

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Ордена Трудового Красного Знамени
Институт солнечно-земной физики
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИСЗФ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИСЗФ СО РАН

чл.-корр. РАН _____ А.В. Медведев

« 13 » апреля 2026 г.

Рабочая программа дисциплины

Б1.В.1 Общая астрофизика

Направление подготовки **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика солнечно-земных связей**

Квалификация выпускника: **МАГИСТР**

Тип профессиональной деятельности: **научно-исследовательский,
педагогический**

Форма обучения: **очная**

Иркутск 2026

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика (уровень магистратуры), утвержденного приказом Минобрнауки России от 07.08.2020 № 914

РАБОЧУЮ ПРОГРАММУ разработали кандидат физико-математических наук кандидат физико-математических наук	И.С. Потравнов Г.М. Каратаева
---	----------------------------------

1. Место и роль дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Общая астрофизика» относится части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 основной образовательной программы по направленности (профилю) подготовки Физика солнечно-земных связей направления подготовки 03.04.02 Физика.

Предшествующие дисциплины, на которые данная дисциплина опираются: «История и методология физики», «Введение в физику плазмы»

Последующие дисциплины, для которых освоение данной дисциплины необходимо: «Физика гелиосферы».

2. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Целью дисциплины «Общая астрофизика» является знакомство с методами и результатами исследований строения, взаимодействия и эволюции небесных тел, их систем и Вселенной как целого. Демонстрация применения законов физики для объяснения свойств и процессов, протекающих в астрофизических объектах. Знакомство с нерешенными проблемами и перспективами исследований.

Задачами дисциплины «Общая астрофизика» является:

- Получение студентами базовых знаний по предмету.
- Развитие навыков применения фундаментальных законов физики и простых численных оценок для изучения связи характеристик небесных тел с их излучением.

3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

Процесс изучения дисциплины «Общая астрофизика» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ОПОП по направлению подготовки 03.04.02 Физика:

Компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	ИД 1. Способен решать исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области астрофизики. ИД.2. Знает методы и приемы организации, выполнения экспериментальных исследований на современном уровне и анализирует их результаты. ИД 3. Умеет использовать фундаментальные знания профессиональной деятельности для решения конкретных задач.	Знать: Основные методы и результаты исследований физики небесных тел. Уметь: Применять полученные знания при решении практических научно-исследовательских задач, а также при освоении смежных разделов физики и астрономии. Владеть: Навыками применения фундаментальных законов физики для связи физических характеристик небесных тел и параметров их излучения.

ПКА-2. Способен проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания теоретических и экспериментальных разделов физики	ИД-1. Демонстрирует базовые знания теоретических и экспериментальных разделов физики в области физики солнечно-земных связей	Знать: методы и результаты исследований физики небесных тел Уметь: применять базовые знания теоретических и экспериментальных разделов физики небесных тел Владеть: математическим аппаратом для решения задач в области теоретических и экспериментальных разделов физики небесных тел
--	--	---

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц
Аудиторные занятия (всего)	36/1
В том числе:	
Лекции	18/0,5
Лабораторные работы	
Практические занятия	18/0,5
Самостоятельная работа (всего)	36/1
Вид промежуточной аттестации (экзамен)	36/1
Контактная работа (всего)	36/1
Общая трудоёмкость (часы/зачетные единицы)	108/3

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов и темы дисциплины

Раздел 1. Излучение и поглощение электромагнитных волн небесными телами

Тема 1.1. Основные понятия. Поток и интенсивность излучения. Тепловое излучение. Формула Планка и ее предельные случаи. Приближение локального термодинамического равновесия.

Тема 1.2. Понятия рассеяния, поглощения и ослабления излучения. Коэффициенты поглощения и излучения, оптическая толщина. Уравнение переноса излучения и его приближенные решения. Образование линий поглощения в приближении ЛТР. **Семинар 1** Примеры астрофизических спектров. Их количественные характеристики и интерпретация.

Раздел 2. Физика звезд

Тема 2.1 Спектральная классификация звезд. Особенности спектров звезд различных спектральных классов. Диаграмма Герцшпрунга-Рессела. Физические основания спектральной классификации.

Тема 2.2 Стационарные звезды. Уравнение гидростатического равновесия звезды. Динамическая шкала времени. Температуры в недрах нормальных звезд. Роль давления излучения. Верхний предел масс звезд. Эддингтоновский предел светимости. Соотношения «масса-светимость» и «масса-радиус» для звезд Г П.

Тема 2.3 Ядерные реакции в звездах. Ядерное время звезды. Элементарные сведения об атомных ядрах и термоядерных реакциях. Роль туннельного эффекта. Протон-протонные цепочки. Солнечные нейтрино. CNO цикл. Гелиевые реакции. Основные сведения о поздних стадиях ядерной эволюции.

Раздел 3. Эволюция звезд

Тема 3.1 Очерк звездной эволюции I. Фрагментация молекулярных облаков. Гравитационный коллапс. Начальная функция масс. Треки Хаяши и Хенри. Молодые звезды типа T Тельца и Ae/Be Хербига. Околосредные диски и аккреция. **Семинар 2.** Планетные системы вокруг других звезд. Методы обнаружения, наблюдательная статистика. Формирование планет в протопланетных дисках вокруг молодых звезд.

