

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АСТРОФИЗИКИ И ЗВЕЗДНОЙ АСТРОНОМИИ

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
МГУ
_____ / Н.Н. Сысоев /
«__» _____ 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

СОВРЕМЕННАЯ ФЕНОМЕНОЛОГИЯ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД И ЧЕРНЫХ ДЫР

Уровень высшего образования:
Специалитет

Направление подготовки:
03.05.01 Астрономия

Направленность (профиль) ОПОП:
Общая специальность

Квалификация «Специалист»

Форма обучения: Очная форма обучения

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Ученым советом физического факультета МГУ

(протокол № _____, _____)

Москва 20__

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.01 Астрономия.

Год (годы) приема на обучение _____

Авторы–составители:

1. Д.ф.-м.н., профессор РАН, Попов Сергей Борисович, кафедра астрофизики и звездной астрономии физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н. профессор Постнов Константин Александрович

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Современная феноменология нейтронных звезд и черных дыр"»

В курсе описываются основные наблюдательные данные по астрофизике нейтронных звезд и черных дыр, а также модели, описывающие эти данные. Курс основывается на последних оригинальных результатов, а потому регулярно обновляется в связи с проведение новых исследований. Первая половина курса посвящена астрофизике нейтронных звезд. Особое внимание уделяется одиночным нейтронным звездам, не являющимися радиопульсарами. Во второй части, посвященной черным дырам, рассматриваются черные дыры различных типов: как наблюдающиеся, так и предсказываемые теоретиками.

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Форма обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Современная феноменология нейтронных звезд и черных дыр» реализуется на 5-ом курсе в 10-ом семестре и является составной частью профессионального блока вариативной части.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Курсы общем астрономии и общей астрофизики.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1.Б	<p>З-1 Знать: ключевые наблюдательные проявления нейтронных звезд и черных дыр</p> <p>З-2 Знать: основные физические процессы, определяющие наблюдательные проявления компактных объектов</p> <p>У-1 Уметь: интерпретировать основные наблюдательные данные по компактным объектам</p> <p>У-2 Уметь: выделять ключевые направления современных исследований нейтронных звезд и черных дыр</p> <p>В-1 Владеть: методами теоретического описания наблюдательных свойств компактных объектов</p> <p>В-2 Владеть: методами интерпретации данных наблюдений нейтронных звезд и черных дыр</p>
ОПК-1.Б	<p>З-1 Знать: основные теоретические подходы, используемые при описании свойств компактных объектов</p> <p>У-1 Уметь: интерпретировать в рамках современных физических моделей данные наблюдений</p> <p>У-2 Уметь: строить популяционные модели для нейтронных звезд</p> <p>В-1 Владеть: навыками построения физических моделей компактных объектов</p>

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Основные типы одиночных нейтронных звезд и их проявления

Классификация: радиопульсары, магнитары, центральные компактные объекты, одиночные остывающие нейтронные звезды. Эволюционные взаимосвязи и ключевые наблюдательные проявления.

Тема 2. Внутренняя структура нейтронных звезд. Массы нейтронных звезд

Строение нейтронных звезд. Свойства вещества коры и ядра. Определение масс нейтронных звезд. Связь макропараметров (масса, радиус и т.п.) с параметрами внутреннего состояния. Наблюдательные ограничения на уравнения состояния нейтронных звезд.

Тема 3. Глитчи и прецессия нейтронных звезд

Феноменологические свойства глитчей. Особенности наблюдений. Модели описания глитчей. Прецессия нейтронных звезд. Наблюдаемые кандидаты.

Тема 4. Механизм приобретения дополнительной скорости нейтронными звездами и черными дырами

Пространственные скорости нейтронных звезд. Особенности измерения в разных диапазонах спектра. Модели приобретения начальной скорости. Распределение нейтронных звезд по скоростям. Измерения скоростей движения черных дыр. Связь пространственной скорости с параметрами взрыва сверхновой.

Тема 5. Магнито-вращательная эволюция нейтронных звезд. Затухание магнитного поля

Взаимосвязь наблюдательных проявлений нейтронных звезд с их магнито-вращательными свойствами. Стадии и режимы замедления: эжектор, пропеллер, аккретор, георотатор. Эволюция магнитного поля: омические потери и холловский каскад. Влияние затухания поля на наблюдательные проявления.

Тема 6. Аккрецирующие одиночные нейтронные звезды

Аккреция на компактные объекты из межзвездной среды. Особенности эволюции. Важность обнаружения одиночных аккрецирующих нейтронных звезд.

Тема 7. Тепловая эволюция нейтронных звезд

Основные процессы остывания нейтронных звезд: прямой и модифицированный УРКА-процессы. Связь остывания с уравнением состояния. Данные по остывающим нейтронным звездам. Возможность тестирования моделей внутреннего строения по данным о тепловой эволюции. Механизмы дополнительного нагрева.

