

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»**

Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета  
  
И.С. Огнев  
(подпись)

23 мая 2023 года

**Рабочая программа дисциплины**

«Квантовые процессы в замагниченной плазме»

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

по научной специальности 1.3.3 Теоретическая физика

Форма обучения очная

Программа одобрена  
на заседании кафедры теоретической физики  
от «17» апреля 2023 года, протокол № 8

Ярославль

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является изучение методов расчета характеристик электрослабых и нестандартных процессов в условиях активной астрофизической среды – в электромагнитном поле и сильно замагниченной плазме.

### 2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Данная дисциплина является дисциплиной по выбору.

### 3. Планируемые результаты освоения дисциплины: -

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

#### Знать:

- набор решений уравнения Дирака для заряженной частицы во внешнем магнитном поле, в поле интенсивной электромагнитной волны;
- решения обобщенного уравнения Дирака для нейтральной частицы с аномальным магнитным моментом в поле интенсивной электромагнитной волны;
- решения обобщенного уравнения Дирака для нейтральной частицы с электрическим дипольным моментом в поле интенсивной электромагнитной волны.

#### Уметь:

- строить амплитуду процесса рассеяния нейтрино на электронах и позитронах замагниченной плазмы;
- амплитуду процесса распада гипотетической скалярной (псевдоскалярной) частицы темной материи на электрон-позитронную пару во внешнем магнитном поле;
- выполнять кинематический анализ нейтрино-электронных процессов в псевдоевклидовой гиперплоскости (0,3) импульсного пространства.

#### Владеть навыками:

- использования диаграммной техники Фейнмана во внешнем поле и плазме, интегрирования по фазовому объему частиц во внешнем поле.

### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 акад. часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	С е м е с т Р	Виды учебных занятий и их трудоемкость (в академических часах)					Формы текущего контроля успеваемости  Форма промежуточной аттестации
			лек ции	пра кти чес кие	лаб ора тор ные	кон сул ьта ции	сам ост ояте льн ая раб ота	
1	Процессы рассеяния нейтрино на электронах и позитронах в умеренно сильном магнитном поле и замагниченной плазме	2	1			0	11	Задания для самостоятельной работы

2	Распад гипотетической скалярной (псевдоскалярной) частицы темной материи на электрон-позитронную пару в сильном магнитном поле	2	1	1			12	Задания для самостоятельной работы
3	Поиск решений уравнения Дирака для заряженной частицы в поле интенсивной электромагнитной волны	2	1	1			11	Задания для самостоятельной работы
4	Поиск решений обобщенного уравнения Дирака для нейтральной частицы с аномальным магнитным моментом в поле интенсивной электромагнитной волны	2	1	1			11	Задания для самостоятельной работы
5	Поиск решений обобщенного уравнения Дирака для нейтральной частицы с электрическим дипольным моментом в поле интенсивной электромагнитной волны	2	1				11	Задания для самостоятельной работы
6	Распад нейтрино с аномальным магнитным моментом на более легкое нейтрино и фотон в поле интенсивной электромагнитной волны	2	1	1			12	Задания для самостоятельной работы
7	Построение пропагатора нейтральной частицы с аномальным магнитным моментом на основе точных решений обобщенного уравнения Дирака в поле интенсивной электромагнитной волны	2	1	1			12	Задания для самостоятельной работы
8	Построение пропагатора нейтральной частицы с электрическим дипольным моментом на основе точных решений обобщенного уравнения Дирака в поле интенсивной электромагнитной волны	2	1	1			12	Задания для самостоятельной работы
	<b>Всего 108 час.</b>		<b>8</b>	<b>6</b>		<b>2</b>	<b>92</b>	

## **Содержание разделов дисциплины:**

### **Тема 1. Процессы рассеяния нейтрино на электронах и позитронах в умеренно сильном магнитном поле и замагниченной плазме.**

Амплитуда процесса рассеяния нейтрино на электронах и позитронах замагниченной плазмы. Кинематический анализ нейтрино-электронных процессов в псевдоевклидовой гиперплоскости  $(0,3)$  импульсного пространства. Случай сверхсильного поля с электронами и позитронами на основном уровне Ландау. Вероятность процесса взаимодействия нейтрино с электронами и позитронами замагниченной плазмы, просуммированная по состояниям начальных фермионов. Случай умеренно сильного поля с электронами и позитронами на произвольных уровнях Ландау.

