|  |
| --- |
| Федеральное государственное бюджетное образовательное  учреждение высшего образования  Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова |

Физический факультет

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**(межфакультетского учебного курса)**

**Рентгеновское небо**

**X-ray Sky**

*наименование дисциплины*

**Уровень высшего образования:** бакалавриат, магистратура, специалитет

**Направление подготовки:** все направления

*(код и название направления)*

**Профиль (направленность) ОПОП:** все

*(название направленности)*

Форма обучения: очная

**Автор:** Сейфина Елена Викторовна

Москва 2024

**1. Цель освоения дисциплины – требования к результатам освоения дисциплины:**

Дисциплина направлена на формирование у студента компетенций:

– умение, используя междисциплинарные системные связи наук, самостоятельно выделять и решать основные проблемы с целью планирования устойчивого развития;

– владение методологией научных исследований рентгеновских космических объектов при помощи физических методов;

– владение системой современных знаний в области рентгеновской астрономии в объёме, необходимом для успешной профессиональной деятельности и возможности образования в течение всей жизни.

**2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО:**

Дисциплина **«Рентгеновское небо»** относится к вариативной части основной профессиональной образовательной программы высшего образования по всем направлениям бакалавриата и магистратуры, специалитета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Период – **1 (один) семестр обучения**, 1 з.е. / 36 часов.

**3. Объем дисциплины составляет:**

Объем дисциплины – 1 з.е. / 36 часов, включая 24 часа на занятия лекционного типа, 12 часов на самостоятельную работу обучающегося. Вид промежуточной аттестации – **зачет**.

**4. Тематический план: структура дисциплины по темам с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в соответствии с учебным планом)**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование**  **разделов и тем дисциплины,**  **Форма промежуточной**  **аттестации по дисциплине** | **Номинальные трудозатраты**  **обучающегося** | | | **Всего академических часов** | **Форма текущего контроля успеваемости[[1]](#footnote-1) \*** |
| **Контактная работа  (работа во взаимодействии с преподавателем)**  **Виды контактной работы, академические часы** | | **Самостоя-тельная**  **работа**  **обучаю-**  **щегося,**  **академи-**  **ческие**  **часы** |
| **Занятия**  **лекционного**  **типа** | **Занятия**  **семинарского**  **типа / (в**  **интерактивной форме)** |
| Тема 1. Основные проблемы рентгеновской астрофизики. Космические угрозы | 2 | - | 1 | 3 | В, Д |
| Тема 2. Космические детекторы рентгеновского и гамма излучения | 2 | - | 1 | 3 | В, Д |
| Тема 3. Черные дыры и нейтронные звезды в рентгеновских лучах | 2 | - | 1 | 3 | В, Д |
| Тема 4. Белые карлики в рентгеновском диапазоне | 2 | - | 1 | 3 | В, Д |
| Тема 5. Солнце, экзопланеты, Сатурн, Юпитер, ядра комет в рентгеновских лучах | 2 | - | 1 | 3 | В, Д |
| Тема 6. Формирование рентгеновского излучения в условиях двойных звездных систем | 2 | - | 1 | 3 | В, Д |
| Тема 7. Классификация рентгеновских спектральных состояний черных дыр | 2 | - | 1 | 3 | В, Д |
| Тема 8. Рентгеновский диффузионный фон Галактики | 2 | - | 1 | 3 | В, Д |
| Тема 9. Двойные черные дыры в центрах галактик: гипотезы и наблюдения | 2 | - | 1 | 3 | В, Д |
| Тема 10. Исследование ЧД промежуточных масс в рентгеновском диапазоне | 2 | - | 1 | 3 | В, Д |
| Тема 11. Приливные разрушения звезд черными дырами | 2 | - | 1 | 3 | В, Д |
| Тема 12. Особенности рентгеновских спектров ЧД в центрах галактик | 2 | - | 1 | 3 | В, Д |
| Промежуточная аттестация:  **Зачет** |  |  |  |  | ПК, КО, П |
| **Итого** | **24** | **-** | **12** | **36** |  |

**5. Содержание разделов, тем дисциплины: краткое содержание дисциплины (темы** **межфакультетского учебного курса):**

**Раздел I.**

**Основные проблемы рентгеновской астрофизики. Космические угрозы**

1. История рентгеновской астрономии (кратко). Определение границ диапазонов для жесткого, классического и мягкого рентгеновского излучения (РИ). Поглощение РИ земной атмосферой. Основные источники космического рентгеновского излучения.

