

Галактическая астрономия

Лектор:

Д.ф.-м.н., профессор Расторгуев Алексей Сергеевич
кафедра экспериментальной астрономии физического факультета МГУ,
milkyway@sai.msu.ru (7495) 939-1616

Аннотация дисциплины.

Курс галактической астрономии, непрерывно читаемый в МГУ с 1934 г., является одним из базовых общеобразовательных курсов астрономической специальности. В нём комплексно рассматриваются вопросы, связанные с происхождением, строением, кинематикой и динамикой нашей Галактики (Млечного Пути) и её населений, а также общие свойства объектов Галактики, используемые при исследовании процессов, происходящих в других галактиках. Рассматриваются основные методы наблюдательной астрономии.

Курс делится на пять частей. Во Введении (“Современные астрономические каталоги, базы данных, наземные и космические проекты”) рассматриваются результаты многоволновых наблюдений, выполненных на современных наземных и космических телескопах, и массовые звёздные каталоги. Дается обзор современных крупных наземных и космических телескопов и задач, решаемых с их помощью. Студенты знакомятся с информацией, содержащейся в центрах астрономических данных и архивах космических и наземных проектов. Дается полезная информация о работе с астрономической библиографией. Уделено внимание астрономическим ресурсам сети Интернет, “базам знаний” и концепции Виртуальной Обсерватории.

В первой части курса (“Астрономические данные и методы изучения населения галактик”) описаны основные методы позиционных, фотометрических и спектральных измерений. Дано представление об абсолютных и относительных методах определения расстояний во Вселенной и о иерархическом построении универсальной шкалы расстояний. Показаны и объяснены статистические связи между астрофизическими характеристиками звёзд, даны основы теории звёздной эволюции и их практическое применение для определения основных характеристик звёздных населений. Даются элементарные представления о синтезе химических элементов в недрах звёзд и основные подходы к анализу химической эволюции вещества Галактики. Обсуждается относительное содержание различных химических элементов как средство диагностики звёздных населений. Рассматриваются реализации популярных многоцветных фотометрических систем и физические основы спектральной классификации звёзд. Особое внимание уделено проблемам, связанным с влиянием межзвёздного поглощения пылью на результаты наблюдений.

Во второй части (“Изучение строения Галактики и её компонентов”) рассматриваются методы изучения строения галактических подсистем и свойства построенных на их основе многокомпонентных моделей галактических населений. Дается представление о методе популяционного синтеза. Обсуждаются методы исследования строения и динамики других галактик.

Третья часть курса (“Кинематика галактических населений”) посвящена применению разносторонних наблюдательных данных о расстояниях, лучевых скоростях и собственных движениях галактических объектов для анализа пространственных движений звёзд в разных подсистемах Галактики. Строится кривая вращения Галактики, определяются кинематические характеристики и особенности кинематики различных населений. Приведены основы теории эпизодического движения в дисках галактик и на их основе объяснен ряд особенностей кинематики дисков галактик, в том числе – отставание центроидов от Местного стандарта покоя. Описаны эффекты векового

"нагрева" звёздного диска и возможные причины этого эффекта. Обсуждаются методы и результаты анализа распределения масс в Галактике и Местной Группе на основе данных об их кинематике.

В четвертой части ("Звёздные скопления, или такие непростые "простые звёздные населения") подробно рассказывается о свойствах популяций рассеянных и шаровых скоплений Галактики как типичных представителей населений диска и галактического гало. Дается информация о каталогах звёздных скоплений, о фотометрических и кинематических методах выделения членов скоплений и способах оценки их возраста, расстояния и избытка цвета. Дается представление о факторах динамической эволюции и временах жизни звёздных скоплений. Уделено внимание вопросам множественности звёздных населений в шаровых и некоторых рассеянных скоплениях Галактики. Рассмотрены наблюдаемые эффекты неоднородности популяции шаровых скоплений, связанные с приливным распадом карликовых спутников Галактики.

Цели освоения дисциплины.

В результате освоения дисциплины студент приобретает следующие компетенции: способность к самостоятельному обучению и разработке новых методов исследования, владение навыками использования астрономической библиографии и баз данных, использование программных средств и работы в компьютерных сетях, знание базовых астрономических и физико-математических теорий и применение их в научных исследованиях, самостоятельное приобретение с помощью информационных и наблюдательных технологий и использование в практической деятельности новых знаний и умений, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности владение навыками самостоятельной работы, самостоятельная оценка результатов своей деятельности, самостоятельное или в составе группы ведение научного поиска.

