

**Аннотация учебной дисциплины
«Нейтрино-электронные процессы в замагниченной плазме»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 2

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

2. 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.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- условие сильной замагниченности электрон-позитронной плазмы;
- функции распределения электронов и позитронов плазмы, их инвариантный вид;
- собственно-энергетический оператор нейтрино во внешнем магнитном поле;
- поляризационный оператор фотона во внешнем магнитном поле.

Уметь:

- вычислять вероятность процесса нейтринного рождения электрон-позитронной пары;
- вычислять вероятность процесса рассеяния нейтрино на электронах и позитронах;
- вычислять вероятность процесса нейтринного захвата электрон-позитронной пары.

Владеть:

- основами интегрирования по фазовому объему элементарных частиц в замагниченной электрон-позитронной плазме;
- основами вычисления вероятностей процессов на основе мнимых частей соответствующих амплитуд во внешней активной среде.

4. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часов.

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	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.
2	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.
3	Распад нейтрино на электрон и W-бозон в сильном магнитном поле.
	Собственно-энергетический оператор нейтрино во внешнем магнитном поле. Расчет вероятности распада нейтрино на электрон и W-бозон через мнимую часть собственно-энергетического оператора. Расчет энергии обрезания для спектра энергий нейтрино, распространяющихся в сильном магнитном поле.
4	Излучение фотона безмассовым нейтрино в сильном магнитном поле.
	Эффективный лагранжиан нейтрино-фотонного взаимодействия. Поляризационный оператор фотона в сильном магнитном поле. Кинематические области различных нейтрино-фотонных процессов. Расчет вероятности процесса излучения фотона безмассовым нейтрино в сильном магнитном поле.

6. Форма контроля: Зачет.

**Аннотация учебной дисциплины
«Философские вопросы естествознания»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 1

1. Дисциплина «Философские вопросы естествознания» является дисциплиной базовой части общенаучного цикла.

2. Целью освоения дисциплины «Философские вопросы естествознания» является приобретение студентами дополнительных знаний и умений по отдельным философским вопросам естествознания, осознание места естественных наук в выработке научного мировоззрения.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

-понимать и глубоко осмысливать философские концепции естествознания, место естественных наук в выработке научного мировоззрения.

Уметь:

-приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять своё научное мировоззрение;

-формировать и аргументированно отстаивать собственную позицию по различным философским проблемам естествознания.

Владеть:

-основами методологии научного познания при изучении различных уровней организации материи, пространства и времени.

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

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Основные понятия современного естествознания. Классификация естественных наук Ш. Глэшоу
2	Современные представления о пространстве, времени и движении
3	Современные представления о строении материи
4	Философские вопросы космологии
5	Эволюция взглядов на взаимоотношение мира и человека в XX-XXI вв. Антропный принцип
6	Прогресс естественных наук и эволюция общественного сознания

6. **Форма контроля:** Экзамен.

**Аннотация учебной дисциплины
«Иностранный язык в сфере профессиональной коммуникации»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 1

1. Дисциплина «Иностранный язык в сфере профессиональной коммуникации» является дисциплиной базовой части общенаучного цикла.

2. Целями освоения дисциплины «Иностранный язык в сфере профессиональной коммуникации» являются:

- *практическая*: приобретение студентами коммуникативной компетенции, уровень которой позволяет использовать иностранный язык практически как в профессиональной (производственной и научной) деятельности, так и для целей самообразования;
- *образовательная*: расширение кругозора студентов, повышение уровня их общей культуры и образования, а также культуры мышления, общения и речи;
- *воспитательная*: использование потенциала иностранного языка для развития у студентов готовности содействовать налаживанию межкультурных и научных связей, представлять свою страну на международных конференциях и симпозиумах, относиться с уважением к духовным ценностям других стран и народов.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- грамматику и лексику, историю и культуру страны изучаемого иностранного языка - базовую лексику общего языка, лексику, представляющую нейтральный научный стиль, а также основную терминологию своей широкой и узкой специальности;
- иметь представление о грамматическом строе языка и основных синтаксических конструкциях;
- ознакомиться с основными приемами перевода литературы по специальности.

Уметь:

- использовать знание иностранного языка в профессиональной деятельности, профессиональной коммуникации и межличностном общении;

Владеть:

- основами деловых коммуникаций и речевого этикета изучаемого иностранного языка - владеть основами публичной речи: делать сообщения, доклады (с предварительной подготовкой), участвовать в дискуссиях на профессиональные и общенаучные темы, овладеть навыками письма, необходимыми для подготовки публикаций, тезисов и ведения переписки.

4. Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Аудирование по узкоспециальным темам (с последующим обсуждением). Наука и общество. Герундиальный оборот. Типы придаточных предложений.
2	Грамматика: глагол и его формы. Понятие о свободных и устойчивых словосочетаниях. Индивидуальное чтение. Выдающиеся исследователи, их вклад в науку.
3	Грамматика: предлоги; залог; видовременные формы страдательного залога. Согласование времен. Говорение: диалогическая и монологическая речь с использованием наиболее употребительных и относительно простых средств в коммуникативных ситуациях, связанных со специальностью. Ознакомительное чтение. Деловые поездки или телеконференции.
4	Понятие об общенаучной лексике. Поисковое чтение с целью определения наличия в тексте запрашиваемой информации. Аудирование. Обсуждение докладов магистрантов.
5	Произношение символов и формул. Клише научной речи. Многозначность слов. Говорение: формулировка основной идеи текста, краткий пересказ. Реферирование и аннотирование.
6	Индивидуальное чтение.
7	Доклады магистрантов о результатах и методах проведения исследования. Индивидуальное чтение
8	Грамматика: причастие I и II, причастные обороты. Поисковое чтение. Роль научного руководителя.
9	Грамматика: сослагательное наклонение. Письмо: эссе.
10	Грамматические трудности. Усилительные конструкции. Изучающее чтение. Формулирование основной идеи текста, выводов.
11	Грамматические трудности. Неполные придаточные предложения. Реферирование и аннотирование научных текстов.
12	Учебная научная конференция. Индивидуальное чтение.

6. Форма контроля: Зачет, экзамен.

**Аннотация учебной дисциплины
«Компьютерные технологии в науке и образовании»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 1,2

1. Дисциплина «Компьютерные технологии в науке и образовании» является дисциплиной базовой части общенаучного цикла.

2. Целью освоения дисциплины «Компьютерные технологии в науке и образовании» является изучение основ аналитических и численных методов вычислений и их возможных приложений в теоретической физике.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- современные компьютерные технологии, применяемых при сборе, хранении, обработке, анализе и передаче физической информации;
- основные команды системы Mathematica;
- основные команды пакета FeynCalc.;
- основные методы численной интерполяции;
- основные методы численного дифференцирования;
- основные методы численного интегрирования.

Уметь:

- профессионально оформлять и представлять результаты физических исследований;
- проводить аналитическое интегрирование;
- проводить аналитическое упрощение алгебраических выражений;
- применять и комбинировать различные численные методы для определенной физической задачи.

Владеть:

- современными компьютерными технологиями для решения научно-исследовательских и производственно-технологических задач профессиональной деятельности;
- навыками аналитического расчета квантовых процессов на ЭВМ;
- навыками применения различных численных методов для решения задач теоретической физики.

4. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Аналитические вычисления в программе Mathematica.
1.1	Команды для аналитического преобразования алгебраических выражений.
1.2	Аналитическое дифференцирование.
1.3	Аналитическое интегрирование.
1.4	Аналитическое решение алгебраических уравнений.
1.5	Аналитическое решение дифференциальных уравнений.

2	Пакет для аналитических вычислений FeynCalc 6.0
2.1	Установка и запуск пакета FeynCalc. Основные команды.
2.2	Преобразование выражений, содержащих матрицы Дирака и спиноры.
2.3	Вычисление следов произведений матриц Дирака. Свертки.
2.4	Команды упрощения аналитических выражений.
2.5	Интегрирование с учетом возможной размерной регуляризации.
2.6	Дополнительные команды для расчетов в рамках КХД.
2.7	Расчет однопетлевых процессов в рамках СМ.
2.8	Расчет однопетлевых процессов в расширениях СМ.
3	Численные методы
3.1	Интерполяция. Постановка задачи приближения функции. Интерполяционный многочлен Лагранжа. Интерполяционная формула Ньютона с разделенными разностями. Многочлены Чебышева. Минимизация оценок остаточного члена. Интерполяционные формулы Бесселя и Эверетта. Ортогональные многочлены.
3.2	Численное дифференцирование. Погрешность формул. Формулы численного дифференцирования, полученные путем дифференцирования интерполяционных формул.
3.3	Численное интегрирование. Квадратурные формулы Ньютона-Котеса. Квадратурные формулы Гаусса. Интегрирование сильно осциллирующих функций. Повышение точности интегрирования за счет разбиения отрезка на равные части. Оптимизация распределения узлов квадратурной формулы. Главный член погрешности. Формулы Эйлера и Грегори. Правило Рунге практической оценки погрешности. Формулы Ромберга. Вычисление интегралов в сингулярном случае.
3.4	Метод Монте-Карло. Получение случайных величин. Преобразование случайных величин. Простейший метод Монте-Карло для вычисления интеграла. Способы уменьшения дисперсии. Интегралы, зависящие от параметра. Методы Монте-Карло с повышенной скоростью сходимости. Случайные квадратурные формулы. Использование смещенных оценок. Интегральные уравнения. Конструктивная размерность алгоритмов Монте-Карло. Интерполирование функций от большого числа переменных.

6. Форма контроля: Зачет, экзамен.

Аннотация учебной дисциплины «Теория групп Ли»

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 1

1. Дисциплина «Теория групп Ли» является дисциплиной по выбору вариативной части общенаучного цикла.

2. Целью освоения дисциплины «Теория групп Ли» является изучение основ теории групп Ли, необходимых студентам магистрантам для дальнейшего изучения квантовой теории поля и физики элементарных частиц.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

-основные понятия и определения теории групп Ли;

-классификацию групп Ли и общие свойства компактных групп Ли.

Уметь:

-применять общие методы теории групп Ли в физике элементарных частиц.

Владеть:

-навыками работы с генераторами и представлениями групп Ли, наиболее используемыми в физике элементарных частиц.

4. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Группы Ли Понятие группы Ли. Однопараметрические подгруппы и генераторы. Канонические параметры и экспоненцирование. Коммутатор генераторов и структурные константы группы Ли. Понятие алгебры Ли группы Ли. Инвариантное интегрирование в группе Ли. Понятие компактной группы Ли. Соотношения ортогональности и теорема об унитарности представлений для компактной группы Ли. Представления группы Ли. Генераторы представления и их свойства (коммутатор, экспоненцирование, эрмитовость генераторов унитарных представлений). Группы Ли преобразований. Инфинитезимальные преобразования и генераторные функции. Нелинейные реализации групп. Связь между группой Ли и ее алгеброй Ли. Построение группы Ли по ее структурным константам. Уравнения Маурера-Картана.
2	Алгебры Ли Группа Ли и ее алгебра Ли. Под-алгебра, инвариантная подалгебра. Алгебры Ли простые и полупростые. Линейные представления группы Ли и алгебры Ли. Присоединенное представление. Инвариантная билинейная форма. Форма Киллинга. Критерий Картана полупростоты алгебры Ли. Единственность инвариантной билинейной формы в простой алгебре Ли.

	<p>Положительная определенность инвариантной билинейной формы в алгебре Ли компактной группы Ли. Структура алгебры Ли компактной группы. Разложение алгебры Ли компактной группы в ортогональную сумму простых компактных подалгебр. Структура компактной группы Ли. Классификация простых компактных алгебр Ли. Четыре серии классических групп и пять исключительных групп. Некоторые свойства алгебр Ли простых компактных групп (полная антисимметричность структурных констант, операторы Казимира в фундаментальном и присоединенном представлениях, C_A - и C_F - константы, шпуры генераторов и их произведений).</p>
3	<p>Краткий обзор классических групп Ли</p>
	<p>Группы унитарных матриц $U(n)$ и $SU(n)$. Генераторы групп $U(n)$ и $SU(n)$, f- и d-константы, λ - матрицы, соотношения полноты λ - матриц группы $SU(n)$. Группы $SU(2)$, $SU(3)$ и $SU(4)$. Матрицы Паули и их свойства. Матрицы Гелл-Мана и их свойства. Свойства λ - матриц группы $SU(4)$.</p> <p>Неприводимые представления групп $SU(n)$. Ортогональные и симплектические матрицы. Группы ортогональных матриц $O(n)$ и $SO(n)$, их инварианты и генераторы. Симплектические группы, их инварианты и генераторы.</p>

6. Форма контроля: Экзамен.

**Аннотация учебной дисциплины
«Введение в общую теорию относительности»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 1

1. Дисциплина «Введение в общую теорию относительности» является дисциплиной по выбору общенаучного цикла.

2. Целью освоения дисциплины «Введение в общую теорию относительности» является формирование у студентов базовых знаний по релятивистской теории гравитации.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- постулаты, лежащие в основе общей теории относительности (ОТО);
- основные наблюдаемые следствия ОТО;
- метрику сферически-симметричного распределения материи;
- общие свойства движения пробной частицы в метрике Шварцшильда;
- метрику однородного изотропного распределения материи;

Уметь:

- получать уравнения Эйнштейна в пределе слабого гравитационного поля;
- вычислять основные наблюдательные эффекты ОТО;
- вычислять темп расширения Вселенной для пылевой материи и темной энергии;

Владеть:

- основами тензорного исчисления в искривленном пространстве-времени;
- методами общей теории относительности для описания гравитации;
- общими знаниями о современной космологии.

4. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Элементы векторного анализа.
1.1	Скаляры, векторы, тензоры и законы их преобразования. Метрический тензор.
1.2	Физическое расстояние и временные интервалы в искривленном пространстве-времени.
1.3	Ковариантная производная. Символы Кристоффеля.
1.4	Тензор кривизны.
2	Общая теория относительности.
2.1	Гравитация в нерелятивистской физике.
2.2	Релятивистская гравитация. Уравнения Эйнштейна.
2.3	Уравнения Эйнштейна в приближении слабого гравитационного поля.
3	Наблюдательные проявления ОТО.
3.1	Гравитационное красное смещение.