Тема 3.2 Очерк звездной эволюции II. Звезды на Главной Последовательности. Эволюция звезд с массой $<10M_{\text{Solar}}$ после ухода с ГП. Горение гелия. Образование вырожденных ядер. Слойные источники. Красные гиганты и асимптотическая ветвь гигантов. Сброс планетарной туманности. Белые карлики. **Практическое занятие 1.** Построение наблюдательной диаграммы Герцшпрунга-Рессела. Сравнение с результатами расчетов эволюционных моделей. **Семинар 3** Вырожденный газ и его свойства. Давление вырожденного электронного газа. Предел Чандрасекара для белых карликов. Минимальная масса звезд ГП. Предел Кумара.

Тема 3.3 Очерк звездной эволюции III. Эволюция массивных звезд. Звезды Вольфа-Райе. Поздние этапы ядерной эволюции. Коллапс железного ядра. Нейтронизация вещества. Нейтронные звезды.

Раздел 4. Двойные звезды

Тема 4.1 Эволюция звезд в двойных системах. Полость Роша. Обмен массой в тесных двойных системах. Парадокс Алголя. Наблюдательные проявления эволюции в тесных двойных системах. **Семинар 4** Функция масс в двойной системе. Определение масс компонент в спектрально-двойных системах.

Раздел 5. Нестационарные звезды

Тема 5.1 Типы звездной переменности. Физические переменные звезды и полоса неустойчивости на диаграмме Герцшпрунга-Рессела. Пульсации цефеид. Роль цефеид в построении шкалы расстояний во Вселенной. **Семинар 5** Пульсирующие звезды. Звезды типа RR Lyr и цефеиды сферической составляющей. Долгопериодические переменные звезды.

Тема 5.2 Вспышки сверхновых звезд. Их наблюдательная классификация. Сверхновые II типа и сверхновые I типа, их роль в качестве «стандартных свечей» шкалы расстояний. Остатки вспышек сверхновых и их взаимодействие с межзвездной средой. **Семинар 6** Новые и новоподобные звезды, эруптивные переменные.

Раздел 6. Галактика. Межзвездная среда

Тема 6.1 Основные подсистемы Галактики. Вращение и масса. Скрытая масса в Галактике. Спиральная структура.

Тема 6.2 Звездные скопления. Звездные ассоциации. Шаровые и рассеянные скопления. **Семинар 7** Диаграмма Герцшпрунга – Рассела (ДГР) для рассеянных и шаровых скоплений. Оценка возраста скоплений по ДГР.

Тема 6.3 Межзвездная среда. Газ. пыль и межзвездное поглощение света.

Раздел 7. Галактики

Тема 7.1 Общие сведения. Хаббловская классификация. Свойства галактик разных типов.

Тема 7.2 Пространственное распределение галактик. Взаимодействующие галактики. Группы, скопления и сверхскопления.

Тема 7.3 Пекулярные галактики. Активные ядра в галактиках. Квазары, блазары, радио и сейфертовские галактики. Унифицированная схема активного ядра.

Раздел 8. Основы космологии

Тема 8.1 Расширение Вселенной. Реликтовое излучение. Содержание элементов. Возраст Вселенной и способы его оценки. **Семинар 8** Закон Хаббла. Скрытая масса во Вселенной. Крупномасштабная структура.

5.2. Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий

№ п/п	Раздел	Всего часов	Аудиторные занятия				СРС
			Лекции	Лаб. занятия	Практические занятия	Семинары	
1.	Излучение и поглощение электромагнитных волн небесными телами	8	1.1, 1 час 1.2, 1 час			№ 1, 2 часа	4 ч. работа с лекционным материалом
2.	Физика звезд	9	№2.1, 1 час №2.2, 1 час №2.3, 1 час				6 ч. работа с лекционным материалом
3.	Эволюция звезд	15	№3.1, 1 час, №3.2, 1 час №3.3, 1 час		№ 1, 2 часа	№2, 2 часа №3, 2 часа.	6 ч. работа с лекционным материалом
4.	Двойные звезды	5	№4.1, 1 час			№4, 2 часа	2 ч. работа с лекционным материалом
5.	Нестационарные звезды	10	№5.1, 1 час №5.2, 1 час			№5, 2 часа №6, 2 часа	2 ч. работа с лекционным материалом 2 ч. подготовка сообщения на семинаре
6.	Галактика. Межзвездная среда	11	№6.1, 1 час №6.2, 1 час №6.3, 1 час.			№7, 2 часа.	6 ч. работа с лекционным материалом
7.	Галактики	9	№7.1, 1 час №7.2, 1 час №7.3, 1 час				6 ч. работа с лекционным материалом
8.	Основы космологии	5	№8.1, 1 час			№8, 2 часа	2 ч. работа с лекционным материалом
Итого (часы)		72	18	0	2	16	36

5.3. Разделы и темы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин и практик	№ № разделов и/или тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин
1.	Физика гелиосферы	1-8

