



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»
Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета

/Н.М. Буднев
«20» апреля 2024 г.



Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: Б1.В.02.02 Специальный практикум по квантовой теории

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Фундаментальная физика

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета
Протокол №42 от «15» апреля 2024 г.

Председатель


Н.М.Буднев

Рекомендовано кафедрой:
Протокол №7
От «15» марта 2024 г.

И.о. зав. кафедрой


С.В. Ловцов

Иркутск 2024 г.

Содержание

I. Цели и задачи дисциплины (модуля).....	3
II. Место дисциплины в структуре ОПОП:.....	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины:.....	3
IV. Содержание и структура дисциплины (модуля).....	4
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	4
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	5
4.3. Содержание учебного материала.....	5
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.....	6
4.3.2. План самостоятельной работы студентов.....	7
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	8
4.5. Примерная тематика курсовых работ.....	8
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:.....	8
а) список литературы.....	8
б) периодические издания.....	9
в) список авторских методических разработок.....	9
г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.....	9
VII. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	10
VII. Образовательные технологии:.....	10
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации.....	10
Приложение: фонд оценочных средств	

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Цели курса

Квантовая теория является важной частью универсальной базы для изучения общепрофессиональных и специальных дисциплин, вооружает выпускников необходимыми знаниями для решения научно-технических задач в теоретических и прикладных аспектах, знакомит студентов с научными методами познания, учит отличать гипотезу от теории и подчёркивает тесную связь теории и эксперимента. Эта дисциплина позволяет провести границу между научным и антинаучным подходом в изучении окружающего мира, позволяет научить строить физические модели происходящего и устанавливать связь между явлениями, прививает понимание причинно-следственной связи между явлениями.

Цель -изучение высокоэнергетических процессов в астрофизических объектах, в которых генерируются потоки космического излучения – гамма-кванты, нейтрино и космических лучи, являющиеся в настоящее время предметом исследования с помощью крупномасштабных детекторов.

Задачи: научиться выполнять расчеты и делать оценки характеристик фундаментальных процессов, лежащих в основе генерации потоков частиц внеземного происхождения и методов их детектирования: рассеяние нейтрино на электронах, нуклонах и ядрах; поглощение и регенерация нейтрино при прохождении через толщу Земли; слабые распады мезонов.

II. Место дисциплины в структуре ОПОП:

Дисциплина «Спецпрактикум по квантовой теории» относится к дисциплинам формируемым участниками образовательного процесса. Изучение курса проходит параллельно с изучением курса «Квантовая механика» и предполагает наличие полученных на предыдущем уровне образования основных знаний, умений и компетенций по дисциплинам «Дифференциальные уравнения», «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Интегральные уравнения», «Теория функций комплексного переменного». Дисциплина «Спецпрактикум по квантовой теории» предоставляет качественную основу для последующих разделов курса теоретической физики «Физика конденсированного состояния», «Термодинамика и статистическая физика», «Введение в квантовую теорию поля», «Квантовая теория излучения», «Астрофизика высоких энергий», «Нейтринная астрофизика».

III. Требования к результатам освоения дисциплины:

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	ПК-1: Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин
Индикаторы компетенции	ИДК _{пк 1.1} Применяет физико-математический аппарат в сфере своей профессиональной деятельности
Результаты обучения	Знает: основные методы решения задач, основные законы квантовой механики, типы и характеристики фундаментальных взаимодействий. Умеет: решать основные уравнения квантовой механики; формулировать основные принципы квантовой теории и применять их к решению конкретных квантово-механических задач; применять уравнения и методы для решения задач в области физики частиц, астрофизики высоких энергий и нейтринной астрофизики Владеет: математическим аппаратом, применяющемся в квантово-механическом подходе, навыками решения квантово-механических задач; дифференциальных и полных сечений рассеяния, времен жизни, времени задержки, энергий связи, спектров распадов частиц и их пробегов в веществе.
Компетенция	ПК-2: Способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта
Индикаторы компетенции	ИДК _{пк 2.1} Применяет физико-математический аппарат в сфере своей профессиональной деятельности, знает основные принципы и понятия
Результаты обучения	Знает: основные методы решения задач, основные законы квантовой механики, типы и характеристики фундаментальных взаимодействий. Умеет: решать основные уравнения квантовой механики; формулировать основные принципы квантовой теории и применять их к решению конкретных квантово-механических задач; применять уравнения и методы для решения задач в области физики частиц, астрофизики высоких энергий и нейтринной астрофизики. Владеет: математическим аппаратом, применяющемся в квантово-механическом подходе, навыками решения квантово-механических задач; дифференциальных и полных сечений рассеяния, времен жизни, времени задержки, энергий связи, спектров распадов частиц и их пробегов в веществе.

IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа, в том числе 57 часов контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 48 часов.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/	С	Вс	Из них практическая под-	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)		Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации
					С	Самостоя-	
		е	ег	них	Контактная работа преподавателя с обучающимися	Самостоя-	
		м	о	прак-		тельная	
		с	ча	тиче-			
		е	со	ская			
		с	в	под-			
		т	в				

	темы	р		го- товка обу- чаю- щих- ся	Лекции	Семинарские /практические /лабораторные занятия	Консультации	работа	(по семе- страм)
1	1-10	8	72	48		48	1	15	Практиче- ское зада- ние
Итого:			72	48		48	1	15	

4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, те- мы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно- методиче- ское обеспе- чение само- стоятельной работы
		Вид само- стоятельной работы	Сроки вы- полнения	Трудо- емкость (час.)		
8	Тема 1-10	Задание в ви- де задачи	После прой- денных тем	15	Демонстра- ция готовых решений	Источники из основной и до- полнительной литературы по теме практиче- ских занятий; Образователь- ные ресурсы, до-ступные по логину и паро- лю, представ- ляемым Науч- ной библиоте- кой ИГУ.

4.3. Содержание учебного материала

Тема 1. Феноменология слабого взаимодействия, ($V-A$)-теория, структура слабых токов, слабый кварковый ток. Несохранение P -, C -четности. Несохранение CP -четности в распадах нейтральных каонов.

Тема 2. Стандартная модель электрослабого взаимодействия (теория Вайнберга-Глэшоу-Салама), общая структура лагранжиана электрослабого взаимодействия, заряженные и нейтральные лептонные и кварковые токи. Необходимость смешивания кварков, угол Кабиббо, матрица Кабиббо-Кобаяши-Маскава.

Тема 3. Возможные расширения стандартной модели. Физика нейтрино: массы, смешивание, осцилляции. Нейтрино в космологии и астрофизике.

Тема 4. Рассеяние нейтрино на нуклонах, электронах и ядрах, заряженные и нейтральные токи.

Тема 5. Прохождение пучка нейтрино через вещество, поглощение и регенерация нейтрино.

Тема 6. Вынужденная поляризация частиц в слабых распадах пионов $\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu_\mu (\bar{\nu}_\mu)$ и мюонов $\mu^\pm \rightarrow e^\pm + \nu_e (\bar{\nu}_e) + \bar{\nu}_\mu (\nu_\mu)$.

Тема 7. Осцилляции странности в пучках нейтральных каонов, роль этого явления в широких атмосферных ливнях. Спектры распадов каонов в лабораторной системе.

Тема 8. Сильные взаимодействия. Сравнение характеристик основных адронных моделей, используемых при моделировании широких атмосферных ливней, порожденных космическими лучами (ШАЛ).

Тема 9. Взаимодействие космических лучей с атмосферой Земли. Широкие атмосферные ливни. Модели ядерного каскада в атмосфере, методы приближенного решения уравнений каскада. Точно решаемая модель нуклонного каскада и ее расширение на случай зависящих от энергии свободных пробегов частицы

Тема 10. Механизм Грейзена-Зацепина-Кузьмина обрезания спектра КЛ. Изменение спектра протонов КЛ сверхвысоких энергий при учете механизма ГЗК.

4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	Тема 1	Расчет относительного выхода заряженных и нейтральных пи-мезонов в реакции фоторождения	6	Проверка решения задач, собеседование с преподавателем	ПК-1 ПК-2
2.	Тема 2	Расчет энергетических спектров мюонов и нейтрино в двухчастичных распадах заряженных пионов и каонов	6		ПК-1 ПК-2
3.	Тема 3	Пробег $\pi^\pm, K^\pm, K_L^0, K_S^0$ в веществе, критическая энергия до распада, рассчитать долю распавшихся мезонов космических лучей с энергией E (ЛС) на данной глубине h в атмосфере Земли.	-		ПК-1 ПК-2
4.	Тема 4	Расчет сечений СС-, НС-взаимодействий нейтрино высоких энергий ($E > 10$ ГэВ) с нуклоном, сигнатура событий в нейтринном детекторе.	4		ПК-1 ПК-2