3.2	Отклонение света массивными телами.
3.3	Смещение перигелия Меркурия.
3.4	Гравитационные волны.
4	Метрика Шварцшильда.
4.1	Сферически-симметричное решение уравнения Эйнштейна.
4.2	Геодезические линии массивных частиц.
4.3	Геодезические линии безмассовых частиц.
5	Элементы современной космологии.
5.1	Метрика Фридмана–Робертсона–Уокера.
5.2	Уравнения Фридмана. Решение для пылевой материи.
5.3	Решение уравнения Фридмана для темной энергии.

6. Форма контроля: Экзамен.

Аннотация учебной дисциплины
«Дополнительные главы математической физики»

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 1

1. Дисциплина «Дополнительные главы математической физики» является дисциплиной по выбору вариативной части общенаучного цикла.

2. Целью освоения дисциплины «Дополнительные главы математической физики» является приобретение студентами дополнительных знаний и умений по отдельным вопросам высшей математики и математической физики, недостаточно освещенным или отсутствующим в базовых курсах.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- алгебру матриц, применяемых в квантовой теории;
- основные свойства полилогарифмов и функциональные соотношения для них.

Уметь:

- вычислять обобщенные интегралы гауссова типа в комплексной плоскости;
- вычислять интегралы с помощью теории вычетов;
- вычислять суммы рядов с помощью теории вычетов.

Владеть:

- навыками применения теории вычетов для решения разнообразных задач теоретической физики.

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

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Алгебра матриц двумерной электродинамики
2	Обобщённые гауссовы интегралы
3	Применение теории вычетов для вычисления интегралов и суммирования рядов
4	Полилогарифмы

6. **Форма контроля:** Зачет.

Аннотация учебной дисциплины
«Дополнительные главы математической статистики»

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 1

1. Дисциплина «Дополнительные главы математической статистики» является дисциплиной по выбору вариативной части общенаучного цикла.

2. Целью освоения дисциплины «Дополнительные главы математической статистики» является приобретение студентами углубленных знаний по математической статистике, необходимых для понимания статистических методов, используемых в астрофизике и космологии, формирование общих принципов описания стохастических процессов и анализа их характеристик.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- отличие частотного и байесовского подходов в статистике;
- сущность выборочного метода, методику статистического оценивания параметров распределения по выборочным данным;
- методику моделирования случайных величин, сущность метода статистических испытаний;

Уметь:

- использовать полученные знания в конкретных тематических и исследовательских ситуациях;
- строить адекватные статистические модели реальных процессов и явлений, проводить их математический анализ;
- вычислять вероятности случайных событий и вероятностные характеристики случайных величин;
- записывать распределения и находить характеристики случайных процессов;
- находить характеристики выборки, рассчитывать по выборочным данным статистические оценки параметров распределения;
- моделировать случайные величины и сложные испытания:

Владеть:

- методами точечного и интервального статистического анализа;
- практическими навыками численных расчетов оценок параметров распределений и случайных процессов.

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

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Основные понятия выборочной теории
1.1	Типовые распределения многомерных вероятностей.
1.2	Генеральная совокупность. Выборка. Выборочные распределения и характеристики.
1.3	Основные задачи математической статистики.

2	Точечные оценки
2.1	Состоятельные, несмещенные и эффективные оценки.
2.2	Понятие достаточных статистик.
2.3	Методы получения точечных оценок.
2.4	Оценки многомерных интегралов методом Монте-Карло.
3	Интервальные оценки и доверительные интервалы
3.1	Понятие интервальной оценки и доверительного интервала
3.2	Построение интервальных оценок. Примеры построения интервальных оценок.
4	Проверка гипотез. Параметрические модели
4.1	Основные понятия. Проверка двух простых гипотез.
4.2	Критерий Неймана-Пирсона.
4.3	Определение объема выборки
4.4	Сложные параметрические гипотезы.
5	Проверка непараметрических гипотез
5.1	Критерии согласия. Простая и сложная гипотеза.
5.2	Критерий независимости
6	Теория случайных процессов
6.1	Описание случайных процессов. Корреляционные функции.
6.2	Типы случайных процессов
6.3	Анализ парных связей.
6.4	Анализ коэффициента корреляции. Анализ корреляционного соотношения.
6.5	Анализ множественных связей.

6. Форма контроля: Зачет.

**Аннотация учебной дисциплины
«Калибровочная теория классических полей»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 1

1. Дисциплина «Калибровочная теория классических полей» является обязательной дисциплиной вариативной части общенаучного цикла.

2. Целью освоения дисциплины «Калибровочная теория классических полей» является изучение теории взаимодействия полей на основе локальной симметрии.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- о принципе локальной калибровочной инвариантности и удлиненной ковариантной производной;
- о методе построения взаимодействия фермионов с векторными полями на основе локальной калибровочной произвольной группы Ли;
- о механизме спонтанного нарушения симметрии;
- основные лагранжианы взаимодействия квантовых полей;
- калибровочные теории взаимодействия кварков и глюонов;
- модель Вайнберга-Салама единого электрослабого взаимодействия.

Уметь:

- строить лагранжианы на основе принципа локальной калибровочной инвариантности;
- строить лагранжианы взаимодействия векторных полей;
- вычислять массы векторных и фермионных полей на основе спонтанного нарушения симметрии.

Владеть:

- навыками построения калибровочно инвариантных билинейных и трилинейных структур по полям;
- навыками вычисления S- матричных элементов электрослабых процессов в рамках теории Вайнберга-Салама.

4. Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, 252 часа.

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1.	Введение.
1.1	Классическая электродинамика как пример калибровочной теории. Удлиненная производная. Принцип локальной калибровочной инвариантности.
2.	Представление калибровочных групп симметрии.
2.1	Набор фермионных безмассовых полей. Инвариантность относительно глобальной группы симметрии.
2.2	Алгебра генераторов группы Ли. Структурные константы.
2.3	Удлиненная производная. Лагранжиан взаимодействия фермионов с векторными полями.

3.	Самодействие векторных полей.
3.1	Статус векторных полей. Лагранжиан свободных векторных полей.
3.2	Локальный калибровочно инвариантный лагран-жиан векторных полей.
3.3	Лагранжиан взаимодействия векторных полей.
4.	Спонтанное нарушение произвольной симметрии.
4.1	Спонтанное нарушение симметрии на примере дискретной группы. Спонтанное нарушение симметрии непрерывной группы. Теорема Голдстоуна.
4.2	Генерация массы векторного поля на примере спонтанного нарушения симметрии группы $U(1)$.
5.	Модель Вайнберга-Салама.
5.1	Модель Вайнберга-Салама. Описание электромагнитных и слабых взаимодействий. Представление фермионов в модели Вайнберга-Салама.
5.2	Локальная калибровочная симметрия. Лагранжиан взаимодействия фермионов с векторными полями.
6.	Электрослабые взаимодействия.
6.1	Фотон, бозон. Угол Вайнберга.
6.2	Электродинамика, Z -взаимодействие, взаимодействие заряженных токов. Лагранжиан самодействия векторных полей.
7.	Спонтанное нарушение калибровочной симметрии и голдстоуновские бозоны.
7.1	Механизм спонтанного нарушения симметрии. χ - скаляр. Генерация масс векторных полей.
7.2	Юкавское взаимодействие.
7.3	Генерация масс фермионов.

