У)-4	Способен планировать научно-исследовательскую деятельность, анализировать риски, управлять проектами, управлять командой проекта
ПК(У)-5	Способен к преподаванию математических дисциплин и информатики в образовательных организациях высшего образования
ПК(У)-6	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий
ОПК(У)-1	Способен решать актуальные задачи фундаментальной и прикладной математики
ОПК(У)-2	Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач
ОПК(У)-3	Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен комбинировать и адаптировать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке(-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика»
Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Семенов М.Е.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
ОВМ01	Брагину Сергею Валерьевичу

Тема работы:

Применение правила кваркового счета к пионному форм-фактору в реакции электрон-позитронной аннигиляции в два пи-мезона	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	48-21/с от 17.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является модель векторной доминантности и модель Гунариса-Сакураи
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Изучение реакции электрон-позитронной аннигиляции в два пи-мезона 2. Построение форм-фактора в модели векторной доминантности 3. Построение форм-фактора в модели Гунариса-Сакураи 4. Применение правил кваркового счета для усовершенствования математической модели
Перечень графического материала	– Таблицы извлеченных параметров – Графики моделей
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (если необходимо, с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение	Клемашева Елена Игоревна
Социальная ответственность	Федорчук Юрий Митрофанович
Иностранный язык	Кабрышева Оксана Павловна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.03.2022
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник ИШФВП	Шевелев Алексей Эдуардович	к.ф.-м. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОВМ01	Брагин Сергей Валерьевич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) 01.04.02 Прикладная математика и информатика

Уровень образования Магистратура

Отделение школы (НОЦ) экспериментальной физики

Период выполнения весенний семестр 2021 /2022 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
31.05.21	<i>Основная часть</i>	70
31.05.21	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
31.05.21	<i>Социальная ответственность</i>	10
31.05.21	<i>Обязательное приложение на иностранном языке</i>	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник ИШФВП	Шевелев Алексей Эдуардович	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	Семенов М.Е.	к.ф.-м.н., доцент		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0BM01	Брагин Сергей Валерьевич

Школа	ИЯТШ	Отделение	Отделение ядерно-топливного цикла
Уровень образования	магистратура	ОЭФ	01.04.02 Прикладная математика и информатика

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Проведение предпроектного анализа. Анализ конкурентных технических решений. Выполнение SWOT-анализа проекта Оценка готовности проекта к коммерциализации.
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ. Реестр рисков проекта.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка научно-технического эффекта; Оценка сравнительной эффективности.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. График проведения НТИ 3. Матрица SWOT 4. Иерархическая структура работ	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон. наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0BM01	Брагин Сергей Валерьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
ОВМ01		Брагин Сергей Валерьевич	
Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	01.04.02 Прикладная математика и информатика

Тема ВКР:

<i>Применение правила кваркового счета к пионному форм-фактору в реакции электрон-позитронной аннигиляции в два пи-мезона</i>	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования : модель Гунариса-Сакурая. Область применения: квантовая хромодинамика Рабочая зона: лаборатория Аудитория имеет площадь 47,80 м², высоту 3 м, рассчитана на 6 человек. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: построение математической модели.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов • Природа воздействия • Действие на организм человека • Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов) • СИЗ коллективные и индивидуальные 1.2. Анализ выявленных опасных факторов : • Термические источники опасности • Электроопасность • Пожароопасности	1. Вредные факторы: 1.1 Недостаточная освещенность; 1.2 Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры; 1.3 Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ; 1.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ; 2. Опасные факторы: 2.1 Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R _{заземления} , СКЗ, СИЗ; Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ; 2.2 Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.
2. Экологическая безопасность: • Выбросы в окружающую среду • Решения по обеспечению экологической безопасности	Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, вторцвет- и чермет, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника, обрезки монтажных проводов) и

	способы их утилизации;
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: • перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; • разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; • разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.
4. Перечень нормативно-технической документации.	– ГОСТы, СанПиНы, СНиПы
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федорчук Юрий Митрофанович	д.т.н.		28.04.2022 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОВМ01	Брагин Сергей Валерьевич		28.04.2022 г.

Реферат

Выпускная квалификационная работа 102 с., 10 рисунков, 29 таблиц, 15 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: ПРАВИЛА КВАРКОВОГО СЧЕТА, ПИОННЫЙ ФОРМ-ФАКТОР, КВАНТОВАЯ ХРОМОДИНАМИКА, МОДЕЛЬ ГУНАРИСА-САКУРАИ, МОДЕЛЬ ВЕКТОРНОЙ ДОМИНАНТНОСТИ

Объектом исследования являются модель векторной доминантности; модель Гунариса-Сакураи; данные эксперимента BABAR.

Цель работы – получение согласованности эффективной модели Гунариса-Сакурая с фундаментальной теорией сильных взаимодействий (квантовой хромодинамикой) при росте энергии взаимодействия для двухпионного фоторождения с учетом вкладов векторных резонансов (ρ и ω – мезонов).

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы проводились:

- обзор существующих моделей наиболее подходящего для данной работы;
- модификация моделей векторной доминантности и Гунариса-Сакураи;
- извлечение параметров моделей.

Содержание

Введение.....	12
1 Обзор литературы.....	15
1.1 Модель векторной доминантности	15
1.2 Модель Гунариса-Сакураи.....	17
1.3 Правило кваркового счета	20
2. Эффективный форм-фактор	22
3. Извлечение параметров форм-фактора из экспериментальных данных. 23	
3.1 Извлечение параметров форм-фактора из экспериментальных данных в модели векторной доминантности	23
3.2 Извлечение параметров форм-фактора из экспериментальных данных в модели Гунариса-Сакураи.....	30
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 41	
4.1 Введение	41
4.2 Предпроектный анализ.....	42
4.2.1 Анализ конкурентных технических решений.....	42
4.2.2 SWOT анализ.....	44
4.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	45
4.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	47
4.5 Инициация проекта.....	48
4.6 Организационная структура проекта	49
4.7 Планирование управления научно-техническим проектом. Иерархическая структура работ проекта.....	50
4.8 Реестр рисков проекта	51
4.9 Планирование проекта.....	52
4.10 Бюджет научно-технического исследования.....	56
4.10.1 Расчет материальных затрат	56
4.10.2 Затраты на специальное оборудование.....	57
4.10.3 Основная и дополнительная заработная плата, отчисления во внебюджетные фонды	57
4.10.4 Расчет накладных расходов	60
4.10.5 Формирование бюджета затрат научного исследования	60
4.11 Оценка научно-технического эффекта.....	61
4.12 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	64
4.13 Выводы по разделу	66

5	Социальная ответственность	67
5.1	Производственная безопасность	67
5.1.1	Требования к микроклимату производственного помещения	67
5.1.1	Расчет освещения рабочего места	69
5.1.2	Требования к уровню шума	72
5.1.3	Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	73
5.2.1	Электробезопасность	75
5.2.2	Пожарная безопасность.....	77
5.3	Экологическая безопасность	79
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	81
5.5	Перечень нормативно-технической документации	82
	Заключение	84
	Список литературы	85
	Приложение А	87
1.	Literature review.....	88
1.1	The vector dominance model	88
1.2	The Gunaris-Sakurai Model	89
1.3	Rules of quark counting.....	92
2	Efficient form factor.....	95
3	Extraction of form factor parameters from experimental data.	96
	3.1 Extraction of form factor parameters from experimental data in a vector dominance model	96

Введение

Процессы аннигиляции e^+e^- являются хорошей лабораторией для изучения сильных взаимодействий, так как они протекают при участии и сильных и электромагнитных взаимодействий. А именно, электромагнитные взаимодействия индуцируются взаимодействием фотона с кварками, а сильные взаимодействия за счет взаимодействия кварков с адронами. В силу этого, фотон аннигилирует в векторный нейтральный мезон или адронную пару. Чисто электромагнитный процесс соответствует электрон-позитронной аннигиляции в пару заряженных лептонов. Таким образом, за счет участия кварков как в сильных, так и электромагнитных взаимодействиях, фотон участвует в процессах обусловленных этими двумя типами взаимодействий.

В настоящий момент одна из основных целей физики фундаментальных взаимодействий при низких энергиях является измерение соотношения суммы всех адронных сечений к сечению процесса электрон-позитронной аннигиляции в пару мюонов:

$$R = \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{адроны})}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)}.$$

Величина R является фундаментальной в кварковой модели и в КХД. Она определяется числом цветов и ароматов кварков. Расчетное значение величины R с учетом поправок КХД согласуется с экспериментальными данными при энергии $2E > 1.5$ ГэВ. Получение новых более точных данных, позволяющих рассчитать R , должно пролить свет на вопрос об отклонении значения аномального магнитного момента мюона от теоретических расчётов в рамках стандартной модели. Если отклонение окажется достаточно велико, порядка 5 значений статистической значимости σ , то это прямой сигнал на то, что вклад в аномальный магнитный момент мюона вносит “новая физика”.

Более того, адронные сечения по теории дисперсионных соотношений дают вклад не только в петлевую структуру вершинной функции, но и в

поляризацию вакуума, что позволяет вычислять и сравнивать с экспериментом постоянную тонкой структуры.

Так как при понижении энергии очень быстро растёт сильная константа связи, то использование теории возмущения в квантовой хромодинамике становится неприменимым. При попытках обойти эту проблему было создано немало подходов, среди которых КХД на решётке, подходы из нелокальной теории поля и различные эффективные теории, которые опираются на экспериментальные данные. Из наиболее известных эффективных теорий можно выделить теорию векторной доминантности, киральную эффективную теорию, метод феноменологических лагранжианов, мягкоколлинеарная эффективная теория, нерелятивистская КХД, эффективная теория тяжелых кварков и др. Область этой энергии, согласно описанному выше, лежит вне рамок пертурбативного описания КХД. Следовательно, применяются эффективные подходы.

В качестве эффективного подхода выбрана киральная эффективная теория (или киральная пертурбативная теория), далее КЭТ. Массы кварков в эффективной киральной теории устремляются к нулю, что является вполне допустимым приближением при энергиях до 2 ГэВ. Более того эта теория самосогласована с КХД, что даёт основное преимущество эффективной киральной теории перед остальными эффективными подходами. Главная идея заключается в спонтанном нарушении киральной симметрии лёгких кварков в лагранжиане, вследствие чего по теореме Голдстоуна возникают новые бозоны, которым в дальнейшем приписывается роль триплета π -мезонов.

Целью данной работы является получение согласованности эффективной модели Гунариса-Сакурая с фундаментальной теорией сильных взаимодействий (квантовой хромодинамикой) при росте энергии взаимодействия для двухпионного фоторождения с учетом вкладов векторных резонансов (ρ и ω – мезонов).

В работе были использованы данные эксперимента BABAR, в которых описаны поведения переменной s в качестве форм-фактора контактного взаимодействия. Используемые данные хорошо согласуются с другими результатами экспериментов CMD-2 и SND. Также имеются расходимости с данными эксперимента KLOE, в том числе на первом экстремуме ρ наблюдаются отклонения в 3%, а на остальных промежутках до 6% при энергиях до 0,95 ГэВ. Данные расхождения больше неопределенности, рассматриваемые в обоих экспериментах. Эмпирические данные эксперимента BABAR соотносятся со спектральными функциями, хотя некоторые локальные отклонения видны в форме линии на уровне 2%.

Также, используемые данные BABAR, применяются в качестве исходных данных для дисперсионного интеграла, который вносит свой вклад поляризации вакуума на LO в мюонную магнитную аномалию. Этот вклад составляет $(514,1 \pm 2,2 \text{ стат.} \pm 3,1 \text{ сист.}) \cdot 10^{-10}$, в настоящий момент наиболее точный результат из единственного эксперимента.

Применение математической модели в настоящий результат 2π , в том числе, с использованием экспериментально полученных данных BABAR по многоадронным процессам, дает возможность предсказать мюонную магнитную аномалию, которая равна $(11659186,5 \pm 5,4) \cdot 10^{-10}$, что меньше прямого измерения на BNL на 2.7σ . Применение предшествовавших данных 2π увеличивают отклонение до $3,6\sigma$.

1. Обзор литературы

1.1 Модель векторной доминантности

Модель векторной доминантности – модель, которая при больших энергиях, порядка нескольких ГэВ, характеризует свойства фотона проявлять адронные свойства. Данная модель позволяет описать процесс взаимодействия фотона с адроном, но перед этим преобразовавшись в векторные мезоны ρ , ω , φ , а также в другие мезоны, чьи квантовые характеристики такие же, что у фотона.

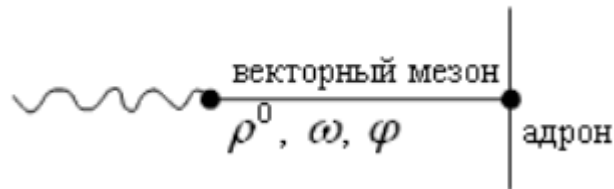


Рисунок 1 - Процесс взаимодействие фотона с адроном.

Так, резонансные свойства процесса образования K^+K^- мезонов в реакции электрон-позитронной аннигиляции хорошо описывается диаграммой Фейнмана, где фотон сперва преобразуется в φ -мезон, после чего распадается на K^+K^- мезоны. Энергия резонанса в этом процессе согласуется с энергией покоя φ -мезона.

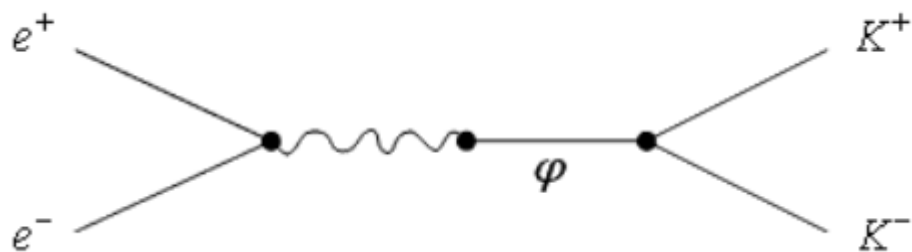


Рисунок 2 - Образование K^+K^- мезонов в реакции электрон-позитронной аннигиляции.

Из простейших моделей следует, что сечение должно быть пропорционально массовому числу A , при реакции фотона с высокой энергией σ с ядром, в котором содержится A нуклонов. Но из экспериментальных данных следует, что сечение определяется по формуле

$$\sigma = \alpha A + \beta A^{\frac{2}{3}}.$$

Появление $\beta A^{\frac{2}{3}}$ связано с фотонами, которые преобразовались в векторные мезоны до того, как произошло взаимодействие с ядром. В следствие такого виртуального превращения γ -кванта в векторные мезоны, не все нуклоны являются равноправными, некоторая часть оказывается заэкранированной в результате сильного взаимодействия образовавшегося виртуального мезона с ядром.

Квадрат форм-фактора пиона определяется как обычно по соотношению поперечного сечения, деленное на поперечное сечение низшего порядка для точечных спинов заряженных частиц.

Модель векторной доминантности используется для соответствия Форм-фактор BABAR пиона.

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-) = \frac{\pi\alpha^2}{3s} |F_{\gamma^*\pi\pi}(s)|^2 (1 - \frac{4M_\pi^2}{s})^{3/2},$$

где

$$F_{\gamma^*\pi\pi}(s) = \left(1 + BW_\rho(s) + BW_\omega(s) + BW_{\rho'}(s) + BW_{\rho''}(s) + BW_{\rho'''}(s)\right),$$

$$BW_V(s) = \frac{g_{V_\gamma}(s)s}{M_V^2 - s - i\Gamma_V M_V}, \quad g_{V_\gamma}(s) = \frac{1}{1 - \sqrt{s}/\Lambda_{V_\gamma} - i\Gamma_{V_\gamma}/\Lambda_{V_\gamma}}.$$

1.2 Модель Гунариса-Сакураи

Для описания вкладов ρ – резонансов используется модель Гунариса-Сакураи, в которой кроме доминантного вклада ρ – мезона учтены вклады других векторных резонансов.

$$BW_{\rho(M_\rho)}^{GS} = \frac{M_\rho^2(1 + d \cdot \frac{\Gamma_\rho}{M_\rho})}{M_\rho^2 - s + f(s) - iM_\rho\Gamma_\rho(s)},$$

где

$$f(s) = \Gamma_\rho \frac{M_\rho^2}{p_\pi^3(M_\rho^2)} \left[p_\pi^2(s) (h(s) - h(M_\rho^2)) + (M_\rho^2 - s) p_\pi^2(M_\rho^2) \frac{dh}{ds} \Big|_{s=M_\rho^2} \right],$$

$$h(s) = \frac{2}{\pi} \frac{p_\pi(s)}{\sqrt{s}} \ln \frac{\sqrt{s} + 2p_\pi(s)}{2m_\pi},$$

$$\frac{dh}{ds} \Big|_{s=M_\rho^2} = h(M_\rho^2) \left[\frac{1}{8p_\pi^2(M_\rho^2)} - \frac{1}{2M_\rho^2} \right] + \frac{1}{2\pi M_\rho^2},$$

$$p_\pi(s) = \frac{1}{2} \sqrt{s - 4m_\pi^2}.$$

Предполагалось, что зависимость ширины резонанса от энергии полностью описывается изменением фазового объема двух конечных пионов в Р-волне:

$$\Gamma_\rho(s) = \Gamma_\rho \left[\frac{p_\pi(s)}{p_\pi(M_\rho^2)} \right]^3 \left[\frac{M_\rho^2}{s} \right]^{\frac{1}{2}}.$$

Значение параметра d определяется из условия нормировки $BW^{GS}(0)=1$:

$$d = \frac{3}{\pi} \frac{m_\pi^2}{p_\pi^2(M_\rho^2)} \ln \frac{M_\rho + 2p_\pi(M_\rho^2)}{2m_\pi} + \frac{M_\rho}{2\pi p_\pi(M_\rho^2)} - \frac{m_\pi^2 M_\rho}{\pi p_\pi^3(M_\rho^2)}.$$

Для описания ρ – ω интерференции вклад ρ модифицировался следующим образом:

$$BW_\rho^{GS}(s) \rightarrow BW_\rho^{GS}(s) \cdot \left(1 + \delta \frac{s}{M_\omega^2} BW_\omega(s)\right),$$

где для параметризации вклада ω мезона использовалась функция Брейта-Вигнера с фиксированной шириной:

$$BW_\omega(s) = \frac{M_\omega^2}{M_\omega^2 - s - iM_\omega \Gamma_\omega}.$$

Параметр смешивания δ является комплексным. Окончательно, параметризация формфактора пиона имеет следующий вид:

$$F_\pi(s) = \frac{BW_\rho^{GS}(s) \cdot \left(1 + \delta \frac{s}{M_\omega^2} BW_\omega(s)\right) + \beta BW_{\rho'}^{GS}(s) + \gamma BW_{\rho''}^{GS}(s)}{1 + \beta + \gamma}.$$

Добавление нормировочного множителя $(1 + \beta + \gamma)^{-1}$ позволяет автоматически выполнить условие нормировки $F_\pi(0) = 1$. Здесь и далее δ является комплексным параметром: $\delta = |\delta| \cdot e^{i\varphi_{\rho\omega}}$, β и γ являются вещественными параметрами.

