

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

И.С. Огнев
(подпись)

« 17 » мая 2022 г.

Рабочая программа дисциплины
«Нейтрино-электронные процессы в замагниченной плазме»

Направление подготовки
03.04.02 Физика

Направленность (профиль)
«Теоретическая физика»

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «18» апреля 2022 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от « 11 » мая 2022 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Нейтрино-электронные процессы в замагниченной плазме» является приобретение студентами дополнительных знаний и умений по исследованию процессов с участием элементарных частиц в условиях активной астрофизической среды – в замагниченной плазме.

2. Место дисциплины в структуре ОП магистратуры

Дисциплина «Нейтрино-электронные процессы в замагниченной плазме» является факультативной дисциплиной.

Дисциплина «Нейтрино-электронные процессы в замагниченной плазме» предназначена для закрепления знаний и умений, приобретенных при изучении дисциплины «Квантовые процессы во внешней активной среде», находится на переднем крае фундаментальных научных исследований в теории элементарных частиц и открывает широкие возможности в приложении физики частиц к астрофизике и космологии.

Для овладения данной дисциплиной студенты должны знать основы дисциплин цикла «Теоретическая физика», дисциплины «Методы математической физики», «Дополнительные главы математической физики», «Квантовая электродинамика», «Радиационные поправки и теория перенормировок».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП магистратуры

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Профессиональные компетенции		
ПК-1 Способен осуществлять научно-исследовательскую деятельность по решению комплексных фундаментальных задач физики	ИД-ПК-1_1 Знает теоретические методы проведения и анализа научных исследований	Знать теоретический метод описания осцилляций нейтрино в вакууме и в среде; условие сильной замагниченности электрон-позитронной плазмы; функции распределения электронов и позитронов плазмы. Уметь вычислять дополнительную энергию нейтрино в электрон-позитронной плазме; формулировать уравнение Шрёдингера для нейтрино с определёнными ароматами в вакууме и в плазме; проводить кинематический анализ нейтрино-электронных процессов в сильном магнитном поле; определять области интегрирования по импульсному пространству конечных частиц. Владеть навыками решения уравнения Шрёдингера для нейтрино с определёнными ароматами в вакууме и в плазме; интегрирования по импульсному пространству частиц в сильном магнитном поле.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	С е м ес т р	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			ле кц ии	пр ак ти че ск ие	ла бо ра то рн ые	ко нс ул ьт ац ии	а тт ес та ци он н ые ис п ыт ан ия	сам осто ятел ьная раб ота	
1	Осцилляции нейтрино в вакууме и в среде	4	4	8		1		8	Задания для самостоятельной работы
2	Нейтринное рождение электрон-позитронной пары в сильном магнитном поле	4	6	12		2		14	Задания для самостоятельной работы
3	Нейтрино-электронные процессы в замагниченной плазме	4	2	4		1		4	Задания для самостоятельной работы
		4					0,3	5,7	Зачет
	Всего за 4 семестр		12	24		4	0,3	31,7	
	Всего		12	24		4	0,3	31,7	

Содержание разделов дисциплины:

- Осцилляции нейтрино в вакууме и в среде.** Осцилляции нейтрино в вакууме. Эффективный гамильтониан системы из двух нейтрино с различными массами. Смешивание нейтрино. Решения уравнения Шрёдингера для нейтрино с определёнными ароматами. Длина осцилляций. Вероятности изменения и сохранения аромата. Осцилляции нейтрино в среде. Дополнительная энергия нейтрино в электрон-позитронной плазме. Эффективный гамильтониан системы из двух нейтрино с различными массами в плазме. Решения уравнения Шрёдингера для нейтрино с определёнными ароматами в плазме. Резонансное усиление переходов в среде с переменной плотностью.
- Нейтринное рождение электрон-позитронной пары в сильном магнитном поле.** Оператор электрон-позитронного поля в пределе сильного магнитного поля (основной уровень Ландау). Биспинорные амплитуды вкладов с положительной и отрицательной энергиями. Амплитуда нейтринного рождения электрон-позитронной пары в сильном магнитном поле. Интегрирование по

импульсному пространству электрон-позитронной пары. Определение области импульсов конечного нейтрино. Интегрирование по импульсному пространству конечного нейтрино.

