Программа межфакультетского курса **«Космические тайны рентгеновского неба»**   
(весенний семестр 2021/22 уч.гг., 24 часа, зачёт)

Лектор: ст.н.с. **Елена Викторовна Сейфина**

Аннотация к курсу «Космические тайны рентгеновского неба»

Небо в рентгеновских лучах – это невидимая человеческому глазу картина, однако она несет массу информации о глубинах Вселенной. В частности, о физике компактных объектов (таких как черные дыры, нейтронные звезды и белые карлики), которые по стечению обстоятельств излучают именно в рентгеновском диапазоне. Раскрытие тайн рентгеновского неба – это уникальная возможность изучения свойств материи в наиболее экстремальных условиях и попытка заглянуть в глубины Вселенной, пользуясь высокой проницаемостью рентгеновских квантов. В свою очередь, рентгеновское излучение от очень далеких галактик позволяет заглянуть в далекое прошлое Вселенной, вплоть до эпохи Большого Взрыва. В целом, это может быть использовано для проверки теоретических моделей и правильности представлений о происхождении нашего мира. В Курсе рассматриваются современные проблемы рентгеновской астрофизики и особое внимание уделено преимуществам рентгеновского диапазона по сравнению с другими диапазонами электромагнитного спектра при анализе космических данных. В спецкурсе речь пойдет о современных рентгеновских орбитальных детекторах и источниках рентгеновского излучения. Слушатели узнают, что такое ультраяркие рентгеновские источники и приливные разрушения звезд черными дырами, и как из рентгеновских наблюдений можно узнать физические свойства небесных объектов. Курс плавно переходит к вопросам строения и эволюции звезд на поздних стадиях, почему они демонстрируют быстрые/медленные всплески излучения, за счет чего они излучают рентгеновские лучи, как рождаются и умирают. Слушатели также познакомятся с тем, как методы машинного обучения/искусственного интеллекта помогают в поиске остатков вспышек сверхновых. Цель этого спецкурса – расширить знания студентов и магистрантов о рентгеновских космических источниках и механизмах их переменности, а также помочь им сориентироваться в огромном объеме поступающей информации об окружающем нас космосе. Курс рассчитан на студентов нефизических специальностей, желающих понять мир, в котором мы живем.

**1. Основные проблемы рентгеновской астрофизики. Обзорная лекция**

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. Кандидаты в черные дыры (ЧД), нейтронные звезды (НЗ) и пульсары**

История открытия НЗ. Сценарий формирования ЧД и НЗ. Коллапс и вспышка сверхновой. Применение методов машинного обучения/искусственного интеллекта в поиске остатков вспышек сверхновых. Слияние НЗ и всплеск гравитационных волн. Классификация НЗ. Наблюдательные проявления слабозамагниченных НЗ во время рентгеновских вспышек. Atoll- и Z-источники.

**3. Рентгеновский диффузионный фон Галактики**

Проверка гипотезы о дискретности рентгеновского фона Галактики. Проблема «шума путаницы».

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

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.

**5. Космические детекторы рентгеновского и гамма излучения**

Принципы детектирования рентгеновского космического излучения. Зеркала косого падения, пропорциональные счетчики, коллиматоры, кодирующие маски. Примеры космических телескопов, на которых применяются эти системы. Поиск и распознавание гамма-всплесков в автоматическом режиме на основе нейронных сетей.

**6. Методы обработки и анализа рентгеновских данных**

Базы данных рентгеновских орбитальных обсерваторий. Приемы обработки "сырых" наблюдений. Анализ данных в рамках пакета программ. Применение возможностей XSPEC к реальным данным (на примере 4U 1630-47, 4U 1820-30, GX 3+1, M87 и GRS 1915+105).

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

Модели рентгеновского излучения в тесных двойных системах (ТДС). Аккреционные диски. Предельная светимость. Столкновение звездных ветров в ТДС. Формирование ударных волн. Остывание плазмы за фронтом ударной волны. ЧД с барионными джетами. Спектральные и временные характеристики рентгеновского излучения микроквазаров. Релятивистсткие струйные выбросы. Наиболее часто встречающиеся эмиссионные линии в рентгеновских спектрах. Ионизация электронным ударом и фотоионизация. Условия отражения РИ в ТДС. Циркумбинальные диски.

**8. Классификация рентгеновских спектральных состояний ЧД**

Состояние низкой рентгеновской светимости с жестким спектром, высокой рентгеновской светимости с мягким спектром и промежуточное состояние. Переходы между этими состояниями и их связь с рентгеновскими вспышками. Спектры мощности ЧД и НЗ. Типы шумовых компонентов. Квазипериодические осцилляции.

