

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:

АСТРОФИЗИКА 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, Липунов Владимир Михайлович, кафедра астрофизики и звездной астрономии физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

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

Аннотация к рабочей программе дисциплины «АСТРОФИЗИКА НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД И ЧЕРНЫХ ДЫР»

В лекционном курсе “ **Астрофизика нейтронных звезд и черных дыр** ” профессора Липунова В.М. содержатся основные знания об эволюции компактных звезд, физических условиях внутри нейтронных звезд и черных дыр, параметрах нейтронных звезд и черных дыр, массах и эффектах вращения, об условиях сверхкритической аккреции, аккреции магнитных полей, эволюции компактных звезд, о магнитосферах нейтронных звезд и белых карликов, о кандидатах в черные дыры, об активности галактических ядер, подробно рассматриваются принципы популяционного синтеза двойных звезд, рассматривается газодинамика аккреции (сферически-симметричная, роль излучения и эжекции, захват вещества движущейся звездой, газодинамика цилиндрической аккреции, дисковая аккреция, светимость и спектр аккреционных дисков, сверхкритическая аккреция, аккреция в двойных системах, аккреция магнитных полей); изучается классификация нейтронных звезд (магнитный диполь, радиус остановки, радиус остановки в сверхкритическом случае, учет магнитного поля, гравимагнитный параметр, радиус коротации, номенклатура, критические периоды); рассматриваются магнитосферы медленно вращающихся нейтронных звезд (физические условия в альвеновской зоне, постановка задачи простые конфигурации, магнитосфера в случае сферически-симметричной аккреции, паскалевский закон давления, диполь, обжатый идеально проводящим диском, магнитосфера в плоскопараллельном потоке плазмы, двухпотоковая аккреция); изучаются аккрецирующие нейтронные звезды (рассматривается устойчивость границ, случай полярной колонки, ускорение, замедление и вынужденная прецессия аккрецирующих звезд, наблюдаемые свойства рентгеновских пульсаров, рассматривается энергетика пульсаров и перетекание вещества в двойных системах, исследуются спектр и магнитные поля, периоды и изменения периодов рентгеновских пульсаров, рассматривается переменность рентгеновских источников, генерация релятивистских частиц, рентгеновские барстеры, рассматривается термоядерное горение на поверхности нейтронных звезд, случай сферически-симметричной модели, аккреция на рентгеновские барстеры, ускорение слабомагнитных нейтронных звезд, маломассивные рентгеновские источники, диаграмма “Р-у» для аккрецирующих нейтронных звезд); изучается режим пропеллера; рассматриваются эжектирующие звезды (радиопульсары, их электродинамика и генерация релятивистских частиц, механизмы излучения, каверны вокруг нейтронных звезд, изменение периода радиопульсаров, эволюция, пространственные скорости, эжектирующие звезды в двойных системах); изучаются сверхкритические режимы (супераккретор, суперэжектор, SS433 и другие кандидаты); звезды с аномально низким значением гравимагнитного параметра (георотаторы, магнеторы), изучается эволюция звезд (эволюция нормальных звезд, нейтронных звезд, треки нейтронных звезд, черные дыры, рассматриваются основы численного моделирования совместной эволюции нормальных и нейтронных звезд, исследуются возможные кандидаты); рассматриваются основные магнитогидродинамические неустойчивости; изучаются основы популяционного синтеза, принципы Машины Сценариев (премия Бредихина), преимущества перед последователями; гравитационно-волновая регистрация слияния компактных источников (варианты компаньонов, эволюционные сценарии, наблюдательные проявления, электромагнитная поддержка LIGO/Virgo, наибольший вклад Глобальной сети МАСТЕР МГУ).

