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:

Строение и эволюция звезд

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:
Д.ф.-м.н. Ламзин Сергей Анатольевич, ведущий научный сотрудник ГАИШ МГУ

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

Аннотация к рабочей программе дисциплины
«Строение и эволюция звезд»

В первой части курса рассматриваются физические процессы, определяющие внутреннее строение и эволюцию звезд: излагаются сведения об уравнении состояния звездного вещества, источниках энергии звезд и различных механизмах переноса тепла. Выводятся уравнения, позволяющие моделировать эволюцию звезд, и рассматриваются методы их решения. Вторая половина курса посвящена сравнению численных расчетов с результатами наблюдений одиночных звезд на разных стадиях эволюции. Для понимания физического смысла численных расчетов привлекаются порядковые оценки и простые аналитические модели. Рассматривается процесс рождения звезд, стадия главной последовательности, красного гиганта и продвинутые этапы звездной эволюции, завершающиеся формированием белых карликов, нейтронных звезд или черных дыр. В последней лекции рассматривается теория звездных пульсаций и основы астросейсмологии.

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 «Строение и эволюция звезд» 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

Отсутствуют.

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	***З-1 Знать:*** фундаментальные законы, определяющие строение и эволюцию звезд и их взаимосвязь ***З-2 Знать:*** основные методы расчета структуры и эволюции звезд ***У-1Уметь:*** строить простые теоретические модели звезд ***У-2Уметь:*** объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты численных расчетов моделей звезд ***В-1 Владеть:*** математическим аппаратом, применяемым для расчета структуры и эволюции звезд ***В-2 Владеть:*** методами теоретического анализа наблюдений, лежащих в основе моделирования звездной эволюции
ОПК-1.Б	***З-1 Знать:*** основные математические методы, используемые при решении задач, связанных с физикой звезд ***У-1Уметь:*** решать типовые задачи физики звезд

1. **Форма обучения:** очная.

2. **Язык обучения:** русский.

3. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Сферически симметричные звезды в рамках теории тяготения Ньютона.
Закон сохранения массы и уравнение гидростатическое равновесие, теорема вириала, характерные времена процессов. Необходимое условие устойчивости звезд.

Тема 2. Политропные звезды
Структура политропных и изотермических звезд, условие применимости политропных моделей.

Тема 3. Уравнение состояние вещества в звездах.
Ионизация и диссоциация идеального газа, неидеальный больцмановский газ, чернотельное излучение, образование электрон-позитронных пар, вырожденный газ электронов и нейтронов.

Тема 4. Выделение ядерной и гравитационной энергии в звездах.

Ядерные реакции: p-p цепочка, CNO-цикл, 3-alpha реакции, формирование элементов железного пика. Уравнения, описывающие изменение химического состава звезд. Бета-процессы и роль нейтрино в эволюции звезд.

Тема 5. Перенос энергии в звездах: лучистая и электронная теплопроводность.
Дифузионное приближение, уравнение лучистой теплопроводности и его обобщение для учета электронной теплопроводности.

Тема 6. Конвективный перенос энергии в звездах
Условие возникновения конвекции, теория длины пути перемешивания и ее модификации .

Тема 7. Полная система уравнений, описывающих структуру и эволюцию сферически симметричных звезд без учета эффектов ОТО.
Уравнение, описывающее закон сохранения энергии. Граничные условия и математические методы решения полной системы уравнений.

Тема 8. Рождение звезд и планет.
Эволюция протозвездного облака. Молодые звезды и коричневые карлики, предел Кумара. Формирование планетных систем.

Тема 9. Эволюция звезд на главной последовательности.
Соотношение масса-радиус-светимость. Особенности эволюции звезд разных поколений. Влияние вращения и магнитного поля на эволюцию звезд. Механизмы потери массы и углового момента, меридиональная циркуляция (11 неделя).

Тема 10. Продвинутые этапы эволюции звезд с массой < 2.5Mo.
Гелиевая вспышка, неустойчивость в гелиевом слоевом источнике, образование планетарных туманностей.

Тема 11. Эволюция звезд с массой от 2.5 до 8 Mo после ухода с главной последовательности.
Неустойчивость Шенберга-Чандрасекара. Интерпретация диаграмм цвет-величина звездных скоплений. Влияние потери массы на эволюцию звезд умеренных масс.

Тема 12. Эволюция звезд с массой >8Mo после ухода с главной последовательности.
Звезды типа Вольфа-Райе. Механизм вспышек сверхновых типа II и Ibc. Образование черных дыр и природа гамма-всплесков. Химическая эволюция Вселенной.

Тема 13. Белые карлики
Строение белых карликов и их тепловая эволюция. Сверхновые типа Ia.