6. Форма контроля: Экзамен.

**Аннотация учебной дисциплины
«Квантовая электродинамика»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 1

1. Дисциплина «Квантовая электродинамика» является обязательной дисциплиной вариативной части общенаучного цикла.

2. Целью освоения дисциплины «Квантовая электродинамика» является изучение основ квантования взаимодействующих полей, техники вычисления вероятностей, сечений квантовых процессов и других измеряемых на опыте величин.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- представления Шредингера и Гейзенберга;
- лагранжиан электромагнитного взаимодействия заряженных частиц с различным спином;
- оператор эволюции и его связь с вероятностью квантовых переходов;
- правила диаграммной техники Фейнмана.

Уметь:

- строить ряд теории возмущения по постоянной тонкой структуры с использованием теоремы Вика;
- вычислять вероятности и S-матричные элементы квантовых процессов.
- выписывать амплитуду квантового процесса, используя правила Фейнмана

Владеть:

- навыками интегрирования по фазовому объему квантовых процессов;
- диаграммной техникой Фейнмана;
- навыками вычисления сечения с использованием кинематических переменных Мандельштама.

4. Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, 252 часа.

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Введение
1.1	Лагранжиан взаимодействия электронов и фотонов в классической электродинамике.
1.2	Представление Гейзенберга. Представление Дирака.
2	Оператор эволюции.
2.1	Оператор эволюции. Эквивалентность представлений Гейзенберга и Дирака.
2.2	Нахождение оператора эволюции в виде ряда по лагранжиану взаимодействия.
3	Вероятностная интерпретация S- матричных элементов
3.1	S-оператор. Вероятностная интер-претация матричного элемента.
3.2	Вероятность распада одночас-тичного состояния. Сечение рассеяния в инвариантной форме.
3.3	Фазовые объемы реакций с двумя и тремя частицами в конечном состоянии.

4	Разложение в ряд по заряду электрона. Правила Фейнмана.
4.1	S-оператор в квантовой электродинамике. Теорема Вика.
4.2	Разложение в ряд по заряду электрона. Четность ряда. Постоянная тонкой структуры. Нахождение матричного элемента Комптоновского рассеяния в e^2 приближении.
4.3	Правила Фейнмана и диаграммная техника. Вычисление сечения Комптоновского рассеяния. Формула Томсона. Формула Клейна-Нишины.
4.4	Переменные Манделштама. Кроссинг симметрия.

6. Форма контроля: Экзамен.

**Аннотация учебной дисциплины
«Кинетическая теория и распространение излучения»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 1, 2

1. Дисциплина «Кинетическая теория и распространение излучения» является дисциплиной базовой части профессионального цикла.

2. Целью освоения дисциплины «Кинетическая теория и распространение излучения» является приобретение студентами дополнительных знаний и умений по применению методов кинетической теории к изучению процессов переноса излучения в различных астрофизических условиях.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основные уравнения кинетической теории и теории переноса излучения;
- о различных приближениях уравнений переноса и условиях их применения;

Уметь:

- вычислять коэффициенты излучения, поглощения и рассеяния;
- вычислять интенсивность и поток излучения;
- вычислять оптическую толщину и длину свободного пробега для различных активных сред.

Владеть:

- навыками приближенного решения уравнения переноса излучения в различных средах
- навыками практического применения аппарата кинетической теории в астрофизике;
- навыками использования свойств интегральной показательной функции для вычисления моментов уравнения переноса.

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

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Кинетическая теория
1.1	Функция распределения системы многих частиц. Уравнение Лиувилля. Многочастичные функции распределения. Кинетическое уравнение. Релятивистское кинетическое уравнение.
1.2	Цепочка уравнений Боголюбова. Критерии обрыва цепочки уравнений Боголюбова. Уравнение Больцмана. Интеграл столкновений. Детальное равновесие.
1.3	Переход от уравнения Больцмана к макроскопическим уравнениям. Кинетические коэффициенты.
1.4	Приближенное решение кинетического уравнения. Диффузионное приближение. Уравнение Фоккера-Планка.
1.5	Самосогласованное поле. Уравнение Власова.
2	Распространение излучения
2.1	Поле излучения. Интенсивность излучения. Средняя интенсивность и плотность

	излучения. Поток.
2.2	Взаимодействие излучения и вещества. Коэффициенты поглощения и излучения.
2.3	Уравнение переноса. Уравнение переноса как уравнение Больцмана. Оптическая толщина и функция источника. Длина свободного пробега.
2.4	Формальное решение уравнение переноса. Уравнение Шварцшильда-Милна. Интегральная показательная функция.
2.5	Диффузионное приближение. Приближение Росселанда. Приближение Эддингтона.
3.4	Комптоновское рассеяние. Уравнение Компанейца. Эффект Сюняева-Зельдовича.

6. Форма контроля: Зачеты.

**Аннотация учебной дисциплины
«Квантовые процессы во внешней активной среде»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 2

1. Дисциплина «Квантовые процессы во внешней активной среде» является дисциплиной базовой части профессионального цикла.

2. Целью освоения дисциплины «Квантовые процессы во внешней активной среде» является приобретение студентами знаний и умений по исследованию процессов с участием элементарных частиц в условиях активной астрофизической среды, в частности, в электромагнитном поле.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- решение уравнения Дирака во внешнем электромагнитном поле;
- пропагатор заряженного фермиона во внешнем магнитном поле;
- поляризационный оператор фотона во внешнем магнитном поле;
- собственно-энергетический оператор нейтрино в плазме;
- поляризационный оператор фотона в плазме.

Уметь:

- понимать современные проблемы физики и использовать фундаментальные физические представления в сфере профессиональной деятельности;
- получать волновые функции, описывающие электрон в магнитном и скрещенном полях;
- вычислять S-матричный элемент рассеяния фотона вперед во внешнем магнитном поле;
- вычислять S-матричный элемент рассеяния нейтрино вперед в плазме;
- вычислять амплитуду и вероятность процесса распада фотона на электрон-позитронную пару во внешнем поле.

Владеть:

- основами использования диаграммной техники Фейнмана во внешнем поле;
- основами интегрирования по фазовому объему заряженных частиц во внешнем поле;
- основами вычисления вероятностей процессов на основе мнимых частей соответствующих амплитуд во внешней активной среде.

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

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Решение уравнения Дирака во внешнем электромагнитном поле
2	Пропагатор заряженного фермиона во внешнем электромагнитном поле
3	Собственно-энергетический оператор нейтрино в плазме
4	Поляризационный оператор фотона
5	Диаграммная техника во внешнем магнитном поле и плазме
6	Распад фотона на электрон-позитронную пару во внешнем поле

6. **Форма контроля:** Экзамен.

Аннотация учебной дисциплины «История и методология физики»

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 1

1. Дисциплина «История и методология физики» является дисциплиной базовой части профессионального цикла.