2.	Производственная практика (Научно-исследовательская работа)	1-8
----	--	-----

5.4. Перечень лекционных занятий

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование используемых технологий	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1.	1.1-1.2	Интерактивная лекция	2	Собеседование
2.	2.1-2.3	Интерактивная лекция	3	Собеседование
3.	3.1-3.3	Интерактивная лекция	3	Собеседование
4.	4.1	Интерактивная лекция	1	Собеседование
5.	5.1-5.2	Интерактивная лекция	2	Собеседование
6.	6.1.-6.3	Интерактивная лекция	3	Собеседование
7.	7.1-7.3	Интерактивная лекция	3	Собеседование
8.	8.1	Интерактивная лекция	1	Собеседование

5.5. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1.	1.2	Семинар 1 Примеры астрофизических спектров. Их количественные характеристики и интерпретация.	2	Дискуссия
2.	3.1	Семинар 2. Планетные системы вокруг других звезд.	2	Дискуссия
3.	3.2	Практическое занятие 1. Построение наблюдательной диаграммы Герцшпрунга-Рессела. Семинар 3. Вырожденный газ и его свойства.	4	Дискуссия
4.	4.1	Семинар 4 Функция масс в двойной системе. Определение масс компонент в спектрально-двойных системах.	2	Дискуссия
5.	5.1	Семинар 5 Пульсирующие звезды.	2	Дискуссия, доклад
6.	5.2	Семинар 6 Эруптивные переменные.	2	Дискуссия
7.	6.2	Семинар 7 ДГР для РС и ШС	2	Дискуссия
8.	8.1	Семинар 8 Модель горячей Вселенной.	2	Дискуссия

5.6. Тематика заданий для самостоятельной работы

Раздел	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Кол-во часов
1	1.1-1.2	Работа с лекционным материалом	Проработка конспекта лекций и учебной литературы	Конспект, п.1-2 из списка основной литературы.	4
2	2.1-2.3	Работа с лекционным материалом	Проработка конспекта лекций и учебной литературы	Конспект, п.1,2,3 из списка основной литературы.	6
3	3.1-3.3	Работа с лекционным материалом	Проработка конспекта лекций и учебной литературы	Конспект, п.1,3 из списка основной литературы.	6
4	4.1	Работа с лекционным материалом	Проработка конспекта лекций и учебной литературы	Конспект, п.1 из списка основной литературы.	2

			литературы		
5	5.1-5.2	Работа с лекционным материалом, подготовка доклада.	Проработка конспекта лекций и учебной литературы	Конспект, п.1 из списка основной и п. 1,2,3 из списка дополнительной литературы.	4
6	6.1-6.3	Работа с лекционным материалом	Проработка конспекта лекций и учебной литературы	Конспект, п.1,2 из списка основной литературы.	6
7	7.1-7.3	Работа с лекционным материалом	Проработка конспекта лекций и учебной литературы	Конспект, п.1 из списка основной литературы.	6
8	8.1	Работа с лекционным материалом	Проработка конспекта лекций и учебной литературы	Конспект, п.1,4 из списка основной литературы.	2

5.7. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов

1) **Проработка конспекта лекций и учебной литературы.** Рекомендуются просмотреть конспект лекций сразу после занятий, пометить в нем материалы, вызывающие затруднения для понимания. Поиск ответов на возникшие вопросы необходимо осуществить в рекомендованной литературе. Если самостоятельно разобраться не удастся, то необходимо четко сформулировать оставшиеся неясными вопросы и задать их во время ближайшей лекции или консультации преподавателю.

2) **Подготовка доклада.** Подготовку доклада по заданной тематике необходимо начать с четкой формулировки проблемы и составления плана доклада. Следующим этапом должен стать подбор и изучение литературных источников. Используя полученные сведения необходимо подготовить текст доклада и его электронную презентацию, включающую основные логические узлы повествования и иллюстративные материалы (графики, схемы).

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Основная литература

№ п/п	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1.	А. В. Засов, К. А. Постнов. «Общая астрофизика» - Фрязино: "Век 2", 2011	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
2.	В.А. Амбарцумян, Э. Р. Мустель, А. Б. Северный, В. В. Соболев «Теоретическая астрофизика» - Москва: «Наука», 1952	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
3.	Брандт, Дж. Астрофизика солнечной системы: пер. с англ. под ред. Г.А. Лейкина / Дж. Брандт, П. Ходж. - М. : Мир, 1967	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
4.	Д.И. Нагирнер «Элементы космологии», СПб. : Изд-во СПб. ун-та, 2001.	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ

6.2. Дополнительная литература

№ п/п	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1.	Д.Я. Мартынов «Курс общей астрофизики» - 4-е изд., Москва, «Наука», 1988	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
2.	К.Гоффмейстер, Г. Рихтер, В. Венцель «Переменные звезды», Москва, «Наука» 1990	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ
3.	С.А. Каплан, С.Б. Пикельнер «Физика межзвездной среды» - Москва, «Наука», 1979	ЭБ http://irbis.iszf.irk.ru неограниченный доступ

6.3. Профессиональные базы данных, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- NED: <http://ned.ipac.caltech.edu>
- Padova database of stellar evolutionary tracks and isochrones: <http://pleiadi.pd.astro.it/>
- GAIA Archive: <https://gea.esac.esa.int/archive/>
- SDSS: <https://www.sdss.org>

