

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СПЕКТРОСКОПИЯ АТМОСФЕРЫ ЗВЕЗД

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Направление подготовки 03.03.02 Физика
Направленность (профиль)
«Физика Земли и космоса»

**Ставрополь
2026**

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель и задачи освоения дисциплины (модуля).....
2. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата (магистратуры, специалитета)...
3. Связь с предшествующими дисциплинами (модулями)
4. Связь с последующими дисциплинами (модулями)
5. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)..
6. Содержание лабораторных занятий
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1. Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)

Цель: формирование набора профессиональных компетенций будущего бакалавра по направлению подготовки «Физика атмосферы и астрофизика».

Задачи: освоение современных и классических методов анализа атмосфер звезд и формирование умения применять их к анализу конкретных звезд.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП бакалавриата (магистратуры, специалитета)

Дисциплина относится к профессиональному циклу и является дисциплиной по выбору. Ее освоение происходит в 8 семестре.

3. Связь с предшествующими дисциплинами (модулями)

Для освоения дисциплины «Спектроскопия атмосфер звезд» необходимо предварительное изучение дисциплин общего курса физики и курса «Математический анализ».

4. Связь с последующими дисциплинами (модулями)

Освоение дисциплины «Спектроскопия атмосфер звезд» необходимо для последующего изучения дисциплин «Внутреннее строение и эволюция звезд», «Строение Галактики» и «Внегалактическая астрономия».

5. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)

ИД-1ПК-1

способен оценить актуальность решаемой задачи на основе анализа научной литературы и информационных материалов по тематике исследования.

ИД-2ПК-1

использует знания в области физики Земли и космоса для разработки методов нахождения решения поставленных профессиональных задач.

ИД-3ПК-1 способен адекватно применить математический инструментальный при формулировке моделирующих физический процесс уравнений.

ИД-4ПК-1 владеет методологией теоретического, математического и численного моделирования физических процессов, объектов и явлений с использованием как общепринятых методов теоретического и

математического моделирования, стандартных пакетов автоматизированного проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных методов и программ.

ИД-1ПК-3

умеет проводить анализ состояния научно-технической проблемы и формулировать техническое задание.

ИД-2ПК-3

умеет применять методологический аппарат для решения задач физики Земли и космоса, формулировать требования к физическим характеристикам разрабатываемых вопросов, а также провести отбор профессионального лабораторного оборудования, необходимого для осуществления проектной деятельности.

6. СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Тема 1 «Основные уравнения звездных фотосфер»

Цель занятия: изучить характеристики излучения и основные уравнения атмосфер звезд.

Организационная форма занятия: семинар, решение задач

Задачи:

1. Вывести соотношения между характеристиками излучения.
2. Вывести основные уравнения звездных атмосфер:
уравнение переноса излучения в общем случае и для тонкой атмосферы
уравнение лучистого равновесия.
3. Для интегрального потока в толстых атмосферах доказать, что

$$H \sim \frac{1}{r^2}$$

4. Для интегрального потока в тонких атмосферах доказать, что
 $H = \text{const}(r)$.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Что называется атмосферой звезды?
2. Как определяется верхняя граница атмосферы?
3. Назовите два слоя в атмосфере и их особенности.
4. Какой механизм переноса энергии работает в атмосферах звезд?
5. Перечислите характеристики поля излучения, дайте им определения и напишите их размерности.
6. Напишите уравнение, связывающее плотность излучения и интенсивность.
7. Напишите уравнение, связывающее поток излучения и интенсивность.

8. Напишите уравнение переноса в самом общем виде.
9. Сформулируйте условие лучистого равновесия.
10. Напишите уравнение лучистого равновесия.
11. Напишите уравнение переноса в сферических координатах.
12. Напишите уравнение переноса в сферических координатах для тонких атмосфер.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2.

Интернет-ресурсы: 3, 4.

Тема 2. «Теория звездных фотосфер в сером приближении»

Цель занятия: изучить приближенный метод анализа звездных атмосфер, проанализировать получаемые решения

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи:

1. Вывести основные уравнения в сером приближении.
2. Найти приближенные решения основных уравнений по методу Шварцшильда
3. Найти точные решения основных уравнений.
4. Проверить найденные решения по распределению яркости по диску Солнца.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Что называется серым приближением?
2. Напишите граничные условия для серого приближения.
3. Сформулируйте основные положения метода Шустера-Шварцшильда
4. Напишите решение для функции источника методом Шустера-Шварцшильда.
5. Напишите точное решение уравнения переноса в сером приближении.
6. Напишите уравнение Милана.
7. Напишите точное уравнение для потока.
8. Дайте определение интегрально-показательной функции.
9. Как можно проверить правильность решений, полученных в разных приближениях?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 3.