### **Тема 2. Распад гипотетической скалярной (псевдоскалярной) частицы темной материи на электрон-позитронную пару в сильном магнитном поле.**

Эффективный лагранжиан взаимодействия скалярной (псевдоскалярной) частицы темной материи с электрон-позитронным полем. Амплитуда процесса распада гипотетической скалярной (псевдоскалярной) частицы темной материи на электрон-позитронную пару во внешнем магнитном поле. Случай сверхсильного поля с рождением электрона и позитрона на основном уровне Ландау. Вероятность распада гипотетической скалярной (псевдоскалярной) частицы темной материи на электрон-позитронную пару в сверхсильном магнитном поле. Случай умеренно сильного поля с рождением электрона и позитрона на произвольном уровне Ландау. Вероятность распада гипотетической скалярной (псевдоскалярной) частицы темной материи на электрон-позитронную пару в умеренно сильном магнитном поле.

### **Тема 3. Поиск решений уравнения Дирака для заряженной частицы в поле интенсивной электромагнитной волны.**

Формулировка и решение квадрированного уравнения для заряженной частицы в поле электромагнитной волны. Решение уравнения Дирака для заряженной частицы в поле монохроматической электромагнитной волны.

### **Тема 4. Поиск решений обобщенного уравнения Дирака для нейтральной частицы с аномальным магнитным моментом в поле интенсивной электромагнитной волны.**

Обобщенное уравнение Дирака для нейтральной частицы с аномальным магнитным моментом во внешнем электромагнитном поле. Формулировка и решение квадрированного уравнения для нейтральной частицы с аномальным магнитным моментом в поле электромагнитной волны. Решение уравнения Дирака для нейтральной частицы с аномальным магнитным моментом в поле монохроматической электромагнитной волны.

### **Тема 5. Поиск решений обобщенного уравнения Дирака для нейтральной частицы с электрическим дипольным моментом в поле интенсивной электромагнитной волны.**

Обобщенное уравнение Дирака для нейтральной частицы с электрическим дипольным моментом во внешнем электромагнитном поле. Формулировка и решение квадрированного уравнения для нейтральной частицы с электрическим дипольным моментом в поле электромагнитной волны. Решение уравнения Дирака для нейтральной частицы с электрическим дипольным моментом в поле монохроматической электромагнитной волны.

### **Тема 6. Распад нейтрино с аномальным магнитным моментом на более легкое нейтрино и фотон в поле интенсивной электромагнитной волны.**

Лагранжиан взаимодействия нейтрино с фотоном за счет переходного магнитного момента. Амплитуда процесса распада нейтрино на более легкое нейтрино и фотон на основе решений обобщенного уравнения Дирака для нейтральной частицы с электрическим дипольным моментом в поле интенсивной электромагнитной волны. Спектр и угловое распределение фотонов от распада нейтрино в поле интенсивной электромагнитной волны. Полная вероятность процесса распада нейтрино на более легкое нейтрино и фотон в поле интенсивной электромагнитной волны.

**Тема 7. Построение пропагатора нейтральной частицы с аномальным магнитным моментом на основе точных решений обобщенного уравнения Дирака в поле интенсивной электромагнитной волны.**

Формирование матричной структуры пропагатора нейтральной частицы с аномальным магнитным моментом путем перемножения точных решений обобщенного уравнения Дирака в поле интенсивной электромагнитной волны. Замена суммирования по импульсным состояниям на интегрирование по пространству импульсов. Введение дополнительного интегрирования по 0-компоненте и построение Фурье-образа пропагатора нейтральной частицы с аномальным магнитным моментом в поле интенсивной электромагнитной волны. Построение пропагатора нейтральной частицы с аномальным магнитным моментом в поле монохроматической электромагнитной волны.

**Тема 8. Построение пропагатора нейтральной частицы с электрическим дипольным моментом на основе точных решений обобщенного уравнения Дирака в поле интенсивной электромагнитной волны.**

Формирование матричной структуры пропагатора нейтральной частицы с электрическим дипольным моментом путем перемножения точных решений обобщенного уравнения Дирака в поле интенсивной электромагнитной волны. Замена суммирования по импульсным состояниям на интегрирование по пространству импульсов. Введение дополнительного интегрирования по 0-компоненте и построение Фурье-образа пропагатора нейтральной частицы с электрическим дипольным моментом в поле интенсивной электромагнитной волны. Построение пропагатора нейтральной частицы с электрическим дипольным моментом в поле монохроматической электромагнитной волны.

