

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН)

## АННОТАЦИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
ДИСЦИПЛИНА  
**«ЭСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В АСТРОФИЗИКЕ»**

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия  
направленность (профиль)  
01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия»

Москва  
2018 г.

## «Экспериментальные методы в астрофизике»

Астрономическая оптика. Телескопы и их основные параметры (разрешающая способность, поле зрения, проникающая сила). Основные типы телескопов (рефракторы, рефлекторы и их схемы, зеркально-линзовые системы). Интерферометр Майкельсона. Солнечные телескопы: целостат, коронограф. Понятие астроклимата. Атмосферное влияние на качество изображения. Методы достижения высокого углового разрешения. Активная и адаптивная оптика.

Радиотелескоп. Основные параметры и методы их определения (эффективная площадь, диаграмма направленности, угловое разрешение, шумовая температура, наведение, помехозащищенность). Апертурный синтез. Абсолютное и относительное измерение потоков радиоизлучения.

Спектральные приборы, и их основные параметры (разрешение, светосила, геометрический фактор). Призменные спектрометры и спектрографы. Дифракционные спектральные приборы. Классический дифракционный спектрограф. Эшелле-спектрограф. Основы Фурье-спектроскопии. Интерферометр Фабри-Перо и интерференционные светофильтры.

Детекторы излучения оптического, ультрафиолетового, инфракрасного, рентгеновского и гамма диапазонов: фотоэлектрические приемники, пропорциональные счетчики, микроканальные пластины, калориметры, полупроводниковые детекторы, приборы с зарядовой связью, сцинтилляционные детекторы, искровые камеры.

Основные параметры детекторов, чувствительность, спектральные характеристики, шумы. Факторы, ограничивающие обнаружение слабых сигналов в различных диапазонах, геометрический фактор (грасп), предел перехода к "путанице". Оптика для ультрафиолетовой, рентгеновской и гамма области (зеркальные телескопы косоугольного падения, телескопы с кодированной апертурой, сотовые и модуляционные коллиматоры).

### Рекомендуемая литература:

1. Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики. М.: Наука, 1977.
2. Лонгейр М. Астрофизика высоких энергий. М.: Мир, 1984.
3. Худсон Д. Статистика для физиков. М.: Мир, 1970.
4. Zombeck M. Handbook of Space Astronomy and Astrophysics, Cambridge University Press, 2007
5. Press W., Teukolsky S., Wetterling W., Flannery B. Numerical Recipes (v.1-2), Cambridge University Press, 1986-1992

6. Физика космоса: маленькая энциклопедия, ред. Сюняев Р. А. М.: Советская энциклопедия, 1986.

Составители:

д.ф. – м.н.

М. Н. Павлинский

к.ф. – м.н.

Р. А. Буренин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН)

## АННОТАЦИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
ДИСЦИПЛИНА  
**«ПРОЦЕССЫ ИЗЛУЧЕНИЯ, ПЕРЕНОС ИЗЛУЧЕНИЯ»**

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия  
направленность (профиль)  
01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия»

Москва  
2018 г.

## **«Процессы излучения, перенос излучения»**

### **Введение в теорию переноса излучения**

Интенсивность, поток и плотность энергии излучения. Коэффициенты излучения и поглощения. Оптическая толща. Функция источника. Уравнение переноса, решение для простейших случаев. Рассеяние излучения. Индикатрисса рассеяния. Томсоновское и релеевское рассеяние. Поглощение и рассеяние частицами. Сила давления света, эддингтоновский предел светимости.

### **Механизмы излучения в астрофизических плазмах, взаимодействие излучения с веществом**

Тормозное излучение. Синхротронное излучение. Ионизация атомов излучением и электронным ударом. Рекомбинация, диэлектронная рекомбинация. Обратный Комптон-эффект, комптонизация излучения, отражение рентгеновского излучения от холодной атмосферы. Реликтовое излучение Вселенной, эффект Сюняева-Зельдовича. Распространение радиоволн в тепловой плазме. Потери при прохождении рентгеновского и гамма-излучения через вещество (ионизационные потери, комптоновское рассеяние, рождение пар). Распад мезонов.