6.4. Информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Информационно-справочная информация в библиотеке ИСЗФ СО РАН: <http://irbis.iszf.irk.ru>

6.5. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимые для освоения дисциплины:

- NASA-ADS: <https://ui.adsabs.harvard.edu/classic-form>

6.6. Программное обеспечение

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Операционная система Ubuntu 18.04 (свободно распространяемое ПО)
- Офисный пакет Libre Office (свободно распространяемое ПО)
- 7-Zip (свободно распространяемое ПО)
- Adobe Acrobat Reader DC (свободно распространяемое ПО)
- Mozilla Firefox 1 (свободно распространяемое ПО)
- VLC Mediaplayer (свободно распространяемое ПО)
- K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО)
- Операционная система Microsoft Windows 10 Pro
- Сервер видеоконференцсвязи Jitsi Meet

7. Образовательные технологии

- Интерактивные лекции
- Семинары
- Групповые дискуссии

В учебном процессе используются как активные, так интерактивные формы проведения занятий.

Интерактивные формы включают в себя:

- Лекции;
- Творческие задания в форме изложения проблемного материала;
- Групповые оценки и взаимооценки: а именно рецензирование магистрантами выступлений друг друга.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор). Презентации позволяют качественно иллюстрировать аудиторные занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками и структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что улучшает восприятие материала.

Самостоятельная работа включает в себя:

- формулирование проблемных вопросов в результате самостоятельного изучения темы с привлечением основной и дополнительной литературы;

- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей;
- конспектирование;
- самостоятельная работа с лекционным материалом

При необходимости, в процессе работы над заданием, студент может получить индивидуальную консультацию у преподавателя.

8. Практическая подготовка

Практическая подготовка обучающихся в рамках реализации данной учебной дисциплины осуществляется на практических занятиях.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Аудитория укомплектована специализированной мебелью на 30 посадочных мест, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: ● доска магнитно-маркерная Branberg ● экран для проектора Projecta ● проектор BenQ MH733 1920 x 1080 ● ноутбук ASUS L1500CDA Windows 10 Pro ● система акустическая Electro Voice EVID 6.2
Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций и самостоятельной работы	Аудитория укомплектована специализированной мебелью на 7 посадочных мест, оснащена компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде: ● персональные компьютеры Неттоп Think Center Lenovo M710Q ● мониторы IIYAMA PL2283H, Dell CRHX9K2 ● доска магнитно-маркерная Branberg ● экран для проектора Projecta ● проектор BenQ MH733 1920 x 1080

10. Фонд оценочных средств

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать

Основные методы и результаты исследований физики небесных тел.

Уметь

Применять полученные знания при решении практических научно-исследовательских задач, а также при освоении смежных разделов физики и астрономии.

Владеть

Навыками применения фундаментальных законов физики для связи физических характеристик небесных тел и параметров их излучения.

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Код компетенции	Разделы дисциплины, направленные на формирование компетенции							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ОПК-1	+	+	+	+	+	+	+	+

ПКА-2	+	+	+	+	+	+	+	+
-------	---	---	---	---	---	---	---	---

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код компетенции	Показатели (индикаторы)	Формы оценивания				
		Текущий контроль				Промежуточная аттестация
		Устный опрос	Подготовка доклада	Решение задач	Контроль самостоятельной работы	Зачет / экзамен
ОПК-1	ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	Вопросы к дискуссии 1-3, 6, 7, 8, 12, 19, 25, 28, 30, 38, 43-45		Задачи из списка	Конспект, п. 1 из списка основной литературы, п. 1 из списка дополнительной литературы.	экзамен
ПКА-2	Способен проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания теоретических и экспериментальных разделов физики	Вопросы к дискуссии 1-46	Темы доклада в из списка		Конспект, п. 1-4 из списка основной литературы, п. 1-3 из списка дополнительной литературы.	экзамен

Программа оценивания контролируемой компетенции

Тема или раздел дисциплины	Формируемый признак компетенции	Показатель	Критерий оценивания	Наименование ОС	
				ТК	ПА
Раздел 1. Излучение и поглощение электромагнитных волн небесными телами	Знать: - основные научные подходы к исследуемому материалу (ОПК-1); - основные понятия и уравнения теории переноса излучения (ПКА-	Знает основные понятия интенсивности излучения и потока, формулу Планка и ее предельные случаи. Знает и понимает физический смысл приближения локального термодинамического	Владеет материалом раздела 1. Умеет отвечать на вопросы и аргументированно вести дискуссию по темам раздела, применять полученные знания для решения задач.	Собеседование Решение задач Конспектирование	Экзамен

