

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. декана физического факультета МГУ

профессор Белокуров В.В.



БИЛЕТЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

Направление подготовки 03.04.02 «Физика»

Магистерская программа

«ФИЗИКА ГРАВИТАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В КОСМОСЕ»

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 1

1. Динамика системы материальных точек. Уравнения движения в относительной системе координат.
2. Радиальное движение в гравитационном поле Шварцшильда в терминах собственного и координатного времени
3. Записать координатные компоненты тетрады для диагональной метрики.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 2

1. Решение задачи о движении двух материальных точек. Геометрия кеплеровой орбиты, элементы орбиты.
2. Вычислить символы Кристоффеля пространства Минковского в сферических координатах, используя закон преобразования при переходе от декартовых к криволинейным координатам.
3. Масса толстого диска Галактики составляет примерно $3 \cdot 10^9 M_{\odot}$. Его радиальная экспоненциальная шкала составляет 3 кпк, а вертикальная – 800 пк. Оцените плотность массы звёздного населения в его центре, а также вклад толстого диска в поверхностную плотность на расстоянии $R = 8$ кпк от центра в предположении, что он населён звёздами типа Солнца.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 3

1. Функция Лагранжа и уравнения Лагранжа системы материальных точек. Интегралы движения.
2. Активные процессы в ядрах галактик: наблюдаемые проявления, представление о возможных механизмах активности. Массы сверхмассивных черных дыр и способы их оценки.
3. Оценить необходимую длину плеч ГВ-интерферометра для регистрации ГВ от двойных систем.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 4

1. Уравнение Гамильтона-Якоби в гравитационном поле. Симметрии, интегралы движения и разделение переменных
2. Найти минимальное значение прицельного параметра, при котором фотон еще отклоняется в поле Шварцшильда и не захватывается черной дырой.
3. Получить ограничения на скорость распространения гравитационных волн из анализа задержки ЭМ сигнала по отношению к моменту слияния ГВ-источника на примере системы GW170817/GRB170817A.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 5

1. Линейно приближение эйнштейновской теории гравитации. Свободные гравитационные волны, поляризация.
2. Двойные звёзды и оценка звёздных масс. Невидимые спутники звёзд (экзопланеты) и методы их обнаружения.
3. Из спектральных наблюдений рентгеновской двойной системы измерена функция масс оптической звезды. Определить массу релятивистского объекта и идентифицировать его с нейтронной звездой или черной дырой.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 6

1. Электродинамика Максвелла в пространстве Минковского. Действие, тензор энергии импульса и законы сохранения
2. Гравитационные линзы, наблюдения и теория.
3. Показать, что ньютоновская теория дает отклонение луча в поле звезды в два раза меньшее, чем ОТО

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 7

1. Уравнения Эйнштейна и переход к теории Ньютона
2. Принципы создания инерциальной системы координат астрометрическими методами. Международная небесная опорная координатная система, её реализации в радиодиапазоне и оптическом диапазоне спектра.
3. Записать уравнения движения свободной частицы в плоском пространстве-времени в сферических координатах, используя символы Кристоффеля.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 8

1. Принцип эквивалентности, действие для точечной частицы в гравитационном поле.
2. Вращение галактик и проблема оценки их массы. Условие гравитационной устойчивости галактических дисков.
3. Вычислить символы Кристоффеля пространства Минковского в сферических координатах для пространственной части, используя закон их преобразования при переходе от декартовых к криволинейным координатам.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 9

1. Расстояния и промежутки времени в общей теории относительности. Красное смещение.
2. Найти минимальный радиус устойчивой круговой орбиты в поле Шварцшильда.
3. Найти закон преобразования отклонения метрики $h_{\mu\nu} = g_{\mu\nu} - \eta_{\mu\nu}$ от метрики Минковского при бесконечно малом преобразовании координат $x^{\mu} \rightarrow x^{\mu} + f^{\mu}$

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 10

1. Понятие о горизонте событий черной дыры. Принцип космической цензуры.
2. Невозмущенное кеплеровское движение. Метод Лагранжа-Гаусса определения орбиты небесного тела по астрономическим наблюдениям. Элементы орбит.
3. Найти радиус неустойчивой круговой фотонной орбиты в поле Шварцшильда.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 11

1. Равновесие и устойчивость звезд. Белые карлики и нейтронные звезды.
2. Принципы спутниковой навигации (системы GPS, ГЛОНАСС).
3. Найти тензор кривизны и тензор Риччи единичной трехмерной сферы S^3 в четырехмерном плоском пространстве.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 12

1. Постулаты специальной теории относительности. Преобразования Лоренца.
2. Записать уравнения Максвелла для 4-потенциала в ковариантной калибровке Лоренца в невакуумном гравитационном поле.
3. Космический аппарат движется по круговой орбите радиусом $R=1$ а.е. Аппарату сообщен кратковременный импульс в направлении, обратном движению, в результате которого его орбитальная скорость уменьшилась на 10 км/с. Определите эксцентриситет новой орбиты аппарата.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 13

1. Экспериментальная проверка ОТО: прецессия эллиптических орбит, отклонение луча. Сильное гравитационное линзирование. Понятие о тенях черных дыр.
2. Методы оценки расстояний до галактик. Космологическое красное смещение, закон Хаббла, его выполнимость для реальных галактик.
3. За какое собственное время массивная частица, падающая в черную дыру Шварцшильда радиально с расстояния 10 гравитационных радиусов долетит до горизонта событий, до сингулярности.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 14