2. Космическая погода (вспышки на Солнце, магнитные бури и северные сияния). Астероидно-кометные угрозы. Отходы, вызванные космической деятельностью. Угрозы, связанные с «космическим мусором». Возможность распространения опасных вирусов из космоса на Землю. Разрушение озонового слоя при запуске космических аппаратов. Повышение космического рентгеновского фона в области озоновых «дыр».

**Раздел II.**

**Космические детекторы рентгеновского излучения**

3. Принципы детектирования рентгеновских лучей. Зеркала косого падения, пропорциональные счетчики, коллиматоры, кодирующие маски. Примеры космических телескопов, на которых применяются эти системы. Мониторирование рентгеновского неба в автоматическом режиме на основе нейронных сетей.

**Раздел III.**

**Черные дыры, нейтронные звезды и белые карлики**

4. Сценарий формирования ЧД и НЗ. История открытия НЗ. Коллапс и вспышка сверхновой. Слияние НЗ и всплеск гравитационных волн. Классификация НЗ. Наблюдательные проявления слабозамагниченных НЗ во время рентгеновских вспышек. Atoll- и Z-источники.

5. Классификация рентгеновских спектральных состояний черных дыр Переходы между этими состояниями и их связь с рентгеновскими вспышками. Спектры мощности ЧД и НЗ. Типы шумовых компонентов. Квазипериодические осцилляции.

6. Наблюдательные проявления черных дыр промежуточных масс в рентгеновском диапазоне.

7. Приливные разрушения звезд черными дырами.

8. Особенности рентгеновских спектров черных дыр в центрах галактик. Классификация активных ядер галактик. «Тени» ЧД. Пузыри Ферми.

9. Рентгеновский диффузионный фон Галактики.

10. Двойные черные дыры: гипотезы и наблюдения.

11. Белые карлики в рентгеновском диапазоне

**Раздел IV.**

**Солнце, экзопланеты, Сатурн, Юпитер, ядра комет в рентгеновских лучах**

12. Влияние РИ Солнца на земную ионосферу. Солнечные рентгеновские всплески, корональные дыры и корональные транзиенты. Пятна на Солнце в рентгеновских лучах. Рентгеновские спектральные линии и «хромосферное испарение». Загадка пульсирующего РИ Юпитера. Нестандартная активность РИ Сатурна. РИ от комет.

**Раздел VI.**

**Формирование рентгеновского излучения в условиях двойных звездных систем**

13. Модели рентгеновского излучения в тесных двойных системах (ТДС). Аккреционные диски. Предельная светимость. Столкновение звездных ветров в ТДС. Формирование ударных волн в ТДС. Остывание плазмы за фронтом ударной волны. ЧД с барионными джетами. Спектральные и временные характеристики рентгеновского излучения микроквазаров.

14. Релятивистсткие струйные выбросы. Эмиссионные линии, часто встречающиеся в рентгеновских спектрах компактных источников. Ионизация электронным ударом и фотоионизация. Условия отражения РИ в ТДС. Циркумбинальные диски.