Тема 8. Атмосферы нейтронных звезд

Физические условия во внешних слоях нейтронных звезд. Основные свойства атмосфер. Данные наблюдений (спектры). Влияние атмосферы на наблюдаемые параметры. Роль вариаций химического состава и магнитных полей.

Тема 9. Магнитары: происхождение, наблюдательные проявления, эволюция

Открытие магнитаров. Аномальные рентгеновские пульсары и источники мягких повторяющихся гамма-всплесков – связи между ними. Ключевые наблюдаемые параметры. Механизмы активности магнитаров. Связь с другими типами объектов (быстрые радиовсплески, магнитары в двойных).

Тема 10. Популяционный синтез одиночных нейтронных звезд

Важность популяционных исследований в астрофизике. Основы популяционного синтеза. Примеры моделей синтеза различных популяций нейтронных звезд.

Тема 11. Черные дыры: основные типы и проявления. Одиночные черные дыры звездных масс

Рождение черных дыр звездных масс. Ключевые параметры (вращение, масса, кик). Наблюдательные проявления одиночных черных дыр: микролинзирование, аккреция.

Тема 12. Рентгеновские двойные. Эволюция двойных систем

Компактные объекты в двойных системах: обнаружение и ключевые наблюдательные проявления. Формирование компактных объектов в двойных системах. Влияние второго компонента на эволюция и проявления компактного объекта. Слияния компактных объектов.

Тема 13. Двойные системы с черными дырами

Определение масс компактных объектов в двойных системах. Отличия черных дыр от нейтронных звезд с точки зрения наблюдений. Режимы аккреции черных дыр в двойных системах. Ультрамощные источники.

Тема 14. Сверхмассивные черные дыры

Истоки гипотезы. Активные ядра галактик. Статистические данные по активным ядрам. Формирование и рост сверхмассивных черных дыр. Методы измерения масс.

Тема 15. Слияния черных дыр. Джеты от источников с черными дырами

Связь эволюции сверхмассивных черных с дыр с эволюцией галактик. Слияния галактик. Двойные сверхмассивные черные дыры. Перспективы регистрации гравитационно-волновых сигналов от сверхмассивных черных дыр. Гравитационно-волновая ракета. Струйные истечения (джеты).

Тема 16. Первичные черные дыры. Проблема наблюдательного подтверждения существования черных дыр

Формирование первичных черных дыр в космологических сценариях. Спектр масс. Наблюдательные ограничения на количество и форму спектра (микрولينзирование, гамма-наблюдения).

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий			Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	
Современная феноменология нейтронных звезд и черных дыр	3	108	68	34	34	40

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «**Современная феноменология нейтронных звезд и черных дыр**» включает в себя лекции, на которых рассматривается как теоретическое содержание курса, так и феноменология компактных объектов; семинарские занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение теоретических вопросов, обозначенных в темах

дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Основные типы одиночных нейтронных звезд и их проявления	6	2	-	2	2	Собеседование, опрос
2	Внутренняя структура нейтронных звезд. Массы нейтронных звезд	10	4	-	4	2	
3	Глитчи и прецессия нейтронных звезд	6	2	-	2	2	
4	Механизм приобретения дополнительной скорости нейтронными звездами и черными дырами	6	2	-	2	2	
5	Магнито-вращательная эволюция нейтронных звезд. Затухание магнитного поля	6	2	-	2	2	
6	Аккрецирующие одиночные нейтронные звезды	6	2	-	2	2	
7	Тепловая эволюция нейтронных звезд	6	2	-	2	2	
8	Атмосферы нейтронных звезд	6	2	-	2	2	
9	Магнитары: происхождение, наблюдательные проявления, эволюция	8	2		2	4	
10	Популяционный синтез одиночных нейтронных звезд	6	2		2	2	
11	Черные дыры: основные типы и проявления. Одиночные черные дыры звездных масс	6	2		2	2	
12	Рентгеновские двойные. Эволюция двойных систем	6	2		2	2	
13	Двойные системы с черными дырами	6	2	-	2	2	
14	Сверхмассивные черные дыры	6	2	-	2	2	
15	Слияния черных дыр. Джеты от источников с черными дырами	6	2	-	2	2	

16	Первичные черные дыры. Проблема наблюдательного подтверждения существования черных дыр	8	2	-	2	4	
	Промежуточная аттестация	4				4	Самостоятельная работа
ИТОГО:		108	34	-	34	40	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Современная феноменология нейтронных звезд и черных дыр» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Современная феноменология нейтронных звезд и черных дыр» проводится в середине семестра в форме самостоятельной работы (тест).