Для получения лептонной ширины ρ' -мезона выделялась резонансная часть, соответствующая ρ' -мезону, которая, согласно модели векторной доминантности, имеет вид:

$$F_\pi(s)|_{s \approx M_\rho^2} = \frac{g_{\rho\gamma} g_{\rho\pi\pi}}{M_\rho^2 - s - iM_\rho \Gamma_\rho},$$

$$g_{\rho\gamma} g_{\rho\pi\pi} = \frac{M_\rho^2 (1 + d \cdot \frac{\Gamma_\rho}{M_\rho})}{1 + \beta + \gamma}.$$

Используя соотношения модели векторной доминантности

$$\Gamma_{V \rightarrow e^+ e^-} = \frac{4\pi\alpha^2}{3M_V^3} g_{V\gamma}^2,$$

$$\Gamma_{V \rightarrow \pi^+ \pi^-} = \frac{g_{V\pi\pi}^2 p_\pi^3(M_V^2)}{6\pi M_V^2}$$

и полагая, что $\Gamma_{\rho \rightarrow \pi^+ \pi^-} = \Gamma_\rho$, получаем

$$\Gamma_{\rho \rightarrow e^+ e^-} = \frac{2\alpha^2 p_\pi^3(M_\rho^2) (1 + d \cdot \frac{\Gamma_\rho}{M_\rho})^2}{9M_\rho \Gamma_\rho (1 + \beta + \gamma)^2}.$$

Параметризация Гунариса-Сакураи построена в предположении, что распад векторного мезона идет только по каналу 2π . В случае ρ' мезона это предположение достаточно хорошо выполняется в области малых энергий, но для ρ'' и ρ''' оно очевидно не выполняется. Для учета других каналов распада тяжелых -мезонов можно модифицировать зависимость ширины резонансов от энергии:

$$\Gamma_{\rho'}(s) = \Gamma^{\pi^+ \pi^-}(s) + \Gamma^{\omega \pi^0}(s) + \Gamma^{4\pi}(s).$$

Для описания энергетической зависимости пионного формфактора широко используется и другая модель, в которой применяется более традиционная параметризация резонансов:

$$BW_{\rho(M_\rho)}^{KS}(s) = \frac{M_\rho^2}{M_\rho^2 - s - iM_\rho \Gamma_\rho(s)},$$

где зависимость ширины резонанса от энергии $\Gamma(s)$, как и в модели Гунариса-Сакураи, соответствует изменению фазового объема двух конечных пионов в Р-волне.

Параметризация формфактора пиона в этой модели, которая в литературе часто называется моделью Кюна-Сантамарии, имеет следующий вид:

$$F_\pi(s) = \frac{BW_\rho^{KS}(s) \cdot \left(1 + \delta \frac{s}{M_\omega^2} BW_\omega(s)\right) + \beta BW_{\rho'}^{KS}(s) + \gamma BW_{\rho''}^{KS}(s)}{1 + \beta + \gamma}.$$

1.3 Правило кваркового счета

При изучении реакций электрон-позитронной аннигиляции при рассеянии на большие углы при высоких энергиях все передачи импульсов и энергий достаточно велики, в результате чего, мы имеем дело с процессами взаимодействия, концентрирующимися в области преимущественно малых расстояний и временных промежутков, где у адронов непосредственным образом должна проявиться «строгая» точечная кварковая структура.

В 1973 году при исследованиях, исходя из принципа самоподобия и модели квазисвободных кварков, была выведена общая формула, по которой становится возможным изучить характер энергетической согласованности дифференциального сечения различной бинарной реакции рассеяния на большие углы при высоких энергиях $E = \sqrt{s}$ и асимптотика форм-факторов при больших передачах импульса $Q = \sqrt{-t}$:

$$\left(\frac{d\sigma}{dt}\right)_{ab \rightarrow cd} = S^{-(n_a+n_b+n_c+n_d-2)},$$

$$F(t) \sim t^{-(n_a-1)},$$

где $n_{i=a,b,c,d}$ — числа элементарных составляющих, участвующих в реакции адронов.

Представленные выше формулы, называются формулами кваркового счета, которые связывают скорость степенного убывания дифференциального сечения уникальной бинарной реакции рассеяния на большие углы при больших энергиях и степени сложности частиц, которые участвуют в этом процессе, то есть с числом их элементарных составляющих.

Использование формул кваркового счёта позволило открыть большие возможности экспериментального изучения кварковой структуры адронов и лёгких атомных ядер.

Исследуем бинарную реакцию общего вида $a+b \rightarrow c+d$. При больших энергиях и высоких передачах импульсов частиц в пределе частица a ведёт себя

как составная система, содержащая n_a точечных образующих – кварков. Вектор состояния такой системы можно записать в виде

$$|a\rangle = N_a |n_a - \text{кварков}\rangle,$$

где символ N_a обозначает операцию умножения вектора состояния свободных кварков на подходящую волновую функцию системы и интегрирования (суммирования) по переменным кварков.

Дифференциальное сечение бинарной реакции по аналогии может быть представлено в форме

$$\left(\frac{d\sigma}{dt}\right)_{ab\rightarrow cd} = \text{Tr} \left(\prod_{i=a,b,c,d} \rho_i \frac{d\sigma}{dt} \right),$$

где

$$\rho_i = N_i \times N_i^+,$$

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{1}{s^2} |\langle n_a n_b | T | n_c n_d \rangle|^2$$

Размерность одночастичного нормированного релятивистски-инвариантным образом состояния есть, как известно,

$$[|1 - \text{частичное}\rangle] = m^{-1}.$$

Откуда следуют размерности множителей ρ_i и $d\sigma/dt$.

Используя принцип самоподобия, примем, что взаимодействие кварков на небольших расстояниях масштабно инвариантно, то есть не зависит от размерных динамических параметров, приходим к заключению о степенном поведении с ростом энергии и передачи импульсов величин ρ_i и $d\sigma/dt$, а с нею и дифференциального сечения эксклюзивной реакции:

$$\left(\frac{d\sigma}{dt}\right)_{ab\rightarrow cd} \rightarrow \left(\frac{1}{s}\right)^{n-2} f\left(\frac{t}{s}\right), n = n_a + n_b + n_c + n_d.$$

Функция $f(t/s)$, зависящая лишь от соотношения больших кинематических переменных или от угла рассеяния, является сама по себе размерной величиной, причём естественным масштабом здесь является эффективный размер частиц. Таким образом, степенной асимптотический закон указывает на факторизацию эффектов больших и малых расстояний.

Закон степенного падения форм-фактора адрона является частным случаем эксклюзивной реакции – рассеяния бесструктурного лептона на адроне, состоящем из n_a кварков.

2. Эффективный форм-фактор

Форм-фактор – функция, которая характеризует влияние пространственных размеров атомов, атомных ядер или частиц на их взаимодействие с другими частицами или полями. Использование форм-фактора основано на том, что заряды частиц или атомных ядер «размазаны» в пространстве с некоторой плотностью $\rho(r)$. В этом случае эффективное сечение рассеяния электронов на протяженной мишени имеет вид

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = |F(q^2)|^2 \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\text{точечное}}.$$

Множитель $F(q^2)$ называется формфактором. $q^2 = (p - p')^2$ – квадрат передаваемого при рассеянии 4-импульса.

Форм-фактор равен Фурье-образу плотности распределения электрического заряда

$$F(q^2) = \int \rho(r) e^{iqr/\hbar} dr$$

Форм-фактор при нулевом передаваемом импульсе $F(0)$ нормируется на 1 для заряженной частицы и $F(0) = 0$ для нейтральной.

Основной метод расчета в квантовой хромодинамике – разложение в ряд по константе взаимодействия. Но при энергиях меньше 10ГэВ константа взаимодействия не является малой величиной и разложение в ряд невозможно произвести. При низких энергиях используются другие модели, но если произвести аналитическое продолжение по энергии в квантовой хромодинамике для описания процессов, то модели не должны противоречить друг другу.

В модели векторной доминантности такое противоречие возникает, так как степень по s другая. Чтобы данное противоречие исключить, домножим функцию на корректирующий форм-фактор зависящий от s , но добавляющий параметры.

Для модели векторной доминантности форм-фактор имеет вид

$$F(s) = \frac{1 + as}{1 + bs + cs^2},$$

где a, b, c - постоянные параметры форм-фактора.

Для модели Гунариса-Сакурая форм-фактор имеет вид

$$F(s) = \frac{1 + a \frac{s}{\Lambda^2}}{1 + b \frac{s}{\Lambda^2} + c \frac{s^2}{\Lambda^4}},$$

где a, b, c, Λ - постоянные параметры форм-фактора.

3. Извлечение параметров форм-фактора из экспериментальных данных.

3.1 Извлечение параметров форм-фактора из экспериментальных данных в модели векторной доминантности

С учетом форм-фактора, модель векторной доминантности принимает следующий вид

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-) = \frac{\pi\alpha^2}{3s} |F_{\gamma^*\pi\pi}(s)|^2 \left(1 - \frac{4M_\pi^2}{s}\right)^{3/2} \left|F_{\gamma^*\pi\pi}^{(0)}(s)\right|^2,$$

где

$$F_{\gamma^*\pi\pi}(s) = \left(1 + BW_\rho(s) + BW_\omega(s) + BW_{\rho'}(s) + BW_{\rho''}(s) + BW_{\rho'''}(s)\right),$$

$$BW_V(s) = \frac{g_{V_\gamma}(s)s}{M_V^2 - s - i\Gamma_V M_V}, \quad g_{V_\gamma}(s) = \frac{1}{1 - \sqrt{s}/\Lambda_{V_\gamma} - i\Gamma_{V_\gamma}/\Lambda_{V_\gamma}},$$

$$F_{\gamma^*\pi\pi}^{(0)}(s) = \frac{1 + as}{1 + bs + cs^2}.$$

Представим функцию $F_{\gamma^*\pi\pi}(s)$ в виде комплексного числа

$$F_{\gamma^*\pi\pi}(s) = ReF_{\gamma^*\pi\pi}(s) + i \cdot ImF_{\gamma^*\pi\pi}(s),$$

где

$$ReF_{\gamma^*\pi\pi}(s) = 1 + ReBW_\rho(s) + ReBW_\omega(s) + ReBW_{\rho'}(s) + ReBW_{\rho''}(s) + ReBW_{\rho'''}(s);$$

$$ImF_{\gamma^*\pi\pi}(s) = ImBW_\rho(s) + ImBW_\omega(s) + ImBW_{\rho'}(s) + ImBW_{\rho''}(s) + ImBW_{\rho'''}(s).$$

Тогда

$$|F_{\gamma^*\pi\pi}(s)|^2 = (ReF_{\gamma^*\pi\pi}(s))^2 + (ImF_{\gamma^*\pi\pi}(s))^2.$$

Преобразуем функцию Брейта-Вигнера, выделив действительную и мнимую части

$$BW_V(s) = \frac{g_{V_\gamma}(s)s}{M_V^2 - s - i\Gamma_V M_V} = \frac{s}{(M_V^2 - s - i\Gamma_V M_V) \left(1 - \frac{\sqrt{s}}{\Lambda_{V_\gamma}} - \frac{i\Gamma_{V_\gamma}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right)} =$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{s(M_V^2 - s + i\Gamma_V M_V) \left(1 - \frac{\sqrt{s}}{\Lambda_{V_\gamma}} + \frac{i\Gamma_{V_\gamma}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right)}{((M_V^2 - s)^2 + (\Gamma_V M_V)^2) \left(\left(1 - \frac{\sqrt{s}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{\Gamma_{V_\gamma}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right)^2\right)}; \\
\\
ReBW_V(s) &= \frac{s \left[\left(1 - \frac{\sqrt{s}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right) (M_V^2 - s) - \Gamma_V M_V \frac{\Gamma_{V_\gamma}}{\Lambda_{V_\gamma}} \right]}{((M_V^2 - s)^2 + (\Gamma_V M_V)^2) \left(\left(1 - \frac{\sqrt{s}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{\Gamma_{V_\gamma}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right)^2\right)}; \\
\\
ImBW_V(s) &= \frac{s \left[\left(1 - \frac{\sqrt{s}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right) \Gamma_V M_V - (M_V^2 - s) \frac{\Gamma_{V_\gamma}}{\Lambda_{V_\gamma}} \right]}{((M_V^2 - s)^2 + (\Gamma_V M_V)^2) \left(\left(1 - \frac{\sqrt{s}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{\Gamma_{V_\gamma}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right)^2\right)}.
\end{aligned}$$

Произведем проверку данной модели векторной доминантности на результатах эксперимента BABAR на разных диапазонах масс.

На первом диапазоне масс

$$F_{\gamma^* \pi\pi}(s) = 1 + BW_\rho(s).$$

На рисунке 3 изображены график теоретической модели векторной доминантности, красная линия, и экспериментальные данные с учетом погрешностей, черные кресты. Сечение располагается на оси ординат, а $s = E^2$ находится на оси абсцисс.

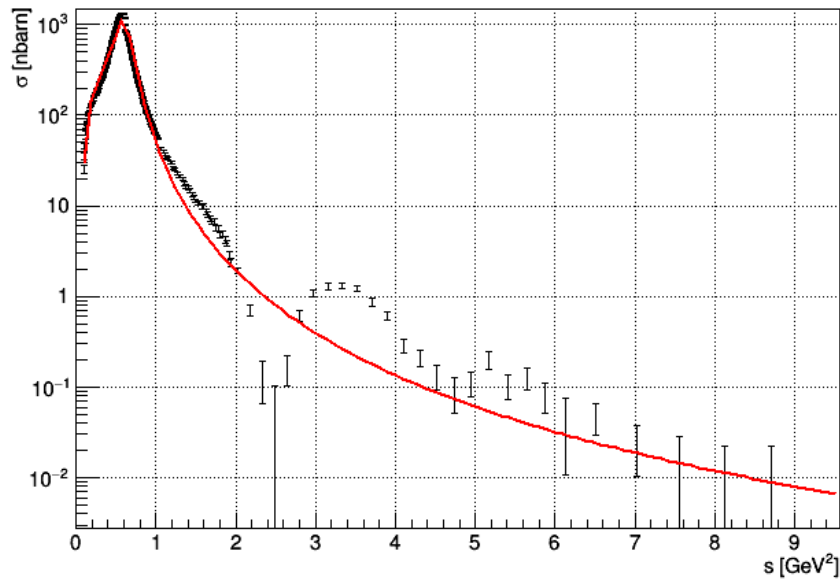


Рисунок 3 – Модель векторной доминантности на первом диапазоне масс.

Были извлечены свободные параметры: $m_\rho, \Gamma_\rho, \Gamma_{\rho\gamma}, \Lambda_{\rho\gamma}, a, b, c$. Результаты представлены в таблице 1. Параметры извлекались методом наименьших квадратов, а ошибка определялась в сравнении с нормальным распределении.

Таблица 1.

Параметры	Значения
m_ρ	$0,601 \pm 0,007$
Γ_ρ	$0,176 \pm 0,005$
$\Gamma_{\rho\gamma}$	$0,175 \pm 0,002$
$\Lambda_{\rho\gamma}$	$0,513 \pm 0,007$
a	$0,849 \pm 0,008$
b	$1,083 \pm 0,006$
c	$2,193 \pm 0,009$

Экспериментальные данные согласуются с теоретической моделью векторной доминантности на первом диапазоне масс, а извлеченные параметры соотносятся с полученным графиком и результатами других экспериментов.

На втором диапазоне масс

$$F_{\gamma^*\pi\pi}(s) = 1 + BW_\rho(s) + BW_\omega(s).$$

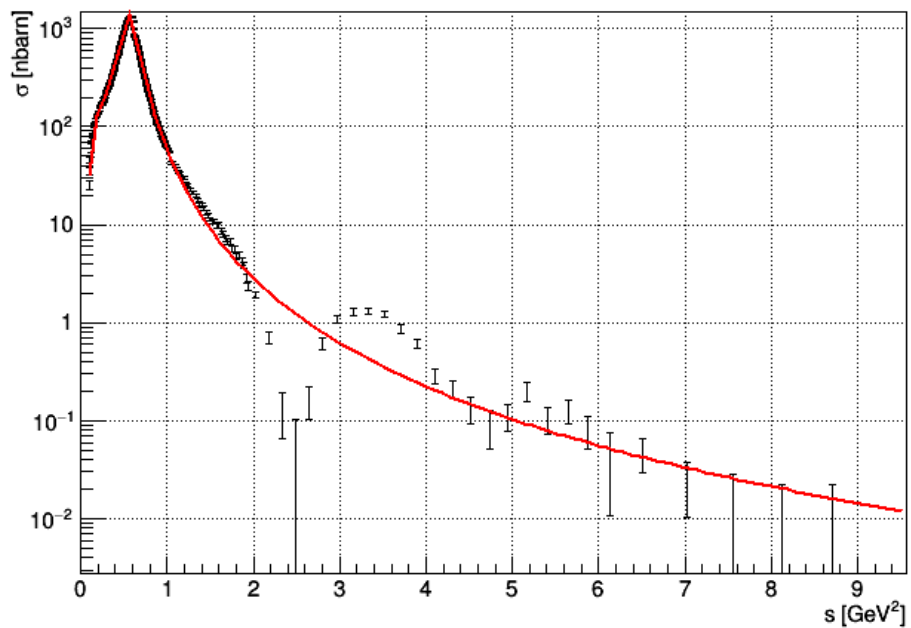


Рисунок 4 – Модель векторной доминантности на втором диапазоне масс.

Были извлечены свободные параметры: $m_\rho, m_\omega, \Gamma_\rho, \Gamma_\omega, \Gamma_{\rho\gamma}, \Gamma_{\omega\gamma}, \Lambda_{\rho\gamma}, \Lambda_{\omega\gamma}, a, b, c$. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Параметры	Значения
m_ρ	$0,783 \pm 0,005$
m_ω	$0,769 \pm 0,009$
Γ_ρ	$0,153 \pm 0,005$
Γ_ω	$0,792 \pm 0,007$
$\Gamma_{\rho\gamma}$	$0,169 \pm 0,007$
$\Gamma_{\omega\gamma}$	$0,156 \pm 0,002$
$\Lambda_{\rho\gamma}$	$0,591 \pm 0,005$
$\Lambda_{\omega\gamma}$	$0,682 \pm 0,008$
a	$0,752 \pm 0,003$

b	$0,893 \pm 0,004$
c	$1,903 \pm 0,002$

Извлеченные параметры соотносятся с полученным графиком. Сравнивая рисунок 3 и 4, можно увидеть, что на диапазоне $\rho - \omega$ теоретическая модель находится ближе к экспериментальным данным на рисунке 4, чем на 3.

На третьем диапазоне масс

$$F_{\gamma^* \pi \pi}(s) = 1 + BW_{\rho}(s) + BW_{\omega}(s) + BW_{\rho'}(s) + BW_{\rho''}(s) + BW_{\rho'''}(s).$$

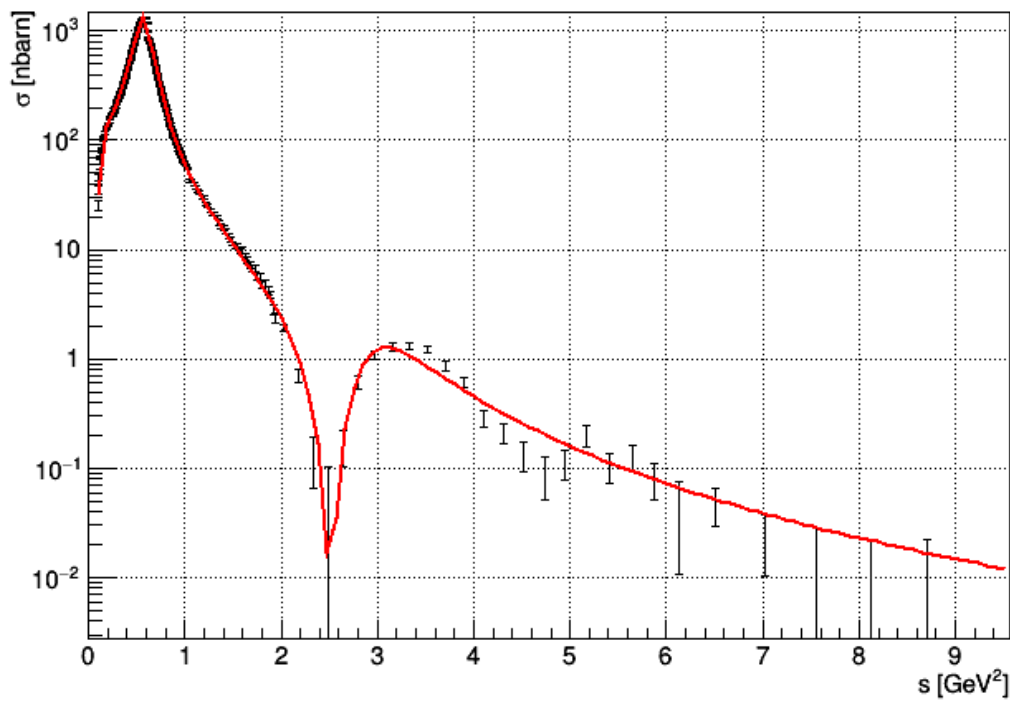


Рисунок 5 – Модель векторной доминантности на третьем диапазоне масс.