### **Атомные и молекулярные спектры**

Сила осциллятора, коэффициенты Эйнштейна. Природа спектральных термов. Спектры атомов водорода и гелия. Спин, тонкая структура. Эффект Зеемана. Эффект Штарка. Сверхтонкая структура. Линия водорода 21 см. Молекулы в астрофизике, электронные, колебательные и вращательные переходы. Источники мазерного излучения. Запрещенные линии в астрофизике. Диагностика горячей оптически тонкой плазмы по рентгеновским линиям излучения тяжелых элементов.

### **Теория звёздных атмосфер**

Понятие термодинамического и локального термодинамического равновесия. Спектр абсолютно черного тела. Понятие серой атмосферы. Приближение Росселанда. Закон потемнения диска звезды к краю. Возбуждение и ионизация атомов в звёздных атмосферах, рассеяние и истинное поглощение, свободно-свободные переходы, отрицательные ионы водорода, рекомбинация. Образование линий поглощения в спектрах звезд. Доплеровское поглощение и истинное затухание. Эффекты давления, уширение линий вследствие столкновения атомов. Отклонения от ЛТР (солнечная корона, планетарные туманности). Излучение солнечной короны.

## Рекомендуемая литература:

1. Михалас Д. Звездные атмосферы (т.1-2). М.: Мир, 1982.
2. Rybicki G. B., Lightman A. P. Radiative processes in astrophysics, Wiley & Sons, Inc., 1979.
3. Чандрасекар С. Перенос лучистой энергии. М.: Иностранная литература, 1953.
4. Соболев В.В. Перенос лучистой энергии в атмосферах звезд и планет. М.: ГИТТЛ, 1956.

## Составители:

д.ф. – м.н.

С. А. Гребенев

д.ф. – м.н.

С. Ю. Сазонов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН)

## АННОТАЦИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНА

**«СТРОЕНИЕ ЗВЕЗД, ПОЗДНЯЯ СТАДИЯ ЭВОЛЮЦИИ ЗВЕЗД»**

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия  
направленность (профиль)  
01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия»

Москва  
2018 г.

## «Строение звезд, поздняя стадия эволюции звезд»

Уравнения, описывающие внутреннее строение звезд. Строение звезд различных спектральных классов. Звезды: шкала звездных величин, фотометрические системы, система U, B, V и её продолжение в УФ и ИК область. Видимые и абсолютные звездные величины, болометрические величины. Методы определения расстояний до звезд.

Показатель цвета, избыток цвета. Температура поверхности звёзд, шкала звездных температур. Звёздные спектры и их классификация. Диаграмма Герцшпрунга-Рессела. Методы определения масс звёзд. Двойные звёзды. Полость Роша. Потеря массы и звёздный ветер. Переменные звёзды и их классификация. Цефеиды. Теория пульсаций цефеид. Их типы, кривые блеска, спектры. Новые звезды. Термоядерные реакции на поверхностях компактных объектов. Физическая природа вспышек Новых звёзд.

Вспышки сверхновых звезд и их классификация. Теория вспышек сверхновых и механизмы взрыва. Нейтринные импульсы от сверхновых. Роль радиоактивного излучения в формировании кривых блеска. Остатки вспышек сверхновых звёзд. Крабовидная туманность (спектр, компоненты свечения, основы теории).

Конечные стадии эволюции звёзд. Уравнение состояния вырожденного газа. Предельная масса белых карликов и нейтронных звезд. Звездные остатки, компактные звезды (белые карлики, нейтронные звёзды, чёрные дыры). Предел устойчивости нейтронной звёзды. Определение массы компактного объекта в двойной системе.

