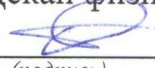


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

И.С. Огнев
(подпись)

23 мая 2023 года

Рабочая программа дисциплины

«Избранные процессы космофизики»

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 процессов нейтринного излучения при взрыве сверхновой с коллапсом центральной части и процессов нейтринного остывания нейтронных звезд.

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:

- строение нейтронной звезды;
- основные стадии взрыва сверхновой;
- эффективные лагранжианы нейтринных процессов;
- матрицу плотности заряженного фермиона в постоянном однородном магнитном поле.

Уметь:

- вычислять квадрат матричного элемента нейтринного процесса;
- вычислять нейтринную светимость в прямых URCA-реакциях;
- вычислять нейтринную светимость в сильном магнитном поле.

Владеть навыками:

- техники ковариантного вычисления квадрата матричного элемента;
- техники матрицы плотности при вычислении светимости в сильном магнитном 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 о я те ль н ая ра бо та	
1	Структура нейтронной звезды	2	2	1		0	23	Задания для самостоятельной работы
2	Взрыв сверхновой с коллапсом центральной части	2	2	1			23	Задания для самостоятельной работы
3	Прямые URCA-процессы в нейтронных звездах и во внутренней	2	2	2			23	Задания для самостоятельной работы

	оболочке сверхновой							
4	Процессы излучения нейтрино в сильном магнитном поле	2	2	2			23	Задания для самостоятельной работы
	Всего 108 час.		8	6		2	92	

Содержание разделов дисциплины:

Тема 1. Структура нейтронных звезд

Основные сведения о строении нейтронных звезд.

Плотности, температуры и химические потенциалы частиц во внутренней коре, внешнем и внутреннем ядре нейтронных звезд.

Плотность вещества и химический потенциал электронного газа, как функция глубины коры нейтронной звезды.

Сверхплотное вещество внутреннего ядра нейтронных звезд. Модель Валечки.

Механизмы генерации сильных магнитных полей в нейтронных звездах.

Тема 2. Взрыв сверхновой с коллапсом центральной части

Основные сведения о взрыве сверхновой с коллапсом центральной части.

Основные стадии взрыва сверхновой с коллапсом центральной части.

Роль нейтринных процессов для каждой из стадий взрыва.

Основные характеристики нейтринного излучения при взрыве.

Механизмы генерации сильных магнитных полей на стадиях взрыва сверхновой.

Тема 3. Прямые URCA-процессы излучения нейтрино в нейтронных звездах и внутренней оболочке сверхновой

Прямые URCA-процессы на нуклонах в условиях внутреннего ядра нейтронной звезды.

Бета-равновесие, неравенство треугольника.

Вычисление нейтронной светимости в прямых URCA-процессах на нуклонах.

Вычисление нейтринной светимости в прямых URCA-процессах на кварках в условиях сверхплотного ядра нейтронной звезды.

Вычисление нейтринных светимостей в URCA-процессах на нуклонах в условиях внутренней оболочки сверхновой.

Тема 4. Процессы излучения нейтрино в сильном магнитном поле

Матрица плотности заряженного фермиона в постоянном однородном магнитном поле.

Вычисление квадратов S-матричных элементов процессов нейтринного излучения в технике матрицы плотности.

Светимость в процессе нейтринного синхротрона в сильном магнитном поле.

Нейтринная светимость в прямых URCA-процессах на кварках в сильном магнитном поле.

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 «Избранные процессы космофизики» 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. Гвоздев А.А., Огнев И.С., Осокина Е.В. Нейтринные процессы во внешнем магнитном поле в технике матрицы плотности. – Ярославль: ЯрГУ, 2012. – 48 с. <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20120703.pdf>
2. Биленький С. М. Лекции по физике нейтринных и лептон-нуклонных процессов. / С. М. Биленький - М.: Энергоиздат, 1981. - 213 с. http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=740929&cat_cd=YARSU.

б) дополнительная литература

1. Фортов В.Е. Уравнение состояния вещества: от идеального газа до кварк-глюонной плазмы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 492 с. – http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1592188&cat_cd=YARSU
2. Шапиро С.А., Тьюколски С.А. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. Т. 2. – М.: Мир, 1985. С. 257-656. https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=45372
3. Potekhin A.Y., Pons J.A., Dany Page. Neutron stars - cooling and transport. Space Sci. Rev. 191 (2015) 239; <https://arxiv.org/abs/1507.06186>
4. Yakovlev D.G., Kaminker A.D., Gnedin O.Y., Haensel P. Neutrino emission from neutron stars. Physics Reports. 2001. Vol. 354. P. 1; <https://arxiv.org/abs/astro-ph/0012122>.