Были извлечены свободные параметры: $m_{\rho}, m_{\omega}, m_{\rho'}, m_{\rho''}, m_{\rho'''}, \Gamma_{\rho}, \Gamma_{\omega}, \Gamma_{\rho'}, \Gamma_{\rho''}, \Gamma_{\rho'''}, \Gamma_{\rho\gamma}, \Gamma_{\omega\gamma}, \Gamma_{\rho'\gamma}, \Gamma_{\rho''\gamma}, \Gamma_{\rho'''\gamma}, \Lambda_{\rho\gamma}, \Lambda_{\omega\gamma}, \Lambda_{\rho'\gamma}, \Lambda_{\rho''\gamma}, \Lambda_{\rho'''\gamma}$ a, b, c . Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Параметры	Значения
m_ρ	0,781±0,005
m_ω	0,776±0,007
$m_{\rho'}$	1,486±0,006
$m_{\rho''}$	1,865±0,007
$m_{\rho'''}$	2,246±0,002
Γ_ρ	0,153±0,009
Γ_ω	0,809±0,008
$\Gamma_{\rho'}$	0,432±0,008
$\Gamma_{\rho''}$	0,309±0,006
$\Gamma_{\rho'''}$	0,114±0,007
$\Gamma_{\rho\gamma}$	0,172±0,002
$\Gamma_{\omega\gamma}$	0,153±0,006
$\Gamma_{\rho'\gamma}$	0,076±0,003
$\Gamma_{\rho''\gamma}$	-0,053±0,004
$\Gamma_{\rho'''\gamma}$	0,024±0,003
$\Lambda_{\rho\gamma}$	0,521±0,007
$\Lambda_{\omega\gamma}$	0,583±0,008
$\Lambda_{\rho'\gamma}$	0,681±0,007
$\Lambda_{\rho''\gamma}$	0,752±0,006
$\Lambda_{\rho'''\gamma}$	-0,814±0,009
a	0,867±0,005
b	0,984±0,002
c	2,203±0,003

Из рисунка 5 видно, что при малых значениях энергии, до 3ГэВ, экспериментальные данные совпадают с теоретической моделью, а при

больших энергиях согласованности нет. Извлеченные параметры соотносятся только при малых энергиях. Имеются также и отрицательные значения из чего можно сделать вывод, что данная модель векторной доминантности не эффективна при больших энергиях.

3.2 Извлечение параметров форм-фактора из экспериментальных данных в модели Гунариса-Сакураи

Для более точного описания, воспользуемся усовершенствованной моделью Гунариса-Сакурая.

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-) = \frac{\pi\alpha^2}{3s} |F_\pi(s)|^2 \left(1 - \frac{4M_\pi^2}{s}\right)^{\frac{3}{2}} \mathcal{F}^2(s),$$

где

$$F_\pi(s) = \frac{1}{1 + c_{\rho'} + c_{\rho''} + c_{\rho'''}} (BW_\rho^{GS}(s, m_\rho, \Gamma_\rho) \frac{1 + c_\omega BW_\omega^{KS}(s, m_\omega, \Gamma_\omega)}{1 + c_\omega} +$$

$$+ c_{\rho'} BW_{\rho'}^{GS}(s, m_{\rho'}, \Gamma_{\rho'}) + c_{\rho''} BW_{\rho''}^{GS}(s, m_{\rho''}, \Gamma_{\rho''}) + c_{\rho'''} BW_{\rho'''}^{GS}(s, m_{\rho'''}, \Gamma_{\rho'''});$$

$$\mathcal{F}(s) = \frac{1 + a \frac{s}{\Lambda^2}}{1 + b \frac{s}{\Lambda^2} + c \frac{s^2}{\Lambda^4}};$$

$$BW_\omega^{KS}(s, m, \Gamma) = \frac{m^2}{m^2 - s - i \cdot m\Gamma};$$

$$BW^{GS}(s, m, \Gamma) = \frac{m^2(1 + \frac{d(m)\Gamma}{m})}{m^2 - s + f(s, m, \Gamma) - i \cdot m\Gamma(s, m, \Gamma)};$$

$$\Gamma(s, m, \Gamma) = \Gamma \frac{s}{m^2} \left(\frac{\beta_\pi(s)}{\beta_\pi(m^2)} \right)^3; \quad \beta_\pi(s) = \sqrt{1 - \frac{4m_\pi^2}{s}};$$

$$d(m) = \frac{3}{\pi} \frac{m_\pi^2}{k^2(m^2)} \ln \left(\frac{m + 2k(m^2)}{2m_\pi} \right) + \frac{m}{2\pi k(m^2)} - \frac{m_\pi^2 m}{\pi k^3(m^2)};$$

$$f(s, m, \Gamma) = \frac{\Gamma m^2}{k^3(m^2)} \left(k^2(s)(h(s) - h(m^2)) + (m^2 - s)k^2(m^2)h'(m^2) \right);$$

$$k(s) = \frac{1}{2} \sqrt{s} \beta_\pi(s);$$

$$h(s) = \frac{2}{\pi} \frac{k(s)}{\sqrt{s}} \ln \left(\frac{\sqrt{s} + 2k(s)}{2m_\pi} \right);$$

$$h'(s) = \frac{1}{2\pi s} + \frac{2m_\pi^2}{\pi s^2 \beta_\pi(s)} \ln \left(\sqrt{s} \frac{\beta_\pi(s) + 1}{2m_\pi} \right).$$

Для определения модуля $F_\pi(s)$ выделим действительную и мнимую части

$$F_\pi(s) = D \left(\text{Re} F_\pi(s) + i \cdot \text{Im} F_\pi(s) \right),$$

где

$$D = \frac{1}{1 + c_{\rho'} + c_{\rho''} + c_{\rho'''}}.$$

Представим функцию Брейта-Вигнера как

$$BW^{GS}(s, m, \Gamma) = A(s, m, \Gamma) (\text{Re}[BW^{GS}(s, m, \Gamma)] + i \cdot \text{Im}[BW^{GS}(s, m, \Gamma)]),$$

где

$$A(s, m, \Gamma) = \frac{m^2 \left(1 + \frac{d(m)\Gamma}{m} \right)}{(m^2 - s + f(s, m, \Gamma))^2 + m^2 \Gamma^2(s, m, \Gamma)};$$

$$\text{Re}[BW^{GS}(s, m, \Gamma)] = m^2 - s + f(s, m, \Gamma);$$

$$\text{Im}[BW^{GS}(s, m, \Gamma)] = m\Gamma(s, m, \Gamma),$$

и

$$BW_{\omega}^{KS}(s) = B_{\omega}(s)(Re[BW_{\omega}^{KS}(s)] + i \cdot Im[BW_{\omega}^{KS}(s)]),$$

где

$$B_{\omega}(s) = \frac{m_{\omega}^2}{(m_{\omega}^2 - s)^2 + m_{\omega}^2 \Gamma^2(s, m_{\omega}, \Gamma_{\omega})};$$

$$Re[BW_{\omega}^{KS}(s)] = m_{\omega}^2 - s;$$

$$Im[BW_{\omega}^{KS}(s)] = m_{\omega} \Gamma_{\omega}.$$

Выделим действительные и мнимые части элементов функции $F_{\pi}(s)$.

$$\begin{aligned} D &= \frac{1}{1 + c_{\rho'} + c_{\rho''} + c_{\rho'''}} = \\ &= \frac{1}{1 + Re[c_{\rho'}] + Re[c_{\rho''}] + Re[c_{\rho'''}] + i(Im[c_{\rho'}] + Im[c_{\rho''}] + Im[c_{\rho'''}])} = \\ &= \frac{1 + Re[c_{\rho'}] + Re[c_{\rho''}] + Re[c_{\rho'''}] - i(Im[c_{\rho'}] + Im[c_{\rho''}] + Im[c_{\rho'''}])}{1 + Re[c_{\rho'}] + Re[c_{\rho''}] + Re[c_{\rho'''}] + i(Im[c_{\rho'}] + Im[c_{\rho''}] + Im[c_{\rho'''}])}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c \cdot BW^{GS}(s, m, \Gamma) &= \\ &= A(s, m, \Gamma)(Re[c] + i \cdot Im[c])(Re[BW^{GS}(s, m, \Gamma)] + i \cdot Im[BW^{GS}(s, m, \Gamma)]) = \\ &= A(s, m, \Gamma)(Re[c]Re[BW^{GS}(s, m, \Gamma)] - Im[c]Im[BW^{GS}(s, m, \Gamma)]) + \\ &+ A(s, m, \Gamma) \cdot i(Re[c]Im[BW^{GS}(s, m, \Gamma)] + Im[c]Re[BW^{GS}(s, m, \Gamma)]). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\frac{1 + c_{\omega} BW_{\omega}^{KS}(s, m_{\omega}, \Gamma_{\omega})}{1 + c_{\omega}} = \\ &= \frac{1 + B_{\omega}(s)(Re[c_{\omega}] + i \cdot Im[c_{\omega}])(Re[BW_{\omega}^{KS}(s)] + i \cdot Im[BW_{\omega}^{KS}(s)])}{1 + Re[c_{\omega}] + i \cdot Im[c_{\omega}]} = \\ &= \left(\frac{1 + B_{\omega}(s)(Re[c_{\omega}]Re[BW_{\omega}^{KS}(s)] - Im[c_{\omega}]Im[BW_{\omega}^{KS}(s)])}{(1 + Re[c_{\omega}])^2 + (Im[c_{\omega}])^2} + \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +i \frac{B_\omega(s)(\operatorname{Re}[c_\omega]\operatorname{Im}[BW_\omega^{KS}(s)] + \operatorname{Im}[c_\omega]\operatorname{Re}[BW_\omega^{KS}(s)])}{(1 + \operatorname{Re}[c_\omega])^2 + (\operatorname{Im}[c_\omega])^2})(1 + \operatorname{Re}[c_\omega] - \\
& \quad -i \cdot \operatorname{Im}[c_\omega]); \\
& \operatorname{Re} \left[\frac{1 + c_\omega BW_\omega^{KS}(s, m_\omega, \Gamma_\omega)}{1 + c_\omega} \right] = \\
& = (1 + \operatorname{Re}[c_\omega]) \frac{1 + B_\omega(s)(\operatorname{Re}[c_\omega]\operatorname{Re}[BW_\omega^{KS}(s)] - \operatorname{Im}[c_\omega]\operatorname{Im}[BW_\omega^{KS}(s)])}{(1 + \operatorname{Re}[c_\omega])^2 + (\operatorname{Im}[c_\omega])^2} + \\
& \quad + \operatorname{Im}[c_\omega] \frac{B_\omega(s)(\operatorname{Re}[c_\omega]\operatorname{Im}[BW_\omega^{KS}(s)] + \operatorname{Im}[c_\omega]\operatorname{Re}[BW_\omega^{KS}(s)])}{(1 + \operatorname{Re}[c_\omega])^2 + (\operatorname{Im}[c_\omega])^2}; \\
& \operatorname{Im} \left[\frac{1 + c_\omega BW_\omega^{KS}(s, m_\omega, \Gamma_\omega)}{1 + c_\omega} \right] = \\
& = (1 + \operatorname{Re}[c_\omega]) \frac{B_\omega(s)(\operatorname{Re}[c_\omega]\operatorname{Im}[BW_\omega^{KS}(s)] + \operatorname{Im}[c_\omega]\operatorname{Re}[BW_\omega^{KS}(s)])}{(1 + \operatorname{Re}[c_\omega])^2 + (\operatorname{Im}[c_\omega])^2} - \\
& \quad - \operatorname{Im}[c_\omega] \frac{1 + B_\omega(s)(\operatorname{Re}[c_\omega]\operatorname{Re}[BW_\omega^{KS}(s)] - \operatorname{Im}[c_\omega]\operatorname{Im}[BW_\omega^{KS}(s)])}{(1 + \operatorname{Re}[c_\omega])^2 + (\operatorname{Im}[c_\omega])^2}. \\
& \operatorname{Re}[BW_\rho^{GS}(s, m_\rho, \Gamma_\rho) \frac{1 + c_\omega BW_\omega^{KS}(s, m_\omega, \Gamma_\omega)}{1 + c_\omega}] = \\
& = \operatorname{Re}[BW_\rho^{GS}(s, m_\rho, \Gamma_\rho)] \operatorname{Re} \left[\frac{1 + c_\omega BW_\omega^{KS}(s, m_\omega, \Gamma_\omega)}{1 + c_\omega} \right] - \\
& \quad - \operatorname{Im}[BW_\rho^{GS}(s, m_\rho, \Gamma_\rho)] \operatorname{Im} \left[\frac{1 + c_\omega BW_\omega^{KS}(s, m_\omega, \Gamma_\omega)}{1 + c_\omega} \right]; \\
& \operatorname{Im}[BW_\rho^{GS}(s, m_\rho, \Gamma_\rho) \frac{1 + c_\omega BW_\omega^{KS}(s, m_\omega, \Gamma_\omega)}{1 + c_\omega}] = \\
& = \operatorname{Re}[BW_\rho^{GS}(s, m_\rho, \Gamma_\rho)] \operatorname{Im} \left[\frac{1 + c_\omega BW_\omega^{KS}(s, m_\omega, \Gamma_\omega)}{1 + c_\omega} \right] +
\end{aligned}$$

$$+Im[BW_\rho^{GS}(s, m_\rho, \Gamma_\rho)]Re\left[\frac{1 + c_\omega BW_\omega^{KS}(s, m_\omega, \Gamma_\omega)}{1 + c_\omega}\right].$$

Тогда

$$\begin{aligned} ReF_\pi(s) &= Re[BW_\rho^{GS}(s, m_\rho, \Gamma_\rho) \frac{1 + c_\omega BW_\omega^{KS}(s, m_\omega, \Gamma_\omega)}{1 + c_\omega}] + \\ &+ Re[c_\rho \cdot BW^{GS}(s, m_\rho, \Gamma_\rho)] + Re[c_{\rho'} \cdot BW^{GS}(s, m_{\rho'}, \Gamma_{\rho'})] + \\ &+ Re[c_{\rho''} \cdot BW^{GS}(s, m_{\rho''}, \Gamma_{\rho''})] + Re[c_{\rho'''} \cdot BW^{GS}(s, m_{\rho'''}, \Gamma_{\rho'''})]; \\ ImF_\pi(s) &= Im[BW_\rho^{GS}(s, m_\rho, \Gamma_\rho) \frac{1 + c_\omega BW_\omega^{KS}(s, m_\omega, \Gamma_\omega)}{1 + c_\omega}] + \\ &+ Im[c_\rho \cdot BW^{GS}(s, m_\rho, \Gamma_\rho)] + Im[c_{\rho'} \cdot BW^{GS}(s, m_{\rho'}, \Gamma_{\rho'})] + \\ &+ Im[c_{\rho''} \cdot BW^{GS}(s, m_{\rho''}, \Gamma_{\rho''})] + Im[c_{\rho'''} \cdot BW^{GS}(s, m_{\rho'''}, \Gamma_{\rho'''})]. \\ |F_\pi(s)|^2 &= ((Re[D])^2 + (Im[D])^2)((Re[F_\pi(s)])^2 + (Im[F_\pi(s)])^2). \end{aligned}$$

Произведем проверку данной модели Гунариса-Сакураи на результатах эксперимента BABAR на всех диапазонах масс.

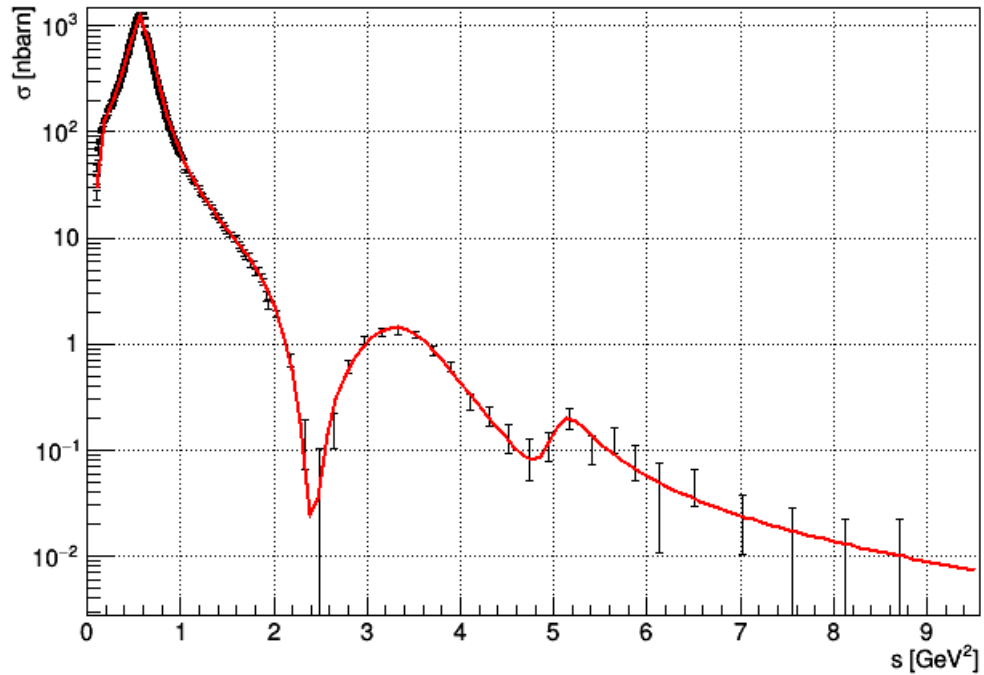


Рисунок 6 – Реализация модели Гунариса-Сакурая.

