

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

СТРОЕНИЕ ГАЛАКТИКИ

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. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)..
3. Наименование лабораторных занятий
4. Содержание лабораторных занятий
5. 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 изучения строения Галактики и формирование умения применять их к анализу конкретных объектов.

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

ПК-1 Способен применять фундаментальные знания в области физики и математики для постановки и решения научно-исследовательских и прикладных задач в своей профессиональной деятельности;

ПК-4 Способен проводить целенаправленную систематическую работу в области проектно-технологической деятельности

3. Наименование лабораторных занятий

№	Наименование разделов и тем дисциплины	Использование интерактивных форм	Зачетные единицы (часы)
7 семестр			
1	Тема 1. Общие сведения о строении Галактики	Решение проблемных задач	2
2	Тема 2. Методы изучения строения Галактики	Решение проблемных задач	2
3	Тема 3. Методы изучения Галактики в рентгеновском и гамма диапазонных.	Решение проблемных задач	2
4	Тема 4. Динамика звездных систем	Решение проблемных задач	2
5	Тема 5. Эффекты взаимодействия	Решение проблемных задач	2
6	Тема 6. Вращение Галактики	Решение проблемных задач	2
7	Тема 7. Вычисление гравитационного потенциала тела произвольной формы	Решение проблемных задач	2
8	Тема 8. Определение массы Галактики	Решение проблемных задач	2
9	Тема 9. Химическая эволюция Галактики	Решение проблемных	2

		задач	
10	Тема 10. Тепловое радиоизлучение Галактики.	Решение проблемных задач	3
11	Тема 11. Нетепловое радиоизлучение Галактики	Решение проблемных задач	2
12	Тема 12. Космические лучи	Решение проблемных задач	2
13	Тема 13. Магнитное поле Галактики	Решение проблемных задач	2
	Итого за семестр		27
	Итого		27

4. СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Тема 1 «Общие сведения о строении Галактики»

Цель занятия: изучить наблюдаемую структуру Галактики
Организационная форма занятия: семинар, решение задач

Задачи

1. Определить расстояния до избранных звезд околосолнечной окрестности методом годичных параллаксов.
2. Определить расстояния до избранных рассеянных звездных скоплений методом групповых параллаксов.
3. Определить расстояния до отдельных цефеид.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Назовите элементы структуры Галактики, видимые на небесной сфере.
2. Перечислите методы определения расстояний внутри Галактики.
3. Перечислите подсистемы Галактики и их основные характеристики.
4. Почему в гало нет газа?
5. Почему звезды в гало имеют сильно вытянутые орбиты?
6. Почему звезды с большим содержанием тяжелых элементов находятся в диске?
7. Что такое спиральные рукава?
8. Где находится Солнце в Галактике?
9. Как вращается Галактика?
10. Что такое «зона коротации», каковы ее особенности?

Литература дополнительная: 1, 2.

Интернет-ресурсы: 3, 4.

Тема 2. «Методы изучения строения Галактики»

Цель занятия: изучить методы изучения строения Галактики

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи

1. Доказать теорема Зеелигера.
2. Вывести формулу для определения полного числа звезд в Галактике.
3. Вывести формулу для определения межзвездного поглощения.
4. Вывести формулу, связывающую истинное и искаженное расстояния.
5. Вывести уравнения Шварцшильда.
6. Вывести систему уравнений для определения истинной звездной плотности.
7. Подсчитать полное число звезд на одной площадке неба на галактической широте 20° , зная коэффициенты $a=-5.520$, $b=0.744$, $c=0.0128$.
8. Подсчитать полное число звезд на одной площадке неба на галактической широте 40° , зная коэффициенты $a=-5.185$, $b=0.704$, $c=0.0135$.
9. Определить расстояние, искаженное межзвездным поглощением для истинного расстояния 100 пс в северном полушарии звездного неба. Взять $a = 2.2$ м/кпс, $\beta = 106$ пс.
10. Определить расстояние, искаженное межзвездным поглощением для истинного расстояния 10 пс в южном полушарии звездного неба. Взять $a = 2.2$ м/кпс, $\beta = 116$ пс.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Дайте определение дифференциальной и интегральной функции блеска. Какая связь между ними?
2. Какую функцию определял У. Гершель? Какие выводы сделал У. Гершель в результате наблюдений?
3. Сформулируйте теорему Зеелигера.
4. Дайте определение функции светимости.
5. Опишите наблюдаемую функцию светимости для звезд диска.
6. Напишите формулу, связывающую абсолютную и видимую звездные величины с учетом межзвездного поглощения.
7. Как связано истинное расстояние с искаженным из-за не учета межзвездного поглощения?

8. Напишите первое и второе уравнения Шварцшильда.
9. Напишите уравнение для определения звездной плотности по методу Зеелигера.
10. Какова истинная звездная плотность в околосолнечных окрестностях?
11. Напишите уравнение, связывающее дифференциальные функции блеска на разных галактических широтах.
12. Напишите уравнение, связывающее средний параллакс на разных галактических широтах.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 3.

Интернет-ресурсы: 2, 3.