5.	Тема 5	Рассчитать свободные пробеги нейтрино разных сортов (v_e, v_μ, v_τ) в воде и грунте.	4		ПК-1 ПК-2
6.	Тема 6	Распадах поляризованных положительно заряженных мюонов	4		ПК-1 ПК-2
7.	Тема 7	Расчет интенсивности мезонов	4		ПК-1 ПК-2
8.	Тема 8	Расчет энергетических спектров нуклонов и мезонов для простой модели адронного каскада на малой глубине атмосферы	8		ПК-1 ПК-2
9.	Тема 9	Расчет пороговой энергии и энергетических потерь протонов космических лучей сверхвысоких энергий в процессах взаимодействия с реликтовым излучением	4		ПК-1 ПК-2
10.	Тема 10	Расчет сечений рождения очарованных мезонов в pp-соударениях при высоких энергиях в рамках модели кварк-глюонных струн	8		ПК-1 ПК-2

4.3.2. План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1	Феноменология слабого взаимодействия	Внеаудиторная, изучение литературы, решение задач	Лаб. работы, подготовка отчета	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ и Сторонние сайты	-
2	Физика нейтрино: массы, смешивание, осцилляции	Внеаудиторная, изучение литературы, выполнение лаб. работы	Лаб. работы, подготовка отчета		3
3	Рассеяние нейтрино на нуклонах, электронах и ядрах	Внеаудиторная, анализ моделей	Лаб. работы, подготовка отчета		3
4	Прохождение пучка нейтрино через вещество	Внеаудиторная, компьютерное моделирование	Лаб. работы, подготовка отчета		3
5	Поляризация частиц в слабых распадах	Внеаудиторная, решение задач	Лаб. работы, подготовка отчета		3

	падах пионов и мюонов				
6	Осцилляции странности в пучке каонов	Внеаудиторная, решение задач	Лаб. работы, подготовка отчета		3
7	Феноменологические модели адрон-ядерных взаимодействий	Внеаудиторная, компьютерное моделирование	Лаб. работы, подготовка отчета		-
8	Модели ядерного каскада в атмосфере	Внеаудиторная, решение задач, компьютерное моделирование	Лаб. работы, подготовка отчета		-
9	Расчет характеристик потоков мюонов космических лучей	Внеаудиторная, решение задач	Лаб. работы, подготовка отчета		-
10	Выход π^\pm , π^0 - мезонов реакциях фоторождения	Внеаудиторная, решение задач	Лаб. работы, подготовка отчета		-

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Предполагается, что студент самостоятельно изучит дополнительный материал из рекомендованной литературы и решит предложенные задачи. Оценка самостоятельной работы студентов проводится на основе устного и письменного отчета по каждой лабораторной работе.

4.5. Примерная тематика курсовых работ

Учебным планом не предусмотрено написание курсовых работ.

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

а) список литературы

основная литература

1. Валл А. Н. Квантовая механика в задачах: учеб.- метод. пособие / А. Н. Валл, О. Н. Солдатенко. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2010. – 87 с. нф А623906; физмат 30856 (100 экз.)
2. Паршаков А. Н. Введение в квантовую физику: учеб. пособие [Электронный ресурс] / А. Н. Паршаков. – Электрон. версия кн. – СПб. : Изд-во Лань, [2010]. – 352 с. – (ЭБС «Лань»). – Режим доступа: неограниченный доступ <http://e.lanbook.com/view/book/297/>
3. Синеговский, С. И. Космические нейтрино высоких энергий [Электронный ресурс]: учеб. пособие / С. И. Синеговский. - ЭВК. - Иркутск: Изд-во ИГУ, 2009. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ.

дополнительная литература

1. Киселев В.В. Квантовая механика [Текст] : курс лекций / В. В. Киселев. - М.: Изд-во МЦНМО, 2009. - 560 с. - ISBN 978-5-94057-497-2 (4)
2. Ландау Л. Д. Квантовая механика: Теоретическая физика, том III / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 5-е изд. – М. : Наука, 1989. – 767 с. (56)
3. Галицкий А.М., Карнаков Б.М., Коган В.И. Сборник задач по квантовой механике. М: Наука, 1981, 2001. (54 экз)
4. Сунакава С. Квантовая теория рассеяния. М: Мир, 1979. (8 экз)
5. Бисноватый-Коган, Г. С. Релятивистская астрофизика и физическая космология / Г. С. Бисноватый-Коган. - М. : Красанд, 2011. - 363 с. - ISBN 978-5-396-00276-0 (2)
6. Клапдор-Клайнротхаус, Г. В. Астрофизика элементарных частиц / Г.В. Клапдор-Клайнротхаус, Кау Цюбер; Пер.с нем.,Под ред.А.А.Беднякова. - М.: Ред. журн."Успехи физич.наук", 2000. - 496 с. - ISBN 5855040127 (1)

б) периодические издания

- нет

в) список авторских методических разработок

- Материалы и книги по курсу доступны на сайте http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/homepage/sinegovsky.html.