Были извлечены свободные параметры: $m_\rho, m_\omega, m_{\rho'}, m_{\rho''}, m_{\rho'''}, \Gamma_\rho, \Gamma_\omega, \Gamma_{\rho'}, \Gamma_{\rho''}, \Gamma_{\rho'''}, \Gamma_{\rho\gamma}, \Gamma_{\omega\gamma}, \Gamma_{\rho'\gamma}, \Gamma_{\rho''\gamma}, \Gamma_{\rho'''\gamma}, \Lambda_{\rho\gamma}, \Lambda_{\omega\gamma}, \Lambda_{\rho'\gamma}, \Lambda_{\rho''\gamma}, \Lambda_{\rho'''\gamma}$ a, b, c . Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Параметры	Значения
m_ρ	0,781±0,006
m_ω	0,776±0,007
$m_{\rho'}$	1,486±0,008
$m_{\rho''}$	1,865±0,005
$m_{\rho'''}$	2,246±0,007
Γ_ρ	0,153±0,001
Γ_ω	0,809±0,003
$\Gamma_{\rho'}$	0,432±0,005
$\Gamma_{\rho''}$	0,309±0,004
$\Gamma_{\rho'''}$	0,114±0,005
$Re[c_\omega]$	0,002±0,006
$Im[c_\omega]$	0,001±0,004
$Re[c_{\rho'}]$	-0,129±0,005
$Im[c_{\rho'}]$	-0,092±0,001
$Re[c_{\rho''}]$	0,012±0,003
$Im[c_{\rho''}]$	0,067±0,002
$Re[c_{\rho'''}]$	0,004±0,003
$Im[c_{\rho'''}]$	0,003±0,004
a	0,942±0,002

b	$0,879 \pm 0,001$
c	$2,152 \pm 0,003$
Λ	$0,752 \pm 0,008$

Из рисунка 6 видно, что модель Гунариса-Сакураи полностью согласуется с экспериментальными данными на всех диапазонах масс. Извлеченные параметры соотносятся с моделью векторной доминантности и с результатами других экспериментов.

Модель Гунариса-Сакураи более эффективна, чем модель векторной доминантности, но при контактном взаимодействии данная модель не работает.

Выделим в функции $F_\pi(s)$ единицу и домножим ее на форм-фактор.

Для этого преобразуем функцию $F_\pi(s)$

$$\begin{aligned}
F_\pi(s) &= \frac{1}{1 + c_{\rho'} + c_{\rho''} + c_{\rho'''}} (BW_\rho^{GS}(s, m_\rho, \Gamma_\rho) \frac{1 + c_\omega BW_\omega^{KS}(s, m_\omega, \Gamma_\omega)}{1 + c_\omega} + \\
&+ c_{\rho'} BW_{\rho'}^{GS}(s, m_{\rho'}, \Gamma_{\rho'}) + c_{\rho''} BW_{\rho''}^{GS}(s, m_{\rho''}, \Gamma_{\rho''}) + c_{\rho'''} BW_{\rho'''}^{GS}(s, m_{\rho'''}, \Gamma_{\rho'''})) = \\
&= \frac{1}{1 + c_{\rho'} + c_{\rho''} + c_{\rho'''}} (1 + c_{\rho'} + c_{\rho''} + c_{\rho'''} + \\
&+ \frac{s - f(s, m_\rho, \Gamma_\rho) + i \cdot m_\rho \Gamma(s, m_\rho, \Gamma_\rho) + d(m) \Gamma_\rho m_\rho}{m_\rho^2 - s + f(s, m_\rho, \Gamma_\rho) - i \cdot m_\rho \Gamma(s, m_\rho, \Gamma_\rho)} + \frac{c_\omega (BW_\omega^{KS} - 1)}{1 + c_\omega} + \\
&+ \frac{(s - f(s, m_\rho, \Gamma_\rho) + i \cdot m_\rho \Gamma(s, m_\rho, \Gamma_\rho) + d(m) \Gamma_\rho m_\rho) c_\omega (BW_\omega^{KS} - 1)}{(m_\rho^2 - s + f(s, m_\rho, \Gamma_\rho) - i \cdot m_\rho \Gamma(s, m_\rho, \Gamma_\rho)) (1 + c_\omega)} + \\
&+ \frac{(s - f(s, m_{\rho'}, \Gamma_{\rho'}) + i \cdot m_{\rho'} \Gamma(s, m_{\rho'}, \Gamma_{\rho'}) + d(m) \Gamma_{\rho'} m_{\rho'}) c_{\rho'}}{m_{\rho'}^2 - s + f(s, m_{\rho'}, \Gamma_{\rho'}) - i \cdot m_{\rho'} \Gamma(s, m_{\rho'}, \Gamma_{\rho'})} + \\
&+ \frac{(s - f(s, m_{\rho''}, \Gamma_{\rho''}) + i \cdot m_{\rho''} \Gamma(s, m_{\rho''}, \Gamma_{\rho''}) + d(m) \Gamma_{\rho''} m_{\rho''}) c_{\rho''}}{m_{\rho''}^2 - s + f(s, m_{\rho''}, \Gamma_{\rho''}) - i \cdot m_{\rho''} \Gamma(s, m_{\rho''}, \Gamma_{\rho''})} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{(s - f(s, m_{\rho''''}, \Gamma_{\rho''''}) + i \cdot m_{\rho''''} \Gamma(s, m_{\rho''''}, \Gamma_{\rho''''}) + d(m) \Gamma_{\rho''''} m_{\rho''''}) c_{\rho''''}}{m_{\rho''''}^2 - s + f(s, m_{\rho''''}, \Gamma_{\rho''''}) - i \cdot m_{\rho''''} \Gamma(s, m_{\rho''''}, \Gamma_{\rho''''})} = \\
& = 1 + \frac{1}{1 + c_{\rho'} + c_{\rho''} + c_{\rho'''}} (\gamma_{\rho}(s) + \eta_{\omega}(s) + \gamma_{\rho}(s) \eta_{\omega}(s) + c_{\rho'} \gamma_{\rho'}(s) + c_{\rho''} \gamma_{\rho''}(s) \\
& \quad + c_{\rho'''} \gamma_{\rho'''}(s)),
\end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
\gamma_{\rho}(s) &= \frac{s - f(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho}) + i \cdot m_{\rho} \Gamma(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho}) + d(m) \Gamma_{\rho} m_{\rho}}{m_{\rho}^2 - s + f(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho}) - i \cdot m_{\rho} \Gamma(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho})}, \\
\eta_{\omega}(s) &= \frac{c_{\omega} (BW_{\omega}^{KS} - 1)}{1 + c_{\omega}}.
\end{aligned}$$

Для определения модуля $F_{\pi}(s)$ выделим действительную и мнимую части

$$F_{\pi}(s) = ReF_{\pi}(s) + i \cdot ImF_{\pi}(s).$$

Выделим действительные и мнимые части элементов функции $F_{\pi}(s)$.

$$\begin{aligned}
\gamma_{\rho}(s) &= \frac{s - f(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho}) + i \cdot m_{\rho} \Gamma(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho}) + d(m) \Gamma_{\rho} m_{\rho}}{m_{\rho}^2 - s + f(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho}) - i \cdot m_{\rho} \Gamma(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho})} = \\
&= \frac{(s - f(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho}) + i \cdot m_{\rho} \Gamma(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho}) + d(m) \Gamma_{\rho} m_{\rho})}{\left(m_{\rho}^2 - s + f(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho})\right)^2 + \left(m_{\rho} \Gamma(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho})\right)^2} \cdot \\
&\quad \cdot \left(m_{\rho}^2 - s + f(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho}) + i \cdot m_{\rho} \Gamma(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho})\right); \\
Re[\gamma_{\rho}(s)] &= \\
&= \frac{(s - f(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho}) + d(m) \Gamma_{\rho} m_{\rho}) \left(m_{\rho}^2 - s + f(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho})\right) - \left(m_{\rho} \Gamma(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho})\right)^2}{\left(m_{\rho}^2 - s + f(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho})\right)^2 + \left(m_{\rho} \Gamma(s, m_{\rho}, \Gamma_{\rho})\right)^2}; \\
Im[\gamma_{\rho}(s)] &=
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{m_\rho \Gamma(s, m_\rho, \Gamma_\rho)(m_\rho^2 + d(m_\rho)\Gamma_\rho m_\rho)}{\left(m_\rho^2 - s + f(s, m_\rho, \Gamma_\rho)\right)^2 + \left(m_\rho \Gamma(s, m_\rho, \Gamma_\rho)\right)^2}. \\
&Re[c_\rho \gamma_\rho(s)] = Re[c_\rho]Re[\gamma_\rho(s)] - Im[c_\rho]Im[\gamma_\rho(s)]; \\
&Im[c_\rho \gamma_\rho(s)] = Re[c_\rho]Im[\gamma_\rho(s)] + Im[c_\rho]Re[\gamma_\rho(s)]. \\
&\eta_\omega(s) = \frac{c_\omega(BW_\omega^{KS} - 1)}{1 + c_\omega} = \frac{c_\omega}{(1 + c_\omega)} \frac{(s + i \cdot m_\omega \Gamma_\omega)}{(m_\omega^2 - s - i \cdot m_\omega \Gamma_\omega)} = \\
&= \frac{(Re[c_\omega] + i \cdot Im[c_\omega])(1 + Re[c_\omega] - i \cdot Im[c_\omega])}{(1 + Re[c_\omega])^2 + (Im[c_\omega])^2} \cdot \\
&\quad \cdot \frac{(s + i \cdot m_\omega \Gamma_\omega)(m_\omega^2 - s + i \cdot m_\omega \Gamma_\omega)}{(m_\omega^2 - s)^2 + (m_\omega \Gamma_\omega)^2} = \\
&= \frac{Re[c_\omega](1 + Re[c_\omega]) + (Im[c_\omega])^2 + i((1 + Re[c_\omega])Im[c_\omega] - Re[c_\omega]Im[c_\omega])}{(1 + Re[c_\omega])^2 + (Im[c_\omega])^2} \\
&\quad \cdot \frac{s(m_\omega^2 - s) - (m_\omega \Gamma_\omega)^2 + i((m_\omega^2 - s)m_\omega \Gamma_\omega + sm_\omega \Gamma_\omega)}{(m_\omega^2 - s)^2 + (m_\omega \Gamma_\omega)^2}; \\
&Re[\eta_\omega(s)] = \frac{(Re[c_\omega](1 + Re[c_\omega]) + (Im[c_\omega])^2)(s(m_\omega^2 - s) - (m_\omega \Gamma_\omega)^2)}{((1 + Re[c_\omega])^2 + (Im[c_\omega])^2)((m_\omega^2 - s)^2 + (m_\omega \Gamma_\omega)^2)} - \\
&\quad - \frac{((1 + Re[c_\omega])Im[c_\omega] - Re[c_\omega]Im[c_\omega])((m_\omega^2 - s)m_\omega \Gamma_\omega + sm_\omega \Gamma_\omega)}{((1 + Re[c_\omega])^2 + (Im[c_\omega])^2)((m_\omega^2 - s)^2 + (m_\omega \Gamma_\omega)^2)}; \\
&Im[\eta_\omega(s)] = \frac{(Re[c_\omega](1 + Re[c_\omega]) + (Im[c_\omega])^2)((m_\omega^2 - s)m_\omega \Gamma_\omega + sm_\omega \Gamma_\omega)}{((1 + Re[c_\omega])^2 + (Im[c_\omega])^2)((m_\omega^2 - s)^2 + (m_\omega \Gamma_\omega)^2)} + \\
&\quad + \frac{(s(m_\omega^2 - s) - (m_\omega \Gamma_\omega)^2)((1 + Re[c_\omega])Im[c_\omega] - Re[c_\omega]Im[c_\omega])}{((1 + Re[c_\omega])^2 + (Im[c_\omega])^2)((m_\omega^2 - s)^2 + (m_\omega \Gamma_\omega)^2)}. \\
&Re[\gamma_\rho(s)\eta_\omega(s)] = Re[\gamma_\rho(s)]Re[\eta_\omega(s)] - Im[\gamma_\rho(s)]Im[\eta_\omega(s)]; \\
&Im[\gamma_\rho(s)\eta_\omega(s)] = Re[\gamma_\rho(s)]Im[\eta_\omega(s)] + Im[\gamma_\rho(s)]Re[\eta_\omega(s)].
\end{aligned}$$

Тогда функция $F_\pi(s)$ примет вид

$$F_\pi(s) = 1 + (Re[D] + i \cdot Im[D])(Re[\gamma_\rho(s)] + Re[\eta_\omega(s)] + Re[\gamma_\rho(s)\eta_\omega(s)] + \\ + Re[c_{\rho'}\gamma_{\rho'}(s)] + Re[c_{\rho''}\gamma_{\rho''}(s)] + Re[c_{\rho'''}\gamma_{\rho'''}(s)] + i \cdot (Im[\gamma_\rho(s)] + \\ + Im[\eta_\omega(s)] + Im[\gamma_\rho(s)\eta_\omega(s)] + Im[c_{\rho'}\gamma_{\rho'}(s)] + Im[c_{\rho''}\gamma_{\rho''}(s)] + \\ + Im[c_{\rho'''}\gamma_{\rho'''}(s)]).$$

Домножим единицу на функцию $\mathcal{F}(s)$.

$$ReF_\pi(s) = \mathcal{F}(s) + Re[D](Re[\gamma_\rho(s)] + Re[\eta_\omega(s)] + Re[\gamma_\rho(s)\eta_\omega(s)] + \\ + Re[c_{\rho'}\gamma_{\rho'}(s)] + Re[c_{\rho''}\gamma_{\rho''}(s)] + Re[c_{\rho'''}\gamma_{\rho'''}(s)]) - Im[D](Im[\gamma_\rho(s)] + \\ + Im[\eta_\omega(s)] + Im[\gamma_\rho(s)\eta_\omega(s)] + Im[c_{\rho'}\gamma_{\rho'}(s)] + Im[c_{\rho''}\gamma_{\rho''}(s)] + \\ + Im[c_{\rho'''}\gamma_{\rho'''}(s)]);$$

$$ImF_\pi(s) = Re[D](Im[\gamma_\rho(s)] + Im[\eta_\omega(s)] + Im[\gamma_\rho(s)\eta_\omega(s)] + Im[c_{\rho'}\gamma_{\rho'}(s)] + \\ + Im[c_{\rho''}\gamma_{\rho''}(s)] + Im[c_{\rho'''}\gamma_{\rho'''}(s)]) + Im[D](Re[\gamma_\rho(s)] + Re[\eta_\omega(s)] + \\ + Re[\gamma_\rho(s)\eta_\omega(s)] + Re[c_{\rho'}\gamma_{\rho'}(s)] + Re[c_{\rho''}\gamma_{\rho''}(s)] + Re[c_{\rho'''}\gamma_{\rho'''}(s)]);$$

$$|F_\pi(s)|^2 = (Re[F_\pi(s)])^2 + (Im[F_\pi(s)])^2.$$

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-) = \frac{\pi\alpha^2}{3s} |F_\pi(s)|^2 \left(1 - \frac{4M_\pi^2}{s}\right)^{\frac{3}{2}}.$$

Данная модель Гунариса-Сакураи с выделенной единицей является эффективной при контактном взаимодействии. Произведем проверку, изменилось ли после модификации модели согласованность с экспериментальными данными.

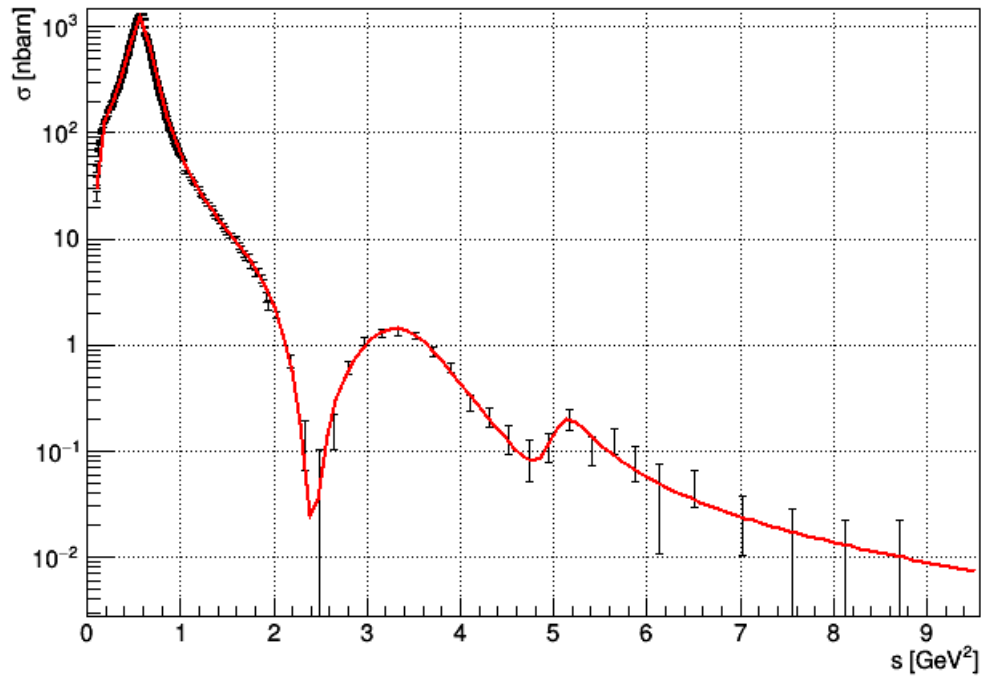


Рисунок 7 – Реализация модели Гунариса-Сакурая с выделенной единицей.

Были извлечены свободные параметры: $m_\rho, m_\omega, m_{\rho'}, m_{\rho''}, m_{\rho'''}, \Gamma_\rho, \Gamma_\omega, \Gamma_{\rho'}, \Gamma_{\rho''}, \Gamma_{\rho'''}, \Gamma_{\rho\gamma}, \Gamma_{\omega\gamma}, \Gamma_{\rho'\gamma}, \Gamma_{\rho''\gamma}, \Gamma_{\rho'''\gamma}, \Lambda_{\rho\gamma}, \Lambda_{\omega\gamma}, \Lambda_{\rho'\gamma}, \Lambda_{\rho''\gamma}, \Lambda_{\rho'''\gamma}$ a, b, c . Результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5.

Параметры	Значения
m_ρ	$0,781 \pm 0,007$
m_ω	$0,776 \pm 0,006$
$m_{\rho'}$	$1,486 \pm 0,008$
$m_{\rho''}$	$1,865 \pm 0,005$
$m_{\rho'''}$	$2,246 \pm 0,004$
Γ_ρ	$0,153 \pm 0,006$
Γ_ω	$0,809 \pm 0,008$
$\Gamma_{\rho'}$	$0,432 \pm 0,009$
$\Gamma_{\rho''}$	$0,309 \pm 0,007$

$\Gamma_{\rho'''}'$	0,114±0,005
$Re[c_\omega]$	0,002±0,003
$Im[c_\omega]$	0,001±0,002
$Re[c_{\rho'}]$	-0,129±0,004
$Im[c_{\rho'}]$	-0,092±0,003
$Re[c_{\rho''}]$	0,012±0,001
$Im[c_{\rho''}]$	0,067±0,002
$Re[c_{\rho'''}]$	0,004±0,002
$Im[c_{\rho'''}]$	0,003±0,003
a	0.867±0,001
b	0,984±0,003
c	2,203±0,001
Λ	0,872±0,009

Из рисунка 7 видно, что модификация модели Гунариса-Сакураи никак не повлияла на согласованность экспериментальных данных с теоретическими. Извлеченные параметры модели Гунариса-Сакураи не изменились, а параметры форм-фактора скорректировались.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Введение

Процессы аннигиляции e^+e^- являются хорошей лабораторией для изучения сильных взаимодействий, так как они протекают при участии и сильных и электромагнитных взаимодействий. А именно, электромагнитные взаимодействия индуцируются взаимодействием фотона с кварками, а сильные взаимодействия за счет взаимодействия кварков с адронами. В силу этого, фотон аннигилирует в векторный нейтральный мезон или адронную пару. Чисто электромагнитный процесс соответствует электрон-позитронной

аннигиляции в пару заряженных лептонов. Таким образом, за счет участия кварков как в сильных, так и электромагнитных взаимодействиях, фотон участвует в процессах обусловленных этими двумя типами взаимодействий.

