

Элементы звёздной динамики

Лектор: д.ф.-м.н., профессор Расторгуев Алексей Сергеевич (кафедра экспериментальной астрономии физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Специальный
Семестр:	7
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	36 часов
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 данном лекционном курсе излагаются классические методы и результаты исследований строения, динамики и эволюции звёздных систем различных типов (звёздных скоплений, галактик), в которых доминируют силы взаимного притяжения звёзд. Даются базовые представления о способах описания звёздных систем, об их квазиравновесных состояниях, о регулярных и иррегулярных силах, возникающих при звёздных сближениях, и их роли в динамической эволюции. Строятся простейшие модели сферически-симметричных и осесимметричных звёздных систем, опирающиеся на известные интегралы и квазиинтегралы движения. В курсе широко используются методы статистической механики: студенты знакомятся с бесстолкновительным и столкновительным уравнением Больцмана, описывающим состояние звёздной системы, и с разными формами интеграла столкновений (Фоккера-Планка и Колмогорова-Феллера). Выводятся величины коэффициентов диффузии в пространстве скоростей и проводятся оценки времени столкновительной релаксации и темпа распада звёздных скоплений. Рассматривается влияние внешних приливных сил на звёздные системы и нестационарные стадии их эволюции, сопровождающиеся “бурной” релаксацией. Слушатели знакомятся с принципами прямого численного интегрирования гравитационной задачи N тел (Nbody).

Образовательные технологии

Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП

Предлагаемый курс входит в число спецкурсов, составляющих теоретическую основу специализаций “астрофизика”, “звёздная астрономия” и “небесная механика”, он служит базой для астрономических направлений, изучающих строение, кинематику и динамическую эволюцию звёздных группировок, скоплений и галактик (галактическая и внегалактическая астрономия).

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

Научно-исследовательская работа по дисциплинам специализаций “астрофизика”, “звёздная астрономия” и “небесная механика”.

Основные учебные пособия, обеспечивающие курс

1. И.Кинг. Введение в классическую звездную динамику. М.: URSS, 2003.
2. П.П.Паренаго. Курс звездной астрономии. М.-Л., 1954.

3. К.Ф.Огородников. Динамика звездных систем. М.: "Физматгиз", 1958.
4. С.Чандрасекар. Принципы звездной динамики. М.: ГИИЛ, 1948.

Список учебников и монографий представлен на сайте преподавателя (<http://lnfm1.sai.msu.ru/~rastor>)

Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс

Основные научные статьи, обеспечивающие курс

1. Л.С.Марочник, А.А.Сучков. "Галактика". М., "Наука", 1984.
2. Л.Спитцер. Динамическая эволюция шаровых скоплений. М.: "Мир". 1990.
3. J.Binney, S.Tremaine. "Galactic Dynamics". Princeton Univ. press, 2007.
4. У.Саслау. Гравитационная физика звездных и галактических систем. М.: "Мир", 1989.

Контроль успеваемости

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – качество решения элементарных задач, требующих усвоения 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 (по неделям освоения)

Лекция 1. Классификация звездных систем. Физические характеристики звездных систем. Методы изучения строения звездных скоплений. Интегральное уравнение Абеля для пространственной плотности. Результаты кинематических исследований звездных систем на основе лучевых скоростей и собственных движений звезд.

Лекция 2. Изолированные и неизолированные звездные системы. Влияние приливных сил. Расчет приливных радиусов звездных скоплений, движущихся по круговым орбитам. Тождество Лагранжа-Якоби. Теорема вириала. Применение теоремы вириала. Необходимые условия устойчивости звездной системы. Простейшая оценка темпа диссипации столкновительных звездных систем (по В.Амбарцумяну).

Лекция 3. Орбиты звезд в стационарных потенциальных полях. Понятие о константах движения и интегралах движения. Сферически-симметричные звездные системы. Орбиты звезд в поле осесимметричного потенциала. Модельные потенциалы. Орбитные "ящики". Типичные орбиты шаровых и рассеянных скоплений в Галактике.

Лекция 4. Почти круговые орбиты в осесимметричных галактиках. Эпициклическое описание орбит. Эпициклы и форма эллипсоида скоростей. Формула Линдблада. Структура орбит в фазовом пространстве. Поверхности сечения Пуанкаре. Понятие о регулярных и стохастических орбитах. Эргодические свойства орбит.