	2). Уметь: - Применять полученные знания для численных оценок и интерпретации результатов астрофизических наблюдений (ПКА-2)	о равновесия. Способен записать уравнение переноса излучения и знает методы его приближенного решения. Знает и понимает механизм формирования линий поглощения в спектрах. .			
Раздел 2. Физика звезд	Знать: - основные научные подходы к исследуемому материалу (ОПК-1); - основные сведения о спектральной классификации, внутреннем строении и источниках энергии невырожденных звезд (ПКА-2). Уметь: - Применять полученные знания для численных оценок и интерпретации результатов астрофизических наблюдений (ПКА-2)	Знает принципы спектральной классификации звезд и ее физические основания. Знает уравнение гидростатического равновесия звезды и источники энергии невырожденных звезд. Понимает связь между положением звезды на диаграмме Герцшпрунга-Рессела с ее физическими характеристиками и эволюционным статусом.	Владеет материалом раздела 2. Умеет отвечать на вопросы и аргументированно вести дискуссию по темам раздела, применять полученные знания для решения задач.	Собеседование Решение задач Конспектирование	Экзамен
Раздел 3. Эволюция звезд	Знать: - основные научные подходы к исследуемому материалу (ОПК-1); - физические причины, лежащие в основе эволюции звезд, и основные эволюционные сценарии для звезд разных масс (ПКА-2). Уметь: - Применять полученные	Знает различия в эволюционных сценариях звезд в зависимости от их массы и может дать описание каждого из них. Понимает физику вещества вырожденных звезд и знает значения и физический смысл пределов Кумара, Чандрасекара и Оппенгеймера-Волкова.	Владеет материалом раздела 3. Умеет отвечать на вопросы и аргументированно вести дискуссию по темам раздела, применять полученные знания для решения задач.	Собеседование Решение задач Конспектирование	экзамен

	знания для численных оценок и интерпретации результатов астрофизических наблюдений (ПКА-2)				
Раздел 4. Двойные звезды	Знать: - основные научные подходы к исследуемому материалу (ОПК-1); - основные сведения о двойных звездах и методе определения масс в двойных системах (ПКА-2). Уметь: - Применять полученные знания для численных оценок и интерпретации результатов астрофизических наблюдений (ПКА-2)	Знает особенности эволюции звезд в двойных системах, понятие полости Роша. Понимает фундаментальное значение двойных для определения параметров звезд и знает метод определения масс в спектрально-двойной системе.	Владеет материалом раздела 4. Умеет отвечать на вопросы и аргументированно вести дискуссию по темам раздела, применять полученные знания для решения задач.	Собеседование Решение задач Конспектирование	экзамен
Раздел 5. Нестационарные звезды	Знать: - основные научные подходы к исследуемому материалу (ОК-1); - типы звездной нестационарности, физические механизмы лежащие в их основе и принципы, лежащие в основе использования нестационарных звезд для установления шкалы расстояний во Вселенной. (ОПК-2). Уметь: - Применять полученные	Знает типы звездной переменности. Умеет связать положение полосы неустойчивости на диаграмме Г-Р с эволюционным статусом находящихся в ней звезд. Знает механизм пульсации цефеид и может связать с ним существование зависимости «период-светимость». Знает о применении этой зависимости для установления шкалы расстояний во Вселенной.	Владеет материалом раздела 5. Умеет отвечать на вопросы и аргументированно вести дискуссию по темам раздела, применять полученные знания для решения задач. Может подготовить доклад с разбором заданной темы.	Собеседование Решение задач Конспектирование Подготовка докладов	экзамен

	знания для численных оценок и интерпретации результатов астрофизических наблюдений (ПКА-2)				
Раздел 6. Галактика. Межзвездная среда	Знать: - основные научные подходы к исследуемому материалу (ОПК-1); - подсистемы Галактики, масса и вращение, спиральная структура (ОПК-2). Уметь: - Применять полученные знания для численных оценок и интерпретации результатов астрофизических наблюдений (ПКА-2)	Знает основные подсистемы Галактики. Может объяснить разницу между шаровыми и рассеянными звездными скоплениями. Оценить возраст звездных ассоциаций по диаграмме Герцшпрунга – Рассела.	Владеет материалом раздела 6. Умеет отвечать на вопросы и аргументированно вести дискуссию по темам раздела, применять полученные знания для решения задач.	собеседование	экзамен
Раздел 7. Галактики	Знать: - основные научные подходы к исследуемому материалу (ОПК-1); - наблюдательные характеристики и классификацию галактик, механизмы активности их ядер (ПКА-2). Уметь: - Применять полученные знания для численных оценок и интерпретации результатов астрофизических наблюдений (ПКА-2)	Знает Хаббловскую классификацию галактик. Понимает свойства галактик разных типов. Знает механизмы активности галактических ядер. Имеет представление об унифицированной схеме активного ядра.	Владеет материалом раздела 7. Умеет отвечать на вопросы и аргументированно вести дискуссию по темам раздела, применять полученные знания для решения задач.	собеседование	экзамен
Раздел 8. Основы космологии	Знать: - основные научные	Знает наблюдательные факты,	Владеет материалом раздела 8.	собеседование	экзамен

	подходы к исследуемому материалу (ОПК-1); - Наблюдательные проявления расширения Вселенной (ОПК-2). Уметь: - Применять полученные знания для численных оценок и интерпретации результатов астрофизических наблюдений (ПКА-2)	свидетельствующие о расширении Вселенной. Может интерпретировать наблюдаемое красное смещение галактик и связать его с нестационарными моделями Вселенной. Знает теорию горячей Вселенной и может указать на ее важнейшее подтверждение — существование реликтового излучения.	Умеет отвечать на вопросы и аргументированно вести дискуссию по темам раздела, применять полученные знания для решения задач.		
--	--	---	--	--	--