Интернет-ресурсы: 2, 3.

Тема 3. «Локальное Термодинамическое Равновесие»

Цель занятия: изучить основные положения и уравнения ЛТР
Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи:

1. Вывести выражение для потока,
2. Вывести выражение для функции источника,
3. Получить формулу для интенсивности
4. Найти распределение температуры с глубиной в приближении ЛТР.
5. Проинтегрировать функцию Планка по всем частотам и получить закон $H = \sigma T^4$. Вычислить численное значение постоянной Стефана Больцмана.
6. Рассчитать для Солнца температуру на глубинах $\tau = 1$ и $\tau = 0.1$ в предположении Шустера-Шварцшильда.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Получите закон Кирхгоффа-Планка
2. Напишите функцию Планка.
3. Докажите, что тело в полном термодинамическом равновесии не излучает.
4. Вычислите выходящий поток излучения абсолютно черного тела в пустоте.
5. Получите закон Стефана-Больцмана.
6. Что подразумевает приближение ЛТР?
7. Дайте определение эффективной температуре звезды.
8. Найдите зависимость температуры от глубины при ЛТР в приближении Шустера-Шварцшильда.
9. Получите связь интегрального потока излучения с эффективной температурой звезды.
10. Получите формулу распределения выходящего потока по частоте и по диску звезды.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 3.

Интернет-ресурсы: 1, 3, 4.

Тема 4. «Возбуждение и ионизация в условиях ЛТР»

Цель занятия: изучить распределение атомов по степеням ионизации и состояниям возбуждения в атмосферах звезд.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи:

1. Вывести формулу Саха.
2. Получить логарифмическую форму записи формулы Саха.
3. Потенциал ионизации водорода с основного уровня 13.6 эВ. Найдите потенциал ионизации с 1 уровня и потенциал ионизации с 1 уровня, если известна длина волны перехода с основного на 1 уровень, $\lambda = 1216 \text{ \AA}$.
4. Формулу Саха в самом общем виде записать в логарифмической форме.
5. Для Сириуса на глубинах $\tau = 1$ и $\tau = 0.01$ рассчитать степень ионизации железа, $\lg(\text{FeII}/\text{FeI})$ и $\lg(\text{FeIII}/\text{FeII})$.
Известно: $T_{\text{эфф}} = 10000 \text{ K}$,
 $n_e(\tau=1) = 3.9 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, $n_e(\tau=0.01) = 1.8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$,
 $\lg \text{UI} = 1.58$, $\lg \text{UII} = 1.74$, $\lg \text{UIII} = 1.40$.
Потенциалы ионизации железа, $\chi_1 = 7.87 \text{ эВ}$, $\chi_2 = 16,16 \text{ эВ}$,
Зависимостью стат. суммы от температуры пренебречь. Температуру на разных глубинах рассчитывать в приближении Чандрасекхара.
Сделать выводы.

Вопросы, выносимые на обсуждение

1. Напишите формулу Больцмана.
2. Что называется статистическим весом?
3. Сформулируйте словами, что выражает формула Больцмана.
4. Что называется потенциалом возбуждения?
5. Как определяется статистическая сумма?
6. Перепишите формулу Больцмана с использованием статистической суммы.
7. Что называется потенциалом ионизации?
8. Напишите формулу Саха.
9. Что выражает формула Саха?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 3, 5.

Интернет-ресурсы: 1, 2, 4.

Тема 5. «Поглощение в непрерывном спектре»

Цель занятия: изучить поведение коэффициента поглощения различных агентов в непрерывном спектре

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи:

1. Вывести формулы для коэффициента объемного поглощения водородоподобными атомами и ионами.
2. Вывести формулу для учета отрицательного поглощения
3. Рассчитать относительную толщину атмосферы звезд по методу Копылова, сделать выводы. Использовать приближение: считать атмосферу чисто водородной.

Для звезд Sp B8 , I и V классов светимости, измерено количество атомов водорода на 1 энергетическом уровне в единичном столбе атмосферы, $n_1 h = 5.62 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-1}$. Радиус сверхгиганта $4.9 \cdot 10^{12} \text{ см}$, радиус карлика $1.8 \cdot 10^{11} \text{ см}$. Средняя по слоям атмосферы, по которым определялось число атомов, температура 11450 К , концентрация свободных электронов $9.1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ для сверхгиганта, 10^{14} см^{-3} для карлика. Статистический вес 1 уровня водорода 8, статистическая сумма для иона водорода 1. Потенциал ионизации 13.6 эВ , потенциал возбуждения 1 уровня $1.64 \cdot 10^{-11} \text{ эрг}$.