Тема 3. «Изучение Галактики в рентгеновском и гамма диапазонах»

Цель занятия: изучить результаты исследований Галактики в жестких диапазонных длин волн.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи

1. Вычислить длину волны и частоту линии 511 КэВ.
2. Найти светимость источников аннигиляционного излучения в балдже.
3. По наблюдаемому сдвигу линии 511 КэВ рассчитать пекулярную скорость Солнца.
4. Рассчитать массу покоя электрона.
5. По ширине линии 511 КэВ найти температуру межзвездного газа.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Что такое позитроний?
2. Чем различаются ортопозитроний и парапозитроний?
3. Как происходит аннигиляция у ортопозитрония и парапозитрония?
4. В результате каких реакций может возникать линия с энергией 511 КэВ?
5. Перечислите механизмы рождения позитронов в Галактике.
6. Напишите реакции на космических лучах, приводящие к рождению позитронов.
7. Для решения каких задач была запущена обсерватория ИНТЕГРАЛ?
8. Что показала карта Галактики в линии 511 КэВ?
9. Как выглядит спектр аннигиляционного излучения в линии 511 КэВ?
10. Перечислите механизмы остывания позитронов и напишите соответствующие реакции.
11. Какие выводы можно сделать по спектру аннигиляционного излучения

Галактики?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 3.

Интернет-ресурсы: 1, 3, 4.

Тема 4. «Динамика звездных систем»

Цель занятия: изучить динамику звездных систем

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи

1. Вывести основное уравнение звездной динамики
2. Для стационарных систем найти 1-ый интеграл движения.
3. Для стационарных систем, имеющих вращательную симметрию, найти 2-ой интеграл движения.
4. Определить среднюю концентрацию звезд в Галактике.
5. Получить интегралы движения для стационарных систем со сферической симметрией.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Какие упрощающие предположения можно сделать, изучая динамику звездных скоплений и галактик?
2. Чем отличается звездный газ от обычных газов?
3. Какие силы называются регулярными и какие – нерегулярными?
4. Дайте определения основным функциям, используемым в динамике звездных систем. Напишите уравнения, связывающие их друг с другом.
5. Напишите уравнение движения тела, используемое в динамике звездных систем.
6. Напишите основное уравнение звездной динамики.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 3, 5.

Интернет-ресурсы: 1, 2, 4.

Тема 5. «Эффекты взаимодействия»

Цель занятия: изучить взаимодействие звезд в Галактике

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи

1. Определить минимальное расстояние между звездами с невозмущенными орбитами.
2. Определить среднее время между далекими сближениями.
3. Определить среднюю длину свободного пробега.
4. Определить радиус сферы действия и частоту тесных сближений в окрестностях Солнца.
5. Вычислить время, за которое кумулятивные эффекты от далеких сближений приводят к отклонению орбиты звезды от невозмущенной на 90 градусов.
6. Определить радиус сферы действия для звезд на периферии шаровых звездных скоплений.
7. Определить вероятность тесных сближений звезд на периферии шаровых звездных скоплений.
8. Определить прицельное расстояние, при котором орбита поворачивается на 1° , для звезд в окрестностях Солнца.
5. Определить среднее время между далекими сближениями и длину свободного пробега для звезд в окрестностях Солнца.
6. Определить угол отклонения орбиты от невозмущенной для прицельного расстояния равного среднему расстоянию между звездами околосолнечной окрестности.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Что называется сферой действия?
2. В каком случае нерегулярные силы преобладают над регулярными?
3. Какие сближения звезд называются тесными?
4. Напишите формулу для вероятности тесных сближений.
5. К чему приводят далекие сближения звезд?
6. Как определить угол поворота орбиты звезды при далеких сближениях звезд?
7. Как определить частоту далеких сближений, время между ними и длину среднего пробега между ними?
8. Что называется кумулятивным эффектом от далеких сближений? К чему он приводит?
9. Какое время нужно для поворота орбиты звезды на большой угол за счет многих малых возмущений?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 3, 7.

Интернет-ресурсы: 1, 3,

Тема 7. «Вращение Галактики»

Цель занятия: изучить особенности вращения Галактики

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи

1. Выразить зависимость скорости вращения от расстояния до центра Галактики через постоянные Оорта.
2. Вывести уравнение для исследования вращения Галактики по линии HI 21 см.
3. Выразить постоянные K_1 и K_2 через постоянные Оорта. Найти их численные значения для околосолнечных окрестностей.
4. Найти значение максимальной скорости вращения Галактики и соответствующее расстояние от центра.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Что называется центроидом, чем определяется его скорость?
2. Какая скорость называется пекулярной, чем она определяется?
3. Какова скорость центроида Солнца, полная скорость Солнца, средняя пекулярная скорость звезд в группе Солнца?
4. Напишите выражения для лучевой и тангенциальной относительных скоростей центроида, находящегося на расстоянии r от Солнца.
5. Напишите формулы, определяющие постоянные Оорта.
6. Чему равна разность постоянных Оорта?
7. Выразите относительные лучевую и тангенциальную скорости через постоянные Оорта.
8. Как можно найти из наблюдений лучевую и тангенциальную скорости?
9. Чему равны постоянные Оорта для центроида Солнца?
10. Выразите постоянные Оорта через угловую скорость вращения.
11. Что называется кривой вращения Галактики?
12. Объясните наблюдаемую кривую вращения Галактики.
13. Что называется эллипсоидом Шварцшильда?
14. Напишите формулу эллипсоида Шварцшильда.
15. Какова скорость убегания для звезд околосолнечной окрестности?
16. Что общего между распределением Шварцшильда и распределением Максвелла и чем они различаются и почему?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 4, 7.