**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. 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 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 аспирантов 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 аспирантов. На консультациях по просьбе аспирантов рассматриваются наиболее сложные разделы дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы аспирантов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

**Электронный учебный курс «Квантовые процессы в замагниченной плазме» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ**, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы аспирантов по темам дисциплины;
- представлен список литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в случае их проведения в дистанционном формате в режиме онлайн.

## **6. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины**

### **а) основная литература**

1. [Кузнецов А. В., Михеев Н. В. Электрослабые процессы во внешней активной среде. Ярославль: ЯрГУ, 2010. 336 с.](#)

### **б) дополнительная литература**

1. Берестецкий В. Б., Питаевский Л. П., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: учебное пособие. В 10 т. Т. 4. Квантовая электродинамика. М.: Физматлит, 2006. 716 с.
2. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Квантовые поля: учебное пособие. М.: Физматлит, 2005. 385 с.

### **в) ресурсы сети «Интернет» (при необходимости)**

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»  
[http://www.lib.uniyl.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyl.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)

## **7. 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 оборудования.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет».

Автор:

Профессор кафедры теоретической физики, д.ф.-м.н. \_\_\_\_\_ А.В. Кузнецов

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Квантовые процессы в замагниченной плазме»**

**Оценочные материалы  
для проведения текущей и/или промежуточной аттестации  
аспирантов по дисциплине**

**1. Контрольные задания и (или) иные материалы,  
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

**Задания для самостоятельной работы**

1. Вычислить амплитуду распада массивной скалярной частицы на электрон-позитронную пару в сильном магнитном поле.
2. Вычислить вероятность распада массивной скалярной частицы на электрон-позитронную пару в сильном магнитном поле.
3. Вычислить амплитуду распада массивной псевдоскалярной частицы на электрон-позитронную пару в сильном магнитном поле.
4. Вычислить вероятность распада массивной псевдоскалярной частицы на электрон-позитронную пару в сильном магнитном поле.
5. Найти решения обобщенного уравнения Дирака для нейтральной частицы с аномальным магнитным моментом в поле электромагнитной волны.
6. Вычислить амплитуду распада нейтрино с аномальным магнитным моментом на более легкое нейтрино и фотон в поле электромагнитной волны.
7. Вычислить вероятность распада нейтрино с аномальным магнитным моментом на более легкое нейтрино и фотон в поле электромагнитной волны.
8. Вычислить пропагатор нейтральной частицы с электрическим дипольным моментом на основе точных решений обобщенного уравнения Дирака в поле электромагнитной волны.

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

**Список вопросов к зачету:**

1. Процессы рассеяния нейтрино на электронах и позитронах в умеренно сильном магнитном поле и замагниченной плазме.
2. Распад гипотетической скалярной (псевдоскалярной) частицы темной материи на электрон-позитронную пару в сильном магнитном поле.
3. Поиск решений уравнения Дирака для заряженной частицы в поле интенсивной электромагнитной волны.
4. Поиск решений обобщенного уравнения Дирака для нейтральной частицы с аномальным магнитным моментом в поле интенсивной электромагнитной волны.
5. Поиск решений обобщенного уравнения Дирака для нейтральной частицы с электрическим дипольным моментом в поле интенсивной электромагнитной волны.
6. Распад нейтрино с аномальным магнитным моментом на более легкое нейтрино и фотон в поле интенсивной электромагнитной волны.
7. Построение пропагатора нейтральной частицы с аномальным магнитным моментом на основе точных решений обобщенного уравнения Дирака в поле интенсивной электромагнитной волны.
8. Построение пропагатора нейтральной частицы с электрическим дипольным моментом на основе точных решений обобщенного уравнения Дирака в поле интенсивной электромагнитной волны.



электромагнитной волны.

## **2.1 Описание процедуры выставления оценки**

Зачет выставляется по результатам выполнения текущей самостоятельной работы и собеседования по вопросам к зачету.

Оценка «зачет» выставляется студенту, который владеет основным объемом знаний по программе дисциплины; знает основную терминологию данной области знаний; логически правильно излагает материал; отвечает на вопросы без существенных ошибок; владеет инструментарием дисциплины, умеет его использовать в решении стандартных (типовых) задач; способен самостоятельно применять типовые решения.

Оценка «незачтено» выставляется студенту, который не владеет основным объемом знаний по программе дисциплины; не знает основную терминологию данной области знаний; логически неправильно излагает материал; отвечает на вопросы с существенными ошибками; не владеет инструментарием дисциплины, не умеет его использовать в решении стандартных (типовых) задач; не способен самостоятельно применять типовые решения.