4. Проверьте по размерности формулу, связывающую эйнштейновские вероятности A_{ik} и B_{ik} .
5. Вычислите константу, определяющую эффективное сечение рассеяния на свободных электронах.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Назовите процессы, приводящие к непрерывному поглощению.
2. Когда происходит истинное поглощение, а когда – рассеяние?
3. Дайте определение коэффициенту поглощения на единицу объема, на одну частицу и на единицу массы вещества.
4. Напишите формулу Крамерса для свободно – свободных переходов.
5. Напишите функцию распределения свободных электронов по скоростям.
6. Напишите выражение для коэффициента поглощения на единицу объема вследствие свободно – свободных переходов.
7. Напишите формулу Крамерса для связанно – свободных переходов.
8. Напишите выражение для коэффициента поглощения на единицу объема вследствие связанно – свободных переходов.
9. Что происходит при отрицательном поглощении?
10. Каков физический смысл Эйнштейновских коэффициентов?
11. Напишите формулы, связывающие Эйнштейновские коэффициенты.
12. Напишите выражение для полного объемного коэффициента поглощения отрицательным ионом водорода.

13. Назовите виды рассеяния в звездных атмосферах.

Напишите объемные коэффициенты поглощения для них.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 3, 7.

Интернет-ресурсы: 1, 3,

Тема 6. «Гидростатическое равновесие»

Цель занятия: изучить уравнения, описывающие состояние гидростатического равновесия в атмосферах звезд.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи

1. Вывести основное уравнение гидростатического равновесия.
2. Проанализировать случай чисто газового давления.
3. Вывести формулу для давления излучения.
4. Для звезды α^2 CVn рассчитать газовое давление и давление излучения (по приближенной формуле) на оптической глубине $\tau_R = 1$. Параметры звезды: $T_e = 11500$ К, $\mu \approx 1$. Плотность вещества на указанной глубине $1.25 \cdot 10^{-9}$ г/см³.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Что выражает уравнение гидростатического равновесия?
2. Напишите уравнение гидростатического равновесия.
3. Из чего складывается полное давление?
4. В чем причина давления излучения?
5. Напишите уравнение для давления излучения.
6. Выразите давление излучения через локальную температуру.
7. Что называется микротурбулентным движением?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 4, 7.

Интернет-ресурсы: 3, 4.

Тема 7. «Модели атмосфер звезд»

Цель занятия: изучить алгоритм расчета моделей атмосфер звезд.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи

1. Найти зависимость давления излучения от температуры для случая ЛТР и распределения температуры по глубине, полученного в сером приближении по Эддингтону.
2. Получить рабочую формулу для предельной светимости Эддингтона, выразив массу в солнечных единицах и вычислив численный коэффициент
3. Для α^2 CVn рассчитать давление газовое, давление излучения и давления микротурбуленции на $\tau = 1$. Температуру найти по формуле для серого приближения по Шустеру-Шварцшильду. Характеристики α^2 CVn: $T_{\text{эфф}} = 11500$ К, $\lg g = 4.0$, $V_{\text{mt}} = 2$ км/с. Взять $\mu = 1$, плотность вещества на $\tau = 1$, $\rho = 1.25 \cdot 10^{-9}$ г/см³.
4. Рассчитать логарифм ускорения силы тяжести на поверхности звезды, масса которой 3.2 массы Солнца и радиус 2.5 радиусов Солнца.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Перечислите исходные параметры, необходимые для построения модели атмосферы звезды.
2. Сформулируйте физические предположения, принимаемые для упрощения задачи.
3. Перечислите физические предположения на первой итерации
4. Перечислите последовательность действий на первой итерации.
5. Как выполняется коррекция распределения температуры с глубиной?
6. Перечислите причины возможной расходимости итерационного процесса.
7. Напишите выражение для предельной светимости звезды (светимость Эддингтона).

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 3, 5.

Интернет-ресурсы: 1, 3, 4.