Текущая и промежуточная аттестация

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

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости студента, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении семестра. Текущий контроль знаний обучающихся организован как устный групповой опрос, письменные работы

Оценочные средства для оценки текущей успеваемости студентов

Характеристика ОС для обеспечения текущего контроля по дисциплине

Раздел/Тема	Индекс и уровень формируемой компетенции или дескриптора	ОС	Содержание задания
Раздел 1. Излучение и поглощение электромагнитных волн небесными телами	ОПК-1 ИД.1, ИД.2, ИД.3; ПКА-2 ИД.1	Собеседование	Дискуссия, обсуждение материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя.
Раздел 2. Физика звезд	ОПК-1 ИД.1, ИД.2, ИД.3; ПКА-2 ИД.1	Собеседование	Дискуссия, обсуждение материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя.
Раздел 3. Эволюция звезд	ОПК-1 ИД.1, ИД.2, ИД.3; ПКА-2 ИД.1	Собеседование	Дискуссия, обсуждение материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя.
Раздел 4. Двойные звезды	ОПК-1 ИД.1, ИД.2, ИД.3; ПКА-2 ИД.1	Собеседование	Дискуссия, обсуждение материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя.
Раздел 5. Нестационарные звезды	ОПК-1 ИД.1, ИД.2, ИД.3; ПКА-2 ИД.1	Собеседование	Дискуссия, обсуждение материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя. Подготовка доклада.
Раздел 6. Галактика. Межзвездная среда	ОПК-1 ИД.1, ИД.2, ИД.3; ПКА-2 ИД.1	Собеседование	Дискуссия, обсуждение материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя.
Раздел 7. Галактики	ОПК-1 ИД.1, ИД.2,	Собеседование	Дискуссия, обсуждение

	ИД.3; ПКА-2 ИД.1		материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя.
Раздел 8. Основы космологии	ОПК-1 ИД.1, ИД.2, ИД.3; ПКА-2 ИД.1	Собеседование	Дискуссия, обсуждение материала лекций. Устный ответ на вопросы преподавателя.

Задания для текущего контроля

Вопросы для собеседования:

- 1 Перечислите элементарные процессы, ответственные за излучение и поглощение света в газе.
- 2 Дайте определение интенсивности и потока излучения.
- 3 Что такое оптическая толщина и как она связана с коэффициентом поглощения?
- 4 Как выглядит уравнение переноса излучения и каков его физический смысл?
- 5 Что такое локальное термодинамическое равновесие и где это приближение применимо?
- 6 Как образуются линии поглощения в спектрах звезд?
- 7 Качественно объясните причины различия между спектрами звезд разных спектральных классов.
- 8 Что такое диаграмма Герцшпрунга-Рессела?
- 9 Чем определяются верхний и нижний предел масс звезд?
- 10 Что такое Эддингтоновский предел и чем он обусловлен?
- 11 Что такое динамическое время звезды?
- 12 При каких условиях происходят термоядерные реакции в недрах звезд и какие вы можете назвать наблюдательные доказательства этого факта?
- 13 Что такое протон-протонная цепочки?
- 14 Чем CNO цикл отличается от p-p цепочек и в каких звездах он преобладает?
- 15 Как звезды эволюционируют до выхода на Главную Последовательность?
- 16 Что такое звезды типа Т Тельца и Ae/Be Хербига и каковы их особенности?
- 17 Перечислите основные методы обнаружения внесолнечных планет.
- 18 От чего зависит эволюция звезды после ухода с Главной Последовательности?
- 19 Назовите финальные продукты эволюции звезд. Как они зависят от массы?
- 20 Что такое вырожденный газ?
- 21 Что такое предел Чандрасекара и чему он равен?
- 22 Что такое нейтронизация вещества и какова характерная плотность нейтронной звезды?
- 23 Что такое полость Роша?
- 24 В чем заключается парадокс Алголя и каково его объяснение?
- 25 В чем заключается принципиальное значение двойных звезд для звездной астрофизики?
- 26 Что такое зависимость «период-светимость»?
- 27 Качественно объясните механизм пульсации цефеид.
- 28 Что такое сверхновая I типа? II типа?
- 29 Чем новая звезда отличается от сверхновой?
- 30 Перечислите основные компоненты межзвездной среды.
- 31 Что такое диффузные межзвездные полосы?
- 32 О чем говорит теорема Росселанда?
- 33 От каких параметров и как зависит радиус зоны НП вокруг звезды?
- 34 Что такое запрещенные линии и в каких условиях они образуются?
- 35 Какого порядка вероятности переходов запрещенных линий?
- 36 Как величина поглощения A_V связана с избытком цвета?
- 37 Каковы причины наблюдаемой поляризации излучения звезд?
- 38 Что такое «камертон» Хаббла? Имеет ли он эволюционный смысл?

- 39 Качественно объясните природу спиральной структуры галактик.
- 40 В чем состоит проблема темных гало?
- 41 Перечислите типы активных ядер галактик.
- 42 В чем состоит механизм активности ядер галактик?
- 43 В чем состоит закон Хаббла? Как он выражается?
- 44 Объясните физический смысл космологического красного смещения.
- 45 В чем состоит модель горячей Вселенной?
- 46 Что такое реликтовое излучение? Какова его температура и спектр?