3. **Нейтрино-электронные процессы в замагниченной плазме.** Условие сильной замагниченности электрон-позитронной плазмы. Кинематический анализ нейтрино-электронных процессов в псевдоевклидовой гиперплоскости $(0,3)$ импульсного пространства. Области интегрирования по импульсному пространству конечного нейтрино для различных нейтрино-электронных процессов. Функции распределения электронов и позитронов плазмы, их инвариантный вид. Расчет вероятности процесса нейтринного рождения электрон-позитронной пары. Расчет вероятности процесса рассеяния нейтрино на электронах и позитронах. Расчет вероятности процесса нейтринного захвата электрон-позитронной пары. Полная вероятность взаимодействия нейтрино с замагниченной электрон-позитронной плазмой.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция с элементами лекции-беседы – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание студентов к наиболее важным темам дисциплины, активно вовлекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по закреплению полученных на лекции знаний.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- издательская система LaTeX;
- Adobe Acrobat Reader.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

1. Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php
2. Научная библиотека на сайте www.poiskknig.ru
3. Научная энциклопедия на сайте <http://elementy.ru/physics>
4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU на сайте <http://elibrary.ru/>

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Кузнецов А.В., Михеев Н.В. Электрослабые процессы во внешней активной среде: монография. Ярославль: ЯрГУ, 2010.
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20100730.pdf>

б) дополнительная литература

1. Берестецкий В. Б., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Теоретическая физика: учебное пособие. В 10 т. Т. 4. Квантовая электродинамика. М.: Физматлит, 2006. 716 с.
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=914351&cat_cd=YARSU
2. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Введение в теорию квантованных полей. М.: Наука, 1984. 600 с.
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=299849&cat_cd=YARSU

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ.

Автор:

Профессор кафедры
теоретической физики, д.ф.-м.н.

А.В. Кузнецов

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Нейтрино-электронные процессы в замагниченной плазме»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущего контроля успеваемости
и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

Задания для самостоятельной работы

*(данные задания выполняются студентом самостоятельно
и преподавателем в обязательном порядке не проверяются)*

Задания для самостоятельной работы № 1

1. Осцилляции нейтрино в вакууме. Эффективный гамильтониан системы из двух нейтрино с различными массами.
2. Смешивание нейтрино. Решения уравнения Шрёдингера для нейтрино с определёнными ароматами. Длина осцилляций.
3. Вероятности изменения и сохранения аромата.
4. Осцилляции нейтрино в среде. Дополнительная энергия нейтрино в электрон-позитронной плазме.
5. Эффективный гамильтониан системы из двух нейтрино с различными массами в плазме.
6. Решения уравнения Шрёдингера для нейтрино с определёнными ароматами в плазме.
7. Резонансное усиление переходов в среде с переменной плотностью.

Задания для самостоятельной работы № 2

1. Оператор электрон-позитронного поля в пределе сильного магнитного поля (основной уровень Ландау). Биспинорные амплитуды вкладов с положительной и отрицательной энергиями.
2. Амплитуда нейтринного рождения электрон-позитронной пары в сильном магнитном поле.
3. Интегрирование по импульсному пространству электрон-позитронной пары.
4. Определение области импульсов конечного нейтрино.
5. Интегрирование по импульсному пространству конечного нейтрино.
6. Условие сильной замагниченности электрон-позитронной плазмы.
7. Кинематический анализ нейтрино-электронных процессов в псевдоевклидовой гиперплоскости $(0,3)$ импульсного пространства.
8. Области интегрирования по импульсному пространству конечного нейтрино для различных нейтрино-электронных процессов.
9. Функции распределения электронов и позитронов плазмы, их инвариантный вид.
10. Расчет вероятности процесса нейтринного рождения электрон-позитронной пары.
11. Расчет вероятности процесса рассеяния нейтрино на электронах и позитронах.
12. Расчет вероятности процесса нейтринного захвата электрон-позитронной пары.
13. Полная вероятность взаимодействия нейтрино с замагниченной

электрон-позитронной плазмой.