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

<http://library.isu.ru/> - Научная библиотека ИГУ;

Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ:

<https://isu.bibliotech.ru/> - ЭЧЗ «БиблиоТех»;

<http://e.lanbook.com> - ЭБС «Издательство «Лань»;

<http://rucont.ru> - ЭБС «Руконт» - межотраслевая научная библиотека, содержащая оцифрованные книги, периодические издания и отдельные статьи по всем отраслям знаний, а также аудио-, видео-, мультимедиа софт и многое другое;

<http://ibooks.ru/> - ЭБС «Айбукс»- интернет ресурсы в свободном доступе;

VII. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения занятий используются учебные аудитории с меловой доской, также занятия могут проходить в компьютерном классе с современной вычислительной техникой и соответствующим программным обеспечением. В классе имеются стационарные компьютеры. Компьютеры имеют доступ к локальной сети университета и выход в Интернет. На занятиях могут использоваться мультимедийные средства: проектор, переносной экран, ноутбук. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

Пакеты программ для выполнения расчетов и обработки численных результатов: Compaq Visual FOTRAN, Visual C++, Python (3.4.3), ROOT. Стандартная библиотека пакета Python

<http://pythonworld.ru/osnovy/skachat-python.html> предоставляет широкий набор средств. Содержит встроенные модули, написанные на языке C, обеспечивающие доступ к стандартизованным решениям многих задач программирования. Часть этих модулей организована так, чтобы обеспечить (усилить) мобильность программ, написанных на языке Python - т. е. возможность их переноса с одного компьютера на другой. Установщик Python на платформе Windows обычно включает целиком стандартную библиотеку и много других дополнительных компонент. Для операционных систем Unix (Linux) Python обеспечивает доступ к набору пакетов, которые обеспечивают возможность использовать инструментарий операционной системы.

VII. Образовательные технологии:

- лабораторные занятия, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения задач;
- консультации –еженедельно для желающих студентов;
- самостоятельная внеаудиторная работа направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине; чтение литературы, завершение лабораторных работ, графическую обработку данных и составление отчетов;
- текущий контроль работы студентов осуществляется через письменные и устные отчеты по выполненным лабораторным работам.

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

8.1. Оценочные средства для входного контроля: не требуются.

8.2. Оценочные средства текущего контроля.

Текущий контроль осуществляется путем заслушивания отчетов по лабораторным работам.

Форма проведения промежуточной аттестации — зачет.

Примерный перечень вопросов и заданий к зачёту

1. 1. Используя законы сохранения (энергии-импульса и квантовых чисел), определите, какие из реакций возможны:

2. 1) $n \rightarrow \mu^+ + \mu^- + \gamma$, 2) $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$, 3) $\mu^+ \rightarrow e^+ + e^- + e^+$,

3. 4) $K^+ + n \rightarrow \Sigma^+ + \pi^0$, 5) $\Sigma^- \rightarrow n + e^- + \bar{\nu}_e$, 6) $\Sigma^+ \rightarrow n + e^+ + \nu_e$

4. 7) $\Sigma^+ \rightarrow \Lambda^0 + e^+ + \nu_e$ 8) $\pi^- + p \rightarrow \Sigma^- + K^+$, 9) $\pi^- + p \rightarrow \Sigma^+ + K^-$

5. 10) $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$, 11) $\pi^- \rightarrow e^- + \nu_e$, 12) $\pi^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$

6. Какие процессы доминируют в электронно-фотонных ливнях, генерируемых при взаимодействии космических лучей с атмосферой Земли?

7. Какие основные процессы отвечают за развитие ядерного (адронного) каскада в атмосфере (ядерной компоненты ШАЛ)?

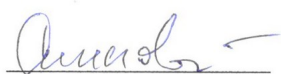
8. Сформулируйте точно решаемую модель ядерного каскада, порожденного космическим лучами в атмосфере, и приближения, используемые при решении реальной задачи.

9. При каком условии можно отщепить нуклонную часть ядерного каскада ШАЛ от мезонной?

10. К какому типу процессов (заряженные или нейтральные токи) отнесете взаимодействия нейтрино с дейтроном: $\nu_e + d \rightarrow p + p + e^-$; $\nu_e + d \rightarrow n + p + e^-$; $\nu_\mu + d \rightarrow p + n + \nu_\mu$?

11. К какому типу процессов отнесете рассеяние нейтрино на электроны: $\nu_\mu + e^- \rightarrow \nu_\mu + e^-$; $\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$?

Разработчики:



профессор кафедры теоретической физики

С.И. Синеговский

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики

«15» марта 2024 г.

Протокол №7 И.о. зав. кафедрой  С.В. Ловцов

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.