2. Целью освоения дисциплины «История и методология физики» является формирование у студентов ясного представления о физической картине мира как основе целостности и многообразия природы. Задачей курса является знакомство студентов с основными направлениями физики, теоретическими и экспериментальными методами исследований и их развитием от античности до наших дней.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- историю и методологию физических наук, расширяющие общепрофессиональную, фундаментальную подготовку;
- основные разделы современной физики;
- о возникновении и эволюции важнейших физических понятий;
- о методах теоретического и экспериментального исследования;
- об основных экспериментальных исследованиях.

Уметь:

- грамотно и осмысленно излагать эволюцию развития физики, как науки;
- устанавливать причинно-следственные связи в эволюции развития физики.

Владеть:

- навыками подбора и работы с научной литературой;
- навыками анализа, классификации физических моделей и явлений.

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

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Развитие представлений о пространстве и времени от античности до современности
2	Развитие представлений о строении материи от античности до современности
3	Развитие физики как построение и смена физических законов
4	Физические законы
5	Физика элементарных частиц (физика высоких энергий) как пример фундаментальной науки.
6	История развития представлений о Вселенной

6. **Форма контроля:** Зачет.

Аннотация учебной дисциплины
«Метод ренормализационной группы в квантовой теории поля»

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 2

1. Дисциплина «Метод ренормализационной группы в квантовой теории поля» является дисциплиной по выбору вариативной части профессионального цикла.

2. Дисциплина «Метод ренормализационной группы в квантовой теории поля» обеспечивает приобретение студентами знаний и умений теоретического описания асимптотических свойств операторов квантовой теории поля с помощью уравнений ренормгруппы.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

-основные уравнения ренормализационной группы;

-основные типы асимптотического поведения эффективных констант связи в квантовой теории поля;

Уметь:

-формулировать уравнение Гелл-Манна–Лоу для бегущего заряда;

-формулировать уравнение для бегущей массы;

Владеть:

-навыками анализа асимптотического поведения эффективной константы связи в зависимости от поведения функции Гелл-Манна–Лоу.

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

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Общий формализм метода ренормгруппы
1.1	Физическое обоснование перенормировки. Достижения и трудности квантовой электродинамики. Понятия перенормировки, регуляризации, точных пропагаторов и вершинных функций. Способы регуляризации.
1.2	Мультипликативная перенормировка в квантовой электродинамике. Уравнение Дайсона. Перенормировка пропагаторов и вершинных функций. Перенормировка амплитуд. Тождество Уорда.
1.3	Универсальный формализм мультипликативной перенормировки функций Грина. Ренормализационная группа. Обезразмеренные функции Грина, их мультипликативная перенормировка, точка нормировки. Эффективный, или инвариантный заряд. Групповой характер преобразований перенормировки. Бегущая константа связи.
1.4	Уравнения ренормгруппы и их общие решения. Ренормгрупповое преобразование обобщенной функции Грина. Функциональные уравнения ренормгруппы. Дифференциальное уравнение ренормгруппы Овсянникова–Каллана–Симанчика. Уравнение Гелл-Манна–Лоу для бегущего заряда и уравнение для бегущей массы.

1.5	Ультрафиолетовая и инфракрасная асимптотики функций Грина. Случай безмассовой теории. Функция Гелл-Манна–Лоу. Функция аномальной размерности. Интегральное уравнение Гелл-Манна–Лоу. Типы асимптотического поведения эффективной константы связи в зависимости от поведения функции Гелл-Манна–Лоу.
2	Применения метода ренормализационной группы.
2.1	Испытательный полигон квантовой теории поля – модель $g\phi^4$. Вершинная функция для амплитуды перехода $2 \rightarrow 2$. Комбинаторика модели $g\phi^4$. Диаграммы типа «рыба». Эффективный заряд. Неустойчивость поведения эффективного заряда относительно поправок высших порядков.
2.2	Проблема «нуль-заряда» в квантовой электродинамике. Обезразмеренная функция Грина фотона. Формула Ландау–Абрикосова–Халатникова для эффективной константы связи квантовой электродинамики. «Призрачный полюс Ландау». Проблема «нуль-заряда» и перспектива ее решения.
2.3	Асимптотическая свобода в квантовой хромодинамике. Проблемы построения квантовополевой теории сильных взаимодействий. Теорема Гросса–Вильчека–Полицера для теорий с неабелевыми полями Янга–Миллса. Обезразмеренная функция Грина глюона в квантовой хромодинамике. Бегущая константа связи сильного взаимодействия. Размерная трансмутация.
2.4	Великое объединение взаимодействий. Полупростая группа сильного и электрослабого взаимодействий $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$. Слияние трех бегущих констант связи и масштаб великого объединения. Вычисление угла Вайнберга. Проблема треугольника.
2.5	Бегущая масса кварка.
2.6	Модель Пати-Салама с кварк-лептонной симметрией.

6. Форма контроля: Зачет.

**Аннотация учебной дисциплины
«Численные методы в астрофизике»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 2

1. Дисциплина «Численные методы в астрофизике» является дисциплиной по выбору профессионального цикла.

2. Целью освоения дисциплины «Численные методы в астрофизике» является формирование у студентов дополнительных знаний и умений при численном решении и моделировании различных задач в астрофизике.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основные методы численного решения дифференциальных уравнений в частных производных;
- основные методы Монте-Карло

Уметь:

- применять и комбинировать различные численные методы для задач возникающих в астрофизике

Владеть:

- навыками численного решения уравнений переноса, диффузии;
- навыками численного интегрирования методом Монте-Карло;
- навыками численного генерирования случайных величин с определенной функцией распределения

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

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Численные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных
1.1	Разносные схемы. Схема бегущего счета. Сходимость. Аппроксимация. Устойчивость.
1.2	Линейные уравнения переноса. Уравнение диффузии. Метод Кранка-Николсона.
1.3	Спектральные методы. Полиномы Чебышева. Метод Галеркина.
2	Методы Монте-Карло
2.1	Простейший метод Монте-Карло для вычисления интеграла. Способы уменьшения дисперсии.
2.2	Псевдослучайные числа. Квази-случайные числа. Генерация случайных величин с заданной функцией распределения. Общие методы. Методы Монте-Карло с повышенной скоростью сходимости. Адаптивные методы.
2.3	Метод Метрополиса.
3	Методы решений уравнений гидростатического равновесия. Метод Курица. Метод Ауэра-Михаласа.

6. **Форма контроля:** Зачет.

Аннотация учебной дисциплины
«Проблема многих тел в квантовой механике»

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 2

1. Дисциплина «Проблема многих тел в квантовой механике» является дисциплиной по выбору вариативной части профессионального цикла.

2. Целью освоения дисциплины «Проблема многих тел в квантовой механике» является знакомство магистрантов с подходами рассмотрения коллективных явлений в квантовой механике, с явлением сверхизлучения и сверхпроводимостью, взаимодействия электронов с фононами в полупроводниках.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- представление вторичного квантования;
- временную и стационарную теорию возмущений;
- представления Шредингера и Гейзенберга;
- правила диаграммной техники Фейнмана;
- нормальное и хронологическое произведения операторов.

Уметь:

- строить ряд теории возмущения с использованием теоремы Вика;
- вычислять поправки к энергии за счёт межэлектронного взаимодействия и взаимодействия с фононами.