Интернет-ресурсы: 3, 4

Тема 7. «Вычисление гравитационного потенциала твердого тела произвольной формы»

Цель занятия: вывести формулу Мак-Калуфа

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи

1. Вывести формулу для вычисления гравитационного потенциала тела произвольной формы вне этого тела
2. Вывести формулу для вычисления силы, действующей на пробную массу, находящуюся внутри однородного сплошного сферического тела.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Напишите формулы для гравитационного потенциала точечной массы и для системы из N точечных масс в произвольной точке.
2. Выразите гравитационный потенциал произвольного тела через полиномы Лежандра.
3. Напишите формулы для моментов инерции тела относительно 3-х декартовых осей координат и относительно центра масс тела.
4. Напишите формулу Мак-Калфа. Для каких тел ее можно применять?
5. Чему равен гравитационный потенциал сферически-симметричного тела и почему?
6. Чему равна гравитационная сила, действующая на пробную точечную массу со стороны внешних слоев сферически-симметричного однородного тела?
7. Напишите выражение для гравитационной силы, действующей со стороны сплошного шара на точечную массу, находящуюся внутри него.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 3, 5.

Интернет-ресурсы: 1, 3, 4.

Тема 8. «Определение массы Галактики»

Цель занятия: определить массу Галактики методом Оорта

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи

1. Вывести формулы, связывающие постоянные Оорта с гравитационной силой.
2. Вывести формулы для вычисления масс двух компонент Галактики.
3. По расстоянию до центра Галактики и скорости движения Солнца по галактической орбите оценить массу Галактики.

4. Найти отношение сил гравитации от двух компонент Галактики, действующих на Солнце. (В рамках гипотезы Оорта)
5. Получить выражение для силы гравитации, действующей на Солнце со стороны 2-ой компоненты Галактики, в предположении, что она имеет форму 2-х осного эллипсоида.
6. Вычислить массы двух компонент Галактики в рамках гипотезы Оорта.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Выразите постоянные Оорта через регулярную силу гравитации действующую на Солнце.
2. Сформулируйте гипотезу Оорта.
3. Выразите постоянные Оорта через две компоненты гравитационных сил, действующих на Солнце.
4. Чему равно отношение этих сил?
5. Чему равны массы двух компонент Галактики в соответствии с приближением Оорта?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 4.

Интернет-ресурсы: 3, 4.

Тема 9. “Химическая эволюция Галактики”

Цель занятия: изучить процессы, изменяющие химический состав межзвездной среды и звезд в Галактике

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи

1. Получить уравнение для числа звезд с данной массой, живущих сегодня.
2. Получить уравнение для скорости изменения массы, входящей в звезды.
3. Получить уравнение для полной массы тяжелых элементов в локальном объеме Галактики.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Сформулируйте главную идею теории химической эволюции Галактики.
2. Что называется начальной функцией масс? Как она нормируется?
3. Что называется функцией Солпитера?
4. Что известно сейчас о начальной функции масс?

5. Что называется скоростью звездообразования?
6. Напишите выражения для числа наблюдаемых звезд с фиксированной массой для массивных и маломассивных звезд.
7. Напишите выражения для полной массы всех массивных и маломассивных звезд.
8. Какие звезды вносят определяющий вклад в химическую эволюцию Галактики?
9. Напишите выражение для скорости изменения массы всех звезд.
10. Напишите выражение для скорости выноса тяжелых элементов из звезды.
11. Напишите выражение для массы тяжелых элементов в Галактике. Приведите современные данные о распределении тяжелых элементов

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 3.

Интернет-ресурсы: 3, 4.

Тема 10. «Тепловое радиоизлучение Галактики»

Цель занятия: изучить методы регистрации теплового излучения Галактики и приносимую им информацию.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи

1. Доказать, что тепловое излучение зон НII лежит в радиодиапазоне.
2. Определить меру эмиссии зоны НII.
3. Определить протяженность зоны НII.
4. Рассчитать частоту излома в спектре теплового излучения от зоны НII.
5. Рассчитать энергию, в ЭВ, соответствующую переходу с $\lambda = 21$ см и частоту излучения в этой линии.
6. Найти тепловую скорость движения атомов в зонах НI.
7. Найти тепловую скорость движения атомов, соответствующую наблюдаемой ширине линии НI 21 см.
8. Рассчитать естественную ширину линии НI 21 см.
9. Определить ширину рекомбинационной линии НI 1 см, вызванную тепловым движением атомов.
10. Найти минимальное главное квантовое число, соответствующее уровню, при переходе на который могут образовываться рекомбинационные линии излучения НI с $\lambda > 1$ см.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Получите формулу для функции Планка в радиодиапазоне.

2. Выведите формулу для выходящей интенсивности излучения из зоны НII.
3. Назовите механизмы излучения и поглощения в зонах НII.
4. Напишите формулу для коэффициента поглощения в радиодиапазоне в зоне НII.
5. Дайте определение яркостной температуры.
6. Получите связь между яркостной и электронной температурой.
7. Рассмотрите два частных случая оптически толстого и оптически тонкого облака.
8. Какова зависимость интенсивности выходящего радиоизлучения от частоты?
9. Что называется мерой эмиссии?
10. Как можно определить меру эмиссии из наблюдений?
11. Каков механизм образования рекомбинантных радиолиний? Где они возникают?
12. Напишите формулу Ридберга и получить ее упрощения для радиодиапазона.
13. Перечислите механизмы уширения рекомбинантных радиолиний.
14. Какую информацию о межзвездной среде можно получить по рекомбинантным радиолиниям?
15. Где возникает линия излучения HI 21 см? Какова ее природа?
16. Найдите населенность верхнего подуровня линии 21 см.
17. Перечислите механизмы уширения линии излучения HI 21 см.
18. Как возникает линия поглощения HI 21 см.?
19. Получите формулу для интенсивности в линии поглощения HI 21 см.
20. Какова будет интенсивность линии, если несколько облаков HI попадают на луч зрения?
21. Перечислите механизмы уширения линии поглощения HI 21 см.
22. Как можно определить напряженность магнитного поля Галактики по этой линии?
23. Как можно изучать вращение Галактики по линии поглощения HI 21 см?
24. Получите основное уравнение для изучения вращения Галактики по линии HI 21 см.
25. Нарисуйте и объясните кривую вращения Галактики.
26. Как можно объяснить наблюдаемую кривую вращения Галактики?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 3, 4.