Результаты сдачи теста оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Оценочные средства промежуточной аттестации		

Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний студента по изученной теме.	Образцы тестов
--------------	--	----------------

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ: ключевые наблюдательные проявления нейтронных звезд и черных дыр УК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний ключевых наблюдательных проявлений нейтронных звезд и черных дыр	В целом успешные, но не систематические знания ключевых наблюдательных проявлений нейтронных звезд и черных дыр	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания ключевых наблюдательных проявлений нейтронных звезд и черных дыр	Успешные и систематические знания ключевых наблюдательных проявлений нейтронных звезд и черных дыр
ЗНАТЬ: основные физические процессы, определяющие наблюдательные проявления компактных объектов УК-1.Б 3-2	Отсутствие знаний или фрагментарное знание основных физических процессов, определяющих наблюдательные проявления компактных объектов	В целом успешное, но не систематическое знание основных физических процессов, определяющих наблюдательные проявления компактных объектов	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знание основных физических процессов, определяющих наблюдательные проявления компактных объектов	Успешное и систематическое знание основных физических процессов, определяющих наблюдательные проявления компактных объектов
ЗНАТЬ: основные теоретические подходы, используемые при описании свойств компактных объектов	Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных теоретических подходов, используемых при описании	В целом успешное, но не систематическое применение основных теоретических подходов, используемых	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знание основных теоретических	Успешное и систематическое знание основных теоретических подходов, используемых при описании свойств

ОПК-1.Б 3-1	свойств компактных объектов	при описании свойств компактных объектов	подходов, используемых при описании свойств компактных объектов	компактных объектов
УМЕТЬ: интерпретировать основные наблюдательные данные по компактным объектам УК-1.Б У-1	Отсутствие умения интерпретировать основные наблюдательные данные по компактным объектам	В целом успешное, но не систематическое умение интерпретировать основные наблюдательные данные по компактным объектам	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение интерпретировать основные наблюдательные данные по компактным объектам	Успешное и систематическое умение интерпретировать основные наблюдательные данные по компактным объектам
УМЕТЬ: выделять ключевые направления современных исследований нейтронных звезд и черных дыр УК-1.Б У-2	Отсутствие умения выделять ключевые направления современных исследований нейтронных звезд и черных дыр	В целом успешное, но не систематическое умение выделять ключевые направления современных исследований нейтронных звезд и черных дыр	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение выделять ключевые направления современных исследований нейтронных звезд и черных дыр	Успешное и систематическое умение выделять ключевые направления современных исследований нейтронных звезд и черных дыр
УМЕТЬ: интерпретировать в рамках современных физических моделей данные наблюдений ОПК-1.Б У-1	Отсутствие умения интерпретировать в рамках современных физических моделей данные наблюдений	В целом успешное, но не систематическое умение интерпретировать в рамках современных физических моделей данные наблюдений	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение интерпретировать в рамках современных физических моделей данные наблюдений	Успешное и систематическое умение интерпретировать в рамках современных физических моделей данные наблюдений
УМЕТЬ: строить популяционные	Отсутствие умения строить	В целом успешное, но не	В целом успешно, но	Успешное и систематическое умение

е модели для нейтронных звезд ОПК-1.Б У-2	популяционные модели для нейтронных звезд	систематическое умение строить популяционные модели для нейтронных звезд	содержащее отдельные пробелы умение строить популяционные модели для нейтронных звезд	строить популяционные модели для нейтронных звезд
ВЛАДЕТЬ: методами теоретического описания наблюдательных свойств компактных объектов УК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение методами теоретического описания наблюдательных свойств компактных объектов	В целом успешное, но не систематическое владение методами теоретического описания наблюдательных свойств компактных объектов	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение методами теоретического описания наблюдательных свойств компактных объектов	Успешное и систематическое владение методами теоретического описания наблюдательных свойств компактных объектов
ВЛАДЕТЬ: методами интерпретации данных наблюдений нейтронных звезд и черных дыр УК-1.Б В-2	Отсутствие/фрагментарное владение методами интерпретации данных наблюдений нейтронных звезд и черных дыр	В целом успешное, но не систематическое владение методами интерпретации данных наблюдений нейтронных звезд и черных дыр	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение методами интерпретации данных наблюдений нейтронных звезд и черных дыр	Успешное и систематическое владение методами интерпретации данных наблюдений нейтронных звезд и черных дыр
ВЛАДЕТЬ: навыками построения физических моделей компактных объектов ОПК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение навыками построения физических моделей компактных объектов	В целом успешное, но не систематическое владение навыками построения физических моделей компактных объектов	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение навыками построения физических моделей компактных объектов	Успешное и систематическое владение навыками построения физических моделей компактных объектов

			объектов	
--	--	--	----------	--

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Текущий контроль осуществляется в рамках опросов и обсуждений. Материалами служат детализированные темы лекций и семинаров.

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Промежуточная аттестация проводится с помощью теста. Отдельные примеры вопросов доступны по адресу <http://xray.sai.msu.ru/~polar/html/presentations.html>

Пример: При каких условия наблюдается, что внутренняя граница аккреционного диска подходит ближе к черной дыре?

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Презентации размещаются на странице
<http://xray.sai.msu.ru/~polar/html/presentations.html>

Основной и дополнительной литературой являются обзоры по отдельным темам курса, доступные на сайте arXiv.org. К каждой лекции прилагается свой список литературы с выделением наиболее важных работ.

Интернет-ресурсы.

1. <http://xray.sai.msu.ru/~polar/html/presentations.html>

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.