Тема 8. «Коэффициент поглощения в линии»

Цель занятия: изучить механизмы уширения линий в спектрах звезд
Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи:

1. Рассчитать уширение линии FeII 4923.93Å с фактором Ланде 1.69 в магнитном поле с напряженностью 10 КГс.
2. Рассчитать доплеровскую ширину линии HeI 4387 Å в звезде с $T = 20000$ К, на глубине $\tau = 0.1$.
3. Рассчитать доплеровскую ширину линии FeI 4271.76 Å в звезде

с $T=6000$ К, на глубине $\tau=0.1$.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Перечислите механизмы уширения линий.
2. Почему возникает естественное уширение?
3. Напишите формулу для изменения населенности уровня вследствие спонтанных переходов.
4. Какие линии называются резонансными и субординатными?
5. Напишите выражение для коэффициента поглощения вследствие естественного уширения.
6. В чем причина доплеровского уширения линий?
7. Напишите выражение для коэффициента поглощения в линии вследствие 2-х механизмов уширения: естественного и доплеровского.
8. Чем определяется профиль линии в ядре и в крыльях?
9. Напишите функцию Фойгта и ее аппроксимацию для ядра и крыльев.
10. Назовите механизмы уширения вследствие взаимодействия.
11. Взаимодействие каких частиц приводит к линейному эффекту Штарка, квадратичному эффекту Штарка и к эффекту Ван-дер-Ваальса?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 4.

Интернет-ресурсы: 3, 4.

Тема 9. “Образование линий поглощения при ЛТР”

Цель занятия: изучить механизмы формирования линий поглощения в атмосферах звезд.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи:

Вывести уравнение переноса излучения в линии

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Дайте определение остаточной интенсивности линии.
2. Дайте определение эквивалентной ширины линии.
3. За счет каких процессов возникают линии поглощения?
4. Какие линии видны, а какие не видны на краю диска Солнца и почему?
5. В каких звездах эффективен механизм истинного поглощения, а в каких – рассеяния?
6. Напишите уравнение переноса в линии.
7. Почему возникает некогерентное рассеяние?
8. Что называется флюоресценцией?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 3.

Интернет-ресурсы: 3, 4.

Тема 10. «Линии поглощения при когерентном рассеянии»

Цель занятия: изучить методы анализа линий поглощения в атмосферах звезд.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи:

1. Вывести основную формулу для модели Шустера-Шварцшильда.
2. Нарисовать график зависимости эквивалентной ширины линии от числа поглощающих атомов, провести его анализ.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Перечислите упрощающие предположения, необходимые для получения аналитической формулы для функции источника в линии, напишите эту формулу.
2. Для каких случаев применима модель с обращаемым слоем?
3. Сформулируйте граничные условия для модели с обращаемым слоем.
4. Напишите формулу для остаточной интенсивности в линии.
5. Объясните, как ведут себя линии с увеличением числа поглощающих частиц.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 3, 4.

Интернет-ресурсы: 1, 4.

Тема 11. «Кривая роста»

Цель занятия: изучить метод «кривых роста».

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи:

1. Для атмосферы Сириуса рассчитать на сколько неучет микротурбулентной скорости изменит температуру звезды на глубине 0.01τ , если определять ее по линиям железа. Микротурбулентная скорость равна 2.2 км./с , $T(\tau=0.01) = 8000\text{K}$.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Что называют кривой роста?
2. От каких параметров зависит эквивалентная ширина линии?
3. Что можно определить методом кривой роста?
4. Напишите формулу для слабых линий.
5. Напишите формулу для насыщенных линий без крыльев.
6. Напишите формулу для насыщенных линий с крыльями.
7. Дать определение поверхностного магнитного поля.
8. Как магнитное поле влияет на линии?
9. Что такое блендирование линий?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 6.

Интернет-ресурсы: 2, 4.

Тема 12. «Уширение линий вращением звезды»

Цель занятия: изучить уширение спектральных линий вращением звезд.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи:

1. Вывести формулу для профиля коэффициента поглощения в линии из-за вращения звезды.
2. Проанализировать влияние уширения вращением на линии разной интенсивности.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Какие механизмы уширения линий меняют их эквивалентные ширины, а какие нет и почему?
2. Почему вращение звезды приводит к уширению спектральных линий?
3. Напишите формулу для вычисления профиля линии во вращающихся звездах.
4. Что необходимо знать для вычисления профиля линии во вращающихся звездах?
5. Напишите закон потемнения диска к краю для Солнца.
6. Какую информацию о вращении звезд можно получить из наблюдений и как?
7. Что называют критической скоростью вращения?
8. Получите выражение для критической скорости вращения.
9. В чем особенности Be звезд?
10. Как вращается Солнце?

11. Почему гиганты поздних спектральных классов вращаются быстрее, чем звезды главной последовательности тех же спектральных классов?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 6.

Интернет-ресурсы: 2, 4.

