

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



УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора по научной работе
С.В. Лебедев
«20» 02 2015 г.

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

Профиль:
01.04.02 Теоретическая физика

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь.

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

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Шерош

ПРЕДИСЛОВИЕ

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 01.04.02 «Теоретическая физика».

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Рассматриваемая дисциплина является дисциплиной по выбору в подготовке аспирантов, обучающихся по профилю 01.04.02 «Теоретическая физика».

Целями изучения дисциплины является:

- Углубление знаний по ряду теоретических проблем в области физики гравитационных полей и общей теории относительности и знакомство с проблемами современной астрофизики сильных гравитационных полей;

- Приобретение опыта использования теоретических методов общей теории относительности

Задачи дисциплины заключаются в изучении:

- Фундаментальных понятий, законов и теорий, относящихся к общей теории относительности и астрофизике сильных гравитационных полей.

- Математических методов, используемых в общей теории относительности.

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 «Сильные гравитационные поля 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 им. А.Ф.Иоффе, прошедших обучение по программе подготовки магистров, прослушавших соответствующие курсы и имеющих по ним положительные оценки. Она основывается на положениях, отраженных учебных программах указанных уровней.

2.3. Дисциплина «Сильные гравитационные поля в астрофизике» необходима при подготовке выпускной квалификационной работы аспиранта и подготовке к сдаче кандидатского экзамена.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Сильные гравитационные поля 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 и организовывать работу по теоретическим проектам, направленных на изучение новых физических эффектов (ПК-1);
- способность получать и обрабатывать информацию по новым методам расчетов в области теоретической физики (ПК-2);
- способность анализировать и систематизировать научную информацию по современным достижениям в области общей физики и специальных областей физики по теме исследования (ПК-3);
- способность анализировать физические явления на качественном уровне, умение делать оценки и развивать навыки работы с экспериментальными данными (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 на 2 году обучения. Курс рассчитан на 108 часов, 3 ЗЕ.

4.2 Содержание тем

Наименование разделов и тем	Трудоемкости в ЗЕ	Объем час	Всего учебных занятий (в часах)			
			лекции	лаб.	самост	контроль
Тема 1.1. Введение в ОТО и его математический аппарат		12	2		10	
Тема 1.2. Сферически-симметричное пространство		32	4		28	
Тема 1.3. Гравитационные волны. Метрика Керра		32	4		28	
Тема 1.4. Введение в ADM-формализм.		32	4		28	
Всего по дисциплине	3	108	14		94	зачет

Тема 1.1. Введение в ОТО и его математический аппарат.

1. Введение. Принцип эквивалентности. Криволинейные координаты. Вектора, тензора. Метрический тензор, символы Кристоффеля, параллельный перенос. Примеры.
2. Кривизна пространства, тензор Римана, его свойства. Тензоры Риччи, Эйнштейна, Вейля.
3. Пространство с симметрией. Вектора Киллинга. Коммутатор векторных полей, теорема Фробениуса. Максимально-симметричные подпространства.
4. Системы отсчета. Введение в хронометрически-инвариантные величины. Интервал времени, метрика 3-пространства. Сила тяжести, сила Кориолиса.
5. Уравнение движения точечных частиц, переход к ньютоновскому пределу. Уравнения электромагнитного поля.
6. Действие для гравитационного поля. Метод Паллатини. Уравнения Эйнштейна. Тензор энергии-импульса. Закон сохранения энергии-импульса. Примеры.
7. Уравнения гидродинамики. Тензор энергии-импульса идеальной жидкости. Закон сохранения энтропии. Примеры.
8. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости. Формализмы Ландау и Еккарта.

Тема 1.2. Сферически-симметричное пространство.

1. Сферически-симметричное пространство-время. Уравнения Эйнштейна. Использование пакета *Matha* для вычисления тензоров Риччи, Эйнштейна. Уравнение Оппенгеймера-Волкова. Примеры.
2. Метрика Шварцшильда. Движение частиц в метрике Шварцшильда, классификация орбит. Отклонение луча света в слабом гравитационном поле, эффект Шапиро, смещение перигелия Меркурия.
3. Метрика Шварцшильда. Движение по радиальным геодезическим. Горизонт событий. Метрика Леметра.
4. Диаграмма Пенроуза для метрики Шварцшильда, R и T области, черные и белые дыры. Мост Эйнштейна-Розена.
5. Метрика электрически заряженной черной дыры. Диаграмма Пенроуза.
6. Синхронная система отсчета. Коллапс пылевидной сферы. Проблема гладкости метрических коэффициентов.
7. Метрика де-Ситтера. Статическое решение и экспоненциально расширяющееся пространство. Диаграмма Пенроуза мира де-Ситтера.

Тема 1.3. Гравитационные волны. Метрика Керра.

1. Слабые гравитационные поля, линеаризация уравнений Эйнштейна. Слабые стационарные поля, метрика медленно вращающегося тела. Плоские гравитационные волны. Движение частицы в плоской гравитационной волне. Излучение гравитационных волн. Проблемы детектирования гравитационных волн.
2. Псевдотензор-энергии импульса гравитационного поля. Суперпотенциалы. Проблема энергии гравитационного поля. Теорема Меллера. Потеря энергии двойным пульсаром.
3. Метрика Керра. Горизонт событий, эргосфера. Движение частиц в метрике Керра. Возможность извлечения энергии из вращающейся черной дыры.
4. Диаграмма Пенроуза для метрики Керра. Кольцевая сингулярность, замкнутые времени-подобные кривые.