Задачи дисциплины

В лекционном курсе даются фундаментальные представления о свойствах звёзд и звёздных систем, демонстрируется применение теорий звёздной эволюции и нуклеосинтеза к созданию моделей галактик, реализуется комплексный подход к изучению галактических населений на основе наблюдательных данных и результатов теоретических исследований.

Компетенции.

Компетенции необходимые для освоения дисциплины:

С-ОНК-1, С-ОНК-4, С-ОНК-5, С-ОНК-6

Компетенции формируемые в результате освоения дисциплины:

С-СК-3, С-ИК-3, С-ПК-1, С-ПК-2, С-ПК-4

Требования к результатам освоения содержания дисциплины.

В результате освоения дисциплины студент должен

знать базовые астрономические и физико-математические теории и применять их в научных исследованиях, знать основные понятия и математический аппарат, используемый в изучении звёздных систем.

уметь пользоваться базами астрономических данных и астрономическими каталогами, работать в коллективе исследователей, в т.ч. и над междисциплинарными проектами, уметь формировать цели работы, принимать решения;

владеть навыками самостоятельной работы;

иметь опыт деятельности в профессиональной сфере

1. Содержание и структура дисциплины.

Вид работы	семестр	Всего
	4	
Общая трудоёмкость, акад. часов	72	72
Аудиторная работа:		
Лекции, акад. часов	51	51
Семинары, акад. часов	0	0
Лаб. работы, акад. часов	0	0
Самостоятельная работа, акад. часов	21	21
Вид итогового контроля	Экз.	

N ра з- де ла	Наименование раздела Разделы могут объединять несколько лекций	Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий Распределение общей трудоёмкости по семестрам указано в рабочих планах (приложение 7)			Форма текущего контроля	
		Аудиторная работа				Самостоятельная работа Содержание самостоятельной работы должно быть обеспечено, например, пособиями, интернет-ресурсами, домашними заданиями и т.п.
		Лекции	Семинары	Лабораторные работы		

1	<p>раздел 1</p> <p>Массовые астрономические данные и методы исследований</p>	<p><i>3 часа.</i></p> <p>Звёздная и галактическая астрономия. Предмет, задачи и методы звёздной астрономии. Млечный Путь в разных диапазонах. Экваториальная и галактическая системы координат. Преобразование координат. Обозначения звезд. Современные массовые («все небесные») каталоги (GSC, A2.0, B1.0, UCAC3, 2MASS, SDSS, DENIS, RAVE, ASAS). Проекты HIPPARCOS и TYCHO и их результаты. Астрономические центры и базы данных. Виртуальные обсерватории. Астробиблиография. Некоторые астрономические ресурсы в сети Интернет. Крупные астрономические проекты близкого будущего.</p> <p><i>3 часа</i></p> <p>Тригонометрические параллаксы и собственные движения звезд. Лучевые скорости. Пространственные скорости. Групповые параллаксы. Шкала звездных величин. Фотометрические системы: узкополосные, среднеполосные и широкополосные и их характеристики. Показатели цвета. Нормальные цвета звезд. Их связь со спектральными классами и эффективной температурой. Боллометрические поправки. Светимости звезд и фотометрические расстояния. «Стандартные свечи»: нормальные звезды, цефеиды, RR-Лириды, Сверхновые типа Ia, соотношения Талли-Фишера и Фабера-Джексона.</p>	<p>Семинар 1.</p> <p><i>2 часа.</i></p> <p>Тема: Преобразование координат в астрономии. Использование массовых каталогов и баз астрономических данных.</p> <p>Использование матрично-векторного анализа. Знакомство с информацией, содержащейся в астрономических базах данных.</p> <p>Семинар 2.</p> <p><i>2 часа.</i></p> <p>Тема: Решение фотометрических задач.</p> <p>Использование астрономических таблиц для определения абсолютного блеска звёзд разных типов. Понятие об интегральном блеске звёздного скопления.</p>	нет	<p><i>6 часов.</i></p> <p>Работа с лекционным материалом: доступ к астрономическим базам данных.</p> <p><i>6 часов.</i></p> <p>Работа с лекционным материалом: решение задач по звёздной фотометрии.</p>	<p><i>Оп, Об</i></p>
---	---	---	---	-----	---	--------------------------

		<p><i>3 часа</i> Пыль в Галактике. Поглощение света и его учет. Избытки цвета. Двухцветные диаграммы. Линии покраснения. Связь избытков цвета и полного поглощения. Закон межзвездного поглощения от УФ до NIR. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела (цвет – величина, цвет-светимость). Общее представление об эволюции звезд, эволюционные треки, изохроны и объяснение диаграммы ГР. Функция светимости (общая и “парциальная”) и функция масс. Учет эффектов селекции и эволюционных эффектов.</p> <p><i>3 часа</i> Содержание химических элементов в атмосферах звезд. Показатель металличности [Fe/H] и массовое содержание основных элементов. Синтез химических элементов и особенности химического состава. α, γ, s-элементы. Обогащение газопылевой среды химическими элементами: характерные времена. Основные представления о химической эволюции звездных населений. Спектры звезд. Одномерная классификация и спектральные классы. Физические основы двумерной спектральной классификации. Двумерная классификация по Вильнюсским индексам. Классы светимости и спектральные параллаксы. Влияние различий в химическом составе на цвета и светимости звезд.</p>				
--	--	---	--	--	--	--