1. Лазерные интерферометры как детекторы гравитационных волн. Современный статус гравитационно-волновой астрономии.
2. Показать, что изотропные геодезические $x^\mu(\tau)$ остаются таковыми при умножении метрики на произвольную функцию координат, при дополнительном преобразовании параметра τ .
3. Оценить максимально возможную скорость встречи кометы из облака Оорта с Землёй.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 15

1. Метрика Шварцшильда и ее продолжение под горизонт в координатах Финкельштейна.
2. Гравитационная неустойчивость. Критическая (джинсовская) масса. Продолжительность свободного сжатия и процессы, тормозящие сжатие облака (тепловое давление, вращение, намагниченность). Протозвёзды.
3. Сферически симметричная галактика с нулевым красным смещением имеет маломассивный спутник на круговой орбите, в котором области ионизованного водорода излучают линию $H\alpha$ на длине волны 6568 А. Найдите нижний предел массы галактики, если спутник находится на расстоянии 20 кпк от неё (в проекции).

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 16

1. Вращающаяся черная дыра. Метрика Керра, эргосфера и процесс Пенроуза.
2. Подсистемы Галактики, структурно-кинематические различия между ними. Химический состав звёзд подсистем. Пространственное распределение и кинематика звёзд.
3. Построить три независимых интеграла геодезического движения в поле Керра.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 17

1. Темная материя и темная энергии. Астрофизические данные и попытки объяснения.
2. Оценить время гравитационного коллапса пыли по часам наблюдателя, находящегося на поверхности коллапсирующего тела.
3. Найти средний интервал времени между парными сближениями звезды, существенно меняющими вектор ее скорости в эллиптической галактике. Принять, что масса каждой звезды равна массе Солнца, средняя концентрация – 1 звезда на куб. парсек. Средняя относительная скорость звёзд до сближения – 200 км/с.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 18

1. Радиоинтерферометрия с большой базой. Состояние и перспективы. Изображения черных дыр в центрах галактики M87 и нашей Галактики.
2. Пространства Минковского, ДеСиттера и анти-ДеСиттера как единственные максимально-симметричные четырехмерные пространства лоренцевой сигнатуры
3. Показать, что пространство скоростей специальной теории относительности является пространством постоянной отрицательной кривизны.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 19

1. Тензор кривизны Римана-Кристоффеля и его симметрии. Тензор Риччи и скаляр кривизны.
2. Однородные изотропные модели Вселенной и представление об их наблюдательных проверках. Реликтовое излучение и флуктуации его яркости.
3. Показать, что в трехмерном пространстве-времени не существует свободных гравитационных волн.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 20

1. Скалярно-тензорные теории гравитации. Конформные и дисформные преобразования метрики
2. Конечные стадии звёздной эволюции для звезд разных масс. Белые карлики, нейтронные звезды, пульсары. Представление о чёрных дырах.
3. Рассчитать квадрупольное гравитационное излучение нерелятивистской двойной системы

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 21

1. Слияние черных дыр. Квазинормальные моды и их наблюдение лазерными интерферометрами
2. Уравнение Даламбера в метрике Шварцшильда. Разделение переменных. Понятие об испарении черной дыры.
3. Запаздывание радиосигналов в Солнечной системе. Теория и эксперимент.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 22

1. Космологическая постоянная. Инфляционные модели ранней Вселенной.
2. Полная плотность материи во Вселенной и барионная плотность. Понятие критической плотности, космологической постоянной и возраста Вселенной.
3. Построить все векторы Киллинга для метрики Шварцшильда.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 23

1. Действие Эйнштейна-Гильберта и поверхностный член Гиббонса-Хокинга.
2. Сильное гравитационное линзирование, теория и наблюдения.
3. Планета массой две массы Земли обращается вокруг звезды типа Солнца на расстоянии 0.3 а.е. Плоскость орбиты наклонена к лучу зрения под углом 2 градуса. Оцените возможность наблюдения транзитов. Оцените амплитуду вариации лучевой скорости звезды. Сделайте вывод о возможности обнаружения планеты, если точность измерений соответствует скорости 40 см в секунду.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 24

1. Черные дыры и термодинамика. Закон возрастания энтропии в теории черных дыр.
2. Основные методы обнаружения экзопланет: вариация радиальной скорости, транзиты, гравитационное линзирование.
3. Гравитационное поле космической струны в линеаризованной гравитации.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 25

1. Фазовые переходы в ранней вселенной. Доменные стенки, космические струны и магнитные монополи.
2. Состав и динамика тел Солнечной системы. Основные возмущающие факторы.
3. Гравитационное поле бесконечно тонкой доменной стенки в линеаризованной гравитации.

Государственный экзамен по физике

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Направление 03.04.02 " Физика "

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Билет № 26

1. Энергия гравитационного поля. Понятие о псевдотензорах энергии-импульса.
2. Показать, что в трехмерном пространстве тензор кривизны полностью определяется тензором Риччи.
3. Оцените характерные размеры и период эпицикла для популяции звёзд старого диска, находящихся на расстоянии $R = 8$ кпк от центра Галактики, с дисперсией радиальных скоростей $\sigma_R = 50$ км/с. Считать кривую вращения диска "плоской" с круговой скоростью, равной $V(R) = V_0 = 240$ км/с/кпк.