

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук**

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора Института по научной работе
С.В. Лебедев
02 2015 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
НЕЙТРИННЫЕ ПРОЦЕССЫ В АСТРОФИЗИКЕ**
основной образовательной программы подготовки
научно-педагогических кадров в аспирантуре
по направлению 03.06.01 Физика и астрономия

Профиль:
01.03.02 Астрофизика и звездная астрономия

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Принято Ученым советом
Протокол №1 от 20 февраля 2015 г.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Илларион

Рабочая программа составлена на основании федеральных государственных образовательных стандартов основных образовательных программ высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия»

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Рассматриваемая дисциплина является основной в подготовке аспирантов, обучающихся по профилю 01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия»

Целями изучения дисциплины является:

- Углубление знаний по ряду теоретических проблем в области слабых взаимодействий и нейтринных процессов в астрофизике и космологии;
- изучение современных астрофизических экспериментов по детектированию нейтрино, приобретение опыта выполнения оценок возможностей нейтринных экспериментов;
- приобретение опыта выполнения оценок основных величин, характеризующих как свойства нейтрино различных типов, так и физические условия астрофизических объектов, являющихся источниками генерации нейтрино.

Задачи дисциплины заключаются в изучении:

- фундаментальных понятий, теоретических концепций и моделей, описывающих физику слабых взаимодействий с участием нейтрино;
- современных представлений об астрофизических и космологических объектах, для которых важную роль играют нейтринные процессы.
- методов регистрации нейтрино, характеристик существующих нейтринных детекторов и способов оценки параметров детектированных нейтрино.

Для достижения задач, поставленных при изучении дисциплины, используется набор методических средств: учебная, учебно-методическая литература, информационные ресурсы библиотеки, электронные курсы и др.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

- 2.1. Учебная дисциплина «Нейтринные процессы в астрофизике» входит в вариативную часть ООП (дисциплины по выбору).
- 2.2. Данная программа строится на преемственности программ в системе высшего образования и предназначена для аспирантов ФТИ, прошедших обучение по программе подготовки магистров, прослушавших соответствующие курсы и имея по ним положительные оценки. Она основывается на положениях, отраженных учебных программах указанных уровней.
- 2.3. Дисциплина «Нейтринные процессы в астрофизике» необходима при подготовке выпускной квалификационной работы аспиранта и подготовке к сдаче кандидатского экзамена.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Нейтринные процессы в астрофизике» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ООП по направлению подготовки «Физика и астрономия»:

3.1. Универсальные компетенции:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1).

3.2. Общепрофессиональные компетенции:

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

3.3. Профессиональные компетенции:

- способность планировать, организовывать работу по проектам, требующим знания астрофизики и звездной астрономии (ПК-1);

- способность к теоретическому расчету необходимых астрофизических и астрономических величин (ПК-2);

- способность к разработке математических моделей, определяющих изучаемые процессы в астрофизике и звездной астрономии (ПК-3);

- способность получать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по теме исследования, выбирать и обосновывать методики и средства решения поставленных задач (ПК-4).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Приводимая ниже таблица показывает распределение бюджета учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса согласно учебному плану «Нейтринные процессы в астрофизике» 144 часа, 4 ЗЕ.

Наименование разделов и тем	Трудоёмкость (в ЗЕТ)	Объём работы (в часах)	Всего учебных занятий (в часах)			
			Лекции	Лаб. практ.	Самостоятельная работа	Контроль
1	2	3	4	5	6	7
Нейтринные процессы в астрофизике						
Тема 1.1. Слабые взаимодействия и нейтрино		21	8		13	
Тема 1.2. Осцилляции нейтрино и оценки масс		21	8		13	
Тема 1.3. Солнечные нейтрино		21	8		13	
Тема 1.4. Сверхновые и нейтрино		21	8		13	

Тема 1.5. Нейтронные звезды и нейтрино		21	8		13	
Тема 1.6. Нейтрино ультравысоких энергий		20	7		13	
Тема 1.7. Реликтовые нейтрино		19	7		12	
Всего по дисциплине	2	144	54		90	зачет

4.3. Содержание разделов и тем

Нейтринные процессы в астрофизике

Тема 1.1. Слабые взаимодействия и нейтрино

Лекции (8 часов)

Понятие о нейтрино. Открытие нейтрино. Нейтрино в астрономии и космологии: краткий обзор. Нейтринная астрофизика, как наблюдательная наука.

Стандартная модель элементарных частиц. Понятие о калибровочной инвариантности. Спонтанное нарушение калибровочной симметрии и механизм Хиггса. Модель электрослабых взаимодействий Глэшоу-Вайнберга-Салама. Нейтрино в стандартной модели. Четность и зарядовое сопряжение для нейтрино. Дираковские и майорановские нейтрино. Взаимодействия нейтрино в стандартной модели. Открытые вопросы физики нейтрино.