Магнитные поля нейтронных звезд-радиопульсары, молодые” одиночные и рентгеновские пульсары. Излучение изолированных нейтронных звезд. Рентгеновские и гамма-всплески. Пульсары. Источники мягких повторяющихся гамма-всплесков. Магнетары. Космологическое происхождение гамма-всплесков.

### Рекомендуемая литература:

1. Бисноватый - Коган Г.С. Физические вопросы теории звездной эволюции. М.: Наука, 1989.
2. Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика. М.: Век 2, 2006.
3. Зельдович Я. Б., Блинников С. И., Шакура Н.И. Физические основы строения и эволюции звезд. М.: Издательство МГУ, 1981.
4. Зельдович Я. Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных физических явлений. М.: Наука, 1966.
5. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика, т. 2, Теория поля. Наука, 1988.
6. Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Теоретическая физика, т. 5, Гидродинамика.

М.: Физматлит, 2001.

7. Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики. М.: Наука, 1988.

8. Мизнер Ч., Торн К., Уиллер Дж. Гравитация (т.т 1-3). М.: Мир, 1977.

9. Рис М., Руффини Р., Уиллер Дж. Черные дыры, гравитационные волны и космология. М.: Мир, 1977.

10. Физика космоса: маленькая энциклопедия, ред. Сюняев Р. А. М.: "Советская энциклопедия", 1986 .

11. Шапиро С., Тюколски С. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды, М.: Мир, 1985.

### **Составители:**

д.ф. – м.н., профессор

Г. С. Бисноватый – Коган

д.ф. – м.н., профессор

М. Р. Гильфанов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН)

## АННОТАЦИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНА  
«ТЕОРИЯ АККРЕЦИИ»

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия  
направленность (профиль)  
01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия»

Москва  
2018 г.

## «Теория аккреции»

Квазисферическая аккреция газа на черную дыру. Решение Бонди. Излучение падающего газа. Аккреция замагниченного газа: модель Шварцмана. Нагрев падающего газа при аннигиляции магнитного поля. КПД излучения при сферической аккреции.

Формирование аккреционных дисков. Модель альфа диска. Аккреция газа в двойной системе: образование тонкого диска. Турбулентность аккреционных дисков: гидродинамическая или магнито-ротационная неустойчивость. Уравнения для модели альфа диска (стандартная модель) и их решение: три характерных области.

Аккреционные диски при субкритической светимости.

Истечение из аккреционного диска под действием давления излучения. Вертикальная конвекция во внутренней области, модель конвективного диска. Конвекция в дисках при численном моделировании. Образование горячей короны.

Адвекция в аккреционных дисках.

Радиальный перенос энергии в аккреционном диске -- адвекция. Численные модели аккреционных дисков с адвекцией. Адвекция в оптически тонких дисках при малой светимости. ADAF решения и возможность их реализации. Решения с истечением и крупномасштабной конвекцией.

Общее описание оптически тонких и оптически толстых моделей.

Перенос излучения в дисках при произвольной оптической толщине. Неоднозначность решений уравнений дисковой аккреции. Отсутствие решений в стандартной модели для большой светимости. Модели адвективных аккреционных дисков с переходом между оптически толстыми и оптически тонкими областями.

Наблюдения аккреционных дисков: спектры, переменности и их интерпретация. Наблюдения жестких "хвостов" в спектрах излучения и их интерпретация. Состояния аккреционных дисков с мягким и жестким спектром и переходы между ними. Диссипация звуковых и МГД волн, магнитное перезамыкание, как источники нагрева короны. Формирование жесткого излучения: горячая корона, или оптически тонкая внутренняя область диска.

Аккреционные диски с магнитным полем.

Рост вмороженного магнитного поля при аккреции на черную дыру. Генерация поля в аккреционном диске батарейным эффектом. Структура аккреционных дисков с упорядоченным магнитным полем; турбулентная диффузия и электропроводность. Диффузия крупномасштабного магнитного поля в турбулентном кеплеровском диске.

Направленные выбросы из аккреционных дисков.