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 «Астрофизика нейтронных звезд и черных дыр» реализуется на 4-ом курсе в 8-ом семестре и содержит фундаментальные знания по части модуля «Астрономия» профессионального блока базовой части. Дисциплина является спецкурсом кафедры - вариативная часть, профессиональный блок, модуль «Астрономия». Курс является необходимым связывающим звеном между общими курсами «Общая астрофизика», «Галактическая астрономия», «Теоретическая астрофизика», «Экстремальные процессы во Вселенной», «Роботизированные обсерватории и взрывные процессы во Вселенной», «Тесные двойные системы», «Физика галактик», «Космология», «Астрофизика высоких энергий», «Радиоастрономия», «ОТО и астрофизические наблюдения», «Сверхновые и звездный ветер в галактиках», «Внутреннее строение и эволюция звезд», спецкурсами по физике межзвездной среды, эволюции галактик и космологии.

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

«Общая астрофизика», «Галактическая астрономия», «Теоретическая астрофизика».

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

3.1. Дисциплины и практики, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины.

«Общая астрономия», «Общая астрофизика», «Галактическая астрономия», «Теоретическая астрофизика».

3.2. Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее.

Спецкурсы «Тесные двойные системы», «Астрофизика нейтронных звезд и черных дыр», «Физика галактик», «Космология», «Астрофизика высоких энергий», «Радиоастрономия», «ОТО и астрофизические наблюдения», «Сверхновые и звездный ветер в галактиках», «Внутреннее строение и эволюция звезд», т.е. по физике черных дыр, звездной динамике, физике межзвездной среды, физике и эволюции галактик и космологии. Ее освоение также обязательно для научно-исследовательской работы, курсовых работ, дипломных работ, связанной с исследованием всех стадий эволюции одиночных и кратных звезд.

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1.Б	З-1 Знать: фундаментальные законы астрофизики нейтронных звезд и черных дыр З-2 Знать: эволюцию компактных звезд, физические условия внутри нейтронных звезд и черных дыр, параметры нейтронных звезд и черных дыр, массы и эффекты вращения, условия сверхкритической аккреции, аккреции магнитных полей,

	<p>эволюции компактных звезд, знать о магнитосферах нейтронных звезд и белых карликов, о кандидатах в черные дыры, об активности галактических ядер, о принципах популяционного синтеза двойных звезд, о газодинамике аккреции; знать классификацию нейтронных звезд (магнитный диполь, радиус остановки, радиус остановки в сверхкритическом случае, учет магнитного поля, гравимагнитный параметр, радиус коротации, номенклатура, критические периоды); магнитосферы медленно вращающихся нейтронных звезд (физические условия в альвеновской зоне, магнитосфера в случае сферически-симметричной аккреции, паскалевский закон давления, диполь, обжатый идеально проводящим диском, магнитосфера в плоскопараллельном потоке плазмы, двухпотоковая аккреция); аккрецирующие нейтронные звезды (устойчивость границ, случай полярной колонки, ускорение, замедление и вынужденная прецессия аккрецирующих звезд, наблюдаемые свойства рентгеновских пульсаров, перетекание вещества в двойных системах, спектр и магнитные поля, периоды и изменения периодов рентгеновских пульсаров, переменность рентгеновских источников, генерация релятивистских частиц, рентгеновские барстеры, термоядерное горение на поверхности нейтронных звезд, случай сферически-симметричной модели, аккреция на рентгеновские барстеры, ускорение слабозамгниченных нейтронных звезд, маломассивные рентгеновские источники, диаграмма “Р-у» для аккрецирующих нейтронных звезд); режим пропеллера; эжектирующие звезды (радиопульсары, их электродинамика и генерация релятивистских частиц, механизмы излучения, каверны вокруг нейтронных звезд, изменение периода радиопульсаров, эволюция, пространственные скорости, эжектирующие звезды в двойных системах); сверхкритические режимы; звезды с аномально низким значением гравимагнитного параметра (георотаторы, магнеторы), эволюцию звезд, основные магнитогидродинамические неустойчивости; основы популяционного синтеза, принципы Машины Сценариев; гравитационно-волновая регистрация слияния компактных источников (варианты компаньонов, эволюционные сценарии, наблюдательные проявления, результаты поддержки эксперимента LIGO/Virgo электромагнитной коллаборацией, Глобальная сеть телескопов-роботов МАСТЕР МГУ: наибольший вклад в оптическом диапазоне).</p> <p>У-1 Уметь: строить теоретические модели, используя критический анализ данных, уметь находить форму магнитосферы, уметь строить модели эволюции звезд с помощью Машины Сценариев.</p> <p>У-2 Уметь: планировать и проводить экспериментальные исследования в области астрофизики нейтронных звезд и черных дыр – исследовать гамма-всплески, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента</p> <p>В-1 Владеть: математическим аппаратом, применяемым в астрофизике</p> <p>В-2 Владеть: методами решения уравнений магнитной гидродинамики (в том числе для идеально проводящей невязкой</p>
--	---