2	<p>Раздел 2.</p> <p>Строение Галактики и её компонентов</p>	<p><i>3 часа</i> Основные направления изучения строения Галактики. Метод звездных подсчетов: история и современные модификации. Пределы звездных подсчетов. Дифференциальная и интегральная функции блеска. Теорема Зеелигера и отклонения от нее. Интегральное уравнение Шварцшильда. Метод раздельного решения уравнения Шварцшильда. Влияние поглощения и недооценка звездной плотности. Расчет поглощения в плоских слоях и “закон косеканса”. Современные подходы к моделированию структурных компонентов Галактики. Фотометрические, динамические и “синтетические” модели. Понятие о популяционном синтезе. Некоторые часто используемые распределения плотности. <i>2 часа</i> Выбор функции массы и функции светимости. Проблема численности слабых звезд. Модели Бакалла – Сонеиры. Распределение звезд по цветам. Относительный вклад звезд диска и гало в звездные подсчеты. Популяционный синтез Безансонской группы. Наблюдения балджей галактик: выделение вкладов балджа и диска. Модели балджа и диска Галактики, основанные на распределении поверхностной яркости в ИК. Трехосный балдж/бар Галактики и его население.</p>	<p><i>Семинар 3.</i> <i>2 часа.</i> Тема: Закон поглощения, поглощение света и его учёт.</p> <p>Вычисление величины поглощения света в разных полосах по различным избыткам цвета на многоцветной широкополосной системы UBVR_IJHK. Работа с картами поглощения Шлегеля.</p> <p><i>Семинар 4.</i> <i>2 часа.</i> Тема: Распределение звезд по массам и светимостям.</p> <p>Вычисление полных масс и светимостей звездных скоплений и отношений масса – светимость..</p>	<p>Нет</p>	<p><i>6 часов.</i> <i>Работа с лекционным материалом:</i> Решение задач, связанных с учётом влияния поглощения света на звёздные подсчёты.</p> <p><i>6 часов.</i> <i>Работа с лекционным материалом:</i> использование моделей распределения плотности в звёздных системах.</p>	<p>ДЗ, Оп, Об</p>
---	--	--	---	------------	---	---

3	<p>Раздел 3.</p> <p>Кинематика галактических населений</p>	<p><i>3 часа</i></p> <p>Поля скоростей в галактиках. Общий подход к изучению кинематики: многокомпонентная структура Галактики. Систематические и случайные скорости. Понятие о центроиде группы объектов. Скорость объектов относительно Солнца. Вклад систематических и случайных движений в наблюдаемое поле скоростей. Движение местной выборки и апекс Солнца. Вклад скорости Солнца в лучевую скорость. Чисто круговые движения центроидов. Формулы Боттлингера для дифференциально вращающегося диска Галактики. Распределение пекулярных скоростей звезд и метод максимального правдоподобия. Эллипсоид скоростей и его свойства. Особая роль нормального (Гауссова) распределения. Идея метода статистических параллаксов.</p> <p><i>3 часа</i></p> <p>Раздельные решения уравнений Боттлингера. Определение кинематических параметров выборки: полиномиальное приближение для угловой скорости. Формулы Оорта: локальное приближение. Постоянная Оорта A и робастный метод уточнения шкалы расстояний.</p>	<p><i>Семинар 5.</i></p> <p><i>2 часа.</i></p> <p>Тема: Преобразование матрицы ковариации. Решение для кинематических параметров галактического диска методом максимального правдоподобия.</p>		<p><i>3 часа.</i></p> <p>Работа с лекционным материалом: определение параметров кривой вращения галактики и кинематического спирального узора.</p>	
---	---	---	--	--	--	--