В качестве эффективного подхода выбрана киральная эффективная теория (или киральная пертурбативная теория), далее КЭТ. Массы кварков в эффективной киральной теории устремляются к нулю, что является вполне допустимым приближением при энергиях до 2 ГэВ. Более того эта теория самосогласована с КХД, что даёт основное преимущество эффективной киральной теории перед остальными эффективными подходами. Главная идея заключается в спонтанном нарушении киральной симметрии лёгких кварков в лагранжиане, вследствие чего по теореме Голдстоуна возникают новые бозоны, которым в дальнейшем приписывается роль триплета π -мезонов.

Результаты данной работы помогло бы приблизить научное сообщество к объединению всех типов взаимодействий в одну теорию и дать возможность к изучению недоступной части Вселенной.

4.2 Предпроектный анализ

Конечным продуктом данного научного исследования является эффективная модель, согласованная с фундаментальной теорией сильных взаимодействий. Сегментам рынка данной продукции можно отнести рынок патентов и лицензий, рынок наукоемкой продукции.

4.2.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Данный анализ проведен с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 6. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок. Б – продукт, который является результатом данной работы, B_{k1} и B_{k2} – конкурентные разработки.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	2	3	0,4	0,2	0,3
3. Надежность	0,1	4	2	3	0,4	0,2	0,3
4. Уровень шума	0,02	1	1	1	0,02	0,02	0,02
5. Безопасность	0,2	5	5	5	1	1	1
6. Простота в эксплуатации	0,07	4	3	4	0,28	0,21	0,28
7. Качество интеллектуального интерфейса	0,02	3	2	2	0,06	0,04	0,04
8. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,04	2	3	2	0,08	0,12	0,08
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	3	3	2	0,09	0,09	0,06
2. Цена	0,05	4	3	1	0,2	0,15	0,05
3. Послепродажное обслуживание	0,04	3	3	3	0,12	0,12	0,12
4. Финансирование научной разработки	0,1	3	4	2	0,3	0,4	0,2
5. Срок выхода на рынок	0,03	2	3	4	0,06	0,09	0,12
6. Наличие сертификации разработки	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Итого	1	47	43	36	3,91	3,74	3,27

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 6, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i V_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Итогом данного анализа, действительно способным заинтересовать партнеров и инвесторов, может стать выработка конкурентных преимуществ, которые помогут создаваемому продукту завоевать доверие покупателей посредством предложения товаров, заметно отличающихся либо высоким уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров, либо нестандартным набором свойств, интересующих покупателя.

4.2.2 SWOT анализ

Проведём исследование внутренних и внешних свойств проекта с помощью методики SWOT-анализа. Матрица SWOT-анализа описывает сильные и слабые стороны проекта (внутренние факторы), а также показывает возможности и угрозы (внешние факторы) и возможные направления реализации.

Построим итоговую матрицу SWOT анализа, результат представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Матрица SWOT

	Сильные стороны: С1. Многопрофильность; С2. Возможность внедрения в другие программные комплексы; С3. Расширяемость системы; С4. Спонсирование по грантовой программе.	Слабые стороны: Сл1. Опыт в разработке. Сл2. «Новый игрок» на рынке систем моделирования и планирования. Сл3. Использование зарубежного ПО в разработке.
Возможности: В1. Заинтересованность	В1В2В3С1С3С4 – Внедрение ПО как в России так и за	В2В4Сл1 – Привлечение специалистов, совмест

промышленных предприятий. В2. Получение дополнительных грантов и финансирование из внебюджетных средств; В3. Выход на международный рынок систем планирования производства и моделирования; В4. Сотрудничество с российскими разработчиками ПО планирования и моделирования.	рубежом. В2В4С2С3С4 – Дальнейшие разработки, расширение функционала, интеграция с другими продуктами.	ные разработки с другими компаниями; В1В2Сл2 – Рекламная кампания успешных внедрений; В2В4Сл3 – Переход отечественное ПО по мере развития проекта.
Угрозы: У1. Наличие сильных конкурентов; У2. Ограничения на экспорт разработки; У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации ПО; У4. Исчерпание финансирования.	У1С1С2С3 – наращивание функционала, интеграция; У2У3С3С4 – Ориентирование разработки на внутренний рынок; У4С1С2С3 – лицензирование, продажа прав на использование интеллектуальной собственности.	У1У4Сл1Сл2 Сотрудничество разработчиками ПО планирования моделирования, об мен опытом; У2У4Сл3 – Привлечение финансирования из гос. сектора импортозамещение.

4.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Для того, чтобы оценить готовность научной разработки к коммерциализации необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Таблица оценки готовности проекта к коммерциализации приведена в таблице 8.

При проведении анализа по таблице по каждому показателю ставится

оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению отличается: 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 – означает незнаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i,$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению; B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточным и для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Таблица 8. Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	5

3	Определены отрасли и технологии для предложения на рынке	5	5
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	5
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	3
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	4
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	2
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	2
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	4
15	Проработан механизм реализации научного проекта	2	4
	ИТОГ БАЛЛОВ	43	53

По итогам таблицы видим, что $B_{\text{сум}}$ равно 43 и 53, что говорит о том, что перспективность разработки знания разработчика вышесреднего.

4.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других

научно-технических разработок и т.д.), одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания. При этом время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Задача данного раздела магистерской диссертации – это выбор метода коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности. Для того чтобы это сделать необходимо ориентироваться в возможных вариантах.

Проанализировав методы коммерциализации, для данного проекта был выбран метод «Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия», т.к. в работе модифицируется модель Гунариса-Сакурая, для определения различных характеристик в реакции аннигиляции с целью получения более точных данных и их использовании для согласования теории квантовой хромодинамики. Средства выделяются для продолжения научных исследований и получение более точных данных с эксперимента.

4.5 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

Устав научного проекта магистерской работы должен иметь следующую структуру:

- Цели и результат проекта
- Заинтересованной стороной проекта является отделение ОЭФ

ИЯТШ Томского Политехнического Университета.

В таблице 9 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей

Таблица 9– Цели и результат проекта

Цели проекта	Получить согласованность эффективной модели Гунариса-Сакураи с фундаментальной теорией сильных взаимодействий при росте энергии взаимодействия для двухпионного фоторождения с учетом вкладов векторных резонансов.
Ожидаемые результаты:	Согласованность полученной эффективной модели с фундаментальной теорией сильных взаимодействий
Критерии приемки результата проекта:	Оригинальные методы и подходы модифицирования для модели Гунариса-Сакураи.
Требования к результату проекта:	Согласованность теоретических и экспериментальных данных
	Применимость правил кваркового счета пионного форм-фактора

4.6 Организационная структура проекта

На данном этапе работы решалось следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эти информации указаны в таблице 10.

Таблица 10 – Организационная структура проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час
1	Шевелев А.Э. к.ф-м.н., научный сотрудник ИШФВП Технической физики Томского политехнического	Руководитель по ВКР (НИР)	1. Разработка ТЗ на ВКР 2. Составление и утверждение технического задания 3. Теоретические и экспериментальные исследования 4. Разработка методики экспериментальных исследований 5. Проведение экспериментальных исследований 6. Анализ и обработка полученных	8 16 32 56 40 16

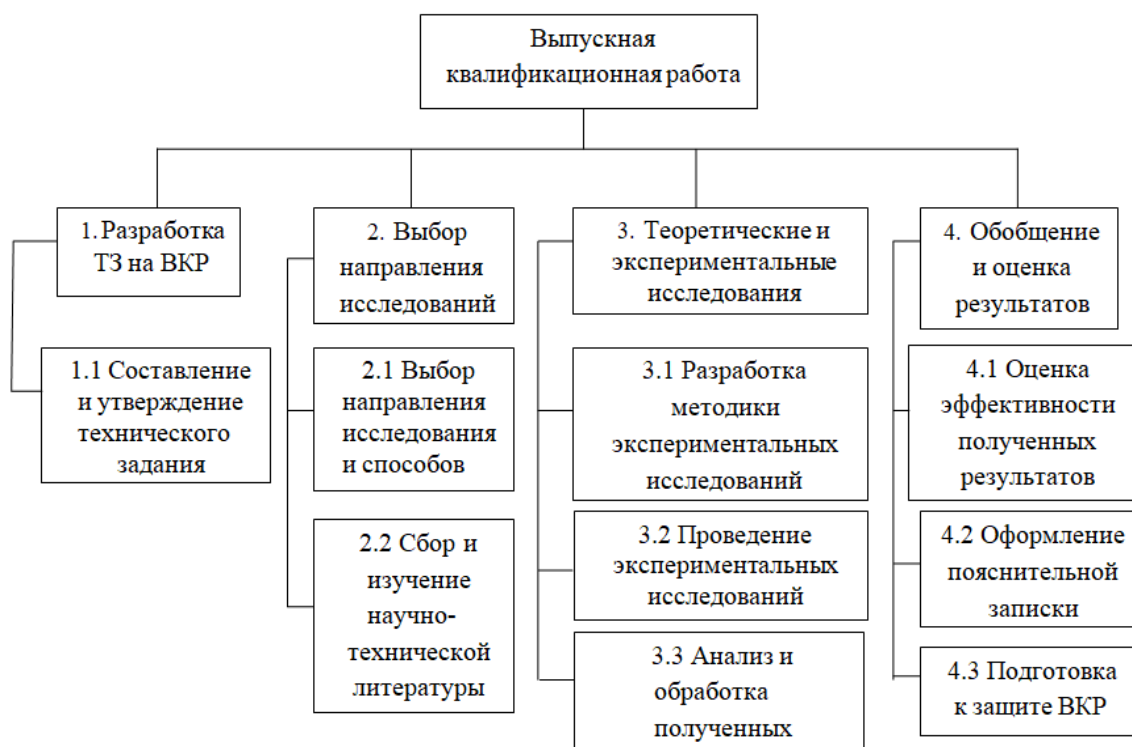


Рисунок 8 – Иерархическая структура по ВКР

4.8 Реестр рисков проекта

Составим реестр возможных рисков, сведём его в таблицу 11.

Таблица 11 – Реестр рисков проекта

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность	Влияние риска	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Несоответствие модели реальным процессам	Увеличение сроков разработки	2	5	Средний	Привлечение дополнительных специалистов	Ошибки в разработке мат. алгоритмов
2	Критические ошибки приложения	Отказ приложения	1	5	Средний	Привлечение дополнительных специалистов	Ошибки в разработке приложения

3	Невозможность доступа к приложению	Невозможность пользования приложением	1	3	Низкий	Нет	Отказ сетей связи
	Срыв сроков разработки	Увеличение сроков разработки	2	2	Средний	Привлечение дополнительных специалистов	Нарушение сроков разработки

4.9 Планирование проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования,
- определение участников каждой работы,
- установление продолжительности работы,
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и инженеры, численность групп может варьироваться.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Данная работа проводится на соискание квалификации инженер-физик. Роль дипломника заключается в выборе наиболее подходящих моделей для процесса электронно-позитронной аннигиляции и их программной реализации, что соответствует должности инженера.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение

исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1) Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2) Выбор направления исследования	Руководитель, исполнитель
	3) Календарное планирование	Исполнитель
	4) Определение целесообразности проведения НИР	Исполнитель
	5) Изучение методов описания процесса аннигиляции	Исполнитель
Теоретические и экспериментальные исследования	6) Изучение математического аппарата фитирования	Исполнитель
	7) Освоение программных пакетов, позволяющие производить фитирование	Исполнитель
	8) Моделирование методом доминирования векторов	Исполнитель
	9) Моделирование методом Гунариса-Сакурая	Исполнитель
Обобщение и проверка результатов	10) Оценка полученных результатов	Руководитель, исполнитель
Оформление отчета НИР	11) Составление пояснительной записки	Исполнитель
	12) Подготовка к защите	Руководитель, исполнитель

В рамках планирования выполнения работ были построены линейный и сетевой графики проекта. Линейный график проекта реализован в виде календарного плана (таблица 13).

Таблица 13 – Календарный план проекта

Название	Дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Разработка технического задания	2	01.02.2022	02.02.2022	Руководитель

Выбор направления исследования	9	03.02.2022	11.02.2022	Руководитель
				Исполнитель
Календарное планирование	6	12.02.2022	17.02.2022	Исполнитель
Определение целесообразности проведения НИР	6	18.02.2022	23.02.2022	Исполнитель
Изучение методов описания процесса аннигиляции	8	25.02.2022	04.03.2022	Исполнитель
Изучение математического аппарата фитирования	9	05.03.2022	13.03.2022	Исполнитель
Освоение программных пакетов, позволяющие производить фитирование	22	14.03.2022	04.04.2022	Исполнитель
Моделирование методом доминирования векторов	14	05.04.2022	18.04.2022	Исполнитель
Моделирование методом Гунариса-Сакурая	22	18.04.2022	9.05.2022	Исполнитель
Оценка полученных результатов	6	10.05.2022	15.05.2022	Руководитель
				Исполнитель
Составление пояснительной записки	15	16.05.2022	30.05.2022	Исполнитель
Подготовка к защите	8	31.05.2022	07.06.22	Руководитель
				Исполнитель

Диаграмма Ганта используется для иллюстрации календарного плана проекта. На диаграмме этапы работы отображаются протяженными по времени отрезками, характеризующиеся датами начала и окончания выполнения работ. Календарный план-график показан в таблице 14.

Таблица 14 – Календарный план-график проекта

Номер работы	Исполнители	№ кал · дн.	фев		мар		апр		май		июн
1	Руководитель	2									
2	Руководитель, Исполнитель	9	 								
3	Исполнитель	6									
4	Исполнитель	8									
5	Исполнитель	9									
6	Исполнитель	22									
7	Исполнитель	14									
8	Исполнитель	22									
9	Исполнитель	6									
10	Руководитель, Исполнитель	3									
11	Инженер	15									
12	Руководитель, Исполнитель	9									 
 – руководитель  – инженер (дипломник)											

4.10 Бюджет научно-технического исследования

Планирование бюджета необходимо для обеспечения полного и достоверного отражения всех расходов, необходимых для его выполнения. В процессе расчета бюджета была произведена следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты,
- затраты на специальное оборудование,
- основная заработная плата исполнителей темы,
- дополнительная заработная плата исполнителей темы,
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые взносы),
- накладные расходы.

4.10.1 Расчет материальных затрат

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. В данной работе в эту статью были включены затраты на канцелярские принадлежности и внешний носитель информации. Материальные затраты, необходимые для исследования, занесены в таблицу 15.

Таблица 15 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., р.	Затраты на материалы, р.
Флеш-накопитель	1	400	400
Итого			400

Расчет материальных затрат осуществлялся по следующей формуле:

$$З_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m Ц_i N_{расх.i},$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования,

$N_{расх.i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к

использованию при выполнении научного исследования,

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов,

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принят 5 %.

Таким образом, материальные затраты составили 420 рублей.

4.10.2 Затраты на специальное оборудование

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

К данной статье относится ноутбук стоимостью 55000 рублей, используемый как средство разработки. Стоимость оборудования, используемого при выполнении исследования, учитывается в виде амортизационных отчислений за период, равный периоду НИ.

Для расчета амортизационных отчислений был выбран срок полезного использования n равный 3 года. Тогда норма амортизации a составляет:

$$a = \frac{100}{n} = \frac{100}{3} = 33\%.$$

Годовая сумма амортизации оборудования составляет:

$$A_{\Gamma} = \frac{C_{\Pi} a}{100} = \frac{55000 \cdot 33}{100} = 18150 \text{ р.}$$

Амортизационные отчисления на период использования оборудования равны:

$$A_{\text{м}} = \frac{A_{\Gamma} k_{\text{м}}}{12} = \frac{18150 \cdot 5}{12} = 7562,5 \text{ р.,}$$

где $k_{\text{м}}$ – количество месяцев использования портативного ПК.

Таким образом, затраты на спецоборудование составили 7562,5 рублей.

4.10.3 Основная и дополнительная заработная плата, отчисления

вовнебюджетные фонды

В данном разделе рассчитываются затраты на заработную плату инженера и руководителя. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается также премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 30 % от тарифа или оклада.

Основная заработная плата работника рассчитывается по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} T_{раб},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата, р.,

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, р.,

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, дней.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_M M}{F_D},$$

где $З_M$ – оклад работника, р.,

M – количество месяцев работы без отпуска в год, при пятидневной рабочей неделе и отпуске, равном 28 дней, равен 11,2,

F_D – годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, для пятидневной рабочей неделе равен 214.

Оклад работника определяется согласно формуле:

$$З_M = З_{мс} (1 + k_{np} + k_{\partial}) k_p,$$

где $З_{мс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке,

k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3,

k_{∂} – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2,

k_p – районный коэффициент, равен 1,3 для г. Томска.

Согласно календарному плану, на проект отведено 125 дней, из них 90

рабочих при пятидневной рабочей неделе. Расчеты по основной заработной плате приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	З _{тс} , р.	З _м , р.	З _{дн} , р.	T _{раб} , раб. дн.	З _{осн} , р.
Руководитель	35120	68484	3584,21	13	46594,73
Исполнитель	16140	31473	1647,19	88	144952,72
Итого					191547,45

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили 191547,45 рублей.

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы при проектировании производится по формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} З_{\text{осн}},$$

где $З_{\text{доп}}$ – размер дополнительной заработной платы работника, р.,

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент заработной платы, равный 0,12,

$З_{\text{осн}}$ – размер основной заработной платы с учетом районного коэффициента., р.

Сумма затрат по дополнительной заработной плате составила 22985,70 рубля.

В статье отчислений во внебюджетные фонды отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Формула для вычисления отчислений на социальные нужды выглядит следующим образом:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Общая ставка взносов составляет – 30,2 %.

Сумма отчислений во внебюджетные фонды составила 64789,01 рублей.

Расчеты по отчислениям во внебюджетные фонды и дополнительной заработной плате приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, р.	Дополнительная заработная плата, р.	Отчисления во внебюджетные фонды, р.
Руководитель	46594,73	5591,37	15760,20
Исполнитель	144952,72	17394,3 3	49028,81
Итого	191547,45	22985,7 0	64789,01

4.10.4 Расчет накладных расходов

К накладным расходам относят такие расходы, которые являются неотъемлемой частью трудового процесса (печать и копирование документов, оплата услуг связи, затраты на электроэнергию). При расчете примем, что эти затраты составят приблизительно 16 % от всей суммы вышеуказанных затрат, т. е. $k_{\text{накл}} = 0,16$.

Формула для расчета накладных расходов следующая:

$$З_{\text{накл}} = (З_{\text{М}} + А_{\text{М}} + З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{внеб}})k_{\text{накл}}.$$

Таким образом, накладные затраты составили 45968,75 рублей.

4.10.5 Формирование бюджета затрат научного исследования

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат была составлена калькуляция плановой себестоимости научного исследования, приведенная в таблице 18.

Таблица 18 – Группировка затрат по статьям

Статьи	Сумма затрат по статьям, р.
Материальные затраты	420
Амортизационные отчисления	7562,5
Основная заработная плата	191547,45
Дополнительная заработная плата	22985,70
Отчисления во внебюджетные фонды	64789,01
Накладные расходы	45968,75
Итого	333273,41

Таким образом, для того, чтобы выполнить техническое задание по проекту заказчику нужно рассчитывать на нижний предел затрат в 333273,41 рубля.

4.11 Оценка научно-технического эффекта

Социально-научный эффект проявляется в росте числа открытий, изобретений, увеличении суммарного объема научно-технической информации, полученной в результате выполнения НИОКР, создании научного «задела», являющегося необходимой предпосылкой для проведения в будущем прикладных НИОКР и выполнения работ по модернизации конструкций выпускаемых изделий.

За последние годы появились предложения не только по качественной характеристике социального эффекта, но и по системе количественных показателей его оценки.