	жидкости); методами решение уравнений стационарной дисковой аккреции; методами построения эволюционных треков на основе популяционного синтеза двойных звезд с помощью Машины сценариев ; методами решения основных уравнений стандартной модели дисковой аккреции Шакуры-Сюняева. Основные уравнения.
ОПК-1.Б	З-1 Знать: основные математические методы, используемые при решении задач Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр У-1 Уметь: решать типовые задачи астрофизики нейтронных звезд и черных дыр У-2 Уметь: строить математические модели явлений и процессов, происходящих в звездах. В-1 Владеть: навыками проведения физического эксперимента и обработки его результатов

4. **Форма обучения:**очная.

5. **Язык обучения:** русский.

6. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Теоретические основы астрофизики нейтронных звезд и черных дыр

Открытие вырожденных карликов, квантовая механика и чандрасекаровский предел. Предсказание нейтронных звезд Ландау. Предел Оппенгеймера-Волкова и предсказание черных дыр. Механизмы излучения релятивистских звезд: аккреция (Зельдович, Солпитер) и вращение (Хойл, Кардашев, Пачини).

Тема 2. Наблюдательные основы астрофизики нейтронных звезд и черных дыр

Открытие рентгеновских источников (джиаккони и др.). Открытие квазаров (Шмидт). Открытие радио- и рентгеновских пульсаров. Современные экспериментальные данные о релятивистских звездах во Вселенной.

Тема 3. Типы аккреции

Бесстолкновительная аккреция и аккреция сплошной среды. Основные режимы аккреции: сферическая аккреция, цилиндрическая аккреция, дисковая аккреция. Двухпоточная аккреция. Энерговыделение в результате аккреции.

Тема 4. Сферически-симметричная аккреция Бонди

Основные уравнения. Режимы радиального течения: звездный ветер, эжекция, аккреция, режим медленного оседания. Радиус Бонди. Формула Бонди. Роль излучения. Плотность и скорость аккреционного потока.

Тема 5. Цилиндрическая аккреция

Радиус гравитационного захвата. Формула бонди-хойла-литлттона. Аккреция из звездного ветра. Рентгеновские источники в двойных системах.

Тема 6. Дисковая аккреция (динамика)

Стандартная модель дисковой аккреции Шакуры-Сюняева. Основные уравнения.

Тема 7. Дисковая аккреция (светимость и спектр)

Решение уравнений стационарной дисковой аккреции. Основные зоны аккреционного диска. К.п.д. И зона максимального энерговыделения. Универсальный спектр.

Тема 8. Сверхкритическая аккреция

Динамический сценарий. Радиус сферизации. Адвекция и звездный ветер в процессе дисковой аккреции. Роль нейтрино. Супераккретор, Суперэжектор, SS433 и другие кандидаты

Тема 9. Аккреция магнитных полей

Теорема Шварцмана о равномерном распределении. Эффект магнитной откачки в звездном ветре и межзвездной среде.