Тема 13. «Учет отклонений от ЛТР»

Цель занятия: изучить метод учета отклонений от ЛТР в атмосферах звезд.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи:

1. Вывести формулу для коэффициента радиативных переходов.
2. Вывести формулу для коэффициента столкновительных переходов.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Для каких звезд отклонения от ЛТР велики и почему?
2. Для каких линий отклонения от ЛТР надо учитывать во всех звездах?
3. К изменению каких физических законов приводят отклонения от ЛТР?
4. Напишите уравнение статического равновесия для i -го уровня.
5. Напишите выражение для вероятности радиативных переходов вверх.
6. Напишите выражение для вероятности радиативных переходов вниз.
7. Напишите выражение для вероятностей столкновительных переходов.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 6.

Интернет-ресурсы: 2, 4.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Рекомендуемая литература.

Основная литература:

1. Засов А.В., Постнов К.А., Общая астрофизика, Век 2, 2011.

Дополнительная литература:

1. Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики. М., Наука, 3-е изд., 1985.

2. Сахибуллин Н.А. Методы моделирования в астрофизике.

И. Звездные атмосферы. Казань, ФЭН, 1997.

3. Ред. Михайлов А.А. Курс астрофизики и звездной астрономии. Т.2. 1964.

4. Мартынов Д.А. Курс общей астрофизики. 4-е изд., 1988.
5. Михалас Д. Звездные атмосферы. Т. 1,2. М., Мир, 1982.
6. Грей Д. Наблюдения и анализ звездных фотосфер. М., Мир, 1980.
7. Де Ягер К. Звезды наибольшей светимости. М., Мир, 1984.

Интернет-ресурсы:

1. www.astronet.ru
2. www.sao.ru
3. [http:// biblioclub.ru/](http://biblioclub.ru/) – Университетская библиотека онлайн
4. <http://www.rsl.ru> – Российская государственная библиотека.

Материально-техническое обеспечение дисциплины

- персональный компьютер;
- лабораторные стенды;
- вторичные источники питания;
- мультимедийные учебно-методические материалы.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СПЕКТРОСКОПИЯ АТМОСФЕРЫ ЗВЕЗД

**Методические указания для обучающихся по организации и проведению
самостоятельной работы**

Направление подготовки 03.03.02 Физика
Направленность (профиль)
«Физика Земли и космоса»

**Ставрополь
2026**

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

ЛИТЕРАТУРА

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студента).

Самостоятельная работа студента является важным видом учебной и научной деятельности студента. Федеральным государственным образовательным стандартом предусматривается значительный объем времени из общей трудоемкости дисциплины на самостоятельную работу. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому самостоятельная работа должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи профессионального образования – подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности.

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы студентов над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста студентов, воспитание творческой активности и инициативы.

Самостоятельная работа студента предполагает, прежде всего, его научно-исследовательскую и практическую деятельность, поскольку именно эти виды учебной работы в первую очередь готовят к самостоятельному выполнению профессиональных задач. Конечной целью самостоятельной работы является организация самостоятельной познавательной деятельности, формирование умения самостоятельно анализировать информацию, выделять главное и второстепенное.

Основными формами самостоятельной работы студентов по дисциплине «Практическая физика» являются:

- подготовка к лабораторной работе;

- самостоятельное изучение литературы;
- подготовка к экзамену.

Лабораторная работа – подразумевает изучение определенного физического процесса на практике, используя при этом методы, предварительно изученные на лекциях, выбор наиболее оптимального приема выполнения замеров и исследования, которые обеспечивает наиболее точный результат, определение фактического результата и его сравнение с теоретическими данными, описанными в учебнике согласно выбранной тематике, обнаружение причин полученного несоответствия и грамотное изложение их в отчете лабораторной работы, грамотное оформление выводов согласно требованиям методички.

В результате изучения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции (в соответствии с образовательным стандартом):

ИД-1ПК-1

способен оценить актуальность решаемой задачи на основе анализа научной литературы и информационных материалов по тематике исследования.

ИД-2ПК-1

использует знания в области физики Земли и космоса для разработки методов нахождения решения поставленных профессиональных задач.

ИД-3ПК-1 способен адекватно применить математический инструментарий при формулировке моделирующих физический процесс уравнений.

ИД-4ПК-1 владеет методологией теоретического, математического и численного моделирования физических процессов, объектов и явлений с использованием как общепринятых методов теоретического и математического моделирования, стандартных пакетов автоматизированного проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных методов и программ.

ИД-1ПК-3

умеет проводить анализ состояния научно-технической проблемы и формулировать техническое задание.

ИД-2ПК-3

умеет применять методологический аппарат для решения задач физики Земли и космоса, формулировать требования к физическим характеристикам разрабатываемых вопросов, а также провести отбор профессионального лабораторного оборудования, необходимого для осуществления проектной деятельности.