**9. ЧД промежуточных масс. Гипотезы их происхождения**

Методы поиска ЧД промежуточных масс. Ультраяркие рентгеновские источники. Их характеристики и определение их масс. Метод реверберационного картирования. Фундаментальная плоскость для ЧД. Сценарии формирования ЧД промежуточной массы.

**10. Приливные разрушения звезд черными дырами**

Предсказание и открытие. Гамма-рентгеновские вспышки, обусловленные событиями приливного разрушения. Их различие и схожесть с гамма-всплесками. Рентгеновские аналоги гамма-всплесков. Сценарий приливного разрушения звезд ЧД (по Рису).

**11. Особенности рентгеновских спектров ЧД в центрах галактик**

Рентгеновские наблюдения ядра галактики М87. Тень ЧД (по данным «Горизонта событий»). Пузыри Ферми. Блазары, квазары, сейфертовские галактики, радиогалактики и радиоквазары с плоскими спектрами. Классификация типов активных ядер галактик на основе ориентации по отношению к наблюдателю. Смена типа сейфертовских галактик.

**12. Белые карлики (БК) в рентгеновском диапазоне. Катаклизмические переменные**

Предсказание и открытие БК. Сравнительные характеристики БК и Солнца. Парадокс плотности БК. Модель релятивистского вырожденного электронного газа. Предел Чандрасекара. Классификация и физические свойства БК. Охлаждение БК и их возраст. Черные и красные карлики. Рентгеновское излучение БК. Катаклизмические переменные. Аккреция и перетекание вещества в двойных системах с БК в модели Роша.

**Примерные вопросы к зачёту по курсу**

1. Какие объекты излучают в рентгеновском диапазоне в нашей Галактике?
2. Почему невозможны рентгеновские наблюдения космических объектов с поверхности Земли?
3. Применение методов машинного обучения/искусственного интеллекта в поиске остатков вспышек сверхновых.
4. Сколько времени идет свет от Солнца до орбиты Земли?
5. Рабочий диапазон длин волн рентгеновской аппаратуры на примере телескопов, действующих на орбите.
6. Как назывался модуль станции «МИР», на котором космонавты проводили астрономические наблюдения?
7. Какую толщину должен иметь слой свинца, чтобы имитировать атмосферу Земли в плане поглощения рентгеновского космического излучения?
8. Перечислите принципы и схемы детектирования рентгеновского космического излучения.
9. Чем внешне отличаются рентгеновские спутники с зеркалами косого падения от систем с коллиматорами?
10. С чем связана рентгеновская переменность двойных систем с нейтронными звездами и черными дырами?
11. Какие этапы проходит ЧД во время рентгеновской вспышки (в терминах спектральных состояний)?
12. Примеры микроквазаров (из лекционного курса).
13. Приведите примеры типов переменности GRS1915+105 по Беллони.
14. Где встречаются "подвижные" эмиссионные линии и что это такое?
15. Механизм запуска ветра в двойных рентгеновских системах на стадии обмена массы?
16. Перечислите типы черных дыр.
17. Каковы возможные области формирования рентгеновского излучения в ТДС на стадии обмена масс в случае дисковой аккреции?
18. Чем вызваны квазипериодические осцилляции в спектрах мощности двойных рентгеновских систем?
19. Какой тип шума излучает от работающий/расстроенный телевизор?
20. Перечислите известные наблюдательные признаки черных дыр.
21. Классификация спектральных состояний черных дыр и нейтронных звезд.
22. Классификация слабозамагниченных нейтронных звезд.
23. Формирование эмиссионных линий в рентгеновских спектрах.
24. Ультраяркие рентгеновские источники и гипотезы их происхождения.
25. Сценарии образования черных дыр промежуточной массы.
26. Сформулируйте основные предположения и принципы метода «скалирования».
27. Каковы основные процессы излучения в горячей плазме?
28. Каковы основные источники Галактических космических лучей?
29. Что такое пузыри Ферми?
30. С чем связано приливное разрушение звезд «дремлющими» черными дырами (теоретические сценарии и наблюдения)?
31. Классификация активных галактических ядер.
32. Что такое блазары?
33. Чем обусловлено излучение крабоподобных остатков вспышек сверхновых (с пульсаром в центре)?
34. Какие типы активных галактик Вы знаете?
35. Сформулировать механизм пульсирующего рентгеновского излучения в полярной шапке Юпитера?
36. Какова природа рентгеновского излучения комет?
37. Светимостью каких объектов обусловлен рентгеновский галактический фон?
38. Чем внешне отличаются рентгеновские спутники с системами зеркал косого падения от систем с кодирующими масками?