Интернет-ресурсы: 1, 4.

Тема 11. «Нетепловое излучение Галактики»

Цель занятия: изучить физическую природу нетеплового излучения Галактики.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи

1. Определить частоту плазменных колебаний.
2. Определить параметры синхротронного излучения электрона с фактором Лоренца 10^3 , движущегося в межзвездном магнитном поле
3. Рассчитать для этого электрона время, за которое он потеряет половину своей энергии на синхротронное излучение.
4. Рассчитать степень поляризации синхротронного излучения в однородном магнитном поле.
5. Определить напряженность магнитного поля Галактики по яркостной температуре синхротронного излучения.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Перечислите типы теплового радиоизлучения Галактики и его источники.
2. Каковы источники космического нетеплового излучения?
3. Какова природа космического нетеплового излучения?
4. Как по наблюдениям отличить нетепловое излучения от теплового?
5. Какова частота плазменных колебаний?
6. Какое излучение называется магнитотормозным?
7. Напишите основные формулы для магнитотормозного излучения.
8. Чем отличается синхронное излучение от магнитотормозного?
9. Напишите основные формулы для синхротронного излучения.
10. Выведите формулу изменения энергии электрона за счет синхротронного излучения.
11. Определите время, за которое электрон теряет половину энергии на излучение.
12. Какова поляризация синхротронного излучения?
13. Как определяются степень поляризации и три других параметра Стокса?
14. Получите формулу для коэффициента синхротронного излучения в однородном магнитном поле.
15. Получите выражение для интенсивности синхротронного излучения в однородном магнитном поле.
16. Каков физический смысл наблюдаемого спектрального индекса синхротронного излучения?
17. Получите выражение для коэффициента поглощения синхротронного излучения.
18. Чем вызван эффект обрезания синхротронного излучения на низких частотах?
19. Каков физический смысл Фарадеева вращения?
20. Получить выражение для яркостной температуры синхротронного излучения

в диапазоне $30\text{см} < \lambda < 10\text{м}$.

21. Получите выражение для интенсивности синхротронного излучения в однородной и прозрачной межзвездной среде.
22. Напишите полную систему уравнений для синхротронного излучения в однородном магнитном поле.
23. Каково происхождение релятивистских электронов в Галактике?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 6.

Интернет-ресурсы: 2, 4.

Тема 12. «Космические лучи»

Цель занятия: изучить физическую природу космических лучей
Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи

1. Написать систему ядерных реакций дробления первичных космических лучей в земной атмосфере.
2. Рассчитать интегральную интенсивность космических лучей.
3. Рассчитать время блуждания космических лучей в Галактике.
4. Рассчитать суммарную мощность источников космических лучей.
5. Рассчитать, во сколько раз ослабляется интегральная интенсивность первичных космических лучей в атмосфере Земли.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Как были открыты космические лучи?
2. Какие эффекты доказывают, что космические лучи состоят из заряженных частиц?
3. Какие космические лучи называются вторичными?
4. Каков состав первичных космических лучей?
5. Напишите реакции взаимодействия первичных космических лучей с ядрами молекул атмосферы Земли.
6. Каков состав вторичных космических лучей?
7. Что называется интегральной интенсивностью космических лучей?
8. Получите формулу для ослабления интенсивности первичных космических лучей в атмосфере Земли.
9. Как распределены первичные космические лучи в пространстве?
10. Как возникает гамма излучение от первичных космических лучей?
11. Дайте определения характеристикам космических лучей.
12. Чему равны интегральная интенсивность, концентрация и плотность энергии первичных космических лучей?

13. Каков спектр первичных космических лучей?
14. Какова мощность интегральной энергии и распределение по энергии космических лучей от Солнца и звезд?
15. Какова мощность интегральной энергии космических лучей от вспышек сверхновых?
16. Почему наблюдается изотропия первичных космических лучей?
17. Каков химический состав первичных космических лучей?
18. Напишите реакции, объясняющие избыток легких элементов в первичных космических лучах.
19. Как определить время блуждания космических лучей в Галактике?
20. Рассчитайте энергетическую мощность галактических источников первичных космических лучей.
21. Как можно объяснить происхождение космических лучей со сверхвысокой энергией?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 6.

Интернет-ресурсы: 2, 4.

Тема 13. «Магнитное поле Галактики»

Цель занятия: изучить магнитное поле Галактики

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Задачи

1. Вычислить степень поляризации излучения звезд из-за влияния межзвездного магнитного поля.
2. Рассчитать угол поворота плоскости поляризации и степень поляризации с учетом эффекта Фарадея.
3. Рассчитать расщепление рекомбинационной линии H I 1 см в межзвездном магнитном поле.

