



БЛИННИКОВ Сергей Иванович
Основы релятивистской астрофизики
Программа семестрового курса лекций

**ИТЭФ,
Москва
Россия**

2011

1. Введение

Основы астрометрии и космографии.

Установление астрономических и физических единиц. 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 (якобы скорость распространения гравитации на много порядков больше скорости света).

Принцип эквивалентности (сильный и слабый).

Система отсчёта и система координат.

Гравитационное красное смещение. Замедление времени.

2. Основные понятия релятивистской гравитации

Общая Теория Относительности. Вскользь о модифицированной гравитации.

Мир как пространство-время. Искривлённый мир. Метрика, метрический тензор.

Геодезические. Геодезический лагранжиан. Аффинный параметр.

Метрика Шварцшильда. Запись в шварцшильдовских, в изотропных и в гармонических координатах.

Орбиты в метрике Шварцшильда. Искривление лучей света.

3. Аппарат и Кривизна

Контравариантные, ковариантные, смешанные тензоры.

Символы Кристоффеля, снова уравнение геодезической и вычисление ненулевых кристоффелей (символы Кристоффеля из геодезического лагранжиана).

Параллельный перенос и ковариантные производные. Избыток суммы углов треугольника – мера кривизны.

Введение тензора кривизны. Символы Кристоффеля и внутренняя кривизна: нужна ли теорема Стокса для их связи. Вычисление компонент тензоров Римана и Риччи.

4. Уравнения для гравитационного поля.

Вариационный принцип Гильберта на конкретных примерах.

Кристоффели для сферически-симметричной метрики (вычисление вручную из геодезического лагранжиана). Вычисление вручную компонент тензора Риччи для той же метрики. Вывод метрики Шварцшильда из действия Гильберта. Граничные члены. Действие Йорка-Гиббонса-Хокинга (York–Gibbons–Hawking action).

Уравнения Эйнштейна (набросок “вывода”).

5. Уравнения движения как следствие уравнений ОТО.

Доказательство движения материальной точки по геодезической из условия зануления ковариантной дивергенции тензора энергии-импульса.

Доказательство обнуления ковариантной дивергенции тензора Эйнштейна из вариационного принципа. Вывод попутно с введением векторов Киллинга.

6. Основы космологии.

Однородные и изотропные модели. “Разбегание” галактик. 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. Опять граничные члены. Давление как источник гравитации. Связь уравнений Фридмана с термодинамикой. Ньютонов предел. Тёмная Материя и Тёмная Энергия.

7. Практическая космология.

Красное смещение в космологии, связь с масштабным фактором, трудности сведения его к доплер-эффекту.

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.

Космография: расстояния во Вселенной. Фотометрическое расстояние, вывод формулы его связи с космологическим красным смещением источника. Явные формулы для частных случаев космологических моделей.

8. 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 Гильберта. Условие нейтральной конвективной устойчивости изэнтропных релятивистских звёзд. Потеря устойчивости, коллапс. Статических 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.