Тема 1.2. Осцилляции нейтрино и оценки масс

Лекции (8 часов)

Осцилляции нейтрино в вакууме. Описание осцилляций с помощью волновых пакетов. Осцилляции нейтрино в веществе. Эффект Михеева—Смирнова—Вольфенштейна. Магнитный момент нейтрино и осцилляции в магнитном поле. Атмосферные нейтрино и оценки масс нейтрино.

Тема 1.3. Солнечные нейтрино

Лекции (8 часа)

Нейтрино в стандартной солнечной модели. Детектирование солнечных нейтрино. Характеристики основных нейтринных экспериментов. Анализ данных по наблюдению солнечных нейтрино. Решение проблемы солнечных нейтрино. Осцилляции солнечных нейтрино.

Тема 1.4. Сверхновые и нейтрино

Лекции (8 часов)

Нейтринные процессы на поздней стадии эволюции массивных звезд. Гравитационный коллапс и вспышка сверхновой звезды. Нейтринные процессы и динамика взрыва сверхновой. Роль слабых процессов в энергетике расширяющихся оболочек. Сверхновая SN 1987A и

регистрация нейтринных импульсов. Ограничения на свойства нейтрино. Нейтринно-ядерные реакции и нуклеосинтез в сверхновых. Диффузный фон нейтрино от сверхновых.

Тема 1.5. Нейтронные звезды и нейтрино

Лекции (8 часа)

Нейтрино и остывание нейтронных звезд. Нейтринные процессы в коре нейтронной звезды. Нейтринные процессы в ядре нейтронной звезды. Нейтринные процессы и сверхтекучесть нуклонов. Нейтринные процессы в нейтронных звездах с экзотическим внутренним ядром. Нейтринное излучение как регулятор остывания нейтронных звезд.

Тема 1.6. Нейтрино ультравысоких энергий

Лекции (7 часов)

Спектр высокоэнергичных космических лучей. Эффект Грейсена—Зацепина-Кузьмина и космические нейтрино. Астрофизические источники нейтрино ультравысоких энергий (УВЭ). Предел Ваксмана—Бакалла и теоретические оценки потоков УВЭ нейтрино. Проект DUMAND и современные телескопы УВЭ нейтрино. УВЭ нейтрино от космических гамма-всплесков. Наблюдения ПэВ-ных нейтрино.

Тема 1.7. Реликтовые нейтрино

Лекции (7 часов)

Нейтрино в ранней Вселенной. Расширение Вселенной и плотности энергии в ранней Вселенной. «Закалка» реликтовых нейтрино. Выход нуклонов из бета-равновесия и начало первичного нуклеосинтеза. Современный фон реликтовых нейтрино. Способы детектирования реликтовых нейтрино.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Технология процесса обучения по дисциплине «Нейтринные процессы в астрофизике» включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- а) аудиторные занятия (лекционно-семинарская форма обучения);
- б) самостоятельная работа студентов;
- г) контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончании;
- д) зачет по окончании изучения дисциплины.

В учебном процессе используются как активные, так и интерактивные формы проведения занятий: дискуссия, метод поиска быстрых решений в группе, мозговой штурм.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор) и технологии проблемного обучения.

Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия.

Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Нейтринные процессы в астрофизике» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-

исследовательскую активность аспирантов.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Цель контроля – получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

6.1. Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущий контроль знаний аспирантов организован как выступления на семинарах.

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний и развитие практических умений.

6.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация завершает изучение дисциплины «Нейтринные процессы в астрофизике». Форма аттестации – зачет в письменной или устной форме.

Экзаменационный билет состоит из 2 теоретических вопросов, тематика которых представлена в программе кандидатского экзамена.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации

1. Основные свойства нейтрино в рамках стандартной модели элементарных частиц: теоретическое описание нейтрино; три поколения нейтрино, четность и зарядовое сопряжение; реакции слабого взаимодействия с участием нейтрино; реакции, используемые при регистрации нейтрино.
2. Калибровочный принцип. Локальные и глобальные калибровочные симметрии. Спонтанное нарушение симметрии. Механизм Хиггса.
3. Характеристики стандартной модели элементарных частиц. Основные положения теории электрослабых взаимодействий.
4. Принципы описания взаимодействий. Распад мюона. Рассеяние нейтрино на электронах. Приближение малых энергий.
5. Волновое описание осцилляций нейтрино в вакууме. Осцилляции трех типов нейтрино и ограничения на квадраты масс. Осцилляции и соотношение неопределенностей.
6. Траекторка нейтринных осцилляций с помощью волновых пакетов. Уравнение эволюции для нейтрино. Реакторные эксперименты по поиску нейтринных осцилляций.
7. Распространение нейтрино в среде и осцилляции в веществе. Резонансное усиление осцилляций: эффект Михеева—Смирнова—Вольфенштейна. Астрофизические оценки величины эффекта.
8. Адиабатическое приближение. Осцилляции нейтрино в магнитном поле. Астрофизические оценки величины эффекта.
9. Принципы анализа данных по осцилляциям нейтрино: диаграмма углы смешивания --- разница квадратов масс. Оценки осцилляций при прохождении нейтрино сквозь Землю.
10. Описание стандартной модели Солнца, скорости основных реакций и спектр солнечных нейтрино. Теоретические потоки нейтрино.