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Каково происхождение магнитного поля Галактики?
2. Почему космические лучи изотропно распределены в пространстве?
3. Как по наблюдаемой концентрации первичных космических лучей можно определить напряженность глобального магнитного поля Галактики?
4. Каков состав первичных космических лучей и почему?
5. Какова структура магнитного поля Галактики?
6. Почему интенсивность синхротронного излучения из спиральных рукавов больше, чем из межрукавного пространства?
7. Какие эффекты уменьшают поляризацию синхротронного излучения?

8. Что называют мерой вращения?
9. Чем вызвана поляризация излучения далеких звезд?
10. Почему поляризовано излучение в линии H1 21см.
11. Нарисуйте диаграмму Гроттриана для водорода в магнитном поле.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 6.

Интернет-ресурсы: 2, 4.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература:

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

Дополнительная литература:

1. Марочник Л.С., Сучков А.А. Галактика. М., Наука, 1984.
2. Верскер Г.Л., Келлерман К.И. (Ред.) Галактическая и внегалактическая радиоастрономия. М., Мир, 1976.
3. Кинг А.Р. Введение в классическую звездную динамику. М., УРСС, 2002.
4. Спитцер Л. Физические процессы в межзвездной среде. М., Мир, 1981.
5. Гинзбург В.Л. УФН, Т. 171, С. 1107, 2001.
6. Куликовский П.Г. Звездная астрономия. М., Наука, 1978.

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»

СТРОЕНИЕ ГАЛАКТИКИ

**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):

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

ИД-1_{ПК-1}

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

ИД-2_{ПК-1}

использует знания в области медицинской физики для разработки методов нахождения решения поставленных профессиональных задач.

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

ИД-4_{ПК-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-1_{ПК-4}

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

ИД-2_{ПК-4}

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

ИД-3_{ПК-4}

умеет выстроить стратегию достижения поставленных целей, цикла жизни

проекта, возникающие риски.

ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

№	Наименование разделов и тем дисциплины, их краткое содержание	Использование интерактивных форм	Зачетные единицы (часы)
7 семестр			
1	Тема 1. Общие сведения о строении Галактики Определить расстояния до избранных звезд околосолнечной окрестности методом годичных параллакс. Определить расстояния до избранных рассеянных звездных скоплений методом групповых параллакс. Определить расстояния до отдельных цефеид.	Решение проблемных задач	2
2	Тема 2. Методы изучения строения Галактики Доказать теорема Зеелигера. Вывести формулу для определения полного числа звезд в Галактике. Вывести формулу для определения межзвездного поглощения. Вывести формулу, связывающую истинное и искаженное расстояния. Вывести уравнения Шварцшильда. Вывести систему уравнений для определения истинной звездной плотности.	Решение проблемных задач	2
3	Тема 3. Методы изучения Галактики в рентгеновском и гамма диапазонных. Вычислить длину волны λ частоту линии 511 КэВ. Найти светимость источников аннигиляционного излучения а балдже. По наблюдаемому сдвигу линии 511 КэВ рассчитать пекулярную скорость Солнца. Рассчитать массу покоя электрона. По ширине лени 511 КэВ найти температуру межзвездного газа.	Решение проблемных задач	2
4	Тема 4. Динамика звездных систем Вывести основное уравнение звездной динамики Для стационарных систем найти 1-ый интеграл движения. Для стационарных систем, имеющих вращательную симметрию, нацти 2-ой интеграл движения. Определить среднюю концентрацию звезд в Галактике.	Решение проблемных задач	2
5	Тема 5. Эффекты взаимодействия Определить минимальное расстояние между	Решение проблемных	2

	звездами с невозмущенными орбитами. Определить среднее время между далекими сближениями. Определить среднюю длину свободного пробега. Определить радиус сферы действия и частоту тесных сближений в окрестностях Солнца. Вычислить время, за которое кумулятивные эффекты от далеких сближений приводят к отклонению орбиты звезды от невозмущенной на 90 градусов.	задач	
6	Тема 6. Вращение Галактики Выразить зависимость скорости вращения от расстояния до центра Галактики через постоянные Оорта. Вывести уравнение для исследования вращения Галактики по линии HI 21 см.	Решение проблемных задач	2
7	Тема 7. Вычисление гравитационного потенциала тела произвольной формы Вывести формулу для вычисления гравитационного потенциала тела произвольной формы вне этого тела Вывести формулу для вычисления силы, действующей на пробную массу, находящуюся внутри однородного сплошного сферического тела.	Решение проблемных задач	2
8	Тема 8. Определение массы Галактики Вывести формулы, связывающие постоянные Оорта с гравитационной силой. Вывести формулы для вычисления масс двух компонент Галактики.	Решение проблемных задач	2
9	Тема 9. Химическая эволюция Галактики Получить уравнение для числа звезд с данной массой, живущих сегодня. Получить уравнение для скорости изменения массы, входящей в звезды. Получить уравнение для полной массы тяжелых элементов в локальном объеме Галактики.	Решение проблемных задач	2
10	Тема 10. Тепловое радиоизлучение Галактики. Доказать, что тепловое излучение зон НII лежит в радиодиапазоне. Определить меру эмиссии зоны НII. Определить протяженность зоны НII. Рассчитать частоту излома в спектре теплового излучения от зоны НII. Рассчитать энергию, в ЭВ, соответствующую переходу с $\lambda=21\text{см}$ и частоту излучения в этой линии. Найти тепловую скорость движения атомов в зонах НI.	Решение проблемных задач	3