Примеры тем докладов:

- 1) Цефеиды. Механизм пульсаций и роль в построении шкалы расстояний во Вселенной.
- 2) Долгопериодические переменные звезды и особенности их спектров на различных фазах блеска.
- 3) Механизмы фотометрической переменности молодых звезд типа Т Тельца и Ae/Be Хербига.
- 4) Новые и карликовые новые звезды. Механизмы их вспышек.

Задачи для практических занятий

- 1) Оцените радиус зоны обитаемости вокруг звезды спектрального класса K5 с эффективной температурой $T_{\text{eff}}=4400\text{K}$
- 2) Используя данные о средних плотностях звёзд, оцените период собственных пульсаций: а) Бетельгейзе; б) Сириуса В.
- 3) Белый карлик имеет $T_{\text{eff}}=30000\text{K}$ и $R/R_s=0.01$, найдите его светимость.
- 4) Найдите лучевую скорость и расстояние до квазара, находящегося на красном смещении $z=1.7$.
- 5) Первый квазар 3C273 был идентифицирован в 1963 году, тогда же была обнаружена его фотометрическая переменность на масштабе ~ 1 мес. Оцените линейный размер излучающей области. В чём состоит механизм излучения активных ядер галактик?

Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине осуществляется по окончании дисциплины, в виде экзамена в соответствии с графиком учебного процесса. Проверка наличия конспектов по дисциплине является допуском к экзамену. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий), студент отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

1

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1 (образец билета)

Дисциплина	Общая астрофизика
Направление подготовки	03.04.02 Физика

1. Вопрос для проверки уровня обученности ЗНАТЬ*
Эволюция молодой звезды до Главной Последовательности

2. Вопрос для проверки уровня обученности УМЕТЬ*
Уравнение переноса излучения и его приближенные решения.
3. Вопрос для проверки уровня обученности ВЛАДЕТЬ*

Линии H&K CaII - самые сильные в видимой части спектра Солнца с эквивалентными ширинами порядка 14 и 19Å соответственно. Самые сильные из водородных линий -- это бальмеровские линии H α и H β (эквивалентная ширина порядка 4Å). Почему линии H и K значительно сильнее водородных линий, хотя водород - основная составляющая солнечной атмосферы, а кальций - малая примесь?

Вопросы к экзамену

1. Тепловое излучение. Формула Планка и ее предельные случаи.
2. Уравнение переноса излучения и его приближенные решения.
3. Понятие локального термодинамического равновесия (ЛТР). Образование линий поглощения при ЛТР.
4. Спектральная классификация звезд и ее физическое обоснование.
5. Уравнение гидростатического равновесия звезды. Динамическое время.
6. Верхний предел массы звезд. Эддингтоновский предел светимости.
7. Протон-протонные цепочки. Солнечные нейтрино.
8. CNO-цикл.
9. Эволюция звезд до Главной Последовательности.
10. Звезды типа Т Тельца и Ae/Be Хербига. Протопланетные диски вокруг них.
11. Эволюция звезд с массой $<10M_{\text{Solar}}$
12. Вырожденный газ и его свойства. Предел Чандрасекара.
13. Нейтронизация вещества. Нейтронные звезды. Предел Оппенгеймера-Волкова.
14. Эволюция звезд в тесных двойных системах. Полость Роша.
15. Цефеиды и механизм их пульсаций. Роль цефеид в установлении шкалы расстояний во Вселенной.
16. Вспышки сверхновых звезд и их наблюдательная классификация. Сверхновые как «стандартные свечи» шкалы расстояний.
17. Основные компоненты межзвездной среды. Их наблюдательные проявления и распределение в Галактике.
18. Механизм свечения газовых туманностей. Теорема Росселанда.
19. Ионизация вещества в туманности. Зоны Стремгrena.
20. Кривая межзвездной экстинкции. Поляризация света звезд.
21. Наблюдательные характеристики галактик. Хаббловская классификация.
22. Спиральные ветви галактик. Физическая природа спиральной структуры.
23. Кривые вращения галактических дисков. Проблема темных гало.
24. Типы звездного населения. Звездообразование в дисках галактик.
25. Активные ядра галактик. Физические механизмы их активности.
26. Крупномасштабная структура Вселенной. Проблема темной материи.
27. Закон Хаббла. Интерпретация красного смещения.
28. Космологические модели.
29. Модель горячей Вселенной. Реликтовое излучение.

Задания к экзамену (могут быть типовые задания к экзамену)

- 1) Формула Планка имеет вид:
- $$B_{\nu}(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

Перепишите ее, используя вместо частоты ν длину волны λ .

2) Чему равны доплеровские полуширины линий резонансного дублета NaI D 5889Å и 5895Å при температуре солнечной фотосферы?

3) Линии H&K CaII - самые сильные в видимой части спектра Солнца с эквивалентными ширинами порядка 14 и 19Å соответственно. Самые сильные из водородных линий -- это бальмеровские линии H α и H β (эквивалентная ширина порядка 4Å). Почему линии H и K значительно сильнее водородных линий, хотя водород - основная составляющая солнечной атмосферы, а кальций -малая примесь?

4) Принимая температуру Сириуса $T_{\text{eff}} = 9800\text{K}$ и массу $M \sim 2M_{\odot}$, оцените для него динамическое время.