Выбросы из ядер галактик и микроквазаров. Истечение под действием светового

давления в линиях. Истечение из замагниченного аккреционного диска. Магнитная коллимация направленных выбросов.

Аккреция на быстро движущиеся черные дыры.

Автомодельное решение для аккреции на движущуюся черную дыру. Попытки численного решения. Неустойчивости в численных решениях. Аккреция на компактный компаньон из звездного ветра.

### **Рекомендуемая литература:**

1. Бисноватый – Коган Г.С. Физические вопросы теории звёздной эволюции. М.: Наука, 1989.
2. Бескин В. Осесимметричные стационарные течения в астрофизике. М.: Физматлит, 2006.
3. Спитцер Л. Физика полностью ионизованного газа. М.: Мир, 1965.
4. Шапиро С., Тьюколски С. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. М.: Мир, 1985.
5. Frank J., King A., Rain D. Accretion power in astrophysics. Cambridge University Press, 2002.

### **Составители:**

д.ф. – м.н., профессор

Г. С. Бисноватый - Коган

д.ф. – м.н., профессор

М. Р. Гильфанов

д.ф. – м.н.

С. Ю. Сазонов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН)

## АННОТАЦИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНА  
**«КОСМИЧЕСКАЯ ГАЗОДИНАМИКА»**

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия  
направленность (профиль)  
01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия»

Москва  
2018 г

## «Космическая газодинамика»

Уравнения газовой динамики. Законы сохранения в интегральной и дифференциальной форме. Акустическое приближение, скорость звука.

Одномерные течения в поле тяжести. Решение Бонди, звездный ветер, переход через скорость звука.

Слабые и сильные разрывы в газовой динамике. Характеристики, инварианты Римана, волны разрежения, ударные волны, соотношения на ударной волне, ударная адиабата.

Численные методы в космической газовой динамике.

Взрывы, Задача о точечном взрыве (решение Седова-Тейлора), взрывы на поверхности белых карликов и нейтронных звезд, катаклизмические переменные и рентгеновские барстеры.

Основы космической магнитной газовой динамики. Уравнения МГД, звуковые и ударные МГД волны.

Магниторотационная неустойчивость (в случае сильного полоидального, в случае сильного тороидального поля), магниторотационная неустойчивость при взрыве коллапсирующей сверхновой.

Механизмы взрыва сверхновых звезд. Ядерный взрыв, Нейтринный механизм.

Магниторотационный механизм взрыва сверхновых с коллапсирующим ядром.

### Рекомендуемая литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1988.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982.
3. Бисноватый-Коган Г.С. Физические вопросы теории звездной эволюции. М.: Физматлит, 1989.
4. Зельдович Я.Б., Райзер Ю. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966.
5. Баум Ф.А., Каплан С.А., Станюкович К.П. Введение в космическую газовую динамику. М.: Физматлит, 1958.

### Составители:

д.ф. – м.н., чл. – корр. РАН

Е. М. Чуразов

д.ф. – м.н.

С. Г. Моисеенко

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН)

## АННОТАЦИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНА  
**«ОБРАЗОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ГАЛАКТИК И СКОПЛЕНИЙ  
ГАЛАКТИК»**

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия  
направленность (профиль)  
01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия»

Москва  
2018 г

## «Образование и эволюция галактик и скоплений галактик»

Собственные движения звёзд, лучевые скорости звезд, движение Солнечной системы в Галактике. Звездная динамика. Фазовая плотность и уравнение Больцмана для звездных систем. Интегралы движения. Теорема вириала и ее применение. Регулярные и иррегулярные силы. Время релаксации. Интеграл столкновений.

Млечный путь и его строение, звездные скопления, рассеяние и шаровые, галактические туманности (темные и светлые), межзвездное поглощение света. Теория галактического вращения. Волны плотности. Спиральная структура Галактики. Типы звёздного населения и их кинематика. Газ в облаках и в межоблачном пространстве. Межзвёздная среда. Источники нагрева межзвездной среды. Тепловая неустойчивость. Гравитационная неустойчивость газовой среды и конденсация газа. Протозвезды и молодые звезды. Околосредные диски. Области звездообразования.