Тема 10. Экология магнитных ротаторов

Гравимагнитный ротатор. Характерные радиусы взаимодействия. Классификация замагниченных звезд. Треки нейтронных звезд в двойных системах. Звезды с аномально низким значением гравимагнитного параметра (георотаторы, магнеторы)

Тема 11. Эволюция компактных звезд

Приближенные уравнения эволюции. Эволюция нормальных звезд. Треки нейтронных звезд в двойных системах. Основы численного моделирования совместной эволюции нормальных и нейтронных звезд, кандидаты.

Тема 12. Магнитосферы нейтронных звезд и белых карликов.

Теория рентгеновских пульсаров. Катаклизмические переменные. Основные магнитогидродинамические неустойчивости. Магнитосферы медленно вращающихся нейтронных звезд. Физические условия в альвеновской зоне. Магнитосфера в случае сферически-симметричной аккреции, паскалевский закон давления, диполь, обжатый идеально проводящим диском, магнитосфера в плоскопараллельном потоке плазмы. Двухпотоковая аккреция.

Тема 13. Магнитоэмиттующее излучение компактных звезд

Радиопульсары (эжектирующие звезды). Электродинамика радиопульсаров, генерация релятивистских частиц, механизмы излучения, каверны вокруг нейтронных звезд, изменение периода радиопульсаров, эволюция, пространственные скорости, эжектирующие звезды в двойных системах.

Тема 14. Кандидаты в черные дыры звездной массы

Лебедь X-1 и рентгеновские новы. Черные дыры в паре с радиопульсарами. Наблюдательные проявления.

Тема 15. Популяционный синтез двойных звезд с релятивистскими компонентами

Общая постановка задачи. Принципы популяционного синтеза двойных звезд. Популяционный синтез методом Монте-Карло. "Машина Сценариев".

Тема 16. Сверхмассивные черные дыры и активность галактических ядер и квазаров

Сверхмассивные звезды - спинары. Образование сверхмассивных черных дыр. Аккреция звезд и газа на сверхмассивные Черные дыры.

Тема 17. Слияние компактных источников.

Слияние пар: черная дыра с нейтронной звездой, двух черных дыр, других вариантов компаньонов, их регистрация на гравитационно-волновых детекторах, наибольший вклад Глобальной сети МАСТЕР МГУ в исследование полей ошибок LIGO/Virgo в оптическом диапазоне.

Тема 18. Слияние компактных источников.

Слияние нейтронных звезд – Килоновая (Пачинский, LIGO/Virgo, GW 170817, Nature). Основы гравитационно-волновой астрофизики. Электромагнитная коллаборация поддержки.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоёмкость	в том числе			Самостоятельная работа студентов
			ауд.	Занятий		
		Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров		
Астрофизика нейтронных звезд и черных дыр	2	72	34	34	0	38

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

Изучение курса «Астрофизика нейтронных звезд и черных дыр» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; семинарские занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, 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	Теоретические основы астрофизики нейтронных звезд и черных дыр	2	2				Собеседование, опрос
2	Наблюдательные основы астрофизики нейтронных звезд и черных дыр	2	2				

3	Типы аккреции	2	2				
4	Сферически-симметричная аккреция Бонди	2	2				
5	Цилиндрическая аккреция	2	2				
6	Дисковая аккреция (динамика)	2	2				
7	Дисковая аккреция (светимость и спектр)	2	2				
8	Сверхкритическая аккреция	2	2				
9	Аккреция магнитных полей	2	2				
10	Экология магнитных роторов	2	2				
11	Эволюция компактных звезд	2	2				
12	Магнитосферы нейтронных звезд и белых карликов	2	2				
13	Магнитовращательное излучение компактных звезд	2	2				
14	Кандидаты в черные дыры звездной массы	2	2				
15	Популяционный синтез двойных звезд с релятивистскими компонентами	2	4				
16	Сверхмассивные черные дыры и активность галактических ядер и квазаров	2	2				
17	Слияние компактных источников	2	2				
18	Промежуточная аттестация	4				4	Зачет в форме письменной работы с последующим собеседованием
ИТОГО:		34	34			4	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Астрофизика нейтронных звезд и черных дыр» осуществляется на лекциях 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 «Астрофизика нейтронных звезд и черных дыр» проводится в восьмом семестре в форме зачета в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе.