Элементом количественной оценки социально-научного эффекта следует считать определение научно-технического эффекта НИОКР. Сущность этой методики состоит в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент научно-технического эффекта НИОКР (таблица 19):

$$H_T = \sum_{i=1}^3 r_i k_i,$$

где r_i – весовой коэффициент i -того признака, определяемый по таблице 23, k_i – количественная оценка i -того признака.

Таблица 19 – Определение коэффициентов научно-технического эффекта НИОКР

Признак научно-технического эффекта (i)	Примерные значения весового коэффициента (r)
Уровень новизны	0,6
Технический уровень	0,4
Возможность реализации	0,2

Количественная оценка уровня новизны НИОКР определяется на основе значения баллов (таблица 20). Теоретический уровень полученных результатов НИОКР определяется на основе значения баллов, приведенных в таблице 21. Возможность реализации научных результатов определяется на основе баллов из таблицы 22.

Таблица 20 – Оценка уровня новизны НИОКР

Уровень новизны разработки	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Результаты исследований открывают новое направление в данной области науки и техники; открыты принципиально новые факты, закономерности; разработана новая теория; создано принципиально новое устройство, вещество, способ	8–10
Новая	По-новому или впервые объяснены известные факты, закономерности; введены новые понятия; проведено существенное усовершенствование, дополнение, уточнение ранее достигнутых результатов	5–7
Относительно новая	Результаты исследований систематизируют и обобщают имеющиеся сведения, определяют пути принципами объектами, в результате чего найдено эффективное решение; разработаны признаки новизны)	2–4

Продолжение таблицы 20

Традиционная	Работа, выполненная по традиционной методике; результаты исследований носят информационный характер; подтверждены или поставлены под сомнение известные представления, нуждающиеся в проверке; найден новый вариант решений, не дающий преимуществ по сравнению со старым	1
Не обладающая новизной	Получен результат, который был ранее известен	0

Таблица 21 – Оценка теоретического уровня результатов НИОКР

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
Установление закона; разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблемы: многоаспектный анализ связей, взаимозависимости между фактами с наличием объяснения	8
Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т. п.)	6
Элементарный анализ связей между фактами с наличием гипотезы, симплексного прогноза, классификации, объясняющей версии или практических рекомендаций частного характера	2
Описание отдельных элементарных фактов (вещей, свойств и отношений); изложение опыта, наблюдений, результатов измерений	0,5

Таблица 22 – Оценка возможности реализации НИОКР

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Более 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль (министерство)	4
Народное хозяйство	10
Примечание: баллы по времени и масштабам реализации складываются	

Согласование энергетической зависимости в данной выпускной квалификационной работе выполнено согласно существующим методам с некоторыми модернизациями. В связи с этим уровень новизны разработки принят как традиционный: $k_1 = 2$.

Основная часть работы заключалась в составлении математической модели на основании применяемых методов, что позволяет оценить

теоретический уровень: $k_2 = 6$.

Полученные результаты используются в анализе данных непосредственно после их получения. Область применения результата ограничена экспериментом. Однако при необходимости полученный опыт можно использовать и в других проектах. Время реализации и масштабы реализации оценены в 10 и 2 балла соответственно:

$$k_3 = 10 + 2 = 12$$

Таким образом, коэффициент научно-технического эффекта равен:

$$H_T = 0,6 \cdot 1 + 0,4 \cdot 6 + 0,2 \cdot 12 = 5,4.$$

Уровень научно-технического эффекта оценивается по таблице 23.

Таблица 23 – Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень научно-технического эффекта	Коэффициент научно-технического эффекта
Низкий	1–4
Средний	5–7
Сравнительно высокий	8–10
Высокий	11–14

Таким образом, уровень научно-технического эффекта оценивается как средний.

4.12 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

где

Φ_{pi} - стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} - максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p,$$

где I_m - интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i - весовой коэффициент i-го варианта параметра;

b_i^a, b_i^p - ная оценка i-го варианта параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n - число параметров сравнения.

Таблица 24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	4	4
3. Проводимость	0,2	4	4	3
4. Механическая прочность	0,2	4	4	3
5. Химическая стабильность	0,2	5	4	4
6. Степень набухания	0,2	4	3	3
ИТОГО	1	26	23	21

$$I_{\Pi} = 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4,3;$$

$$\text{Аналог1} = 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 = 3,9;$$

$$\text{Аналог2} = 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 = 3,5.$$

4.13 Выводы по разделу

В данной главе была определена структура работы в рамках научного исследования, определены участники работ и установлена продолжительность работ, проведено финансовое планирование исследования. По итогу вычислений приведен план и рассчитан бюджет научного исследования.

В ходе расчетов установлено, что для реализации проекта необходимо 125 календарных дней. Бюджет НИР составила 333273,41 р. Оценка уровня новизны, теоретического уровня и возможности реализации проекта показала средний уровень его научно-технической эффективности.

5 Социальная ответственность

Социальная ответственность является важным аспектом на любом производстве. Организация должна добровольно принимать дополнительные меры для повышения качества жизни работников, а также общества в социальной, экономической и экологической сферах. В центр ставится проблема достижения совмещения интересов всех участников «жизнедеятельности» организации (улучшение благосостояния и качества жизни).

Будущий специалист должен демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов своей деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.

Данная работа посвящена получению согласованности эффективной модели Гунариса-Сакураи с фундаментальной теорией сильных взаимодействий. Рассматривается рабочее место программиста в аудитории № 248 корпуса № 11 ТПУ, оснащенное различной техникой, такой как монитор, системный блок, клавиатура, мышь, и т. д.

В разделе проводился анализ опасных и вредных факторов, безопасности условий труда, а также обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях. При написании раздела были использованы законодательные и нормативно-технические документы.

5.1 Производственная безопасность

5.1.1 Требования к микроклимату производственного помещения

Микроклимат производственных помещений (рабочих мест, рабочих зон) характеризуется следующими основными показателями (параметрами):

- температура воздушной среды;
- относительная влажность воздушной среды;
- скорость движения воздушного потока;

В общем случае (при отсутствии предъявления специальных

требований) на рабочих местах и в рабочих зонах помещений организации должны обеспечиваться параметры микроклимата, приведенные в таблице 25 с учетом требований санитарных правил и норм.

Таблица 25 - Оптимальные нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-23	40-60	0.1
Теплый	23-25		0.2

Таблица 26 - Допустимые нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Нижняя допустимая граница	Верхняя допустимая граница		
Холодный	15	24	20-80	<0.5
Теплый	22	28	20-80	<0.5

Общая площадь рабочего помещения составляет 47,8 м². В помещении осуществляется вентиляция с помощью кондиционера или окна. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время за счет батареи отопления, в теплое время года – за счет кондиционера. Температура в кабинете в теплый период года составляет 22-24°С, в холодный период – 21-23°С.

В помещении предусмотрены гардеробные для хранения верхней одежды, спецодежды и обуви, оборудованные вешалками и одинарными закрытыми шкафами.

Величина кратности воздухообмена в производственных помещениях должна быть достаточной для удаления избытков тепла, влаги и вредных

веществ, образующихся внутри помещения и соответствовать требованиям норм и правил.

5.1.1 Расчет освещения рабочего места

Освещение рабочих помещений может быть естественным и искусственным. Искусственное освещение бывает: общее, местное и комбинированное. Требования к освещению: достаточная освещенность рабочих поверхностей, рациональное направление света на них, отсутствие резких теней и бликов на рабочих местах. Хорошее освещение рабочего места – один из важных факторов благоприятных и безопасных условий труда.

На рабочих местах организации, где выполняется работа, применяется система общего освещения посредством светодиодных ламп, с освещенностью на рабочей поверхности не менее 150 лк.

Также в рабочем помещении, имеющее естественное освещение (панорамные окна), применяются солнцезащитные приспособления (жалюзи), устраняющие слепящее действие солнечного света на рабочих местах.

Расчёт искусственного освещения

Для расчета искусственного освещения были выбраны светильники с люминесцентными лампами – открытые двухламповые светильники типа ОДОР – для нормальных помещений с хорошим отражением потолка и стен, допускаются при умеренной влажности и запылённости, с мощностью каждой лампы 40 Вт.

Размещение светильников в помещении определяется следующими параметрами, м:

Площадь (S) помещения составляет 48 м² (длина 8 м и ширина 6 м). Высота помещения (H) равна 3 м.

Расстояние светильников от перекрытия (свес) (h_с) – 0,3 м.

Высота светильника над полом, высота подвеса определяется по формуле:

$$h_n = H - h_c = 3 - 0,3 = 2,7 \text{ м.}$$

h_{pn} – высота рабочей поверхности над полом составляет 1 м; Расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_n - h_{pn} = 2,7 - 1 = 1,7 \text{ м.}$$

Интегральный критерий оптимальности расположения светильников

λ принимаем равным 1,2.

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,2 \cdot 1,7 = 2 \text{ м.}$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{a}{L} = \frac{8}{2} = 4.$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{b}{L} = \frac{6}{2} = 3.$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 4 \cdot 3 = 12.$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле, при условии $\frac{L_1}{3}$ и $\frac{L_2}{3}$:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2}{3} = 0,7 \text{ м,}$$

$$8000 = 3L_2 + \frac{2}{3}L_2 + 4 \cdot 1227;$$

$$3092 = \frac{11}{3}L_2;$$

$$6000 = 2L_1 + \frac{2}{3}L_1 + 3 \cdot 265;$$

$$5205 = \frac{8}{3} L_1;$$

$$L_1 = 1952; L_2 = 651.$$

Размещаем светильники в три ряда, по четыре светильника в каждом ряду типа ОДОР 40 Вт, длиной 1227 мм, ширина – 265 мм. Разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 24$.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{H} (A + B) = \frac{48}{1,7} (8 + 6) = 2.$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{п}} = 50 \%$, $\rho_{\text{с}} = 30\%$ и индексе помещения $i = 2$ равен $\eta = 0,47$.

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_{\text{н}} S K_3 Z}{N \eta} = \frac{200 * 48 * 1.5 * 1.1}{24 * 0.47} = 1404.25 \text{ лм}$$

По табл. 1 выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛД 30 Вт с потоком 1650 лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$- 10\% \leq ((\Phi_{\text{лампы}} - \Phi_{\text{расч}}) / \Phi_{\text{расч}}) * 100\% \leq + 20 \%$$

Получаем

$$-10\% \leq 15\% \leq +20\%.$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$P = 24 \cdot 40 = 960 \text{ Вт.}$$

Схема размещения светильников представлена на рисунке 9.

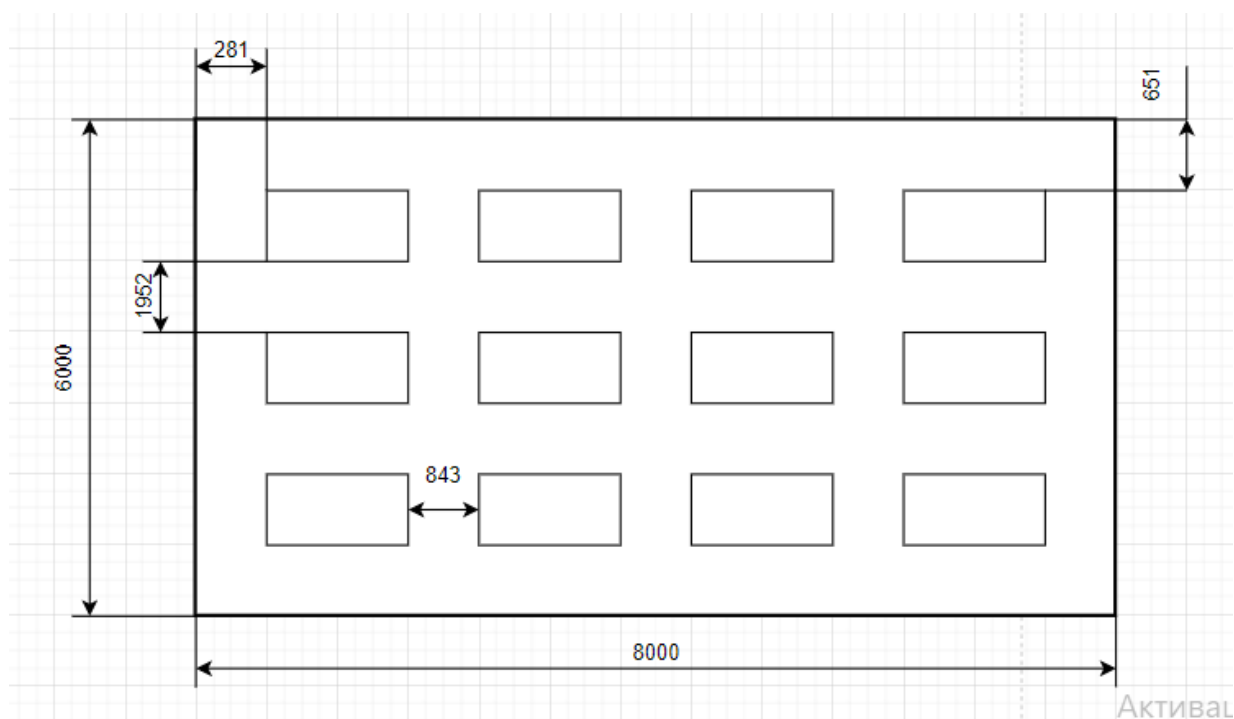


Рисунок 9 – Схема размещения светильников в помещении

для люминесцентных ламп

5.1.2 Требования к уровню шума

Принципы обеспечения безопасности и сохранения здоровья сотрудников при воздействии на них шума в нормальных условиях рабочего процесса и общие требования к оценке этого воздействия соответствуют требованиям ГОСТ 12.1.003.

Эквивалентные уровни звука в производственных помещениях не должны превышать 82 дБА в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.002, ГОСТ ISO 9612, ГОСТ 23941 и санитарными нормами.

Согласно ГОСТ 12.4.011-89 к средствам коллективной защиты от повышенного уровня шума относятся устройства: оградительные; звукоизолирующие, звукопоглощающие материалы (каменная вата); глушители шума; автоматического контроля и сигнализации; дистанционного управления. Согласно ГОСТ 12.4.011-89 к средствам индивидуальной защиты от повышенного уровня шума относятся устройства: противошумные шлемы;

противошумные вкладыши (беруши); противошумные наушники.

5.1.3 Повышенный уровень электромагнитного излучения

При работе с компьютером пользователь получает электромагнитное излучение от экрана монитора и системного блока. Электромагнитное излучение при работе с компьютером влияет на нервную и сердечно-сосудистую системы. Длительное воздействие электромагнитных полей промышленной частоты (50 Гц) на организм человека может приводить к торможению функций кроветворных органов, снижению сопротивляемости организма к инфекционным заболеваниям, нарушению нормальной свертываемости крови и другим неблагоприятным последствиям.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах, предельно допустимые уровни (ПДУ) электромагнитных полей на рабочих местах пользователей персональными компьютерами (ПК) и другими средствами информационнокоммуникационных технологий (ИКТ) не должны превышать определенных значений. В таблице 27 приведены ПДУ на рабочих местах, оборудованных ПК и другими средствами ИКТ.

Таблица 27 – ПДУ на рабочих местах пользователей ПК и другими средствами ИКТ

Нормируемые параметры		ПДУ
Напряженность электрического тока	5 Гц-2 кГц	25 В/м
	2 кГц-400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	5 Гц-2 кГц	250 нТл
	2 кГц-400 кГц	25 нТл
Плотность потока энергии	300 МГц-300 ГГц	10 мкВт/см ²
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

В таблице 28 приведены ПДУ для электромагнитного излучения.

Таблица 28 – ПДУ для ЭМИ

Напряженность электромагнитного поля	Максимальное время контакта
10 мкpBт/см ²	8 часов
10-100 мкpBт/см ²	2 часа
100 - 1000 мкpBт/см ²	не более 20 минут

При этом, максимальное значение не должно превышать 1000 мкpBт/см². Нормативное значение электрического поля промышленной частоты для населения – 1 мкpBт/см².

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ

1. защита временем;
2. защита расстоянием;
3. снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
4. экранирование источника;
5. защита рабочего места от излучения;

СИЗ

1. Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.
2. Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO₂).

Для уменьшения уровня электромагнитного поля от персонального компьютера рекомендуется включать в одну розетку не более двух компьютеров, рекомендуется подключать компьютер к розетке через

нейтрализатор электрического поля.

К средствам индивидуальной защиты от ЭМИ относят:

- Спецодежду с металлизированной тканью (типа кольчуги);
- Очки со стеклом, покрытым тонкой пленкой золота;

Рабочие места операторов должны быть на расстоянии не менее 1,2 метров между собой. Также необходимо создавать ограничения времени работы за компьютером, периодические перерывы в работе

5.2.1 Электробезопасность

Для стадий проектирования, изготовления, монтажа, наладки и испытаний продукции помещения организации обеспечиваются подводом сети электрической энергии, заданной и установленной планами размещения рабочих мест и оборудования в производственных подразделениях, утвержденными в установленном порядке.

Действия персонала организации по монтажу и эксплуатации сети электрической энергии в помещениях должны отвечать требованиям электробезопасности, установленным в инструкциях по охране труда и учитывающим в общем случае нормы:

- воздействия электрических полей промышленной частоты в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.002;
 - эксплуатации электроустановок производственного и бытового назначения в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.019;
 - обеспечения технических способов, средств, организационных и технических мероприятий в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.019;
 - обеспечения защитного заземления и зануления в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.030;
 - предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.038.

Рабочий кабинет относится к 1ому классу – помещения без повышенной опасности (напряжение питания переносных электроприборов допускается до 1000 В). Это такие помещения, где имеются изолирующие полы, отсутствует токопроводная пыль, допустимые или оптимальные микроклиматические параметры.

В рабочем кабинете источником опасности для сотрудника (человека) являются вычислительная техника: компьютеры, сканеры, принтеры и другие электрооборудования, с рабочим напряжением 220 В. В то время как безопасные номиналы:

- $I < 0,1 \text{ А}$,
- $U < (12-36)$,
- $R \text{ заземления} < 4 \text{ Ом}$.

Предельно допустимые значения уровня ЭМП не должны превышать значений, приведенных в таблице 29.

Таблица 29 – Предельно допустимые значения уровня ЭМП

Диапазон частот, МГц	Предельно допустимое значение уровня ЭМП		
	по электрической составляющей, $(\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$	по магнитной составляющей, $(\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$	по плотности потока энергии, $(\text{мкВт/см}^2) \cdot \text{ч}$
от 0,06 до 3,00	20000	200	-
от 3,00 до 30,00	7000	-	-
от 30,00 до 50,00	800	0,72	-
от 50,00 до 300,00	800	-	-
от 300,00 до 300000,00	-	-	200

Измерения напряженности и плотности потока энергии ЭМП должно проводиться не реже одного раза в год, а также в следующих случаях:

- при вводе в действие новых установок;

- при внесении изменений в конструкцию, размещение и режим работы действующих установок;
- во время и после проведения ремонтных работ, которые могут сопровождаться изменением излучаемой мощности;
- при внесении изменений в средства защиты от ЭМП;
- при организации новых рабочих мест.

Электробезопасность на предприятии обеспечивается соответствующей конструкцией установок; применением технических способов и средства защиты.

Основными техническими способами и средствами защиты от поражения электрическим током являются:

- Защитное заземление, зануление.
- Малое напряжение.
- Электрическое разделение сетей.
- Защитное отключение.
- Изоляция токоведущих частей.
- Оградительные устройства.
- Предупредительная сигнализация.
- Изолирующие защитные и предохранительные приспособления.

