



# Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»



Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Институт Теоретической и Экспериментальной Физики» имени А.И.Алиханова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

УТВЕРЖДАЮ

Директор  
НИЦ «Курчатовский институт – ИТЭФ»



В.Ю. Егорычев  
2017 г.

## ПРОГРАММА

вступительных испытаний для поступающих на обучение по программам  
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре  
по специальной дисциплине

Направление подготовки: **03.06.01 «Физика и астрономия»**

Направленность (профиль) подготовки:

**«Астрофизика и радиоастрономия»**

**01.03.02**

Согласовано:

Заместитель директора по научной работе

по международным проектам

А.В. Акиншинов

Согласовано:

Заведующий аспирантурой

Б.В. Мартемьянов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании Ученого Совета

Протокол № 2 от 16.03.2017 г.

Ученый Секретарь

В.В. Васильев

Москва, 2017 г.

**Форма проведения вступительных испытаний:** собеседование по вопросам.

Для подготовки ответа поступающий использует экзаменационные листы.

### **Направленность (профиль) - 01.03.02 – «Астрофизика и радиоастрономия»**

#### 1. Основы астрометрии и космографии

Релятивистские звёзды, реликтовое излучение. Установление астрономических и физических единиц. Система отсчёта и система координат. Гравитационное красное смещение. «Вечный двигатель» Я.Б.Зельдовича. Замедление времени.

#### 2. Открытие «Расширения» Вселенной

Открытия Слайфера, Вирца, Леметра, Хаббла и других астрономов в начале 20-го века. Разбегание галактик. Красное смещение в космологии, связь с масштабным фактором, трудности сведения его к доплер-эффекту.

#### 3. Основы релятивистской гравитации

Предел Чандрасекара и масса Планка в равновесии звёзд. Проверки Ньютоновской гравитации в лаборатории, в солнечной системе, в двойных пульсарах и на масштабах галактик. Мотивация к релятивистской гравитации - парадокс Лапласа. Принцип эквивалентности (сильный и слабый). Общая Теория Относительности. Вскользь о модифицированной гравитации. Мир как пространство-время. Искривлённый мир. Метрика, метрический тензор. Геодезические. Геодезический лагранжиан. Аффинный параметр.

#### 4. Метрика Шварцшильда

Запись в шварцшильдовских, в изотропных и в гармонических координатах. Орбиты в метрике Шварцшильда. Искривление лучей света. Горизонт событий. Внешние проявления чёрных дыр. Описание метрики внутри горизонта.

#### 5. Уравнения для гравитационного поля.

Контравариантные, ковариантные, смешанные тензоры. Символы Кристоффеля из геодезического лагранжиана. Параллельный перенос и ковариантные производные. Избыток суммы углов треугольника и тензор кривизны. Вариационный принцип Гильберта на конкретных примерах. Вычисление компонент тензора Риччи для сферически-симметричной метрики. Вывод метрики Шварцшильда из действия Гильберта. Граничные члены. Действие Йорка-Гиббонса-Хокинга (York—Gibbons—Hawking action). Уравнения Эйнштейна: набросок вывода.

#### 6. Уравнения движения как следствие уравнений ОТО

Доказательство движения материальной точки по геодезической из условия зануления ковариантной дивергенции тензора энергии-импульса. Обнуление ковариантной дивергенции тензора Эйнштейна из вариационного принципа. Вывод попутно с введением векторов Киллинга.



## 7. Основы космологии. Однородные и изотропные модели.

Однородные и изотропные модели. Вселенная Фридмана. Форма метрики в записи Фридмана и в записи Робертсона—Уокера. Кристоффели для метрики FRW (вычисление вручную из геодезического лагранжиана). Тензор Риччи в той же метрике. Полное действие Гильберта (кривизна плюс вещество). Уравнение Фридмана из вариационного принципа. Граничные члены. Давление как источник гравитации. Связь уравнений Фридмана с термодинамикой. Ньютонов предел.

## 8. Практическая космология. Параметр Хаббла

Параметр или постоянная Хаббла, параметр плотности. Поведение решений в моделях Фридмана. Горизонт в современной Вселенной. Рекомбинация в горячей вселенной, понятие о поверхности последнего рассеяния. Информация, содержащаяся в спектре реликтового излучения.

## 9. Космография: расстояния во Вселенной.

Фотометрическое расстояние, вывод формулы его связи с космологическим красным смещением источника. Явные формулы для частных случаев космологических моделей. Тёмная Материя и Тёмная Энергия

## 10. Равновесие сверхплотных звёзд, энергетика аккреции

Релятивистские звезды. Метрика внутри сферически-симметричной звезды. Релятивистская энергия связи. Уравнение механического равновесия звезды. Вывод уравнения Оппенгеймера-Волкова для равновесия статической релятивистской звезды из вариационного принципа. Условие нейтральной конвективной устойчивости изэнтропных релятивистских звёзд.

## 11. Коллапс, сверхмассивные чёрные дыры и квазары

Потеря устойчивости, коллапс. Статический критерий механической устойчивости. Энергия частицы в поле звезды в ОТО. Вращающиеся чёрные дыры, метрика Керра (без вывода). Круговое и радиальное движение в поле Шварцшильда и Керра. Орбиты частиц и энерговыделение при аккреции в метрике Керра. Эргосфера. Физика сверхновых и гамма-всплесков. Активные ядра галактик, сверхмассивные чёрные дыры и квазары.

### Основная литература

1. Г.С. Бисноватый-Коган «Релятивистская астрофизика и физическая космология» КРАСАНД, 2010
2. Лукаш В.Н., Михеева Е.В. «Физическая космология» ФИЗМАТЛИТ, 2010

### Дополнительная литература

3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц «Теория Поля» (любое издание)
4. А.Л. Зельманов, В.Г. Агаков. «Элементы общей теории относительности» — М.: Наука, 1989.
5. Д.С. Горбунов, В.А. Рубаков Введение в теорию ранней Вселенной. Т.1. Теория горячего Большого взрыва 552с. 2008г.
6. Д.С. Горбунов, В.А. Рубаков Т.2 Введение в теорию ранней Вселенной: Космологиче-

ские возмущения. Инфляционная теория 2010г. 568 с.

7. Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков «Релятивистская астрофизика», М.: Наука, 1967,  
«Теория тяготения и эволюция звёзд», М.: Наука, 1971, «Строение и эволюция  
Вселенной». М., М.: Наука, 1975.

8. Я.Б. Зельдович, С.И. Блинников, Н.И. Шакура «Физические основы строения и эволю-  
ции звезд.» Издательство МГУ, 1981.

9. А.Д. Долгов, Я.Б. Зельдович, М.В. Сажин. «Космология ранней Вселенной» Издатель-  
ство МГУ, 1988

10. С. Вейнберг, «Гравитация и космология», Мир, Москва, 1975

11. Ч. Мизнер, К. Торн., Дж. Уилер «Гравитация». В 3-х томах. Издательство, Мир, 1977.

12. S.M. Carroll «Lecture Notes on General Relativity» gr-qc/9712019 (1997).



Пронумеровано,  
прошито и  
скреплено печатью

4 (четыре) (лист)

Вадимов В.

« 1 »

2017 г.