Владеть:

- навыками записи уравнения Шредингера для многочастичной системы;
- навыками отыскания решения для стандартных систем с модельными гамильтонианами.

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

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Введение
1.1	История, успехи и трудности моделей многих тел. Проблема регулярности и стохастичности в сложных системах
1.2	Тождественность частиц. Фермионы и бозоны. Уравнение Шредингера в матричной форме.
2	Представление вторичного квантования.
2.1	Операторы рождения и уничтожения частиц. Коммутационные соотношения. Вакуумное состояние. Основное состояние ферми-частиц.
2.2	Операторы в представлении вторичного квантования. Оператор кинетической энергии. Оператор кулоновского взаимодействия электронов.
2.3	Взаимодействие электронов с фотонами и с фононами. Полевые операторы.
3	Стационарная теория возмущений.
3.1	Теории возмущений Бриллюэна – Вигнера и Рэлея- Шредингера.

3.2	Диаграммная техника. Вычисление поправок энергии в первом и втором поправках.
4	Временная теория возмущений.
4.1	Операторы рождения и уничтожения в представлении Гайзенберга и взаимодействия. Оператор динамической эволюции. Адиабатическая гипотеза.
4.2	P- и T-произведение операторов. Теорема Вика.
4.3	Диаграммная техника Фейнмана во временной теории возмущений.

6. Форма контроля: Зачет.

**Аннотация учебной дисциплины
«Нейтринная физика сверхновых и нейтронных звезд»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 2

1. Дисциплина «Нейтринная физика сверхновых и нейтронных звезд» является дисциплиной по выбору профессионального цикла дисциплин.

2. Дисциплина «Нейтринная физика сверхновых и нейтронных звезд» дает студентам знания об уникальных физических объектах – сверхновых и нейтронных звездах, остывание которых определяется излучением нейтрино. Поэтому такие объекты являются естественными лабораториями по изучению нейтринных процессов в сверхплотной, горячей, среде с сильным магнитным полем.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- физические параметры среды на каждой стадии взрыва сверхновой с коллапсом центральной части;
- определения скорости нейтринных реакций, светимости нейтрино из единицы объема и 4-импульса, передаваемого среде при прохождении через нее нейтрино;
- структуру нейтронной звезды и физические параметры ее коры и ядра;
- основные нейтринные процессы, определяющие остывание ядра нейтронной звезды;

Уметь:

- вычислять квадрат S-матричного элемента, светимость и скорость прямых угса-процессов, в том числе в случае среды с сильным магнитным полем;
- оценивать типичное время прихода среды к равновесию при прохождении через нее потока нейтрино, оценивать параметры среды оптически непрозрачной для нейтрино;
- показывать, что прямые угса-процессы запрещены в сильно вырожденной среде из нуклонов и электронов;

Владеть:

- методами квантовой теории поля для расчета нейтринных процессов в среде с магнитным полем;
- методами квантовой статистической физики для учета влияния среды на нейтринные процессы.

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

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Светимости и скорости нейтринных процессов в активной среде.
1.1	Эффективный электрослабый лагранжиан в пределе малого переданного импульса.
1.2	Квадрат S-матричного элемента нейтрино-нуклонных и нейтрино-лептонных процессов в низкоэнергитическом пределе.
1.3	Скорость и светимость нейтринных процессов. Длины свободного пробега нейтрино.

1.4	Нейтринные процессы в сильных магнитных полях.
1.5	Макроскопические проявления взаимодействия нейтрино со средой.
2	Нейтринные процессы в сверхновой.
2.1	Стадии взрыва сверхновой с коллапсом центральной части.
2.2	Нейтронизация и первичный нейтринный всплеск. Захват нейтрино средой, нейтриносфера.
2.3	Формирование обратной ударной волны. Нейтринное остывание оболочки сверхновой.
2.4	Магниторотационный взрыв сверхновой. Нейтринные динамические эффекты в среде с сильным магнитным полем.
2.5	SN 1987A, результаты наблюдений.
3	Нейтринные процессы в нейтронных звездах.
3.1	Структура и строение нейтронных звезд.
3.2	Основные нейтринные процессы во внутренней коре и ядре нейтронной звезды.
3.3	Кинематика прямых угса-процессов в сильно вырожденной среде.
3.4	Модифицированные угса-процессы.
3.5	Нейтринные процессы в плотной среде с сильным магнитным полем.
3.6	Нейтринные процессы в невырожденной горячей среде с сильным магнитным полем.
3.7	Нейтринные процессы в плазме, являющейся источником гигантской вспышки SGR.

6. Форма контроля: Зачет.

**Аннотация учебной дисциплины
«Эффективные теории распадов адронов»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 2

1. Дисциплина «Эффективные теории распадов адронов» является дисциплиной по выбору вариативной части профессионального цикла.

2. Целью освоения дисциплины «Эффективные теории распадов адронов» является знакомство с современными эффективными теориями, используемыми в физике частиц, и их применение к вычислению вероятностей распадов, дифференциальных распределений и других измеряемых на опыте величин в рамках упрощающих эффективных теорий.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- классификацию и свойства адронов;
- лагранжиан эффективного четырехфермионного слабого взаимодействия;
- дополнительные операторы, индуцированные сильным взаимодействием;
- нерелятивистские КЭД и КХД;
- эффективную теорию тяжелых кварков;
- эффективную теорию мягких и коллинеарных мод.

Уметь:

- вычислять вильсоновские коэффициенты в операторном разложении;
- вычислять вероятности распадов адронов;
- делать разложение полей тяжелых кварков по скорости;
- проводить разложение полей вблизи светового конуса.

Владеть:

- навыками интегрирования по фазовому объему квантовых процессов;
- диаграммной техникой Фейнмана;
- навыками построения эффективных лагранжианов для конкретных процессов.

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

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Введение.
1.1	Лагранжиан стандартной модели взаимодействий частиц.
1.2	Низкоэнергетический предел в лептонном секторе. Константа Ферми.
2	Эффективный лагранжиан слабых распадов адронов.
2.1	Лагранжиан заряженных и нейтральных токов в древесном приближении.
2.2	Лептонные и полулептонные распады адронов. Константы распадов. Форм-факторы переходов.
2.3	Эффективные гамильтонианы нейтральных токов, меняющих аромат.
2.4	Аномалия аксиальных токов. Электромагнитные распады нейтральных псевдоскалярных мезонов.

3	Нерелятивистские КЭД и КХД.
3.1	Нерелятивистская КЭД.
3.2	Нерелятивистская КХД.
3.3	Электромагнитные и сильные распады кваркониев
4	Эффективная теория тяжелых кварков (ЭТТК).
4.1	Симметрия ЭТТК. Лагранжиан, определяющий слабые распады адронов.
4.2	Факторизация адронных распадов мезонов.
4.3	Переходы тяжелого адрона в тяжелый и тяжелого в легкий. Полулептонные распады.
4.4	Предел больших энергий ЭТТК. Обобщенная факторизация амплитуд распадов.
5	Эффективная теория мягких и коллинеарных мод (ЭТМКМ).
5.1	Разложение кварковых и глюонных полей вблизи светового конуса. Классификация мягких и коллинеарных мод по степени виртуальности.
5.2	Факторизация адронных амплитуд в ЭТМКМ.

