



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
«31» марта 2022 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 №33 от «31» марта 2022 г.

Председатель


Н.М.Буднев

Рекомендовано кафедрой:
Протокол №6
От «03» марта 2022 г.

И.о. зав. кафедрой


С.В. Ловцов

Иркутск 2022 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», «Линейные и нелинейные уравнения физики». 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:

- 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 отече-

		р		товка обучающихся	Лекции	Семинарские /практические /лабораторные занятия	Консультации	работа	ции (по семестрам)
1	1-10	8	72	48		48	1	15	Практическое задание
Итого:			72	48		48	1	15	

4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
8	Тема 1-10	Задание в виде задачи	После пройденных тем	15	Демонстрация готовых решений	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой 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 двух-частичных 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-, NS-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 (ν_e, ν_μ, ν_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 пионов и мюонов	Внеаудиторная, решение задач	Лаб. работы, подготовка отчета		3
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. 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)
4. 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. Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики / Д. И. Блохинцев. – 5-е изд. – М. : Наука, 1976. – 664 с. (1)
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. Давыдов А.С. Квантовая механика: учеб. пособие для студ. ун-тов и тех. вузов / А. С. Давыдов. – 3-е изд., стер. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 703 с. (2)
4. Галицкий В.М. Задачи по квантовой механике: учеб. пособие для физ. спец. вузов / В. М. Галицкий, Б. М. Карнаков, В. И. Коган. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 1992. – 878 с. (2)
5. Липкин Г. Квантовая механика. Новый подход к некоторым проблемам / Г. Липкин. – М. : Мир, 1977. – 592 с. (5)
6. Боум А. Квантовая механика: основы и приложения / А. Боум. – М. : Мир, 1990. – 720 с. (2)
7. Елютин П.В., Кривченков В.Д. Квантовая механика. М: Наука, 1976. (5 экз)
8. Зелевинский, В. Г. Лекции по квантовой механике [Текст] : учебное пособие / В. Г. Зелевинский. - 2-е изд., испр. и доп. - Новосибирск : Сиб. унив. изд-во, 2002. (1 экз)
9. Сербо, В. Квантовая механика [Text] : учеб.пособие / В. Сербо, И.Б. Хриплович ; Новосибирский

- гос.ун-т. - Новосибирск : [s. n.], 2000. - 136 с. (1 экз)
10. [Мессиа, А.](#) Квантовая механика / А. Мессиа. Т. 1., Т. 2. – М: Наука, 1978. (2 экз)
 11. Галицкий А.М., Карнаков Б.М., Коган В.И. Сборник задач по квантовой механике. М: Наука, 1981, 2001. (54 экз)
 12. [Ньютон, Р.](#) Теория рассеяния волн и частиц [Текст] : научное издание / Р. Ньютон ; пер. с англ.: А. М. Кузнецов, А. А. Черненко ; ред.: А. М. Бродский, В. В. Толмачев. - М. : Мир, 1969. - 607 с. Пер. изд. : Stattering theory of waves and particles / Roger G. Newton. - New York. (1 экз)
 13. [Фаддеев, Л. Д.](#) Лекции по квантовой механике для студентов-математиков [Текст] : учебное пособие / Л.Д. Фаддеев, О.А. Якубовский. - 2-е изд. - Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2001. - 255 с. (1 экз)
 14. Ситенко А.Г. Лекции по теории рассеяния. Киев, «Вища школа», 1971. (1 экз)
 15. Сунакава С. Квантовая теория рассеяния. М: Мир, 1979. (8 экз)
 16. Тейлор Дж. Теория рассеяния. М: Мир, 1975. (2 экз)
 17. В. де Альфаро, Т. Редже. Потенциальное рассеяние. М: Мир, 1966. (1 экз)
 18. [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)
 19. [Окунь, Л. Б.](#) Лептоны и кварки / Л. Б. Окунь. - 3-е изд., стер. - М. : Едиториал УРСС, 2005. - 348 с. - ISBN 5-354-01084-5 (1)
 20. Зелевинский В.Г. Лекции по квантовой механике / В. Г. Зелевинский. - 2-е изд., испр. и доп. - Новосибирск : Сиб. унив. изд-во, 2002. - 498 с. - ISBN 5-94087-021-X (1)
 21. [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)
 22. [Райдер, Л.](#) Элементарные частицы и симметрии/ Л. Райдер. - М.: Наука, 1983. - 317 с. (2)
 23. [Пескин, М. Е.](#) Введение в квантовую теорию поля / М.Е. Пескин, Д.В. Шредер. - Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001. - 783 с. - ISBN 5-93972-083-8 (1)
 24. Вайнберг, С. Квантовая теория поля / С. Вайнберг. - М.: Физматлит, 2003. Т.1 : Общая теория. - 648 с. - ISBN 5-9221-0403-9 (2)

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 электроне: $\nu_\mu + e^- \rightarrow \nu_\mu + e^-$; $\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$?

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 «03» марта 2022 г.

Протокол №6 И.о. зав. кафедрой  С.В. Ловцов

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