Устойчивые фазы в межзвездной среде. Межзвёздный газ и пыль, их состав, физические параметры, распределение. Распространение радиоволн. Методы исследования вращения Галактики, спиральной структуры и определения расстояний до галактических источников. Космические лучи, межзвёздные магнитные поля и методы их исследования, нетепловое радиоизлучение.

Галактики и их классификация. Особенности структуры галактик разных морфологических типов, содержание газа и звездообразование в галактиках. Размеры, светимость, скорость вращения и масса галактик, принципы их оценок. Проблема существования темного гало, карликовые галактики, наблюдаемые особенности.

Группы и скопления галактик. Взаимодействующие галактики, межгалактический газ в системах галактик. Видимая и скрытая масса. Горячий газ в скоплениях галактик и его распределение. Эффект Сюняева - Зельдовича.

Ядра галактик, методы определения расстояний. Активные галактические ядра. Квазары. Структура и переменность внегалактических радиоисточников и проблема общей эволюции внегалактических объектов. Зависимость наблюдаемых параметров источников от красного смещения. Красное смещение и закон Хаббла. Скопления галактик.

### Рекомендуемая литература:

1. Пиблс Дж. Структура Вселенной на больших масштабах. М.: Мир, 1983.
2. Зельдович Я. Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975.

3. Binney J., Tremain S. Galactic dynamics, Princeton Univ.Press, 1994.

4. Longair M. Galaxy formation. Springer, 2008.

**Составители:**

д.ф. – м.н., чл. – корр. РАН

Е. М. Чуразов

к.ф. – м.н.

Р. А. Буренин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН)

## АННОТАЦИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНА  
**«ТЕОРИЯ ГРАВИТАЦИИ И КОСМОЛОГИЯ»**

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия  
направленность (профиль)  
01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия»

Москва  
2018 г

## «Теория гравитации и космология»

Основы космологии. Наблюдательные основы космологии. Основные понятия (закон Хаббла, кривизна мира, критическая плотность, сопутствующие координаты, масштабный фактор, параметр ускорения).

Закон эволюции, основные уравнения движения (расширения). Фридмановские модели расширяющейся Вселенной: пример плоского мира. Постоянная Хаббла и "возраст" Вселенной. Наблюдательные методы определения постоянной Хаббла.

Теория горячей Вселенной. Начальные этапы расширения. Теория раздувающейся Вселенной. Поведение излучения и вещества на начальных этапах расширения Вселенной, первичный нуклеосинтез, реликтовое излучение.

Рост малых возмущений в расширяющейся Вселенной. Анизотропия реликтового излучения. Эффект Сакса-Вольфа. Акустические пики. Вторичная анизотропия. Гравитационная неустойчивость: теории образования галактик. "Скрытая" масса в галактиках и скоплениях галактик. Проблема образования галактик.

Темная материя и темная энергия. Определение глобальных свойств Вселенной. Гравитационное линзирование. Уравнение линзы. Сильное линзирование, слабое линзирование, микролинзирование.

### Рекомендуемая литература:

1. Бисноватый – Коган Г.С. Релятивистская астрофизика и физическая космология. М.: УРСС, 2011
2. Горбунов Д., Рубаков В. Введение в теорию ранней Вселенной: Теория горячего большого взрыва. М.: УРСС, 2008.
3. Горбунов Д., Рубаков В. Введение в теорию ранней Вселенной : Космологические возмущения, инфляционная теория, М.: УРСС, 2008.

4. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975.
5. Пиблс Дж. Физическая космология. М.: Мир, 1975.
6. Peebles P. J. E. Principles of physical cosmology, Princeton University Press, 1993

**Составители:**

д.ф. – м.н., профессор

Г. С. Бисноватый-Коган

к.ф. – м.н.

Р. А. Буренин

к.ф. – м.н.

О. Ю. Цупко