	Найти тепловую скорость движения атомов, соответствующую наблюдаемой ширине линии H I 21 см. Рассчитать естественную ширину линии H I 21 см. Определить ширину рекомбинационной линии H I 1 см, вызванную тепловым движением атомов. Найти минимальное главное квантовое число, соответствующее уровню, при переходе на который могут образовываться рекомбинационные линии излучения H I с $\lambda > 1$ см.		
11	Тема 11. Нетепловое радиоизлучение Галактики Определить частоту плазменных колебаний. Определить параметры синхротронного излучения электрона с фактором Лоренца 10^3, движущегося в межзвездном магнитном поле Рассчитать для этого электрона время, за которое он потеряет половину своей энергии на синхротронное излучение. Рассчитать степень поляризации синхротронного излучения в однородном магнитном поле. Определить напряженность магнитного поля Галактики по яркостной температуре синхротронного излучения.	Решение проблемных задач	2
12	Тема 12. Космические лучи Написать систему ядерных реакций дробления первичных космических лучей в земной атмосфере. Рассчитать интегральную интенсивность космических лучей. Рассчитать время блуждания космических лучей в Галактике. Рассчитать суммарную мощность источников космических лучей. Рассчитать, во сколько раз ослабляется интегральная интенсивность первичных космических лучей в атмосфере Земли.	Решение проблемных задач	2
13	Тема 13. Магнитное поле Галактики Вычислить степень поляризации излучения звезд из-за влияния межзвездного магнитного поля. Рассчитать угол поворота плоскости поляризации и степень поляризации с учетом эффекта Фарадея. Рассчитать расщепление рекомбинационной	Решение проблемных задач	2

	линии HI 1 см в межзвездном магнитном поле.		
	Итого за семестр		27
	Итого		27

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

Тема 1 «Общие сведения о строении Галактики»

Цель занятия: изучить наблюдаемую структуру Галактики
Организационная форма занятия: семинар, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Назовите элементы структуры Галактики, видимые на небесной сфере.
11. Перечислите методы определения расстояний внутри Галактики.
12. Перечислите подсистемы Галактики и их основные характеристики.
13. Почему в гало нет газа?
14. Почему звезды в гало имеют сильно вытянутые орбиты?
15. Почему звезды с большим содержанием тяжелых элементов находятся в диске?
16. Что такое спиральные рукава?
17. Где находится Солнце в Галактике?
18. Как вращается Галактика?
19. Что такое «зона коротации», каковы ее особенности?

Литература дополнительная: 1, 2.

Интернет-ресурсы: 3, 4.

Тема 2. «Методы изучения строения Галактики»

Цель занятия: изучить методы изучения строения Галактики
Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Дайте определение дифференциальной и интегральной функции блеска. Какая связь между ними?
2. Какую функцию определял У. Гершель? Какие выводы сделал У. Гершель в результате наблюдений?
3. Сформулируйте теорему Зеелигера.
4. Дайте определение функции светимости.
5. Опишите наблюдаемую функцию светимости для звезд диска.

6. Напишите формулу, связывающую абсолютную и видимую звездные величины с учетом межзвездного поглощения.
7. Как связано истинное расстояние с искаженным из-за не учета межзвездного поглощения?
8. Напишите первое и второе уравнения Шварцшильда.
9. Напишите уравнение для определения звездной плотности по методу Зеелигера.
10. Какова истинная звездная плотность в околосолнечных окрестностях?
11. Напишите уравнение, связывающее дифференциальные функции блеска на разных галактических широтах.
12. Напишите уравнение, связывающее средний параллакс на разных галактических широтах.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 3.

Интернет-ресурсы: 2, 3.

Тема 3. «Изучение Галактики в рентгеновском и гамма диапазонах»

Цель занятия: изучить результаты исследований Галактики в жестких диапазонных длин волн.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Что такое позитроний?
2. Чем различаются ортопозитроний и парапозитроний?
3. Как происходит аннигиляция у ортопозитрония и парапозитрония?
4. В результате каких реакций может возникать линия с энергией 511 КэВ?
5. Перечислите механизмы рождения позитронов в Галактике.
6. Напишите реакции на космических лучах, приводящие к рождению позитронов.
7. Для решения каких задач была запущена обсерватория ИНТЕГРАЛ?
8. Что показала карта Галактики в линии 511 КэВ?
9. Как выглядит спектр аннигиляционного излучения в линии 511 КэВ?
10. Перечислите механизмы остывания позитронов и напишите соответствующие реакции.
11. Какие выводы можно сделать по спектру аннигиляционного излучения Галактики?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 3.

Интернет-ресурсы: 1, 3, 4.

Тема 4. «Динамика звездных систем»

Цель занятия: изучить динамику звездных систем

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Какие упрощающие предположения можно сделать, изучая динамику звездных скоплений и галактик?
7. Чем отличается звездный газ от обычных газов?
8. Какие силы называются регулярными и какие – нерегулярными?
9. Дайте определения основным функциям, используемым в динамике звездных систем. Напишите уравнения, связывающие их друг с другом.
10. Напишите уравнение движения тела, используемое в динамике звездных систем.
11. Напишите основное уравнение звездной динамики.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 3, 5.

Интернет-ресурсы: 1, 2, 4.

Тема 5. «Эффекты взаимодействия»

Цель занятия: изучить взаимодействие звезд в Галактике

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Что называется сферой действия?
2. В каком случае нерегулярные силы преобладают над регулярными?
3. Какие сближения звезд называются тесными?
4. Напишите формулу для вероятности тесных сближений.
5. К чему приводят далекие сближения звезд?
6. Как определить угол поворота орбиты звезды при далеких сближениях звезд?
7. Как определить частоту далеких сближений, время между ними и длину среднего пробега между ними?
8. Что называется кумулятивным эффектом от далеких сближений? К чему он приводит?
9. Какое время нужно для поворота орбиты звезды на большой угол за счет многих малых возмущений?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 3, 7.