6. Форма контроля: Зачет.

**Аннотация учебной дисциплины
«Расширения стандартной модели в астрофизике»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 2

1. Дисциплина «Расширения стандартной модели в астрофизике» является дисциплиной по выбору профессионального цикла дисциплин.

2. Дисциплина «Расширения стандартной модели в астрофизике» дает студентам знания по простейшим расширениям стандартной модели, получившим наиболее широкое применение в астрофизике.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- принципы построения расширений;
- простейшие модели расширений стандартной модели;
- свойства легких гипотетических частиц.

Уметь:

- получать лагранжианы взаимодействий калибровочных теорий великого объединения;
- вычислять спектр масс частиц;
- получать вероятности осцилляций нейтральных частиц;
- вычислять интегральные характеристики астрофизических объектов.

Владеть:

- основами квантовой теории поля;
- методами построения расширений стандартной модели;
- общими знаниями о возможности существования и необходимости новых частиц.

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

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Введение
1.1	Принципы построения расширений.
1.2	Элементарные расширения фермионного и скалярного секторов модели. Четвертое поколение. Расширенный хиггсовский сектор.
1.3	Калибровочные расширения. SU(5) и SO(10) модели великого объединения.
1.4	Суперсимметрия.
2	Аксион.
2.1	Проблема сильного CP нарушения. Механизм Печчея и Квин.
2.2	Наиболее распространенные аксионные модели. Масса аксиона. Взаимодействие с фотонами и фермионами. Осцилляции.
2.3	Астрофизические и космологические ограничения на параметры аксиона
3	Экзотические частицы.

3.1	Скаляры: арион, майорон, фамилон.
3.2	Фермионы: нейтралино, аксино.
3.3	Кандидаты на темную материю.
4	Астрофизические приложения.
4.1	Вклад в энергетические потери астрофизических объектов.
4.2	Влияние астрофизических магнитных полей.

6. Форма контроля: Зачет.

**Аннотация учебной дисциплины
«Уравнения состояния и равновесие звезд»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 1

1. Дисциплина «Уравнения состояния и равновесие звезд» является обязательной дисциплиной вариативной части профессионального цикла.

2. Целью освоения дисциплины «Уравнения состояния и равновесие звезд» является приобретение студентами дополнительных знаний и умений по применению статистической физики для описания гидростатической конфигурации различных типов звезд.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основные типы звезд и особенности их строения и состава;
- соотношения между основными параметрами политропных звезд;
- зависимость масса-радиус для звезд разных типов;
- влияние излучения на равновесие нормальных звезд;

Уметь:

- получать уравнения состояния различных газов и излучения;
- вычислять предельные массы белых карликов и нейтронных звезд;
- вычислять распределение плотности вещества нейтронной звезды в ее коре;

Владеть:

- теорией политропных звезд;
- методами статистической физики для описания различных типов газов и излучения;
- основами общей теории относительности для описания нейтронных звезд.

4. Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Политропные звезды.
1.1	Гравитационная неустойчивость в однородном газе. Джинсовская масса.
1.2	Теория политропных звезд.
1.3	Политропные звезды с излучением.
2	Нормальные звезды.
2.1	Строение и структура нормальных звезд. Их основное отличие от политропных шаров.
2.2	Концентрация, плотность энергии и давление больцмановского газа, его уравнение состояния.
2.3	Гидростатическое равновесие нормальных звезд, зависимость от химического состава.
2.4	Излучение нормальных звезд, влияние излучения на равновесие.
3	Белые карлики.
3.1	Особенности строения и химического состава белых карликов.
3.2	Концентрация, плотность энергии и давление вырожденного газа, его уравнение

	состояния.
3.3	Гидростатическое равновесие белых карликов и их предельная масса.
4	Нейтронные звезды.
4.1	Особенности строения и состав нейтронных звезд.
4.2	Гидростатическое равновесие нейтронных звезд и их предельная масса.
4.3	Влияние эффектов общей теории относительности на равновесие нейтронных звезд.
4.4	Распределение вещества в коре нейтронной звезды.

6. Форма контроля: Экзамен.

**Аннотация учебной дисциплины
«Релятивистская астрофизика и космология»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 2

1. Дисциплина «Релятивистская астрофизика и космология» является обязательной дисциплиной вариативной части профессионального цикла.

2. Целью освоения дисциплины «Релятивистская астрофизика и космология» является приобретение студентами базовых знаний и умений по применению фундаментальных законов классической и квантовой физики к эволюции звезд, включая их конечные стадии (белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры). Данный курс также дает студентам знания о современной теоретической и наблюдательной космологии.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- ядерную эволюцию массивных звезд;
- критические состояния звезд при их превращении в белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры;
- механизмы взрыва сверхновых с коллапсом центральной части;
- наблюдательные данные по сверхновым и их остаткам;
- параметры стандартной космологической модели;

Уметь:

- вычислять предел на массы белых карликов;
- получать и анализировать уравнение Оппенгеймера – Волкова;
- оценивать основные параметры нейтринного излучения при взрыве сверхновой;
- рассчитывать возраст Вселенной на произвольном красном смещении;

Владеть:

- методами квантовой статистической физики для получения уравнения состояния вырожденного газа;
- методами общей теории относительности;
- методами расчета квантовых процессов во внешней активной среде.

4. Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Эволюция массивных звезд и сверхновые.
1.1	Ядерная эволюция массивных звезд.
1.2	Устойчивость и критические состояния звезд различной массы.
1.3	Классификация сверхновых. Наблюдательные данные по сверхновым с коллапсом центральной части.
1.4	Механизмы взрыва сверхновых.
1.5	Основные параметры нейтринного излучения от сверхновой.
1.6	Доминирующие процессы взаимодействия нейтрино с оболочкой сверхновой.
2	Белые карлики и нейтронные звезды.

2.1	Уравнения состояния вещества при больших плотностях и температурах.
2.2	Белые карлики. Чандрасекаровский предел массы.
2.3	Нейтронные звезды. Уравнение Оппенгеймера – Волкова.
2.4	Влияние уравнения состояния вещества центральной части нейтронной звезды на соотношение масса-радиус.
2.5	Предел на массу нейтронных звезд.
3	Классификация наблюдаемых нейтронных звезд.
3.1	Наблюдаемые проявления и классификация нейтронных звезд.
3.2	Электродинамические модели радиопульсаров.
3.3	Наблюдение радиопульсаров. Оценка возраста и магнитных полей.
3.4	Индекс торможения пульсаров, скачки периодов.
3.5	Источники мягких повторяющихся гамма-всплесков (SGR) и аномальные рентгеновские пульсары (AXP).
3.6	Гигантские вспышки SGR.
4	Черные дыры в двойных системах. Аккреция. Космологические гамма-всплески.
4.1	Шварцшильдовская черная дыра.
4.2	Черная дыра с вращением. Метрика Керра.
4.3	Потенциал Пачинского – Виита. Аккреция на черную дыру.
4.4	Аккреционный диск Шакуры – Сюняева.
4.5	Космологические гамма-всплески. Наблюдательные данные.
4.6	Модели длинных космологических гамма-всплесков. Роль синхротронного излучения с фронта ударной волны.
4.7	Космологические гамма-всплески и сверхновые.
5	Современная космология.
5.1	Закон Хаббла. Фридмановская космологическая модель. Решение для пылевой материи.
5.2	Влияние излучения на темп расширения Вселенной.
5.3	Модель Фридмана с космологической постоянной. Вычисление возраста Вселенной для произвольного красного смещения.
5.4	Лямбда-CDM как современная космологическая модель.
5.5	Проблемы современной космологической модели. Инфляция.