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
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	незачет	зачет		
ЗНАТЬ: фундаментальные законы Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр и их взаимосвязь УК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний фундаментальных законов Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр и их взаимосвязей	В целом успешные, но не систематические знания фундаментальных законов Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр и их	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания фундаментальных законов Астрофизики нейтронных	Успешные и систематические знания фундаментальных законов Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр и их взаимосвязей

		взаимосвязей	звезд и черных дыр и их взаимосвязей	
ЗНАТЬ: основные понятия математической обработки эксперимента Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр УК-1.Б 3-2	Отсутствие знаний или фрагментарное знание основных понятий математической обработки эксперимента Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр	В целом успешное, но не систематическое знание основных понятий математической обработки эксперимента Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знание основных понятий математической обработки эксперимента Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр	Успешное и систематическое знание основных понятий математической обработки эксперимента Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр
ЗНАТЬ: основные математические методы, используемые при решении задач Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр ОПК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных математических методов, при решении задач Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр	В целом успешное, но не систематическое применение основных математических методов, при решении задач Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знание основных математических методов, при решении задач Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр	Успешное и систематическое знание основных математических методов, при решении задач Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр
УМЕТЬ: строить теоретические модели Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр, используя критический анализ данных УК-1.Б У-1	Отсутствие умения строить теоретические модели Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр, используя критический анализ данных	В целом успешное, но не систематическое умение строить теоретические модели Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр, используя критический анализ данных	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр, используя критический анализ данных	Успешное и систематическое умение строить теоретические модели Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр, используя критический анализ данных
УМЕТЬ: планировать и проводить	Отсутствие умения планировать и	В целом успешное, но не	В целом успешно, но	Успешное и систематическое планировать и

экспериментальные исследования в области Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр , объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента УК-1.Б У-2	проводить экспериментальные исследования в области Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр , объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента	систематическое умение планировать и проводить экспериментальные исследования в области Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр , объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента	содержащее отдельные пробелы умение планировать и проводить экспериментальные исследования в области Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр , объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента	проводить экспериментальные исследования в области Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр , объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента
УМЕТЬ: решать типовые задачи Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр ОПК-1.Б У-1	Отсутствие умения решать типовые задачи	В целом успешное, но не систематическое умение решать типовые задачи	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи	Успешное и систематическое умение решать типовые задачи
УМЕТЬ: строить математические модели явлений и процессов Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр ОПК-1.Б У-2	Отсутствие умения строить математические модели физических явлений и процессов	В целом успешное, но не систематическое умение строить математические модели физических явлений и процессов	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить математические модели физических явлений и процессов	Успешное и систематическое умение строить математические модели физических явлений и процессов
ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым в Астрофизике нейтронных звезд и	Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в	В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, математически	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение математически	Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в

черных дыр УК-1.Б В-1	Астрофизике нейтронных звезд и черных дыр	м аппаратом, применяемым в Астрофизике нейтронных звезд и черных дыр	м аппаратом, математически м аппаратом, применяемым в Астрофизике нейтронных звезд и черных дыр	Астрофизике нейтронных звезд и черных дыр
ВЛАДЕТЬ: методами теоретическог о исследования явлений и процессов в Астрофизике нейтронных звезд и черных дыр УК-1.Б В-2	Отсутствие/фраг ментарное владение методами теоретического исследования явлений и процессов в Астрофизике нейтронных звезд и черных дыр	В целом успешное, но не систематическо е владение методами теоретического исследования явлений и процессов в Астрофизике нейтронных звезд и черных дыр	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение методами теоретического исследования явлений и процессов в Астрофизике нейтронных звезд и черных дыр	Успешное и систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов в Астрофизике нейтронных звезд и черных дыр
ВЛАДЕТЬ: навыками проведения физического эксперимента и обработки его результатов ОПК-1.Б В-1	Отсутствие/фраг ментарное владение навыками проведения физического эксперимента и обработки его результатов	В целом успешное, но не систематическо е владение навыками проведения физического эксперимента и обработки его результатов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками проведения физического эксперимента и обработки его результатов	Успешное и систематическое владение навыками проведения физического эксперимента и обработки его результатов