План-график выполнения самостоятельной работы

№	Наименование разделов и тем дисциплины, их краткое содержание	Использование интерактивных форм	Зачетные единицы (часы)
8 семестр			
1	Тема 1. Основные уравнения звездных фотосфер. Вывести соотношения между характеристиками излучения. Вывести основные уравнения звездных атмосфер: уравнение переноса излучения в общем случае и для тонкой атмосферы и уравнение лучистого равновесия.	Решение проблемных задач	3
2	Тема 2. Серая фотосфера. Вывести основные уравнения в сером приближении. Найти приближенные решения основных уравнений по методу Шварцшильда и точные решения. Проверить найденные решения по распределению яркости по диску Солнца.	Решение проблемных задач	2
3	Тема 3. Локальное термодинамическое равновесие. Вывести выражения для потока, функции источника, интенсивности и распределение температуры с глубиной в приближении ЛТР.	Решение проблемных задач	2
4	Тема 4. Возбуждение и ионизация в условиях ЛТР. Вывести формулу Саха. Получить логарифмическую форму записи формулы Саха.	Решение проблемных задач	2
5	Тема 5. Зависимость коэффициента поглощения от частоты в непрерывном спектре. Вывести формулы для коэффициента объемного поглощения водородоподобными атомами и ионами и формулу для учета отрицательного поглощения.	Решение проблемных задач	2
6	Тема 6. Гидростатическое равновесие. Вывести основное уравнение гидростатического равновесия. Проанализировать случай чисто газового давления. Вывести формулу для давления излучения.	Решение проблемных задач	2
7	Тема 7. Модели атмосфер. Обсуждение действий, необходимых для построения модели на первой итерации. Обсуждение итерационного процесса. Анализ причин возможной расходимости итерационного процесса.	Решение проблемных задач	2
8	Тема 8. Коэффициент поглощения в	Решение	2

	линии. Обсуждение механизмов уширения линии. Подробно рассмотреть механизмы уширения: естественное, доплеровское, за счет взаимодействия частиц. Вывести формулы для коэффициента поглощения с учетом уширения этими механизмами.	проблемных задач	
9	Тема 9. Образование линий поглощения при ЛТР. Проанализировать механизмы поглощения в линии. Вывести уравнение переноса излучения в линии	Решение проблемных задач	2
10	Тема 10. Линии поглощения при когерентном рассеянии. Решение уравнения переноса в линии в предположении Шустера-Шварцшильда. Анализ изменения профиля линии с увеличением числа поглощающих атомов.	Решение проблемных задач	2
11	Тема 11. Кривая роста. Вывести основную формулу для модели Шустера-Шварцшильда, дать ее графическое представление, провести анализ.	Решение проблемных задач	2
12	Тема 12. Уширение линий вращением звезды. Вывести формулу для профиля коэффициента поглощения в линии из-за вращения звезды. Проанализировать влияние уширения вращением на линии разной интенсивности.	Решение проблемных задач	2
13	Тема 13. Учет отклонений от ЛТР Вывести формулы для коэффициентов радиативных и столкновительных переходов.	Решение проблемных задач	2
	Итого за семестр		27
	Итого		27

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

Тема 1 «Основные уравнения звездных фотосфер»

Цель занятия: изучить характеристики излучения и основные уравнения атмосфер звезд.

Организационная форма занятия: семинар, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Что называется атмосферой звезды?
2. Как определяется верхняя граница атмосферы?
3. Назовите два слоя в атмосфере и их особенности.

4. Какой механизм переноса энергии работает в атмосферах звезд?
5. Перечислите характеристики поля излучения, дайте им определения и напишите их размерности.
6. Напишите уравнение, связывающее плотность излучения и интенсивность.
7. Напишите уравнение, связывающее поток излучения и интенсивность.
8. Напишите уравнение переноса в самом общем виде.
9. Сформулируйте условие лучистого равновесия.
10. Напишите уравнение лучистого равновесия.
11. Напишите уравнение переноса в сферических координатах.
12. Напишите уравнение переноса в сферических координатах для тонких атмосфер.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2.

Интернет-ресурсы: 3, 4.

Тема 2. «Теория звездных фотосфер в сером приближении»

Цель занятия: изучить приближенный метод анализа звездных атмосфер, проанализировать получаемые решения

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Что называется серым приближением?
2. Напишите граничные условия для серого приближения.
3. Сформулируйте основные положения метода Шустера-Шварцшильда
4. Напишите решение для функции источника методом Шустера-Шварцшильда.
5. Напишите точное решение уравнения переноса в сером приближении.
6. Напишите уравнение Милана.
7. Напишите точное уравнение для потока.
8. Дайте определение интегрально-показательной функции.
9. Как можно проверить правильность решений, полученных в разных приближениях?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 3.

