

## Формирование рентгеновского спектра в компактных объектах: нейтронных звездах и черных дырах

Лектор: д.ф.-м.н., профессор Титарчук Лев Григорьевич (кафедра астрофизики и звёздной астрономии физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Специальный
Семестр:	8
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	34 часа
Семинаров:	
Практ. занятий:	
Отчётность:	Зачет
Начальные компетенции:	С-ОНК-1, С-ОНК-4, С-ОНК-5, С-ОНК-6
Приобретаемые компетенции:	С-СК-3, С-ИК-3, С-ПК-1, С-ПК-2, С-ПК-4

### Аннотация курса

В курсе рассматриваются различные проблемы современной астрофизики с углубленным изучением процессов формирования рентгеновского излучения источников, связанных с нейтронными звездами и черными дырами, а также перспективы развития в этой области. Этот курс предназначен для магистрантов физического факультета МГУ по специальности астрономия. Курс рассчитан на слушателей с достаточным уровнем подготовки по специальности «Теоретическая физика», который включает введение в квантовую механику, теорию электромагнетизма и специальную теорию относительности. В курсе детально рассматривается формирование рентгеновских спектров и сравнение их с наблюдениями. Обсуждаются спектральные и временные характеристики компактных источников (нейтронных звезд и черных дыр, как галактических, так и внегалактических). В рамках курса студенты познакомятся с методами оценки массы черных дыр (находящихся в рентгеновских двойных системах, а также в центрах активных ядер галактик) из наблюдений. В курсе детально рассматриваются основные понятия теории переноса, в частности изучаются решения релятивистских уравнений теории переноса. Рассматриваются задачи переноса в плазменной среде (комптоновское рассеяние, многократное комптоновское рассеяние).

### Образовательные технологии

Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

### Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП

Данный курс входит в число спецкурсов, составляющих теоретическую основу специализации “астрофизика и звёздная астрономия”, а также может служить базой для других астрономических курсов, в которых изучаются рентгеновские источники.

### Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего

Курс теоретической физики в объёме, предусмотренном учебным планом. Курс общей астрофизики и теоретической астрофизики.

Научно-исследовательская работа по дисциплинам специализации “астрофизика и звёздная астрономия”.

### Основные учебные пособия, обеспечивающие курс

1. J. Rybicki, A. Lightman “Radiative Processes in Astrophysics”, Wiley and sons, 1979
2. В.В. Соболев «Курс теоретической астрофизики» (Изд. 3е), М.:Наука, 1985
3. С. Шапиро, С. Тьюколски «Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды» М.: Мир, 1985
4. D. Mihalas «Stellar Atmospheres», Freeman, Sanfrancisco,

### Основные научные статьи, обеспечивающие курс

1. Sunyaev, R. A.; Titarchuk, L. G. Comptonization of X-rays in plasma clouds - Typical radiation spectra. *A&A*, 86, 121 (1980)
2. Lapidus, I. I.; Syunyaev, R. A.; Titarchuk, L. G. Angular distribution and polarization of X-ray burster radiation. *ApJ*, 23, 663 (1985)
3. Sunyaev, R. A.; Titarchuk, L. G. Comptonization of low-frequency radiation in accretion disks Angular distribution and polarization of hard radiation, *A&A*, 143, 37 (1985)
4. Titarchuk, Lev; Lyubarskij, Yuriy. Power-Law Spectra as a Result of Comptonization of the Soft Radiation in a Plasma Cloud, *ApJ*, 450, 876 (1995)
5. Shaposhnikov, Nickolai; Titarchuk, Lev. Determination of Black Hole Masses in Galactic Black Hole Binaries Using Scaling of Spectral and Variability Characteristics, *ApJ*, 699, 453 (2009)
6. Titarchuk, Lev; Seifina, Elena. Discovery of Photon Index Saturation in the Black Hole Binary GRS 1915+105, *ApJ*, 706, 1463 (2009)
7. Seifina, Elena; Titarchuk, Lev. On the Constancy of the Photon Index of X-Ray Spectra of 4U 1728-34 through All Spectral States, *ApJ*, 738, 128 (2011)

### Контроль успеваемости

**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний прочитанной части курса.

**Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, а также уровень подготовки к лекциям и степень освоения материала прочитанной части курса.

### Программа курса

1. Обзор основных проблем современной астрофизики.
2. Электромагнитный спектр. Элементарные свойства излучения.
3. Поток излучения. Макроскопическое описание распространения излучения. Поток от изотропного источника.
4. Спектральная интенсивность и ее моменты: определение интенсивности излучения или яркости источников. Поток и моменты интенсивности.
5. Спектральная интенсивность и ее моменты: плотность энергии излучения и давление излучения.
6. Вывод закона излучения для равномерно яркой сферы.
7. Перенос излучения: излучение и поглощения. Вывод уравнения переноса излучения.
8. Перенос излучения: оптическая толщина и функция источника. Длина свободного пробега. Радиационное давление.
9. Тепловое излучение. Излучение черного тела. Закон Кирхгоффа для теплового излучения.  
Термодинамика излучения черного тела.
10. Планковский спектр.

11. Свойства закона Планка. Характерные температуры, связанные с Планковским спектром.
12. Коэффициенты Эйнштейна. Определение коэффициентов. Отношения между коэффициентами Эйнштейна. Коэффициенты поглощения и излучения в терминах коэффициентов Эйнштейна.
13. Эффекты рассеяния: случайный фотонный пробег. Рассеяние. Комбинированное рассеяние и поглощение.
14. Радиационная диффузия. Росселандовское приближение. Эддингтоновское приближение. Двухпоточковая аппроксимация.
15. Комптоновское рассеяние. Сдвиг частоты фотонов.
16. Торможение электронов полем излучения. Обмен энергией между фотонами и электронами (это зависит от студента)
17. Передача энергии для повторных рассеяний в конечной тепловой среде: комптоновский параметр  $u$ .
18. Спектры в случае обратного комптоновского рассеяния для малых и больших оптических глубин. Спектральный индекс.
19. Вывод уравнение Компанейца и приложения его решения. Решение диффузионного уравнения по пространству и по энергии. Интерпретация наблюдений рентгеновских источников.
20. Спектральные режимы для многократного рассеяния.
21. Модифицированные чернотельные спектры для  $u \gg 1$ .
22. Модифицированные чернотельные спектры для  $u \ll 1$ .
23. Ненасыщенная комптонизация в случае источника излучения мягких фотонов.