Работники, работающие с электроустановками, должны пользоваться электрозащитными средствами. По назначению электрозащитные средства подразделяются на изолирующие (диэлектрические перчатки, боты, галоши, ковры, инструменты с изолирующими ручками и др.) и предохранительные (пояса, защитные очки и др.).

5.2.2 Пожарная безопасность

Обеспечение пожарной безопасности в производственных помещениях

осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004, норм пожарной безопасности, правил противопожарного режима в Российской Федерации.

Противопожарная защита предприятия обеспечивается: применением средств пожаротушения, автоматических установок пожарной сигнализации, организацией своевременной эвакуации людей и т.д.

Углекислотный огнетушитель ОУ-2 является переносным огнетушителем закачного типа с 2 кг зарядом сжиженной углекислоты, находящейся в герметичном металлическом корпусе под высоким давлением собственным паров. Требуется для ликвидации возникших внутри строительных объектов, транспортных средств небольших по площади очагов 3 классов пожаров:

- В – горючих, легко воспламеняемых жидкостей.
- С – горючих газов, паров.
- Е – электрического производственного, бытового оборудования, приборов, аппаратуры управления, контроля за ведения технологических процессов, подключенных к электроснабжению с напряжением не больше 1000 В.

ОХВП-10 запрещено применять для тушения возгораний активных металлов – Na, K, Mg, Al, металлоорганических соединений; сырья, товароматериальных ценностей, что способны самостоятельно поддерживать процесс горения; электроустановок.

Категория рабочего помещения по пожарной опасности – В4.

Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении: горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся, не относятся к категории А или Б.

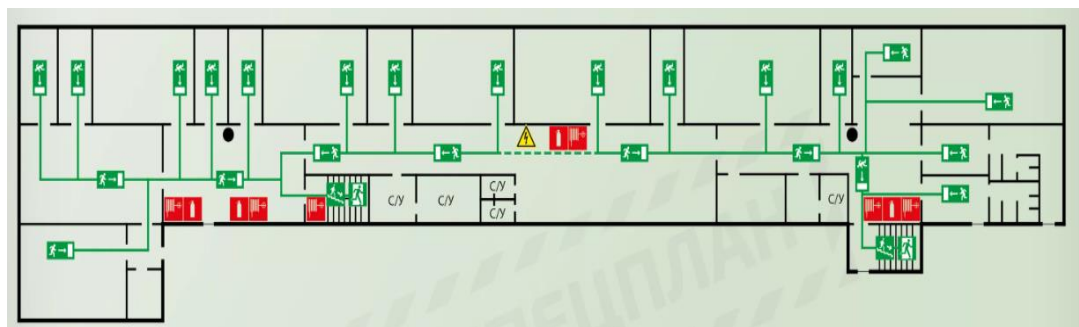


Рисунок 10 – План эвакуации при пожаре.

5.3 Экологическая безопасность

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке[6];

Исходя из сказанного выше перед планированием покупки компьютера необходимо:

- Побеспокоится заранее о том, каким образом будет утилизирована имеющаяся техника, перед покупкой новой.
- Узнать насколько новая техника соответствует современным эко-стандартам и примут ее на утилизацию после окончания срока службы.

Утилизировать оргтехнику, а не просто выбрасывать на «свалку» необходимо по следующим причинам:

Во-первых, в любой компьютерной и организационной технике содержится некоторое количество драгоценных металлов. Российским законодательством предусмотрен пункт, согласно которому все организации обязаны вести учет и движение драгоценных металлов, в том числе тех, которые входят в состав основных средств. За несоблюдение правил учета, организация может быть оштрафована на сумму от 20000 до 30000 руб. (согласно ст. 19.14. КоАП РФ);

Во-вторых, предприятие также может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на «свалку»;

Стадия утилизации, утилизируя технику мы заботимся об экологии: количество не перерабатываемых отходов минимизируется, а такие отходы, как пластик, пластмассы, лом черных и цветных металлов, используются во вторичном производстве. Электронные платы, в которых содержатся драгметаллы, после переработки отправляются на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдаются в Госфонд, а не оседают на свалках.

Таким образом утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

- отделить металлические детали от неметаллов;
- разделить углеродистые металлы от цветмета;
- пластмассовые изделия (крупногабаритные) измельчить для уменьшения объема;
- копир-порошок упаковать в отдельную упаковку, точно также, как и все проклассифицированные и измельченные компоненты оргтехники, и после накопления на складе транспортных количеств отправить предприятиям и фирмам, специализирующимся по переработке отдельных видов материалов.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Природная чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории или акватории, сложившейся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации, который может повлечь или повлек за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приводит к авариям систем тепло- и водоснабжения, сантехнических коммуникаций и электроснабжения, приостановке работы. В этом случае при подготовке к зиме следует предусмотреть а) газобаллонные калориферы (запасные обогреватели), б) дизель или бензоэлектрогенераторы; в) запасы питьевой и технической воды на складе (не менее 30 л на 1 человека); г) теплый транспорт для доставки работников на работу и с работы домой в случае отказа муниципального транспорта. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа не прекратилась.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

5.5 Перечень нормативно-технической документации

Основой раздела являются материалы по вопросам охраны труда и окружающей среды, законодательные и нормативно-технические документы.

Для рабочих мест с ПК необходимо соблюдение требований согласно:

1. ГОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
2. ГОСТ 12.4.154-85 “ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты”
3. З.ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".
5. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
6. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
7. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.
8. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
9. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
10. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
11. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
12. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
13. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
14. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.

15.ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры

Заключение

Аппроксимации форм-фактора пиона выполнены с использованием суммы вкладов изовекторных и векторных мезонов: помимо доминирующего резонанса ρ и нарушающего изоспин $\rho - \omega$ интерференции, необходимы три высших состояния для воспроизведения структуры, наблюдаемые в измеренном спектре. Были извлечены параметры для форм-фактора, построенного по правилу кваркового счета, что позволяет согласованно описать поведение форм-факторов при росте энергии, от малых энергий, описываемых феноменологическими моделями, к большим, процессы в которых могут быть описаны в рамках фундаментальной теории квантовой хромодинамики.

Модель векторной доминантности с учетом форм-фактора, построенного по методу кваркового счета, показала себя эффективной при энергиях до 3 ГэВ, а извлеченные параметры на этом диапазоне соотносятся в пределах погрешностей с результатами других экспериментов.

Для описания всех экспериментальных данных BABAR использовалась модель Гунариса-Сакураи, которая показала согласованность данных с теоретической моделью. Введенный форм-фактор скорректировал форму графика и извлеченные параметры. Результаты соотносятся с полученными графиками и результатами других экспериментов.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что введенный форм-фактор, построенный по правилу кваркового счета, делает модель более точной, а извлеченные параметры приближенными к реальным значениям.

Список литературы

- 1) Р. Фейнман. Взаимодействие фотонов с адронами. М.: Мир, 1975. С. 389.
- 2) Final report of the E821 muon anomalous magnetic moment measurement at BNL / G. W. Bennett, B. Bousquet, H. N. Brown [и др.] // Phys. Rev. D. 2006. Apr. T. 73. C. 072003.
- 3) Improved predictions for $g-2$ of the muon and $\alpha(\text{QED}) (M^{*2}(Z))$ / Kaoru Hagiwara, A. D. Martin, Daisuke Nomura [и др.] // Phys. Lett. 2007. T. B649. C. 173–179.
- 4) В. Б. Берестецкий Е. М. Лифшиц Л. П. Питаевский. Квантовая электродинамика. М.: Физматлит, 2001. Т. 4. С. 579–581.
- 5) Е. Пескин М., В. Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. С. 784.
- 6) Measurement of the Positive Muon Anomalous Magnetic Moment to 0.7 ppm / G. W. Bennett, B. Bousquet, H. N. Brown [и др.] // Phys. Rev. Lett. 2002. Aug. T. 89. C. 101804.
- 7) Bennett G. W. [и др.]. Measurement of the positive muon anomalous magnetic moment to 0.7 ppm // Phys. Rev. Lett. 2002. T. 89. C. 101804. [Erratum: Phys. Rev. Lett. 89, 129903 (2002)].
- 8) Bennett G. W. [и др.]. Measurement of the negative muon anomalous magnetic moment to 0.7 ppm // Phys. Rev. Lett. 2004. T. 92. C. 161802.
- 9) Bennett G. W. [и др.]. Final Report of the Muon E821 Anomalous Magnetic Moment Measurement at BNL // Phys. Rev. 2006. T. D73. C. 072003.
- 10) Bouchiat C., Michel L. // J. Phys. Radium. 1961. T. 22. C. 121.
- 11) Gourdin M., de Rafael E. // Nucl. Phys. 1969. T. B10. C. 667.
- 12) Jegerlehner Fred. Hadronic contributions to the photon vacuum polarization and their role in precision physics // J. Phys. 2003. T. G29. C. 101–110.
- 13) Иоффе Б. Л. Киральная эффективная теория сильных взаимодействий // УФН. 2001. Т. 171:12. С. 1273–1290.

14) Eidelman S., Jegerlehner F. Hadronic contributions to $g-2$ of the leptons and to the effective fine structure constant $\alpha(M(z)^{**2})$ // Z. Phys. 1995. T. C67. C. 585– 602.

15) The Muon ($g-2$) Theory Value: Present and Future / Thomas Blum, Achim Denig, Ivan Logashenko [и др.]. 2013.

16) Jegerlehner Fred, Nyffeler Andreas. The Muon $g-2$ // Phys. Rept. 2009. T. 477. C. 1–110.

Приложение А
(справочное)

Application of quark counting rule to the form factor pion in the electron-positron annihilation reaction in two pi mesons

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОВМ01	Брагин Сергей Валерьевич		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник ИШФВП	Шевелев А.Э.	к.ф.-м. н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кабрышева О.П.	—		

1. Literature review

1.1 The vector dominance model

Vector dominance is a model describing the property of a photon at energies greater than several GeV to exhibit hadron properties. According to the vector dominance model, a photon can interact with a hadron by first passing into vector mesons ρ_0 , ω , φ and other mesons having the same quantum properties as a photon.

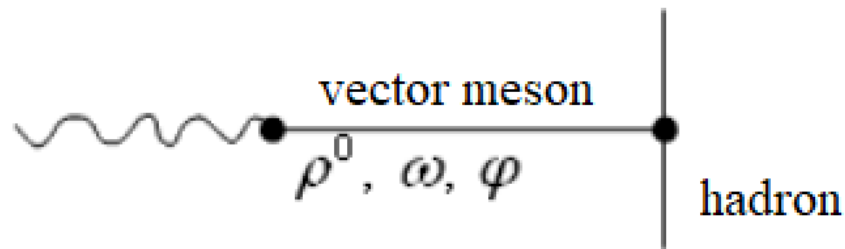


Figure 1 - Interaction of a photon with a hadron. The photon turns into a vector meson, which interacts with the hadron.

Thus, the resonant nature of the production of K^+K^- mesons in the e^+e^- annihilation process is well described by the Feynman diagram, in which the photon first turns into a φ -meson, then decays into K^+K^- mesons. The resonance energy coincides with the rest energy φ - meson in this process.

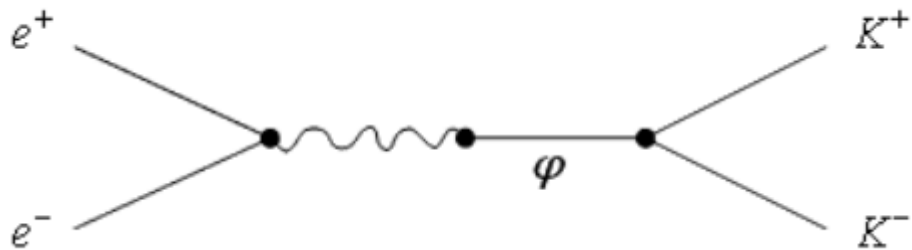


Figure 2 - The birth of K^+K^- pairs in e^+e^- annihilation.

In the simplest model, the cross-section of the interaction of a high-energy photon σ with a nucleus containing A nucleons should be proportional to the mass number A , it follows from the experiment that the cross-section determined by

$$\sigma = \alpha A + \beta A^{\frac{2}{3}}.$$

The second term is caused by photons that turned into vector mesons before interacting with the nucleus. One of the consequences of such a virtual transformation of the gamma quantum into vector mesons is that not all nucleons turn out to be equal, some of them turn out to be shielded as a result of the strong interaction of the produced virtual meson with the nucleus.

The square of the pion form factor is defined as usual by the ratio of the cross-section divided by the lower-order cross-section for point spins of charged particles.

The vector dominance model is used to match the BABAR form factor of the peony.

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-) = \frac{\pi\alpha^2}{3s} |F_{\gamma^*\pi\pi}(s)|^2 (1 - \frac{4M_\pi^2}{s})^{3/2},$$

where

$$F_{\gamma^*\pi\pi}(s) = \left(1 + BW_\rho(s) + BW_\omega(s) + BW_{\rho'}(s) + BW_{\rho''}(s) + BW_{\rho'''}(s)\right),$$

$$BW_V(s) = \frac{g_{V_\gamma}(s)s}{M_V^2 - s - i\Gamma_V M_V}, \quad g_{V_\gamma}(s) = \frac{1}{1 - \sqrt{s}/\Lambda_{V_\gamma} - i\Gamma_{V_\gamma}/\Lambda_{V_\gamma}}.$$

1.2 The Gunaris-Sakurai Model

To describe the contributions of the ρ – resonances, the Gunaris-Sakurai model is used, in which, in addition to the domain contribution of the ρ – meson, the contributions of other vector resonances are taken into account.

$$BW_{\rho(M_\rho)}^{GS} = \frac{M_\rho^2(1 + d \cdot \frac{\Gamma_\rho}{M_\rho})}{M_\rho^2 - s + f(s) - iM_\rho\Gamma_\rho(s)},$$

where

$$f(s) = \Gamma_\rho \frac{M_\rho^2}{p_\pi^3(M_\rho^2)} \left[p_\pi^2(s) (h(s) - h(M_\rho^2)) + (M_\rho^2 - s) p_\pi^2(M_\rho^2) \frac{dh}{ds} \Big|_{s=M_\rho^2} \right],$$

$$h(s) = \frac{2}{\pi} \frac{p_\pi(s)}{\sqrt{s}} \ln \frac{\sqrt{s} + 2p_\pi(s)}{2m_\pi},$$

$$\frac{dh}{ds} \Big|_{s=M_\rho^2} = h(M_\rho^2) \left[\frac{1}{8p_\pi^2(M_\rho^2)} - \frac{1}{2M_\rho^2} \right] + \frac{1}{2\pi M_\rho^2},$$

$$p_\pi(s) = \frac{1}{2} \sqrt{s - 4m_\pi^2}.$$

It was assumed that the dependence of the resonance width on the energy is completely described by the change in the phase volume of two finite pions in the P-wave:

$$\Gamma_\rho(s) = \Gamma_\rho \left[\frac{p_\pi(s)}{p_\pi(M_\rho^2)} \right]^3 \left[\frac{M_\rho^2}{s} \right]^{\frac{1}{2}}.$$

The value of the parameter d is determined from the normalization condition $BW^{GS}(0)=1$:

$$d = \frac{3}{\pi} \frac{m_\pi^2}{p_\pi^2(M_\rho^2)} \ln \frac{M_\rho + 2p_\pi(M_\rho^2)}{2m_\pi} + \frac{M_\rho}{2\pi p_\pi(M_\rho^2)} - \frac{m_\pi^2 M_\rho}{\pi p_\pi^3(M_\rho^2)}.$$

To describe the ρ - ω interference, the contribution of ρ was modified as follows:

$$BW_\rho^{GS}(s) \rightarrow BW_\rho^{GS}(s) \cdot \left(1 + \delta \frac{s}{M_\omega^2} BW_\omega(s) \right),$$

where the Breit-Wigner function with a fixed width was used to parametrize the contribution of the meson ω :

$$BW_\omega(s) = \frac{M_\omega^2}{M_\omega^2 - s - iM_\omega\Gamma_\omega}.$$

The mixing parameter δ is complex. Finally, the parametrization of the pion form factor has the following form:

$$F_\pi(s) = \frac{BW_\rho^{GS}(s) \cdot \left(1 + \delta \frac{s}{M_\omega^2} BW_\omega(s)\right) + \beta BW_{\rho'}^{GS}(s) + \gamma BW_{\rho''}^{GS}(s)}{1 + \beta + \gamma}.$$

Adding a normalization factor $(1 + \beta + \gamma)^{-1}$ allows us to automatically fulfill the normalization condition $F_\pi(0) = 1$. Hereafter, δ is a complex parameter: $\delta = |\delta| \cdot e^{i\phi}$, β and γ are real parameters.

To obtain the lepton width of the ρ' - meson, the resonant part corresponding to the ρ' - meson was isolated, which, according to the vector dominance model, has the form:

$$F_\pi(s)|_{s \approx M_\rho^2} = \frac{g_{\rho\gamma} g_{\rho\pi\pi}}{M_\rho^2 - s - iM_\rho\Gamma_\rho},$$

$$g_{\rho\gamma} g_{\rho\pi\pi} = \frac{M_\rho^2 (1 + d \cdot \frac{\Gamma_\rho}{M_\rho})}{1 + \beta + \gamma}.$$

Using the relations of the vector dominance model

$$\Gamma_{V \rightarrow e^+ e^-} = \frac{4\pi\alpha^2}{3M_V^3} g_{V\gamma}^2,$$

$$\Gamma_{V \rightarrow \pi^+ \pi^-} = \frac{g_{V\pi\pi}^2 p_\pi^3(M_V^2)}{6\pi M_V^2}$$

and assuming that $\Gamma_{\rho \rightarrow \pi^+ \pi^-} = \Gamma_\rho$, one obtains

$$\Gamma_{\rho \rightarrow e^+ e^-} = \frac{2\alpha^2 p_\pi^3(M_\rho^2)(1 + d \cdot \frac{\Gamma_\rho}{M_\rho})^2}{9M_\rho \Gamma_\rho (1 + \beta + \gamma)^2}.$$

The Gunaris-Sakurai parametrization is constructed under the assumption that the decay of the vector meson goes only along the 2π channel. In the case of a ρ' meson, this assumption holds fairly well in the low-energy region, but for ρ'' and ρ''' it obviously does not hold. To account for other decay channels of heavy mesons, the dependence of the resonance width on the energy can be modified:

$$\Gamma_{\rho'}(s) = \Gamma^{\pi^+\pi^-}(s) + \Gamma^{\omega\pi^0}(s) + \Gamma^{4\pi}(s).$$

To describe the energy dependence of the pion form factor, another model is widely used, in which a more traditional parameterization of resonances is used:

$$BW_{\rho(M_\rho)}^{KS}(s) = \frac{M_\rho^2}{M_\rho^2 - s - iM_\rho \Gamma_\rho(s)},$$

where the dependence of the resonance width on the energy $\Gamma(s)$, as in the Gunaris-Sakurai model, corresponds to a change in the phase volume of two finite pions in a P-wave.

The parametrization of the pion form factor in this model, which in the literature is often called the Kuhn-Santa Maria model, has the following form:

$$F_\pi(s) = \frac{BW_\rho^{KS}(s) \cdot \left(1 + \delta \frac{s}{M_\omega^2} BW_\omega(s)\right) + \beta BW_{\rho'}^{KS}(s) + \gamma BW_{\rho''}^{KS}(s)}{1 + \beta + \gamma}.$$

1.3 Rules of quark counting

When one considers a dihedron scattering reactions at large angles at high energies, all momentum and energy transfers are large, and therefore we are dealing with interaction processes concentrated in the region of predominantly small

distances and time intervals, where the "rigid" point quark structure of hadrons should manifest itself directly.