Лекция 5. Фазовое описание звездных систем. Вывод уравнения Больцмана для функции фазовой плотности. Вывод характерных времен для динамических процессов в звездных системах из теории размерностей. Понятие о времени релаксации в звездных системах. Короткая и длинная шкала характерных времен. Бесстолкновительные звездные системы.

Лекция 6. Уравнение Больцмана в криволинейных координатах. Понятие о равновесии звездных систем. Общее решение бесстолкновительного уравнения Больцмана. Связь классов симметрии звездных систем с числом интегралов движения. Наиболее общие решения для функции фазовой плотности бесстолкновительных звездных систем. Проблема "третьего

интеграла". Квазиинтегралы движения.

Лекция 7. Связь N -частичной функции распределения с фазовой плотностью. Вывод системы гидродинамических уравнений для звездных систем (уравнения Джинса). Сферические и осесимметричные системы. Макроскопические характеристики звездных систем. Уравнения Джинса для низких порядков. Отставание центроидов осесимметричных систем от LSR. Применение теории к наблюдательным данным в локальной Галактике.

Лекция 8. Цепочка уравнений для моментов функции распределения. Уравнение Пуассона и замыкание системы уравнений звездной гидродинамики. "Уравнения состояния": связь между макроскопическими параметрами. Распределение звезд по z -координате для несамосогласованного случая. Изотермические звездные системы. Соотношение между компонентами тензора дисперсий для осесимметричных галактик.

Лекция 9. Моделирование звездных систем, совместимых с гипотезой Шварцшильдского распределением скоростей. Модель Паренаго для осесимметричной галактики. Модель сферически-симметричного скопления с анизотропией в распределении скоростей.

Лекция 10. Модели изотропных сферических звездных систем. Баротропность. Политропные модели звездных систем. Решение Шустера. Общие свойства политропных сфер. Подобие изотермических сфер и понятие радиуса ядра.

Лекция 11. Модели сферических звездных систем с аналитической зависимостью фазовой плотности от интегралов движения. Фазовая плотность изотропных моделей, зависящая от интеграла энергии. Модель Мичи-Кинга. Эмпирическое приближение и его применение к звездным скоплениям. Структурные параметры скоплений. Модели сферических систем с зависимостью фазовой плотности от интегралов энергии и момента. Модели Мичи и Осипкова-Меррита. Понятие об анализе устойчивости моделей звездных систем.

Лекция 12. Столкновительные звездные системы. Распределение Хольцмарка для случайной силы. Распределение сил от ближайшего соседа. Обоснование учета парных сближений звезд. Вычисление кумулятивного эффекта. Расчет коэффициентов диффузии в пространстве скоростей. Верхняя граница прицельного параметра сближений. Понятие о динамическом трении. Обоснование бесстолкновительной звездной динамики.

Лекция 13. Столкновительное уравнение Больцмана. Общий вид интеграла столкновений. Учет малых изменений скорости в результате сближений. Уравнение Фоккера-Планка. Коэффициенты диффузии. Оценка темпа диссипации из уравнения Фоккера-Планка для Максвелловского распределения скоростей.

Лекция 14. Вероятностное описание звездных сближений. Роль тесных сближений. Вывод формулы Агеяна для вероятности сближения с заданным изменением скорости. Асимптотика вероятности для далеких сближений и устранение расходимости. Учет кратности звездных сближений.

Лекция 15. Уравнение Колмогорова-Феллера для звездной системы. Расчет локального темпа диссипации из столкновительной звездной системы. Диссипация полной энергии. Равновесная функция фазовой плотности для столкновительной системы. Особенности динамики звездных систем с неоднородным звездным составом.

Лекция 16. Динамическая эволюция простейшей модели звездного скопления с однородным звездным составом. Полная система уравнений, описывающих динамическую эволюцию, и ее решение. Время жизни модельного скопления. Возможные конечные стадии эволюции скоплений.

Лекция 17. Методы Монте-Карло расчета динамической эволюции звездных систем. Алгоритм Аарсета (Nbody) и другие программы моделирования динамической эволюции. Влияние тесных двойных звезд на динамическую эволюцию звездных скоплений. Механизмы образования тесных пар: тройные сближения и приливной диссипативный захват. Динамическая эволюция плотных ядер шаровых скоплений.

Лекция 18. Нестационарные стадии динамической эволюции звездных систем. Механизмы стохастизации и характерные времена. Понятие о бурной релаксации. Аналогия с затуханием Ландау. Простейшие оценки совместного влияния бурной и столкновительной

релаксации.