11. Описание экспериментов с солнечными нейтрино: хлорный эксперимент, галиевые эксперименты, детекторы Камиоканде и Суперкамиоканде, нейтринная обсерватория в Сёдберри (SNO). Решение проблемы солнечных нейтрино.
12. Оценки нейтринных процессов на поздних стадиях эволюции звезд. Переход к фазе гравитационного коллапса. Оценки нейтринных потоков.
13. Основные нейтринные процессы, влияющие на динамику взрыва сверхновой. Понятие нейтриносферы. Стадии взрыва сверхновых и характерные потоки нейтрино. Оценки потоков диффузного фона нейтрино от сверхновых.
14. Характеристики нейтринных импульсов от сверхновой SN 1987A. Анализ данных регистрации нейтрино. Оценки частоты появления сверхновых и планируемые эксперименты по регистрации нейтринных импульсов.
15. Основные нейтринно-ядерные реакции нуклеосинтеза в сверхновых. Синтез элементов тяжелее железа. Бета-процессы, как источники расширения оболочек сверхновых.
16. Характеристика и оценки нейтринных процессов в коре нейтронных звезд. Основные нейтринные процессы в ядрах нейтронных звезд. Режимы быстрого, стандартного и медленного остывания нейтронных звезд. Оценки нейтринных процессов при сверхтекучести нуклонов.
17. Характеристика основных процессов генерации нейтрино ультравысоких энергий. Возможные астрофизические объекты, генерирующие высокоэнергичные нейтрино. Эффект Грейсена—Зацепина—Кузьмина и ограничения на энергии космических нейтрино.
18. Регистрация космических нейтрино сверхвысоких энергий. Теоретические ограничения. Принципы работы современных телескопов для регистрации нейтрино сверхвысоких энергий. Первые результаты эксперимента IceCube («km³»).
19. Равновесные процессы слабого взаимодействия. Температура закалки нейтрино и эффективная температура реликтовых нейтрино в настоящее время. Космологические ограничения на массу нейтрино. Понятие о стерильных нейтрино.
20. Первичный нуклеосинтез и отношение плотности барионов к плотности фотонов. Космологические оценки числа типов нейтрино и ограничения на массу нейтрино. Оценки возможностей прямой регистрации реликтовых нейтрино.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Основная литература

1. Г.В. Клапдор-Клайнгротхаус, А. Штаудт. Неускорительная физика элементарных частиц. Главы 1, 3, 6, 7. Наука. Физматлит, 1997
2. О.М. Бояркин. Физика массивных нейтрино. Главы 1, 3—6. КомКнига 2006
3. К. Гротц, Г.В. Клапдор-Клайнгротхаус. Слабое взаимодействие в физике ядра, частиц и астрофизике. Главы 1, 4, 5, 9. М: Мир 1992
4. Д.С. Горбунов, В.А. Рубаков. Введение в теорию горячей Вселенной: Теория горячего Большого взрыва. Главы 4, 7, 8, приложения В, С. Издательство ЛКИ, 2008

7.2. Дополнительная литература

1. K. Langanke, G. Martinez-Pinedo. Nuclear weak-interaction processes in stars,

Review Modern Physics 75, 819--862, 2003

2. K.G. Balasi, K. Langanke, Martinez-Pinedo. Neutrino-nucleus reactions and their role for supernova dynamics and nucleosynthesis. ArXiv: 1503.08095
3. C. Spiering. Towards high-energy neutrino astronomy. A historical review. The European Physical Journal H, v. 37, 515--565, 2012. ArXiv: 1207.4952
4. D.G. Yakovlev, A.D. Kaminker, O.Y. Gnedin, P. Haensel. Neutrino emission from neutron stars. Physics Reports 354, 1—155, 2001.