Интернет-ресурсы: 1, 3,

Тема 7. «Вращение Галактики»

Цель занятия: изучить особенности вращения Галактики
Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Что называется центроидом, чем определяется его скорость?
2. Какая скорость называется пекулярной, чем она определяется?
3. Какова скорость центроида Солнца, полная скорость Солнца, средняя пекулярная скорость звезд в группе Солнца?
4. Напишите выражения для лучевой и тангенциальной относительных скоростей центроида, находящегося на расстоянии r от Солнца.
5. Напишите формулы, определяющие постоянные Оорта.
6. Чему равна разность постоянных Оорта?
7. Выразите относительные лучевую и тангенциальную скорости через постоянные Оорта.
8. Как можно найти из наблюдений лучевую и тангенциальную скорости?
9. Чему равны постоянные Оорта для центроида Солнца?
10. Выразите постоянные Оорта через угловую скорость вращения.
11. Что называется кривой вращения Галактики?
12. Объясните наблюдаемую кривую вращения Галактики.
13. Что называется эллипсоидом Шварцшильда?
14. Напишите формулу эллипсоида Шварцшильда.
15. Какова скорость убегания для звезд окосолнечной окрестности?
16. Что общего между распределением Шварцшильда и распределением Максвелла и чем они различаются и почему?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 4, 7.

Интернет-ресурсы: 3, 4

Тема 7. «Вычисление гравитационного потенциала твердого тела произвольной формы»

Цель занятия: вывести формулу Мак-Калуфа
Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

8. Напишите формулы для гравитационного потенциала точечной массы и для системы из N точечных масс в произвольной точке.
9. Выразите гравитационный потенциал произвольного тела через полиномы Лежандра.

10. Напишите формулы для моментов инерции тела относительно 3-х декартовых осей координат и относительно центра масс тела.
11. Напишите формулу Мак-Калфа. Для каких тел ее можно применять?
12. Чему равен гравитационный потенциал сферически-симметричного тела и почему?
13. Чему равна гравитационная сила, действующая на пробную точечную массу со стороны внешних слоев сферически-симметричного однородного тела?
14. Напишите выражение для гравитационной силы, действующей со стороны сплошного шара на точечную массу, находящуюся внутри него.

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 3, 5.

Интернет-ресурсы: 1, 3, 4.

Тема 8. «Определение массы Галактики»

Цель занятия: определить массу Галактики методом Оорта

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

6. Выразите постоянные Оорта через регулярную силу гравитации действующую на Солнце.
7. Сформулируйте гипотезу Оорта.
8. Выразите постоянные Оорта через две компоненты гравитационных сил действующих на Солнце.
9. Чему равно отношение этих сил?
10. Чему равны массы двух компонент Галактики в соответствии с приближением Оорта?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 4.

Интернет-ресурсы: 3, 4.

Тема 9. “Химическая эволюция Галактики”

Цель занятия: изучить процессы, изменяющие химический состав межзвездной среды и звезд в Галактике

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

12. Сформулируйте главную идею теории химической эволюции Галактики.
 13. Что называется начальной функцией масс? Как она нормируется?
 14. Что называется функцией Солпитера?
 15. Что известно сейчас о начальной функции масс?
 16. Что называется скоростью звездообразования?
 17. Напишите выражения для числа наблюдаемых звезд с фиксированной массой для массивных и маломассивных звезд.
 18. Напишите выражения для полной массы всех массивных и маломассивных звезд.
 19. Какие звезды вносят определяющий вклад в химическую эволюцию Галактики?
 20. Напишите выражение для скорости изменения массы всех звезд.
 21. Напишите выражение для скорости выноса тяжелых элементов из звезды.
 22. Напишите выражение для массы тяжелых элементов в Галактике.
- Приведите современные данные о распределении тяжелых элементов

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 2, 3.

Интернет-ресурсы: 3, 4.

Тема 10. «Тепловое радиоизлучение Галактики»

Цель занятия: изучить методы регистрации теплового излучения Галактики и приносимую им информацию.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

7. Получите формулу для функции Планка в радиодиапазоне.
8. Выведите формулу для выходящей интенсивности излучения из зоны НII.
9. Назовите механизмы излучения и поглощения в зонах НII.
10. Напишите формулу для коэффициента поглощения в радиодиапазоне в зоне НII.
11. Дайте определение яркостной температуры.
12. Получите связь между яркостной и электронной температурой.
7. Рассмотрите два частных случая оптически толстого и оптически тонкого облака.
8. Какова зависимость интенсивности выходящего радиоизлучения от частоты?
9. Что называется мерой эмиссии?
10. Как можно определить меру эмиссии из наблюдений?
11. Каков механизм образования рекомбинантных радиолиний? Где они возникают?

12. Напишите формулу Ридберга и получить ее упрощения для радиодиапазона.
13. Перечислите механизмы уширения рекомбинантных радиолиний.
14. Какую информацию о межзвездной среде можно получить по рекомбинантным радиолиниям?
 20. Где возникает линия излучения HI 21 см? Какова ее природа?
 21. Найдите населенность верхнего подуровня линии 21 см.
 22. Перечислите механизмы уширения линии излучения HI 21 см.
 23. Как возникает линия поглощения HI 21 см.?
 24. Получите формулу для интенсивности в линии поглощения HI 21 см.
 20. Какова будет интенсивность линии, если несколько облаков HI попадают на луч зрения?
 27. Перечислите механизмы уширения линии поглощения HI 21 см.
 28. Как можно определить напряженность магнитного поля Галактики по этой линии?
 29. Как можно изучать вращение Галактики по линии поглощения HI 21 см?
 30. Получите основное уравнение для изучения вращения Галактики по линии HI 21 см.
 31. Нарисуйте и объясните кривую вращения Галактики.
 32. Как можно объяснить наблюдаемую кривую вращения Галактики?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 3, 4.