5) Оцените температуру околозвездной пыли, находящейся на расстоянии $5R_{*}$ от молодой звезды типа T Тельца.

6) Спектральные наблюдения далекой галактики показали, что она удаляется от нас со скоростью 5000 км/с. Угловой размер галактики составляет 1 угловую минуту. Оцените ее линейный размер.

Оценивание обучающихся происходит с использованием нормативных оценок на экзамене – 5 –отлично, 4-хорошо, 3-удовлетворительно, 2 –неудовлетворительно.

Оценочные средства сформированности компетенций

Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций	№ задания к зачету (или задание)
ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	ИД 1. Знать Основные методы и результаты исследований физики небесных тел. ИД 2. Знать теоретические методы исследования небесных тел на основе анализа характеристик их излучения.	Вопросы к экзамену № 1-29
	ИД 2. Уметь выделять главное содержание исследуемого физического явления и выбирать оптимальную физическую модель его описания, позволяющую рассчитать адекватные характеристики ИД 3. Уметь использовать фундаментальные знания профессиональной деятельности для решения конкретных задач	Задания к экзамену № 1-6
ПКА-2. Способен проводить научные исследования в области физики солнечно-земных связей, используя необходимые знания теоретических и экспериментальных разделов физики для описания и исследования параметров небесных тел и характеристик их излучения.	ИД-1. Знать современные проблемы астрофизики; Уметь формулировать физическую постановку задач астрофизики; Владеть методами исследования физических характеристик небесных тел на основе анализа параметров их излучения.	Вопросы к экзамену № 1-29, Задания к экзамену № 1-6, Темы докладов 1-4.

Критерии оценивания результатов обучения

Критерии	Шкала оценивания			
	«отлично»	«хорошо»	«удовлетворительно»	«неудовлетворительно»
Владение специальной терминологией	Свободно владеет терминологией из различных разделов курса	Владеет терминологией, делая ошибки; при неверном употреблении сам может их исправить	Редко использует при ответе термины, подменяет одни понятия другими, не всегда понимая разницы	Не владеет терминологией по курсу
Глубина и полнота знания теоретических основ курса	Демонстрирует прекрасное знание предмета, соединяя при ответе знания из разных разделов, добавляя комментарии, пояснения, обоснования	Хорошо владеет всем содержанием, видит взаимосвязи, может провести анализ и т.д., но не всегда делает это самостоятельно без помощи экзаменатора	Отвечает только на конкретный вопрос, соединяет знания из разных разделов курса только при наводящих вопросах экзаменатора	Не владеет теоретическими основами курса
Умение проиллюстрировать теоретический материал примерами	Отвечая на вопрос, может быстро и безошибочно проиллюстрировать ответ собственными примерами	Может подобрать соответствующие примеры из имеющихся в учебных материалах	С трудом может соотнести теорию и практические примеры из учебных материалов; примеры не всегда правильные	Не может соотнести теоретические знания и практические примеры
Дискурсивные умения	Демонстрирует различные формы мыслительной деятельности: анализ, синтез, сравнение, обобщение и т.д. Владеет аргументацией, грамотной, лаконичной, доступной и понятной речью.	Присутствуют некоторые формы мыслительной деятельности: анализ, синтез, сравнение, обобщение и т.д. Хорошая аргументация, четкость, лаконичность ответов.	С трудом применяются некоторые формы мыслительной деятельности: анализ, синтез, сравнение, обобщение и т.д. Слабая аргументация, нарушенная логика при ответе, однообразные формы изложения мыслей.	Не может применить формы мыслительной деятельности: анализ, синтез, сравнение, обобщение и т.д. Отсутствует аргументация, логика при ответе.

Оценочные средства, обеспечивающие диагностику сформированности компетенций, заявленных в рабочей программе дисциплины (модуля)

Результат диагностики сформированности компетенций	Показатели	Критерии	Соответствие / несоответствие	экзамен
Положительные результаты устного промежуточного контроля	подготовка к устному промежуточному контролю, знание основных тем дисциплины, указанных в Программе	Дал грамотный и развернутый ответ на вопросы для подготовки по теоретическим вопросам курса Не ответил или ответил неправильно на вопросы	Соответствие Несоответствие	Устный промежуточный контроль

	оценивания контролируемой компетенции	для подготовки по теоретическим вопросам курса		
Положительные результаты самостоятельной подготовки доклада	Подготовка доклада, знание основных тем дисциплины, указанных в Программе оценивания контролируемой компетенции	Подготовил и представил доклад, в котором емко и полно осветил имеющиеся результаты, их интерпретацию, а также нерешенные проблемы в заданной тематике. Подготовил и представил доклад, в котором недостаточно емко и полно осветил имеющиеся результаты, их интерпретацию, а также нерешенные проблемы в заданной тематике.	Соответствие Несоответствие	доклад
Положительные результаты экзамена	Подготовка к экзамену и знание экзаменационных вопросов	Полностью раскрыты все вопросы, даны все правильные определения Не полностью раскрыт один из вопросов и (или) в определениях есть неточности Не полностью раскрыты два вопроса и(или) определения неверны	Соответствие Соответствие Несоответствие	экзамен