**6. Перечень вопросов для подготовки к зачету**

1. Перечислите возможные космические угрозы.
2. Чем обусловлена рентгеновская светимость двойных систем с нейтронными звездами и черными дырами?
3. Каков рабочий диапазон длин волн рентгеновской аппаратуры на примере телескопов, действующих на орбите.
4. Какие объекты излучают в рентгеновском диапазоне в нашей Галактике?
5. Какие галактики самые яркие в рентгеновском диапазоне?
6. Почему невозможны рентгеновские наблюдения космических объектов с поверхности Земли?
7. Применение методов машинного обучения/искусственного интеллекта в поиске остатков вспышек сверхновых.
8. Как долго идет свет от Солнца до орбиты Земли?
9. Что такое экзопланеты? Перечислите методы обнаружения экзопланет. Сформулируйте определение зоны обитаемости экзопланет. Приведите примеры обнаруженных экзопланет.
10. Как назывался модуль станции «МИР», на котором космонавты проводили астрономические наблюдения?
11. Какую толщину должен иметь слой свинца, чтобы имитировать атмосферу Земли в плане поглощения рентгеновского космического излучения?
12. Перечислите принципы и схемы детектирования рентгеновского космического излучения.
13. Чем внешне отличаются рентгеновские спутники с зеркалами косого падения от систем с коллиматорами?
14. Какие этапы проходит ЧД во время рентгеновской вспышки (в терминах спектральных состояний)?
15. Особенности микроквазаров (из лекционного курса).
16. Как отличить нейтронную звезду от белого карлика по их рентгеновскому излучению?
17. Где наблюдаются "подвижные" эмиссионные линии и что это такое?
18. Механизм запуска ветра в двойных рентгеновских системах на стадии обмена массой.
19. Перечислите типы черных дыр.
20. Каковы возможные области формирования рентгеновского излучения в ТДС на стадии обмена масс в случае дисковой аккреции?
21. Чем вызваны квазипериодические осцилляции в спектрах мощности двойных рентгеновских систем?
22. Какой тип шума излучает работающий/расстроенный телевизор и как это помогает в исследовании ЧД и НЗ?
23. Перечислите известные наблюдательные признаки черных дыр.
24. Классификация спектральных состояний черных дыр.
25. Классификация слабозамагниченных нейтронных звезд.
26. Формирование эмиссионных линий в рентгеновских спектрах.
27. Ультраяркие рентгеновские источники и гипотезы их происхождения.
28. Сценарии образования черных дыр промежуточной массы.
29. Сформулируйте основные предположения и принципы метода «скалирования» при «взвешивании» черных дыр.
30. Каковы основные процессы формирования рентгеновского излучения в горячей плазме?
31. Каковы основные источники Галактических космических лучей?
32. Что такое пузыри Ферми?
33. С чем связано приливное разрушение звезд «дремлющими» черными дырами (теоретические сценарии и наблюдения)?
34. Классификация активных галактических ядер.
35. Что такое блазары?
36. Чем обусловлено излучение крабоподобных остатков вспышек сверхновых (с пульсаром в центре)?
37. Какие типы активных галактик Вы знаете?
38. Каковы вероятные причины пульсаций рентгеновского излучения в полярной шапке Юпитера?
39. Какова природа рентгеновского излучения комет?
40. Светимостью каких объектов обусловлен рентгеновский галактический фон?
41. Чем внешне отличаются рентгеновские спутники с системами зеркал косого падения от систем с кодирующими масками?
42. Какие наблюдательные признаки указывают на расширение Вселенной?

**7. Ресурсное обеспечение:** **перечень основной и дополнительной литературы**

**Основная литература:**

1. Сейфина Е.В. Курс видео-лекций "Рентгеновская астрономия: теория и наблюдения"

*Версия online-лекции на YouTube -*

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLcsjsqLLSfNCQpwL1wMzbVzukq15D84xo>

2. Сейфина Е.В., Титарчук Л.Г. Спектральные признаки отличия рентгеновских двойных систем с черными дырами и нейтронными звездами (или как отличить нейтронную звезду от черной дыры в аккрецирующих рентгеновских двойных системах?) 2014 // в журнале [www.astronet.ru](http://www.astronet.ru/), № 1308165, [www.astronet.ru/db/msg/1308165](http://www.astronet.ru/db/msg/1308165)

3. М. Лонгейр «Астрофизика высоких энергий», М.: Мир, 1985

4. J. Rybicki, A. Lightman “Radiative Processes in Astrophysics”, Whiley and sons, 1979

5. В.В. Соболев «Курс теоретической астрофизики» (Изд. 3е), М.: Наука, 1985

6. А.В. Засов, К.А. Постнов «Общая астрофизика» (2е изд), Фрязино: Век-2, 2011

7. Презентации лекций по курсу.

**Дополнительная литература:**

1. А.М. Черепащук «[Чёрные дыры в двойных звёздных системах и ядрах галактик](http://ufn.ru/ru/articles/2014/4/e/)» УФН **184** 387–407 (2014)

2. Я.Б. Зельдович «[Взаимодействие свободных электронов с электромагнитным излучением](http://ufn.ru/ru/articles/1975/2/a/)» УФН **115** 161–197 (1975)

3. М.С. Лонгейр, Р.А. Сюняев «[Электромагнитное излучение во Вселенной](http://ufn.ru/ru/articles/1971/9/b/)» УФН **105** 41–96 (1971)

4. SS433 и микроквазары // С. Н. Фабрика. Струи и сверхкритический аккреционный диск объекта SS433. <http://www.astronet.ru/db/msg/1223965/node9.html>

**8. Преподаватели дисциплины:**

Преподаватель физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова, Государственного астрономического института имени П.К. Штернберга (отдел звездной астрофизики):

Сейфина Елена Викторовна (лектор), д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник.

1. Формы текущего контроля успеваемости – это: проверка конспектов лекций и первоисточников (статьи, монографии, учебника, книги и пр.) (ПК); контрольный (устный / письменный) опрос (КО); презентация доклада, выступления, реферата (П); Формы текущего контроля успеваемости по некоторым темам дисциплины сопровождаются устными индивидуальными выступлениями (В) и групповой дискуссией (обсуждение противоречивых, проблемных тем и вопросов) обучающихся (Д). [↑](#footnote-ref-1)