Интернет-ресурсы: 1, 4.

Тема 11. «Нетепловое излучение Галактики»

Цель занятия: изучить физическую природу нетеплового излучения Галактики.

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Перечислите типы теплового радиоизлучения Галактики и его источники.
2. Каковы источники космического нетеплового излучения?
3. Какова природа космического нетеплового излучения?
4. Как по наблюдениям отличить нетепловое излучения от теплового?
5. Какова частота плазменных колебаний?
6. Какое излучение называется магнитотормозным?
7. Напишите основные формулы для магнитотормозного излучения.
8. Чем отличается синхронное излучение от магнитотормозного?
9. Напишите основные формулы для синхротронного излучения.
10. Выведите формулу изменения энергии электрона за счет синхротронного излучения.

11. Определите время, за которое электрон теряет половину энергии на излучение.
12. Какова поляризация синхротронного излучения?
13. Как определяются степень поляризации и три других параметра Стокса?
14. Получите формулу для коэффициента синхротронного излучения в однородном магнитном поле.
15. Получите выражение для интенсивности синхротронного излучения в однородном магнитном поле.
16. Каков физический смысл наблюдаемого спектрального индекса синхротронного излучения?
17. Получите выражение для коэффициента поглощения синхротронного излучения.
18. Чем вызван эффект обрезания синхротронного излучения на низких частотах?
19. Каков физический смысл Фарадеева вращения?
20. Получить выражение для яркостной температуры синхротронного излучения в диапазоне $30\text{ см} < \lambda < 10\text{ м}$.
21. Получите выражение для интенсивности синхротронного излучения в однородной и прозрачной межзвездной среде.
22. Напишите полную систему уравнений для синхротронного излучения в однородном магнитном поле.
23. Каково происхождение релятивистских электронов в Галактике?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 6.

Интернет-ресурсы: 2, 4.

Тема 12. «Космические лучи»

Цель занятия: изучить физическую природу космических лучей
Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Как были открыты космические лучи?
2. Какие эффекты доказывают, что космические лучи состоят из заряженных частиц?
3. Какие космические лучи называются вторичными?
4. Каков состав первичных космических лучей?
5. Напишите реакции взаимодействия первичных космических лучей с ядрами молекул атмосферы Земли.
6. Каков состав вторичных космических лучей?
7. Что называется интегральной интенсивностью космических лучей?

8. Получите формулу для ослабления интенсивности первичных космических лучей в атмосфере Земли.
9. Как распределены первичные космические лучи в пространстве?
10. Как возникает гамма излучение от первичных космических лучей?
11. Дайте определения характеристикам космических лучей.
12. Чему равны интегральная интенсивность, концентрация и плотность энергии первичных космических лучей?
13. Каков спектр первичных космических лучей?
14. Какова мощность интегральной энергии и распределение по энергии космических лучей от Солнца и звезд?
15. Какова мощность интегральной энергии космических лучей от вспышек сверхновых?
16. Почему наблюдается изотропия первичных космических лучей?
17. Каков химический состав первичных космических лучей?
18. Напишите реакции, объясняющие избыток легких элементов в первичных космических лучах.
19. Как определить время блуждания космических лучей в Галактике?
20. Рассчитайте энергетическую мощность галактических источников первичных космических лучей.
21. Как можно объяснить происхождение космических лучей со сверхвысокой энергией?

Литература основная: 1.

Литература дополнительная: 1, 6.

Интернет-ресурсы: 2, 4.

Тема 13. «Магнитное поле Галактики»

Цель занятия: изучить магнитное поле Галактики

Организационная форма занятия: дискуссия, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

12. Каково происхождение магнитного поля Галактики?
13. Почему космические лучи изотропно распределены в пространстве?
14. Как по наблюдаемой концентрации первичных космических лучей можно определить напряженность глобального магнитного поля Галактики?
15. Каков состав первичных космических лучей и почему?
16. Какова структура магнитного поля Галактики?
17. Почему интенсивность синхротронного излучения из спиральных рукавов больше, чем из межрукавного пространства?
18. Какие эффекты уменьшают поляризацию синхротронного излучения?
19. Что называют мерой вращения?

20. Чем вызвана поляризация излучения далеких звезд?
21. Почему поляризовано излучение в линии H1 21 см.
22. Нарисуйте диаграмму Гротриана для водорода в магнитном поле.

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, 2011.

Дополнительная литература:

1. Марочник Л.С., Сучков А.А. Галактика. М., Наука, 1984.
2. Верскер Г.Л., Келлерман К.И. (Ред.) Галактическая и внегалактическая радиоастрономия. М., Мир, 1976.
3. Кинг А.Р. Введение в классическую звездную динамику. М., УРСС, 2002.
4. Спитцер Л. Физические процессы в межзвездной среде. М., Мир, 1981.
5. Гинзбург В.Л. УФН, Т. 171, С. 1107, 2001.
6. Куликовский П.Г. Звездная астрономия. М., Наука, 1978.

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.