6. Форма контроля: Экзамен.

**Аннотация учебной дисциплины
«Интегральные преобразования»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 1

1. Дисциплина «Интегральные преобразования» является факультативной дисциплиной.
2. Целью освоения дисциплины «Интегральные преобразования» является приобретение знаний и умений для решения задач теоретической физики с использованием интегральных преобразований.
3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:
Знать:
 - основные типы интегральных преобразований;**Уметь:**
 - находить изображения и оригиналы заданных функций;
 - вычислять интегралы и ряды с помощью интегральных преобразований;**Владеть:**
 - навыками решения дифференциальных и интегральных уравнений с помощью преобразований Фурье и Лапласа.
4. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часов.
5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Общие сведения об интегральных преобразованиях.
1.1	Введение. Общая характеристика интегральных преобразований.
1.2	Преобразование Фурье.
1.3	Преобразование Лапласа.
1.4	Преобразование Меллина. Другие типы интегральных преобразований.
1.5	Интегральные преобразования в компьютерной системе Mathematica.
2	Применения интегральных преобразований.
2.1	Решение задач, приводящих к обыкновенным дифференциальным уравнениям с помощью интегральных преобразований.
2.2	Решение задач математической физики с помощью преобразований Фурье и Лапласа.
2.3	Решение интегральных уравнений с помощью преобразования Лапласа.
2.4	Вычисление интегралов с помощью преобразований Фурье, Лапласа и Меллина.
2.5	Суммирование рядов.

6. Форма контроля: Зачет.

Аннотация учебной дисциплины
«Численные методы моделирования распространения излучения»

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 1, 2

1. Дисциплина «Численные методы моделирования распространения излучения» является факультативной дисциплиной.

2. В дисциплине «Численные методы моделирования распространения излучения» излагаются прикладные методы численного моделирования переноса излучения, теоретические основы которого даются в курсе «Кинетическая теория и распространение излучения». Одной из целей курса является выработка у студентов навыков самостоятельных численных расчетов.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основные методы численного решения уравнений переноса излучения;
- основные методы моделирования распространения излучения

Уметь:

- применять и комбинировать численные методы для задач, возникающих в астрофизике

Владеть:

- навыками численного моделирования распространения излучения в астрофизических условиях

4. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часов.

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Интегральные методы решения уравнения переноса
1.1	Разносные методы решений уравнения переноса. Метод Фортие. Метод Райбике
1.2	Методы Монте-Карло. Моделирование траектории фотона. Учет оптических свойств среды. Рассеяние в среде

6. **Форма контроля:** Зачеты.

**Аннотация учебной дисциплины
«Коллективные эффекты в плазме, сверхтекучесть и сверхпроводимость»**

Направление подготовки: 011200.68 Физика

Профильная направленность: Релятивистская астрофизика

Форма обучения: очная

Курс: 2

1. Дисциплина «Коллективные эффекты в плазме, сверхтекучесть и сверхпроводимость» является факультативной дисциплиной.

2. Целью освоения дисциплины «Коллективные эффекты в плазме, сверхтекучесть и сверхпроводимость» является приобретение студентами дополнительных знаний и умений по применению универсального формализма в квантовой механике, квантовой статистической физике, теории конденсированных сред, релятивистской квантовой теории поля.

3. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основы процессов, протекающих в плазме;
- коллективные явления и взаимодействия между частицами;
- основы современной теории кооперативных явлений: сверхтекучести и сверхпроводимости.

Уметь:

- вычислять адиабатические инварианты в магнитных полях;
- вычислять комбинированный градиентный и центробежный дрейф;
- вычислять магнитное давление;
- вычислять основные характеристики, описывающие кооперативные явления.

Владеть:

- навыками вычисления основных соотношений в приложениях магнитной гидродинамики;
- навыками практического применения диаграммной техники для вычисления основных характеристик сверхтекучей бозе-жидкостей квантовой теории сверхтекучести;
- навыками составления сверхпроводящей волновой функции и параметра порядка.

4. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часов.

5. Содержание дисциплины:

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Коллективные явления в плазме
1.1	Основные свойства плазмы. Плазма как четвертое состояние вещества. Генерация плазмы. Коллективные явления и взаимодействие между частицами. Основные процессы, протекающие в плазме.
2	Движение заряженной частицы в неоднородном постоянном магнитном поле.
2.1	Пространственная неоднородность магнитного поля. Дивергентные элементы. Элементы, связанные с градиентом и кривизной магнитного поля. Широкие элементы
2.2	Уравнение движения в приближении первого порядка. Сила, усредненная за один

	период вращения.
2.3	Сила, параллельная полю. Сила, перпендикулярная полю. Полная усредненная сила.
2.4	Градиентный дрейф. Ускорение ведущего центра параллельно полю..
2.5	Квазиклассическое приближение Сохранение магнитного момента и магнитного потока. Магнитные зеркала. Продольный адиабатический инвариант
2.6	Центробежный дрейф. Комбинированный градиентный и центробежный дрейф.
3	Основные явления в плазме
3.1	Электронные колебания в плазме. Дебаевское экранирование. Вывод дебаевского экранирования с использованием уравнения Власова. Плазменный слой. Физический механизм..
3.2	Электрический потенциал стенки. Внутренняя структура плазменного слоя. Плазменный зонд.
4	Сверхтекучесть.
4.1	Общие свойства систем из многих частиц при низких температурах. Элементарные возбуждения. Энергетический спектр и свойства жидкого He^4 при низких температурах.
4.2	Квазичастицы. Спектр бозе-жидкости. Сверхтекучесть.
4.3	Ферми-жидкость. Возбуждения в ферми-жидкости. Энергия квазичастиц. Звук.
4.4	Вторичное квантование. Разреженный бозе-газ. Разреженный ферми-газ
5.	Сверхпроводимость.
5.1	Электромагнитные свойства. Нулевое сопротивление и температура перехода. Критическое магнитное поле. Эффект Мейснера.
5.2	Сверхпроводники первого и второго рода. Промежуточное состояние. Квантование потока. Сверхпроводник в магнитном поле.
5.3	Куперовские пары. Теория Купера-Бардина-Шриффера (БКШ).
5.4	Туннелирование. В сверхпроводниках. Туннелирование Живера. Эффект Джозефсона.
5.5	Теория Гинзбурга-Ландау. Вычисление свободной энергии. Уравнения Гинзбурга-Ландау.
5.6	Приложения теории Гинзбурга-Ландау. Квантование потока. Флуктуации в сверхпроводниках.

6. Форма контроля: Зачеты.