7.3. Интернет-ресурсы

Отечественные журналы:

1. Астрономический вестник (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7665; доступ с 2007 по текущий год)
2. Астрономический журнал (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7666; доступ с 2007 по текущий год)
3. Письма в астрономический журнал (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=79414; доступ с 2007 по текущий год)
4. Геомagnetизм и аэрономия (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7765; доступ с 2007 по текущий год)
5. Исследование Земли из космоса (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7842; доступ с 2007 по текущий год)
6. Космические исследования (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7859; доступ с 2007 по текущий год)
7. Вестник МГУ. Часть 3. Физика, астрономия (<http://vmu.phys.msu.ru/toc/list>; доступ с 1985 по 2014)
8. Проблемы передачи информации (http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=ppi&wshow=details&option_lang=rus; доступ с 1965 по 2012)
9. Земля и Вселенная (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7808; доступ с 1965 по 2012)

Отечественные журналы в переводе:

1. Astronomy Reports (<http://link.springer.com/journal/11444>; доступ с 2000 по текущий год,
2. Astronomy Letters (<http://www.springerlink.com/content/119837/>; доступ с 2000 по текущий год)
3. Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory (<http://link.springer.com/journal/11989>; доступ с 2007 по текущий год)
4. Cosmic Research (<http://link.springer.com/journal/10604>; доступ с 2000 по текущий год)
5. Earth and Space Science (<http://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/agu/journal/10.1002/%28ISSN%292333-5084/>; доступ с 2014 по текущий год)
6. Geomagnetism and Aeronomy (<http://link.springer.com/journal/11478>; доступ с 2006 по текущий год)
7. Problems of Information Transmission (<http://link.springer.com/journal/11122>; доступ с 2001 по текущий год)
8. Solar System Research (<http://link.springer.com/journal/11208>; доступ с 2000 по текущий год)

9. Radiophysics and Quantum Electronics (<http://www.springer.com/astronomy/journal/11141>;
доступ с 1965 по текущий год)

Международные журналы:

Gravitation and Cosmology (<http://link.springer.com/journal/12267>; доступ с 2008 по текущий год)

Иностранные журналы:

1. Astronomy and Astrophysics (<http://www.aanda.org/>; частичный свободный доступ к отдельным номерам журнала с 2001 по текущий год)
2. Astronomy and Astrophysics Review (<http://link.springer.com/journal/159>; доступ с 1989 по текущий год)
3. Astronomy & Geophysics (<http://astrogeo.oxfordjournals.org/>; доступ с 1997 по текущий год)
4. Astroparticle Physics (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09276505/23/1>; доступ с 2006 по текущий год)
5. Astrophysics (<http://link.springer.com/journal/10511>; доступ с 1965 по текущий год)
6. Astrophysics and Space Science (<http://link.springer.com/journal/10509>; доступ с 1968 по текущий год)
7. Classical and Quantum Gravity (<http://iopscience.iop.org/0264-9381/>; доступ с 1984 по текущий год)
8. Computational Astrophysics and Cosmology (<http://link.springer.com/journal/40668>; доступ с 2014 по текущий год)
9. Experimental Astronomy (<http://link.springer.com/journal/10686>; доступ с 1989 по текущий год)
10. Journal of Astrophysics and Astronomy (<http://link.springer.com/journal/12036>; доступ с 1980 по текущий год)
11. Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (<http://iopscience.iop.org/1475-7516/>; доступ с 2003 по текущий год)
12. Microgravity Science and Technology (<http://link.springer.com/journal/12217>; доступ с 2001 по текущий год)
13. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (<http://mnras.oxfordjournals.org/>; доступ с 1827 по текущий год); (<http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/%28ISSN%291365-2966>; доступ с 1998 по 2012);
14. Monthly Notices Letters of the Royal Astronomical Society (<http://mnrasl.oxfordjournals.org/>; доступ с 2005 по текущий год)
15. Nature (<http://www.nature.com/nature/index.html>; доступ с 1940 по текущий год)
16. Planetary Science (<http://link.springer.com/journal/13535>; доступ с 2012 по текущий год)
17. Research in Astronomy and Astrophysics (<http://iopscience.iop.org/1674-4527/>; доступ с 2001 по текущий год)
18. Space Science Reviews (<http://link.springer.com/journal/11214>; доступ с 1962 по текущий год)
19. Space Weather
<http://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/agu/journal/10.1002/%28ISSN%291542-7390/>; доступ с 2003 по текущий год)
20. Solar Physics (<http://link.springer.com/journal/11207>; (доступ с 1967 по текущий год)

21. The Astronomical Journal (<http://iopscience.iop.org/1538-3881>; доступ с 1849 по текущий год)
22. The Astrophysical Journal (<http://iopscience.iop.org/0004-637X/>; доступ с 1996 по текущий год)
23. The Astrophysical Journal Letters (<http://iopscience.iop.org/2041-8205/>; доступ с 1995 по текущий год)
24. The Astrophysical Journal. Supplement series (<http://iopscience.iop.org/0067-0049/>; доступ с 1996 по текущий год)

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Лекционная аудитория
2. Мультимедийный проектор
3. Персональный компьютер