Интернет-ресурсы: 2, 3.

Тема 3. «Локальное Термодинамическое Равновесие»

Цель занятия: изучить основные положения и уравнения ЛТР

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

- 11.Получите закон Кирхгоффа-Планка
- 12.Напишите функцию Планка.
- 13.Докажите, что тело в полном термодинамическом равновесии не излучает.
- 14.Вычислите выходящий поток излучения абсолютно черного тела в пустоте.
- 15.Получите закон Стефана-Больцмана.
- 16.Что подразумевает приближение ЛТР?
- 17.Дайте определение эффективной температуре звезды.
- 18.Найдите зависимость температуры от глубины при ЛТР в приближении Шустера-Шварцшильда.
- 19.Получите связь интегрального потока излучения с эффективной температурой звезды.
- 20.Получите формулу распределения выходящего потока по частоте и по диску звезды.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 3.

Интернет-ресурсы: 1, 3, 4.

Тема 4. «Возбуждение и ионизация в условиях ЛТР»

Цель занятия: изучить распределение атомов по степеням ионизации и состояниям возбуждения в атмосферах звезд.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Напишите формулу Больцмана.
2. Что называется статистическим весом?
3. Сформулируйте словами, что выражает формула Больцмана.
4. Что называется потенциалом возбуждения?
5. Как определяется статистическая сумма?
6. Перепишите формулу Больцмана с использованием статистической суммы.
7. Что называется потенциалом ионизации?
8. Напишите формулу Саха.
9. Что выражает формула Саха?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 3, 5.

Интернет-ресурсы: 1, 2, 4.

Тема 5. «Поглощение в непрерывном спектре»

Цель занятия: изучить поведение коэффициента поглощения различных агентов в непрерывном спектре

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Назовите процессы, приводящие к непрерывному поглощению.
2. Когда происходит истинное поглощение, а когда – рассеяние?
3. Дайте определение коэффициенту поглощения на единицу объема, на одну частицу и на единицу массы вещества.
4. Напишите формулу Крамерса для свободно – свободных переходов.
5. Напишите функцию распределения свободных электронов по скоростям.
6. Напишите выражение для коэффициента поглощения на единицу объема вследствие свободно – свободных переходов.
7. Напишите формулу Крамерса для связанно – свободных переходов.
8. Напишите выражение для коэффициента поглощения на единицу объема вследствие связанно – свободных переходов.
9. Что происходит при отрицательном поглощении?
10. Каков физический смысл Эйнштейновских коэффициентов?
11. Напишите формулы, связывающие Эйнштейновские коэффициенты.
12. Напишите выражение для полного объемного коэффициента поглощения отрицательным ионом водорода.
13. Назовите виды рассеяния в звездных атмосферах.
Напишите объемные коэффициенты поглощения для них.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 3, 7.

Интернет-ресурсы: 1, 3,

Тема 7. «Гидростатическое равновесие»

Цель занятия: изучить уравнения, описывающие состояние гидростатического равновесия в атмосферах звезд.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Что выражает уравнение гидростатического равновесия?
2. Напишите уравнение гидростатического равновесия.
3. Из чего складывается полное давление?
4. В чем причина давления излучения?
5. Напишите уравнение для давления излучения.
6. Выразите давление излучения через локальную температуру.
7. Что называется микротурбулентным движением?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 4, 7.

Интернет-ресурсы: 3, 4.

Тема 7. «Модели атмосфер звезд»

Цель занятия: изучить алгоритм расчета моделей атмосфер звезд.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Перечислите исходные параметры, необходимые для построения модели атмосферы звезды.
2. Сформулируйте физические предположения, принимаемые для упрощения задачи.
3. Перечислите физические предположения на первой итерации
4. Перечислите последовательность действий на первой итерации.
5. Как выполняется коррекция распределения температуры с глубиной?
6. Перечислите причины возможной расходимости итерационного процесса.
7. Напишите выражение для предельной светимости звезды (светимость Эддингтона).

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 3, 5.

Интернет-ресурсы: 1, 3, 4.

Тема 8. «Коэффициент поглощения в линии»

Цель занятия: изучить механизмы уширения линий в спектрах звезд

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Перечислите механизмы уширения линий.
2. Почему возникает естественное уширение?
3. Напишите формулу для изменения населенности уровня вследствие спонтанных переходов.
4. Какие линии называются резонансными и субординатными?
5. Напишите выражение для коэффициента поглощения вследствие естественного уширения.
6. В чем причина доплеровского уширения линий?
7. Напишите выражение для коэффициента поглощения в линии вследствие 2-х механизмов уширения: естественного и доплеровского.
8. Чем определяется профиль линии в ядре и в крыльях?
9. Напишите функцию Фойгта и ее аппроксимацию для ядра и крыльев.
10. Назовите механизмы уширения вследствие взаимодействия.
11. Взаимодействие каких частиц приводит к линейному эффекту Штарка, квадратичному эффекту Штарка и к эффекту Ван-дер-Ваальса?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 4.