In 1973, based on the principle of self-similarity and the model of quasi-free quarks, a general formula was established that determines the nature of the energy dependence of the differential cross section of an arbitrary binary scattering reaction at large angles at high energies $E = \sqrt{s}$ and the asymptotics of form factors at large momentum transfers $= \sqrt{-t}$:

$$\left(\frac{d\sigma}{dt}\right)_{ab \rightarrow cd} = S^{-(n_a+n_b+n_c+n_d-2)},$$

$$F(t) \sim t^{-(n_a-1)},$$

where $n_{i=a,b,c,d}$ – the number of elementary components involved in the hadron reaction.

These formulas, known as quark counting formulas, establish a direct relationship between the rate of power-law decrease of the differential cross-section of an exclusive binary scattering reaction at large angle with increasing energy and the degree of complexity of the particles involved in this process, that is, with the number of their elementary components.

The discovery of quark counting formulas has opened up wide possibilities for experimental study of the quark structure of hadrons and light atomic nuclei.

Consider a binary reaction of the general form $a+b \rightarrow c+d$. Let us assume that in the limit of high energies and large particle momentum transfers, a particle behaves as a composite system containing point generators – quarks. The state vector of such a system can be written as

$$|a\rangle = N_a |n_a - quarks\rangle,$$

where the symbol N_a denotes the operation of multiplying the state vector of free quarks by a suitable wave function of the system and integrating (summing) over the quark variables.

The differential cross section of the binary reaction, respectively, can be represented in the form

$$\left(\frac{d\sigma}{dt}\right)_{ab \rightarrow cd} = Tr \left(\prod_{i=a,b,c,d} \rho_i \frac{d\sigma}{dt} \right),$$

where

$$\rho_i = N_i \times N_i^+,$$

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{1}{s^2} | \langle n_a n_b | T | n_c n_d \rangle |^2$$

The dimension of a one-particle normalized relativistically invariant state is, as is known,

$$[|1 - partial \rangle] = m^{-1}.$$

Whence follow the dimensions of the multipliers ρ_i and $d\sigma/dt$.

Considering, in accordance with the principle of self-similarity, that the interaction of quarks at small distances is scale invariant, that is, it does not depend on the dimensional dynamic parameters, we come to the conclusion about the power-law behavior with increasing energy and momentum transfer of the values ρ_i and $d\sigma/dt$, and with it the differential cross section of the exclusive reaction:

$$\left(\frac{d\sigma}{dt}\right)_{ab \rightarrow cd} \rightarrow \left(\frac{1}{s}\right)^{n-2} f\left(\frac{t}{s}\right), n = n_a + n_b + n_c + n_d.$$

The function $f(t/s)$, which depends only on the ratio of large kinematic variables or on the scattering angle, is in itself a dimensional quantity, and the natural scale here is the effective particle size. Thus, the power-law asymptotic law indicates the factorization of effects at large and small distances.

The law of the power-law fall of the hadron form factor is a special case of an exclusive reaction – scattering of a structureless lepton on a hadron consisting of n_a quarks.

2 Efficient form factor

A form factor is a function describing the influence of the spatial dimensions of atoms, atomic nuclei or particles on their interaction with other particles or fields. The use of the form factor is based on the fact that the charges of particles or atomic nuclei are "smeared" in space with a certain density $p(r)$. In this case, the effective electron scattering cross section on an extended target has the form

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = |F(q^2)|^2 \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{point}.$$

The multiplier $F(q^2)$ is called a form factor. $q^2 = (p - p')^2$ – is the square of the 4-pulse transmitted during scattering.

The form factor is equal to the Fourier image of the electric charge distribution density

$$F(q^2) = \int p(r) e^{iqr/\hbar} dr$$

The form factor at zero transmitted pulse $F(0)$ is normalized to 1 for a charged particle and $F(0) = 0$ for a neutral one.

The main method of calculation in quantum chromodynamics is the expansion in a series according to the interaction constant. But at energies less than 10 GeV, the interaction constant is not a small quantity and it is impossible to perform a series expansion. At low energies, other models are used, but if an analytical continuation of the energy in quantum chromodynamics is performed to describe the processes, then the models should not contradict each other.

In the vector dominance model, such a contradiction arises, since the degree of «s» is different. To eliminate this contradiction, we multiply the function by a corrective form factor that depends on s, but adds parameters.

For the vector dominance model, the form factor has the form

$$F(s) = \frac{1 + as}{1 + bs + cs^2},$$

where a, b, c are constant parameters of the form factor.

For the Gunaris-Sakurai model, the form factor has the form

$$F(s) = \frac{1 + a \frac{s}{\Lambda^2}}{1 + b \frac{s}{\Lambda^2} + c \frac{s^2}{\Lambda^4}},$$

where a, b, c, Λ are constant parameters of the form factor.

3 Extraction of form factor parameters from experimental data.

3.1 Extraction of form factor parameters from experimental data in a vector dominance model

Taking into account the form factor, the vector dominance model takes the following form

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-) = \frac{\pi\alpha^2}{3s} |F_{\gamma^*\pi\pi}(s)|^2 \left(1 - \frac{4M_\pi^2}{s}\right)^{3/2} \left|F_{\gamma^*\pi\pi}^{(0)}(s)\right|^2,$$

where

$$F_{\gamma^*\pi\pi}(s) = \left(1 + BW_\rho(s) + BW_\omega(s) + BW_{\rho'}(s) + BW_{\rho''}(s) + BW_{\rho'''}(s)\right),$$

$$BW_V(s) = \frac{g_{V_\gamma}(s)s}{M_V^2 - s - i\Gamma_V M_V}, \quad g_{V_\gamma}(s) = \frac{1}{1 - \sqrt{s}/\Lambda_{V_\gamma} - i\Gamma_{V_\gamma}/\Lambda_{V_\gamma}},$$

$$F_{\gamma^*\pi\pi}^{(0)}(s) = \frac{1 + as}{1 + bs + cs^2}.$$

Let's represent the function $F_{\gamma^*\pi\pi}(s)$ as a complex number

$$F_{\gamma^*\pi\pi}(s) = \text{Re}F_{\gamma^*\pi\pi}(s) + i \cdot \text{Im}F_{\gamma^*\pi\pi}(s),$$

where

$$\begin{aligned} \text{Re}F_{\gamma^*\pi\pi}(s) &= 1 + \text{Re}BW_\rho(s) + \text{Re}BW_\omega(s) + \text{Re}BW_{\rho'}(s) + \text{Re}BW_{\rho''}(s) \\ &\quad + \text{Re}BW_{\rho'''}(s); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Im}F_{\gamma^*\pi\pi}(s) &= \text{Im}BW_\rho(s) + \text{Im}BW_\omega(s) + \text{Im}BW_{\rho'}(s) + \text{Im}BW_{\rho''}(s) \\ &\quad + \text{Im}BW_{\rho'''}(s). \end{aligned}$$

Then

$$|F_{\gamma^*\pi\pi}(s)|^2 = (\text{Re}F_{\gamma^*\pi\pi}(s))^2 + (\text{Im}F_{\gamma^*\pi\pi}(s))^2.$$

Transform the Breit-Wigner function by separating the real and imaginary parts

$$\begin{aligned} BW_V(s) &= \frac{g_{V_\gamma}(s)s}{M_V^2 - s - i\Gamma_V M_V} = \frac{s}{(M_V^2 - s - i\Gamma_V M_V) \left(1 - \frac{\sqrt{s}}{\Lambda_{V_\gamma}} - \frac{i\Gamma_{V_\gamma}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right)} = \\ &= \frac{s(M_V^2 - s + i\Gamma_V M_V) \left(1 - \frac{\sqrt{s}}{\Lambda_{V_\gamma}} + \frac{i\Gamma_{V_\gamma}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right)}{((M_V^2 - s)^2 + (\Gamma_V M_V)^2) \left(\left(1 - \frac{\sqrt{s}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{\Gamma_{V_\gamma}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right)^2\right)}; \\ \text{Re}BW_V(s) &= \frac{s \left[\left(1 - \frac{\sqrt{s}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right) (M_V^2 - s) - \Gamma_V M_V \frac{\Gamma_{V_\gamma}}{\Lambda_{V_\gamma}} \right]}{((M_V^2 - s)^2 + (\Gamma_V M_V)^2) \left(\left(1 - \frac{\sqrt{s}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{\Gamma_{V_\gamma}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right)^2\right)}; \\ \text{Im}BW_V(s) &= \frac{s \left[\left(1 - \frac{\sqrt{s}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right) \Gamma_V M_V - (M_V^2 - s) \frac{\Gamma_{V_\gamma}}{\Lambda_{V_\gamma}} \right]}{((M_V^2 - s)^2 + (\Gamma_V M_V)^2) \left(\left(1 - \frac{\sqrt{s}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{\Gamma_{V_\gamma}}{\Lambda_{V_\gamma}}\right)^2\right)}. \end{aligned}$$

We will test this model of vector dominance on the results of the BABAR experiment at different mass ranges.

On the first mass range

$$F_{\gamma^*\pi\pi}(s) = 1 + BW_\rho(s).$$

Figure 2 shows a graph of the theoretical model of vector dominance, a red line, and experimental data taking into account errors, black crosses. The cross section is located on the ordinate axis, and $s = E^2$ is located on the abscissa axis.

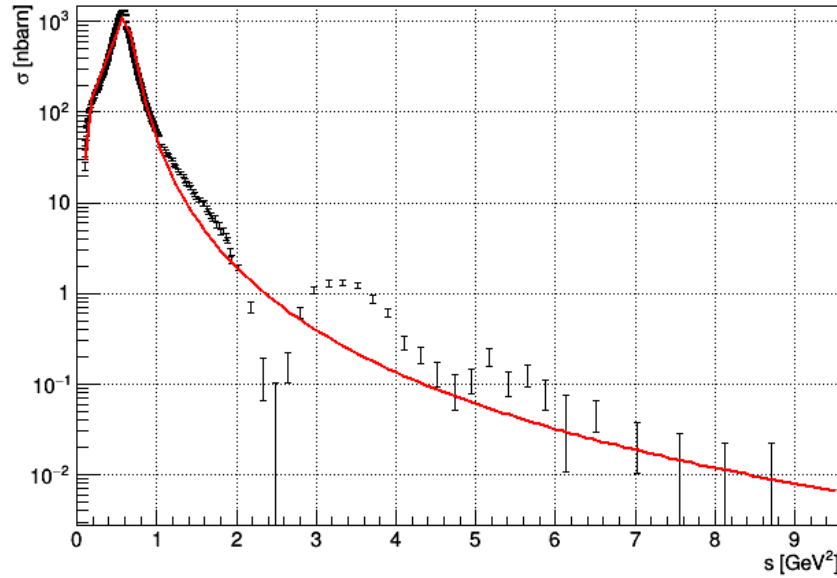


Figure 2 - A model of vector dominance in the first mass range.

The following extract parameters: $m_\rho, \Gamma_\rho, \Gamma_{\rho\gamma}, \Lambda_{\rho\gamma}, a, b, c$. The results are presented in Table 1. Extract parameters using the least squares method, and the error was determined in comparison with the normal distribution.

Table 1.

Parameters	Value
m_ρ	$0,601 \pm 0,007$
Γ_ρ	$0,176 \pm 0,005$
$\Gamma_{\rho\gamma}$	$0,175 \pm 0,002$
$\Lambda_{\rho\gamma}$	$0,513 \pm 0,007$
a	$0,849 \pm 0,008$

b	$1,083 \pm 0,006$
c	$2,193 \pm 0,009$

The experimental data are consistent with the theoretical model of vector dominance in the first mass range, and extract parameters are correlated with the obtained graph and the results of other experiments.

On the second mass range

$$F_{\gamma^* \pi \pi}(s) = 1 + BW_{\rho}(s) + BW_{\omega}(s).$$

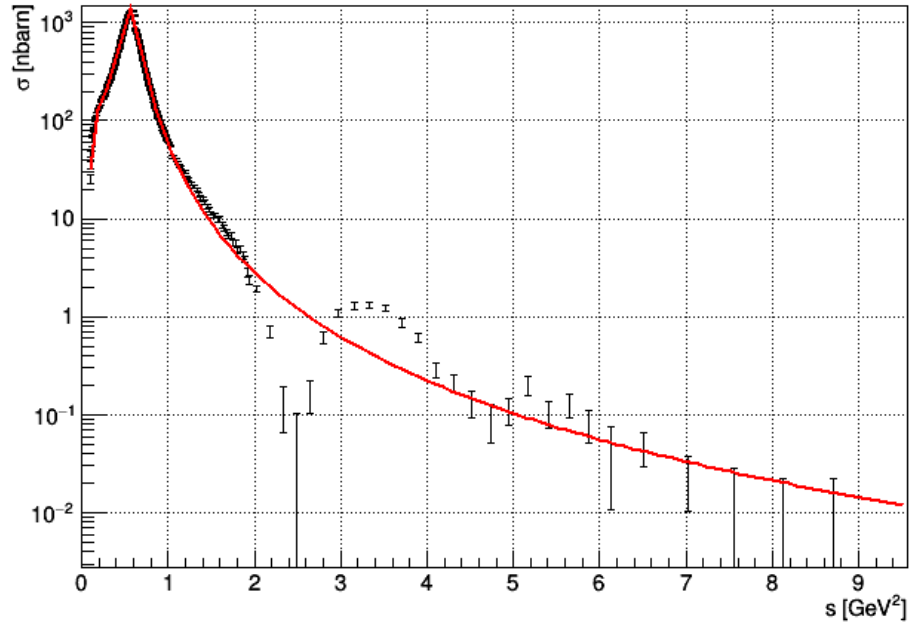


Figure 3 - A model of vector dominance in the second mass range.

Extract parameters: $m_{\rho}, m_{\omega}, \Gamma_{\rho}, \Gamma_{\omega}, \Gamma_{\rho\gamma}, \Gamma_{\omega\gamma}, \Lambda_{\rho\gamma}, \Lambda_{\omega\gamma}, a, b, c$. The results are presented in table 2.

Table 2.

Parameters	Value
m_{ρ}	$0,783 \pm 0,005$
m_{ω}	$0,769 \pm 0,009$

Γ_ρ	$0,153\pm0,005$
Γ_ω	$0,792\pm0,007$
$\Gamma_{\rho\gamma}$	$0,169\pm0,007$
$\Gamma_{\omega\gamma}$	$0,156\pm0,002$
$\Lambda_{\rho\gamma}$	$0,591\pm0,005$
$\Lambda_{\omega\gamma}$	$0,682\pm0,008$
a	$0,752\pm0,003$
b	$0,893\pm0,004$
c	$1,903\pm0,002$

Extract parameters are correlated with the resulting graph. Comparing Figure 2 and 3, it can be seen that in the range p - ω , the theoretical model is closer to the experimental data in Figure 3 than in 2.

On the third mass range

$$F_{\gamma^*\pi\pi}(s) = 1 + BW_\rho(s) + BW_\omega(s) + BW_{\rho'}(s) + BW_{\rho''}(s) + BW_{\rho'''}(s).$$

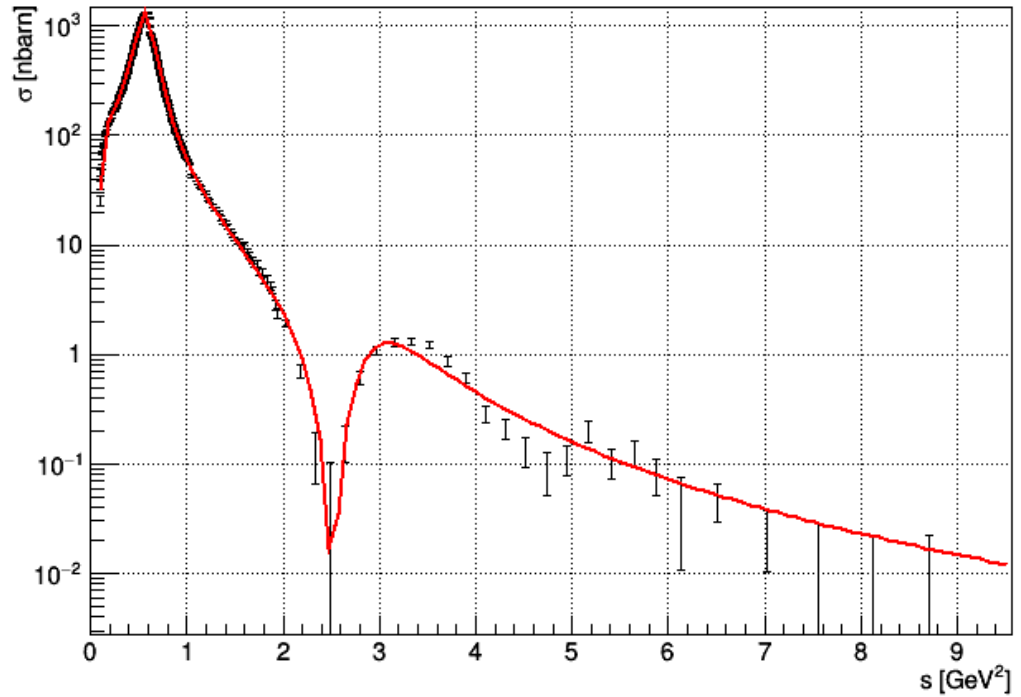


Figure 4 - A model of vector dominance on the third mass range.

Extract parameters: $m_\rho, m_\omega, m_{\rho'}, m_{\rho''}, m_{\rho'''}, \Gamma_\rho, \Gamma_\omega, \Gamma_{\rho'}, \Gamma_{\rho''}, \Gamma_{\rho'''}, \Gamma_{\rho\gamma}, \Gamma_{\omega\gamma}, \Gamma_{\rho'\gamma}, \Gamma_{\rho''\gamma}, \Gamma_{\rho'''\gamma}, \Lambda_{\rho\gamma}, \Lambda_{\omega\gamma}, \Lambda_{\rho'\gamma}, \Lambda_{\rho''\gamma}, \Lambda_{\rho'''\gamma}$ a, b, c . The results are presented in table 3.

Table 3.

Parameters	Value
m_ρ	0,781±0,005
m_ω	0,776±0,007
$m_{\rho'}$	1,486±0,006
$m_{\rho''}$	1,865±0,007
$m_{\rho'''}$	2,246±0,002
Γ_ρ	0,153±0,009
Γ_ω	0,809±0,008
$\Gamma_{\rho'}$	0,432±0,008
$\Gamma_{\rho''}$	0,309±0,006
$\Gamma_{\rho'''}$	0,114±0,007
$\Gamma_{\rho\gamma}$	0,172±0,002
$\Gamma_{\omega\gamma}$	0,153±0,006
$\Gamma_{\rho'\gamma}$	0,076±0,003
$\Gamma_{\rho''\gamma}$	-0,053±0,004
$\Gamma_{\rho'''\gamma}$	0,024±0,003
$\Lambda_{\rho\gamma}$	0,521±0,007
$\Lambda_{\omega\gamma}$	0,583±0,008
$\Lambda_{\rho'\gamma}$	0,681±0,007
$\Lambda_{\rho''\gamma}$	0,752±0,006
$\Lambda_{\rho'''\gamma}$	-0,814±0,009

a	$0,867 \pm 0,005$
b	$0,984 \pm 0,002$
c	$2,203 \pm 0,003$

Figure 4 shows that at low energy values, up to 3 GeV, the experimental data coincide with the theoretical model, but at high energies there is no consistency. Extract parameters are correlated only at low energies. There are also negative values, from which it can be concluded that this model of vector dominance is not effective at high energies.