Тема 1.4. Введение в ADM-формализм.

1. Кинеметрически-инвариантные величины. 3+1 расщепление пространства времени. Тензор внешней кривизны, его связь с метрикой. Производная Ли.

2. 3+1 формулировка уравнений Эйнштейна. Соотношения Гаусса-Кодацци и Кодацци-Майнарди.
3. Динамические уравнения для гравитационного поля. Проблема начальных условий для уравнений Эйнштейна. Гамильтонова формулировка ОТО.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Технология процесса обучения по дисциплине «Сильные гравитационные поля 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 окончанию;
- 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 «Сильные гравитационные поля 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 выступление 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 «Сильные гравитационные поля в астрофизике». Форма аттестации – зачет в письменной или устной форме. Экзаменаци-

онный билет состоит из 2 теоретических вопросов, тематика которых представлена в программе курса.

На зачете аспирант должен продемонстрировать высокий научный уровень и научные знания по дисциплине «Сильные гравитационные поля в астрофизике».

Контрольные вопросы по курсу

«Сильные гравитационные поля в астрофизике»

1. Тензора в произвольной системе координат. Метрический тензор, символы Кристоффеля, параллельный перенос.
2. Кривизна пространства, тензор Римана, его свойства. Тензоры Риччи и Эйнштейна.
3. Вектора Киллинга. Максимально-симметричные подпространства.
4. Системы отсчета. Интервал времени, метрика 3-пространства. Сила тяжести, сила Кориолиса.
5. Уравнение движения точечных частиц. Уравнения электромагнитного поля.
6. Действие для гравитационного поля. Уравнения Эйнштейна.
7. Тензор энергии-импульса. Закон сохранения энергии-импульса.
8. Уравнения гидродинамики для идеальной жидкости. Закон сохранения энтропии.
9. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости. Формализмы Ландау и Еккарта.
10. Сферически-симметричное пространство-время. Уравнение Оппенгеймера-Волкова.
11. Метрика Шварцшильда. Движение частиц в метрике Шварцшильда, классификация орбит. Отклонение луча света в слабом гравитационном поле, эффект Шапиро, смещение перигелия Меркурия.
12. Метрика Шварцшильда. Движение по радиальным геодезическим. Горизонт событий. Метрика Леметра. Диаграмма Пенроуза для метрики Шварцшильда.
13. Метрика электрически заряженной черной дыры. Диаграмма Пенроуза.
14. Метрика де-Ситтера. Диаграмма Пенроуза мира де-Ситтера.
15. Синхронная система отсчета. Коллапс пылевидной сферы.
16. Уравнения Эйнштейна для слабых гравитационных полей. Гравитационные волны.
17. Излучение гравитационных волн. Потеря энергии двойным пульсаром.
18. Псевдотензор энергии-импульса гравитационного поля.
19. Метрика Керра. Движение частиц в метрике Керра.
20. Диаграмма Пенроуза для метрики Керра.
21. 3+1 расщепление пространства времени. Тензор внешней кривизны.
22. Соотношения Гаусса-Кодацци и Кодацци-Майнарди.
23. 3+1 формулировка уравнений Эйнштейна.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Основная литература

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц т. II "Теория поля" 7-е изд. Л.Д. Ландау – 1988. М. «Наука»
2. В.А.Фок "Теория пространства, времени и тяготения" В.А. Фок – 2015. М. изд. «УРСС».
3. С. Вейнберг "Гравитация и космология" С. Вейнберг – 2000. Волгоград «Платон»
4. А.А.Логунов "Лекции по теории относительности и гравитации" А.А. Логунов – 2005. М. «Наука»
5. А.Лайтман, В.Пресс, Р.Прайс, С.Тюкопольски "Сборник задач по теории относительности и гравитации" А.Лайтман – 1979. М. «Мир»
6. П.К. Рашевский "Риманова геометрия и тензорный анализ" П.К. Рашевский – 2003. М. изд. «УРСС».

7.2. Дополнительная литература

1. Ю.С. Владимиров "Классическая теория гравитации" Ю.С. Владимиров – 2009. М. изд. «УРСС».
2. M. Alcubierre "Introduction to 3+1 numerical relativity" M. Alcubierre – 2008. New York. Oxford University Press.
3. Н.В. Мицкевич "Физические поля в общей теории относительности" Н.В. Мицкевич – 1969. М. «Наука»
4. А.Л. Зельманов "Хронометрические инварианты" А.Л. Зельманов – 2006.

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. Геомагнетизм 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
4. Компьютерный класс
5. Учебно-научная лаборатория, оборудованная установкой дифракции быстрых электронов на отражение.
6. Учебно-научная лаборатория, оборудованная аппаратурой для измерения теплопроводности и теплоемкости твердых тел.
7. Учебно-научная лаборатория, оборудованная аппаратурой для измерения магнитных свойств твердых тел