Интернет-ресурсы: 3, 4.

Тема 9. “Образование линий поглощения при ЛТР”

Цель занятия: изучить механизмы формирования линий поглощения в атмосферах звезд.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Дайте определение остаточной интенсивности линии.
2. Дайте определение эквивалентной ширины линии.
3. За счет каких процессов возникают линии поглощения?
4. Какие линии видны, а какие не видны на краю диска Солнца и почему?
5. В каких звездах эффективен механизм истинного поглощения, а в каких – рассеяния?
6. Напишите уравнение переноса в линии.
7. Почему возникает некогерентное рассеяние?
8. Что называется флюоресценцией?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 3.

Интернет-ресурсы: 3, 4.

Тема 10. «Линии поглощения при когерентном рассеянии»

Цель занятия: изучить методы анализа линий поглощения в атмосферах звезд.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

6. Перечислите упрощающие предположения, необходимые для получения аналитической формулы для функции источника в линии, напишите эту формулу.
7. Для каких случаев применима модель с обращаемым слоем?
8. Сформулируйте граничные условия для модели с обращаемым слоем.
9. Напишите формулу для остаточной интенсивности в линии.
10. Объясните, как ведут себя линии с увеличением числа поглощающих частиц.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 3, 4.

Интернет-ресурсы: 1, 4.

Тема 11. «Кривая роста»

Цель занятия: изучить метод «кривых роста».

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Что называют кривой роста?
2. От каких параметров зависит эквивалентная ширина линии?
3. Что можно определить методом кривой роста?
4. Напишите формулу для слабых линий.
5. Напишите формулу для насыщенных линий без крыльев.
6. Напишите формулу для насыщенных линий с крыльями.
7. Дать определение поверхностного магнитного поля.
8. Как магнитное поле влияет на линий?
9. Что означает блендирование линий?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 6.

Интернет-ресурсы: 2, 4.

Тема 12. «Уширение линий вращением звезды»

Цель занятия: изучить уширение спектральных линий вращением звезд.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Какие механизмы уширения линий меняют их эквивалентные ширины, а какие нет и почему?
2. Почему вращение звезды приводит к уширению спектральных линий?
3. Напишите формулу для вычисления профиля линии во вращающихся звездах.
4. Что необходимо знать для вычисления профиля линии во вращающихся звездах?
5. Напишите закон потемнения диска к краю для Солнца.
6. Какую информацию о вращении звезд можно получить из наблюдений и как?
7. Что называют критической скоростью вращения?
8. Получите выражение для критической скорости вращения.
9. В чем особенности Ве звезд?
10. Как вращается Солнце?
11. Почему гиганты поздних спектральных классов вращаются быстрее, чем звезды главной последовательности тех же спектральных классов?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 6.

Интернет-ресурсы: 2, 4.

Тема 13. «Учет отклонений от ЛТР»

Цель занятия: изучить метод учета отклонений от ЛТР в атмосферах звезд.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Для каких звезд отклонения от ЛТР велики и почему?
2. Для каких линий отклонения от ЛТР надо учитывать во всех звездах?
3. К изменению каких физических законов приводят отклонения от ЛТР?
4. Напишите уравнение статического равновесия для i -го уровня.
5. Напишите выражение для вероятности радиативных переходов вверх.
6. Напишите выражение для вероятности радиативных переходов вниз.
7. Напишите выражение для вероятностей столкновительных переходов.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 6.

Интернет-ресурсы: 2, 4.

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Засов А.В., Постнов К.А., Общая астрофизика, Век 2, 2018.

Дополнительная литература:

1. Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики. М., Наука, 3-е изд., 1985.
2. Сахибуллин Н.А. Методы моделирования в астрофизике.
I. Звездные атмосферы. Казань, Фэн, 1997.
3. Ред. Михайлов А.А. Курс астрофизики и звездной астрономии. Т.2. 1964.
4. Мартынов Д.А. Курс общей астрофизики. 4-е изд., 1988.
5. Михалас Д. Звездные атмосферы. Т. 1,2. М., Мир, 1982.
6. Грей Д. Наблюдения и анализ звездных фотосфер. М., Мир, 1980.
7. Де Ягер К. Звезды наибольшей светимости. М., Мир, 1984.