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Задачи можно найти по адресу: <http://sai.msu.ru/ao/>

Пример: Вывести закон изменения масштабного фактора Вселенной для случая критической плотности на пылевидной стадии.

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

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к экзамену и зачету можно найти по адресу: <http://sai.msu.ru/ao/>

Пример: Предмет Астрофизики нейтронных звезд и черных дыр . Пространство и время в механике Ньютона. Система координат и тело отсчета. Часы. Система отсчета. Эталоны длины и времени.

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

Основная литература.

1. Липунов В.М. "Астрофизика нейтронных звезд", Москва «Наука», 1987. 206с.
2. Липунов В.М. "Астрофизика нейтронных звезд", Москва «Русский мир», 2015, 332с
3. Липунов В.М. "В мире двойных звезд", Москва, Наука, 205 с., 1986.
4. Липунов В.М. "От Большого Взрыва до Великого Молчания", , Москва, "АСТ", 2018. 480с.
5. Липунов В.М., Д.Я. Мартынов "Сборник задач по астрофизике", Москва, Наука, 128 с., 1986
6. Липунов В.М. "Дисковая аккреция на замагниченные компактные объекты", Астрометрия и Астрофизика, т.36, с.8-12, 1978а.

Дополнительная литература.

1. Lipunov V., Postnov K., Prokhorov M. "Evolution of the double neutron star merging rate and the cosmological origin of Gamma-ray burst sources" , Astroph.J., 1995, v.454, 593- – М.: Физический факультет МГУ, 2010. 368 с
2. Липунов В.М. "Астрофизический смысл открытия гравитационных волн", в журнале Успехи физических наук, издательство Наука (М.), том 186, с. 1011-1022
3. "Эволюция нейтронных звезд в массивных двойных системах", "Физика нейтронных звезд, образование, строение и эволюция" (тематический сборник), ЛФТИ, Ленинград, т.2, с.74-76, 1988 .
4. "The Scenario Machine: Binary Population Synthesis", Review of Astrophys. and Sp.Sci., Ed. R.A.Sunyaev, Harwood Acad. Publ., vol.17, pp.1-160, 1996
5. Липунов В.М. "Лауреаты Нобелевской премии 2017 года по физике - Р.Вайсс, Б.Бэриш, К.Торн", в журнале Природа, издательство Наука (М.), том 2018, № 1, с. 65-73
6. Липунов В.М. "Военная тайна астрофизики" Соросовский образовательный журнал, N5, с.83-89, 1998
7. Nazin, S.N., Lipunov, V.M., Panchenko, I.E., et al., 1998. Gravit. Cosmol. 4, 150 (<http://xray.sai.msu.ru/sciwork/scenario.html>)
8. Karpov, S. V., Lipunov, V. M., 2001, AstLet, 27, 645
9. Raguzova N. V., Lipunov V. M., " The evolutionary evidence for Be/black hole binaries" Astronomy and Astrophysics, т.349, стр.505-510. 1999

Интернет-ресурсы.

<http://xray.sai.msu.ru/sciwork/scenario.html>

<http://sai.msu.ru/ao/>

<http://www.pereplet.ru/avtori/lipunov.html>

<http://master.sai.msu.ru>

Материально-техническое обеспечение

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

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