Тема 14. Нейтронные звезды и черные дыры
Строение и тепловая эволюция нейтронных звезд. Эффекты общей теории относительности и черные дыры

Тема 15. Пульсации звезд, основы астросейсмологии.
Радиальные колебания звезд, цефеиды. Механизмы подпитки колебаний. Нерадиальные колебания звезд разных типов. Основы астросейсмологии.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ		Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
			Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий			Самостоятельная работа студента
				аудиторная	лекции	семинар	
	Строение и эволюция звезд	3	108	72	36	36	36

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

Изучение курса «Строение и эволюция звезд» 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	Сферически симметричные звезды в рамках теории тяготения Ньютона	6	2	-	2	2	Собеседование, опрос
2	Политропные звезды	6	2	-	2	2	
3	Уравнение состояние вещества в звездах	12	4	-	4	4	
4	Выделение ядерной и гравитационной энергии в звездах.	12	4	-	4	4	
5	Перенос энергии в звездах: лучистая и электронная теплопроводность	6	2	-	2	2	
6	Конвективный перенос энергии в звездах	6	2	-	2	2	
7	Полная система уравнений, описывающих структуру и эволюцию сферически симметричных звезд без учета эффектов ОТО.	6	2	-	2	2	
8	Рождение звезд и планет	6	2	-	2	2	
9	Эволюция звезд на главной	6	2	-	2	2	

	последовательности						
10	Продвинутые этапы эволюции звезд с массой < 2.5Мо.	**9**	**4**	**-**	**3**	**2**	
11	Эволюция звезд с массой от 2.5 до 8 Мо после ухода с главной последовательности.	7	2		3	2	
12	Эволюция звезд с массой >8Мо после ухода с главной последовательности	6	2		2	2	
13	Белые карлики	6	2		2	2	
14	Нейтронные звезды и черные дыры	**6**	**2**	**-**	**2**	**2**	
15	Пульсации звезд, основы астросейсмологии	**6**	**2**	**-**	**2**	**2**	
	Промежуточная аттестация	**2**				**2**	Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием
ИТОГО:		**108**	**36**	**-**	**36**	**36**	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Строение и эволюция звезд» 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 «Строение и эволюция звезд» проводится в **(девятом ???)** первом семестре в форме письменного экзамена.

Результаты сдачи экзамена 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	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей	Перечень тем, изучаемых в

вопросы)	лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	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 студента 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**			
	2	**3**	**4**	**5**
ЗНАТЬ: фундаментальные законы, определяющие строение и эволюцию звезд УК-1.Б З-1	Отсутствие знаний фундаментальных законов и их взаимосвязей	В целом успешные, но не систематические знания фундаментальных законов и их взаимосвязей	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания фундаментальных законов и их взаимосвязей	Успешные и систематические знания фундаментальных законов и их взаимосвязей
ЗНАТЬ: основные математические методы, используемые при решении задач физики	Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных математических методов, при решении задач физики звезд	В целом успешное, но не систематическое применение основных математических методов, при	В целом успешное, но содержащее от-дельные пробе-лы знание основных	Успешное и систематическое знание основных математических методов, при решении задач

звезд ОПК-1.Б З-1		решении задач физики звезд	мате-матических методов, при решении задач физики звезд	физики звезд
УМЕТЬ: строить теоретические модели звезд, используя критически анализ данных УК-1.Б У-1	Отсутствие умения строить теоретические модели звезд, используя критически анализ данных	В целом успешное, но не систематическое умение строить теоретические модели звезд, используя критически анализ данных	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели звезд, используя критически анализ данных	Успешное и систематическое умение строить теоретические модели звезд, используя критически анализ данных
УМЕТЬ: решать типовые задачи физики звезд ОПК-1.Б У-1	Отсутствие умения решать типовые задачи	В целом успешное, но не систематическое умение решать типовые задачи	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи	Успешное и систематическое умение решать типовые задачи
ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым в физике звезд УК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в физике звезд	В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в физике звезд	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в физике звезд	Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в физике звезд
ВЛАДЕТЬ: методами теоретического исследования явлений и процессов в физике звезд УК-1.Б В-2	Отсутствие/фрагментарное владение методами теоретического исследования явлений и процессов в физике звезд	В целом успешное, но не систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов в физике звезд	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение методами теоретического исследования явлений и процессов в физике звезд	Успешное и систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов в физике звезд

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Пример: Оценить, при какой минимальной массе изотермического гелиевого ядра звезды расчет минимального давления на внешней границе ядра возможен без учета вырождения электронного газа. Температуру ядра принять равной 10 млн К.

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

Пример: Уравнение состояния вырожденного электронного газа при ненулевой температуре.

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

Основная литература.

1. Г.С. Бисноватый-Коган, "Физические вопросы теории звездной эволюции", Издательство Наука, Москва, 1989.

2. Я.Б. Зельдович, С.И. Блинников, Н.И. Шакура, "Физические основы строения и эволюции звезд", Издательство МГУ, Москва 1981.

3. А.Г. Масевич, А.В. Тутуков, "Эволюция звезд: теория и наблюдения", Издательство Наука, Москва, 1988.

4. С.А.Ламзин, Строение и эволюция звезд, конспект лекций

Дополнительная литература.

1. Шкловский И.С., "Звезды: их рождение, жизнь и смерть", Издательство Наука, Москва, 1988.

2. Aerts C.,Christense-Dalsgaard J., Kurtz D.W., Asteroseismology, A& A Library, Springer Dordrecht Heidelberg London New York (2010).

3. Iben I., Stellar Evolution Physics, Volume 1: Physical Processes in Stellar Interiors, Cambrige University Press (2012)

4. Iben I., Stellar Evolution Physics, Volume 2: Advanced Evolution of Single Stars, Cambrige University Press (2013)

5. Kippenhahn R., Weigert A., Weiss A., Stellar Structure and Evolution, Second Edition, Astron. and Astrophys. Library, Springer-Verlag (2 0 1 2)

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.