

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

Кафедра теоретической физики

**УТВЕРЖДАЮ**

Декан физического факультета  
  
(подпись) И.С. Огнев

23 мая 2023 года

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Нейтринная физика сверхновых и нейтронных звезд»**

Направление подготовки  
03.04.02 Физика

Направленность (профиль)  
«Теоретическая физика»

Форма обучения  
очная

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

Программа одобрена НМК  
физического факультета  
протокол № 5 от « 25» апреля 2023 года

Ярославль

## 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Нейтринная физика сверхновых и нейтронных звёзд» является изучение квантовых процессов излучения или поглощения нейтрино в условиях взрыва сверхновой и нейтронной звезды.

## 2. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата

Дисциплина «Нейтринная физика сверхновых и нейтронных звёзд» относится к вариативной части Блока Б1.

При успешном освоении данного курса магистрант вводится в один из современных, бурно развивающихся разделов релятивистской астрофизики: моделирование взрыва сверхновых и кривой остывания нейтронных звёзд.

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

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

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Профессиональные компетенции</b>		
<b>ПК-1</b> Способен осуществлять научно-исследовательскую деятельность по решению комплексных фундаментальных задач физики	<b>ИД-ПК-1_1</b> Знает теоретические методы проведения и анализа научных исследований	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Формализм матрицы плотности во внешнем магнитном поле.</li></ul> <b>Уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Оценить время нейтринного излучения и среднюю энергию нейтрино при взрыве сверхновой;</li><li>оценить нейтринные светимости при взрыве сверхновой;</li><li>вычислить нейтринную светимость в прямых URCA-процессах внутреннего ядра нейтронной звезды;</li></ul> <b>Владеть навыками:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Применения теории вычетов для вычисления нейтринной светимости в URCA-процессах;</li></ul>
	<b>ИД-ПК-1_2</b> Знает современные теории и модели физики	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Основные фазы взрыва сверхновой;</li><li>Роль нейтринных процессов в динамике взрыва сверхновой;</li><li>Внутреннее строение нейтронной звезды;</li><li>Прямые URCA-процессы излучения нейтрино.</li></ul>

#### 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 ес т р	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости  Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			л ек ц и и	п р ак т и ч ес к и е	л а б о р ат о р н ы е	к о с у л ьт а ц и и	а тт ес та ц и о н н ы е ис п ы та н и я	сам ост оят ель ная рабо та	
1	Нейтринные процессы в сверхновых с коллапсом центральной части.	4	12	12		2		25	Индивидуальные консультации
2	Нейтринные процессы в нейтронных звёздах.	4	12	12		2		25	Индивидуальные консультации
							0,3	5,7	Зачет
	Всего за 4 семестр		24	24		4	0,3	55,7	

#### Содержание разделов дисциплины:

- 1. Нейтринные процессы в сверхновых с коллапсом центральной части.**
  - 1.1. Взрыв сверхновой, как конечная стадия эволюции массивной звезды.
  - 1.2. Основные фазы взрыва сверхновой с коллапсом центральной части.
  - 1.3. Роль нейтринных процессов в динамике взрыва сверхновой.
  - 1.4. Магниторотационная модель взрыва сверхновой.
  - 1.5. Прямые URCA-процессы переизлучения нейтрино в модели сферически-симметричного коллапса.
  - 1.6. Прямые URCA-процессы переизлучения нейтрино в магниторотационной модели взрыва.
- 2. Нейтринные процессы в нейтронных звёздах.**
  - 2.1. Внутреннее строение и состав нейтронных звёзд.

- 2.2. Распределение вещества в коре нейтронных звёзд.
- 2.3. Гидростатическое равновесие нейтронных звёзд. Уравнение Оппенгеймера-Волкова.
- 2.4. Модели внутреннего ядра нейтронной звезды: идеальный нуклонный газ, минимальная модель Валечки, модель кваркового мешка.
- 2.5. Прямые и модифицированные URCA-процессы нейтринного излучения в условия внутреннего ядра нейтронной звезды.
- 2.6. Вычисление нейтринной светимости из единицы объёма в прямых URCA-процессах на нуклонах (кварках) среды.