2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Список вопросов к зачету

1. Осцилляции нейтрино в вакууме. Эффективный гамильтониан системы из двух нейтрино с различными массами.
2. Смешивание нейтрино. Решения уравнения Шрёдингера для нейтрино с определёнными ароматами. Длина осцилляций.
3. Вероятности изменения и сохранения аромата.
4. Осцилляции нейтрино в среде. Дополнительная энергия нейтрино в электрон-позитронной плазме.
5. Эффективный гамильтониан системы из двух нейтрино с различными массами в плазме.
6. Решения уравнения Шрёдингера для нейтрино с определёнными ароматами в плазме.
7. Резонансное усиление переходов в среде с переменной плотностью.
8. Оператор электрон-позитронного поля в пределе сильного магнитного поля (основной уровень Ландау). Биспинорные амплитуды вкладов с положительной и отрицательной энергиями.
9. Амплитуда нейтринного рождения электрон-позитронной пары в сильном магнитном поле.
10. Интегрирование по импульсному пространству электрон-позитронной пары.
11. Определение области импульсов конечного нейтрино.
12. Интегрирование по импульсному пространству конечного нейтрино.
13. Условие сильной замагниченности электрон-позитронной плазмы.
14. Кинематический анализ нейтрино-электронных процессов в псевдоевклидовой гиперплоскости $(0,3)$ импульсного пространства.
15. Области интегрирования по импульсному пространству конечного нейтрино для различных нейтрино-электронных процессов.
16. Функции распределения электронов и позитронов плазмы, их инвариантный вид.
17. Расчет вероятности процесса нейтринного рождения электрон-позитронной пары.
18. Расчет вероятности процесса рассеяния нейтрино на электронах и позитронах.
19. Расчет вероятности процесса нейтринного захвата электрон-позитронной пары.
20. Полная вероятность взаимодействия нейтрино с замагниченной электрон-позитронной плазмой.

Описание процедуры выставления оценки

Оценка «зачтено» выставляется студенту, проявившему на мероприятии промежуточной аттестации следующие умения и навыки:

- Студент правильно формулирует постановку задачи, определяет метод ее решения, проводит простейший анализ полученного результата, в том числе, определяет границы его применимости;

- Студент владеет навыками проведения сложных вычислений под руководством преподавателя, может объяснить проведенные вычисления, может самостоятельно выполнить простейшие вычисления, используя аппарат математической и теоретической физики;

- Студент может делать ошибки, но должен их исправлять самостоятельно после дополнительных (наводящих) вопросов преподавателя.

•

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, проявившему на мероприятии промежуточной аттестации умения и навыки следующего уровня:

- Студент не может выполнить постановку задачи, не может определить метод ее решения и провести даже простейший анализ полученного результата.
- Студент не может провести самостоятельно даже базовые вычисления с использованием аппарата математической и теоретической физики, не может пояснить вычисления, проведенные на практических занятиях под руководством преподавателя.

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Нейтрино-электронные процессы в замагниченной плазме»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основной формой учебного процесса по дисциплине «Нейтрино-электронные процессы в замагниченной плазме» являются практические занятия, которые предваряются сопутствующими лекционными занятиями. Это связано с необходимостью формирования навыков самостоятельных вычислений в квантовой теории поля при наличии внешней активной среды.

Для успешного освоения дисциплины очень важно решение достаточно большого количества задач, как в аудитории, так и самостоятельно в качестве домашних заданий. Примеры решения задач разбираются на лекциях и практических занятиях, при необходимости по наиболее трудным темам проводятся дополнительные консультации. Основная цель решения задач – помочь усвоить методы квантовой теории поля при наличии внешней активной среды. Для решения всех задач необходимо знать и понимать лекционный материал. Поэтому в процессе изучения дисциплины рекомендуется регулярное повторение пройденного лекционного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, практических занятиях или из учебной литературы.

Большое внимание должно быть уделено выполнению домашней работы. В качестве заданий для самостоятельной работы дома студентам предлагаются задачи, аналогичные разобранным на лекциях и практических занятиях или немного более сложные, которые являются результатом объединения нескольких базовых задач.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы с квантовополевым аппаратом во внешней активной среде в течение обучения проводятся консультации (при необходимости) по разбору заданий для самостоятельной работы, которые вызвали затруднения.

В конце изучения дисциплины студенты сдают экзамен. Экзамен принимается по экзаменационным билетам, каждый из которых включает в себя два теоретических вопроса. На самостоятельную подготовку к экзамену выделяется 3 дня, во время подготовки к экзамену предусмотрена групповая консультация.

Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины «Квантовые процессы во внешней активной среде» самостоятельно студенту крайне сложно. Это связано со сложностью изучаемого материала и большим объемом курса. Поэтому посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым. Без упорных и регулярных занятий в течение семестра сдать экзамен по итогам изучения дисциплины студенту практически невозможно.