в) ресурсы сети «Интернет» (при необходимости)

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT» http://www.lib.uniyar.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.А. Гвоздев

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Избранные процессы космофизики»**

**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 к теме 2:

1. Полагая, что давление определяется вкладом вырожденного электронного газа, из уравнения статического равновесия определить химический потенциал электронов и плотность вещества, как функцию глубины внешней коры нейтронной звезды.
2. Рассматривая ядро нейтронной звезды, как смесь нейтронного и электронного идеальных вырожденных ферми-газов, показать, что отношение концентраций (протонов к нейтронам) не превышает 0.125 при сколь угодно большой плотности вещества. Указание: воспользоваться условиями электро-нейтральности и бета-равновесия среды.
3. Получить в приближении идеального газа Ферми смеси нейтронов, протонов и электронов численное значение концентраций и импульсов Ферми частиц при ядерной плотности.

Задания для самостоятельной работы к теме 3:

1. Показать, что в приближении нулевой температуры в простейшей модели идеальных газов Ферми ядра нейтронной звезды прямые URCA-процессы излучения нейтрино кинематически запрещены. Указание: считать нуклоны нерелятивистскими.
2. Используя закон сохранения энергии, теорему вириала (в расчете на один нуклон среды), а также известное выражение сечения рассеяния нейтрино на нуклоне, оценить энергию, уносимую всеми нейтрино, среднюю энергию на одно нейтрино, время нейтринного излучения при взрыве сверхновой с коллапсом центральной части.
3. Прямым вычислением показать, что нейтринная светимость из единицы объема смеси n-p-e идеальных газов в пределе «ступеньки» для функций распределения равна нулю.
4. Вычислить нейтринную светимость из единицы объема в URCA-процессах на u-, d-кварках в приближении одноглюонного обмена между кварками в условиях сверхплотного ядра массивной нейтронной звезды.
5. Вычислить коэффициенты абсорбции и эмиссии нейтрино в прямых URCA-процессах на нуклонах внутренней оболочки сверхновой.

Задания для самостоятельной работы к теме 4:

1. Исходя из известных решений уравнения Дирака для заряженного фермиона в постоянном однородном магнитном поле, получить выражение матрицы плотности фермиона в магнитном поле, просуммированное по его поляризациям.
2. В технике матрицы плотности получить выражение для квадрата S-матричного элемента бета-процесса и процесса синхротронного излучения нейтрино в постоянном однородном магнитном поле.
3. В технике матрицы плотности получить выражение для нейтринной светимости из

единицы объема в процессе синхротронного излучения электроном нейтринной пары в сильном магнитном поле. Указание: считать среду прозрачной для нейтрино.

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

Список вопросов к зачету:

1. Основные сведения о строении нейтронных звезд.
2. Плотности, температуры и химические потенциалы частиц во внутренней коре, внешнем и внутреннем ядре нейтронных звезд.
3. Плотность вещества и хим. потенциал электронного газа, как функция глубины коры нейтронной звезды.
4. Сверхплотное вещество внутреннего ядра нейтронных звезд. Модель Валечки.
5. Механизмы генерации сильных магнитных полей в нейтронных звездах.
6. Основные сведения о взрыве сверхновой с коллапсом центральной части.
7. Основные стадии взрыва сверхновой с коллапсом центральной части.
8. Роль нейтринных процессов для каждой из стадий взрыва.
9. Основные характеристики нейтринного излучения при взрыве.
10. Механизмы генерации сильных магнитных полей на стадиях взрыва сверхновой.
11. Прямые URCA-процессы на нуклонах в условиях внутреннего ядра нейтронной звезды. Бета-равновесие, неравенство треугольника.
12. Вычисление нейтронной светимости в прямых URCA-процессах на нуклонах.
13. Вычисление нейтринной светимости в прямых URCA-процессах на кварках в условиях сверхплотного ядра нейтронной звезды.
14. Вычисление нейтринных светимостей в URCA-процессах на нуклонах в условиях внутренней оболочки сверхновой.
15. Матрица плотности заряженного фермиона в постоянном однородном магнитном поле.
16. Вычисление квадрата S- матричных элементов процессов нейтринного излучения в технике матрицы плотности.
17. Светимость в процессе нейтринного синхротрона в сильном магнитном поле.
18. Нейтринная светимость в прямых URCA-процессах на кварках в сильном магнитном поле.

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.