## **5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

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

**Академическая лекция** (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

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

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

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

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

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

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

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

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

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

### **а) основная литература**

1. Гвоздев А. А., Огнев И. С., Чистяков М. В. Введение в релятивистскую астрофизику и современную космологию. (учебное пособие) Ярославль: ЯрГУ, 2013. — 99 с. <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20130710.pdf>
2. Блинников С. И. Основы релятивистской астрофизики: учебное пособие для вузов. — М. : Издательство Юрайт, 2022. — 221 с. <https://urait.ru/bcode/495791>

### **б) дополнительная литература**

1. Бескин В.С. Гравитация и астрофизика / Бескин В. С. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 160 с. <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922110549.html>
2. Гвоздев А.А., Огнев И.С., Осокина Е.В. Нейтринные процессы во внешнем магнитном поле в технике матрицы плотности (методические указания). Ярославль: ЯрГУ, 2012. — 47 с. <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20120703.pdf>
3. Попов С.Б. Суперобъекты: Звезды размером с город. — М. : Альпина нон-фикшн, 2016. — 238 с. (Серия "Библиотека ПостНауки") <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785916714906.html>

### **в) ресурсы сети «Интернет»**

1. Научная энциклопедия на сайте <http://elementy.ru/physics>.

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

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

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

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, хранящиеся на электронных носителях и обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие рабочим программам дисциплин.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для практических занятий (семинаров) – списочному составу группы обучающихся.

Автор:

профессор кафедры теоретической физики, д.ф.-м.н. \_\_\_\_\_ А.А. Гвоздев.  
(подпись)

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Нейтринная физика сверхновых и нейтронных звёзд»**

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов  
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,  
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,  
характеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1 Контрольные задания и иные материалы,  
используемые в процессе текущей аттестации**

**Темы №1-2 URCA-процессы во внешнем магнитном поле.**

Задания из методических указаний Гвоздев А. А., Огнев И. С., Осокина Е. В. Нейтринные процессы во внешнем магнитном поле в технике матрицы плотности. Ярославль: ЯрГУ 2012, 47 с.:

раздел 4 (матрица плотности заряженной частицы),  
раздел 5 (квадрат S-матричного элемента),  
раздел 8 (нейтринная светимость).

**1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения итоговой аттестации**

**Список вопросов к зачёту:**

1. Взрыв сверхновой, как конечная стадия эволюции массивной звезды.
2. Основные фазы взрыва сверхновой с коллапсом центральной части.
3. Роль нейтринных процессов в динамике взрыва сверхновой.
4. Магниторотационная модель взрыва сверхновой.
5. Прямые URCA-процессы переизлучения нейтрино в модели сферически-симметричного коллапса.
6. Прямые URCA-процессы переизлучения нейтрино в магниторотационной модели взрыва.
7. Внутреннее строение и состав нейтронных звёзд.
8. Распределение вещества в коре нейтронных звёзд.
9. Гидростатическое равновесие нейтронных звёзд. Уравнение Оппенгеймера-Волкова.
10. Модели внутреннего ядра нейтронной звезды: идеальный нуклонный газ, минимальная модель Валечки, модель кваркового мешка.
11. Прямые и модифицированные URCA-процессы нейтринного излучения в условия внутреннего ядра нейтронной звезды.
12. Вычисление нейтринной светимости из единицы объёма в прямых URCA-процессах на нуклонах (кварках) среды.

**1.3 Описание процедуры выставления оценки**

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 в рамках рабочей программы дисциплины; знает базовые теории, концепции и направления по изучаемой дисциплине; самостоятельно работал на практических занятиях, участвовал в групповых обсуждениях.

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 в рамках рабочей программы дисциплины; не знает базовые теории, концепции и направления по изучаемой дисциплине; не проявлял самостоятельности при выполнении заданий на практических занятиях, не участвовал в групповых обсуждениях.



## **Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Нейтринная физика сверхновых и нейтронных звёзд»**

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Дисциплина «Нейтринная физика сверхновых и нейтронных звёзд» вводит студентов в один из актуальных разделов современной астрофизики – нейтринную физику сверхновых и нейтронных звёзд. Именно в этих астрофизических системах создаются условия (высокие температуры, плотности, большие химические потенциалы), при которых нейтринные процессы играют ключевую роль в динамике взрыва (сверхновая) и скорости остывания (сверхновая, нейтронная звезда). В таких условиях, как правило, доминируют URCA-процессы, с чем и связана необходимость их исследования. Общие выражения для интегральных характеристик (светимость, скорость реакции) в URCA-процессах довольно громоздки. Данный курс вырабатывает у студентов навык вычисления интегральных характеристик в конкретных условиях сверхновой или нейтронной звезды. В таком случае, отталкиваясь от значений макроскопических параметров (температура, плотность, химический потенциал, весовые концентрации), можно сделать разумные предположения, упрощающие как сам процесс вычисления, так и конечный результат.

На практических занятиях рекомендуется вычислять наиболее трудоёмкую часть квантового процесса группой, менее трудоёмкие части выносить как домашнее задание с последующей сверкой полученных результатов.

Для подготовки к практическим занятиям рекомендуется использовать литературу из прилагаемого списка основной и дополнительной литературы.

Важной частью самостоятельной работы студентов является подготовка к зачету. Список вопросов к зачету прилагается.