		<p><i>2 часа</i></p> <p>Параметры кривой вращения молодых населений Галактики. “Плоские” кривые вращения и “темная материя”. Изучение вращения других спиральных галактик. Кинематические расстояния, оцениваемые по лучевым скоростям. Отношение осей эллипсоидов остаточных скоростей: теорема Линдблада. Локальная кинематика: систематическое изменение скоростей с цветом. Понятие об LSR (местном стандарте покоя). Отставание центроидов от LSR и рост дисперсии скоростей звезд. Скорость Солнца относительно LSR. “Нагрев” галактического диска. Физика излучения нейтрального водорода. Профили радиолиний и карты яркостной температуры. Кинематика нейтрального водорода HI: метод тангенциальной точки. Оценка размеров галактического газового диска. Изгиб газового диска.</p>	<p><i>Семинар 6.</i></p> <p><i>2 часа.</i></p> <p>Тема: Использование кинематических данных о локальных звездах для оценки структурных параметров галактического диска.</p> <p>Иллюстрация возможностей звездной динамики, связывающей строение и кинематику вращающихся дисков (уравнения Джинса).</p>		<p><i>6 часов.</i></p> <p>Работа с лекционным материалом: определение кинематических расстояний для разных кривых вращения и оценка точности.</p>	
--	--	---	---	--	---	--

		<p><i>3 часа</i> Эпициклическое приближение для малых отклонений от круговых орбит в диске Галактики. Эпициклическая частота. Характерные размеры эпициклов. Движение по z-координате. Оценки частоты вертикальных колебаний. Объяснение отставания центроидов от LSR. Отношение горизонтальных осей эллипсоида скоростей из теории эпициклов. Основные закономерности кинематики звезд плоских дисковых подсистем. Объяснение связей возраста, кинематики и пространственного распределения звезд диска на основе эпициклического приближения.</p> <p><i>3 часа</i> Некруговые движения центроидов. Полная кинематическая модель поля скоростей в волне плотности и кинематическая оценка основных параметров спирального узора Галактики. Спиральный узор и резонансы: коротация и резонансы Линдблада. Кинематика гало: переменные типа RR Лиры и шаровые скопления. Светимости и шкалы расстояний RR-Лирид. Характерные орбиты объектов гало. Старый диск и толстый диск. Выделение населения толстого диска. Кинематика переменных типа RR Лиры толстого диска. Максимально-правдоподобные оценки параметров. Толстый диск и разрушение карликовых спутников Галактики.</p>	<p><i>Семинар 7.</i> <i>2 часа.</i> Тема: Применение эпициклического приближения для решения задач звездной кинематики и вычисления орбит звезд.</p> <p><i>Семинар 8.</i> <i>2 часа.</i> Тема: Основы линейной теории спирального узора (решение задач).</p>		<p><i>6 часов.</i> Работа с лекционным материалом: применение эпициклического приближения для оценки плотности в галактике.</p>	
--	--	--	--	--	--	--

4	<p>Раздел 4.</p> <p>Звёздные скопления, или такие непростые “простые звёздные населения”</p>	<p><i>2 часа</i> Понятие о простых звёздных населениях. Система рассеянных скоплений Галактики. Каталоги и базы данных о рассеянных скоплениях. Определение возрастов и расстояний до скоплений методом наложения изохрон, пространственно-возрастное распределение рассеянных скоплений.</p> <p><i>3 часа</i> Шаровые звёздные скопления Галактики. Диаграммы Герцшпрунга-Рассела и стадии эволюции звёзд. Морфология горизонтальной ветви шаровых скоплений. “Голубые бродяги” и их свойства. Множественные населения в некоторых шаровых скоплениях и объяснение расщепления ветвей диаграммы ГР. Три популяции шаровых скоплений в Галактике и различия между ними. Особенности формирования шаровых скоплений. Шаровые скопления в других галактиках. Галактический “каннибализм”.</p>	<p><i>Семинар 9.</i> <i>2 часа.</i> Тема: Оценки параметров звёздных скоплений (массы, плотности, приливного радиуса, светимости).</p>		<p><i>6 часов.</i> Работа с лекционным материалом: определение возрастов и расстояний звёздных скоплений.</p>	
---	---	---	--	--	--	--

Семинары и лабораторные работы указываются только при их наличии в учебном плане (приложение 6). Остальные позиции заполняются в обязательном порядке.

Предусмотрены следующие формы текущего контроля успеваемости.

- | | | | | |
|--|--------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1. Защита лабораторной работы (ЛР); | 4. Реферат (Р); | 7. Рубежный контроль (РК); | 10. Контрольная работа (КР); | 15. Рейтинговая система (РС); |
| 2. Расчетно-графическое задание (РГЗ); | 5. Эссе (Э); | 8. Тестирование (Т); | 11. Деловая игра (ДИ); | 16. Обсуждение (Об). |
| 3. Домашнее задание (ДЗ); | 6. Коллоквиум (К); | 9. Проект (П); | 12. Опрос (Оп); | |

Место дисциплины в структуре ООП ВПО

1. обязательная дисциплина
2. базовая часть, профессиональный блок, модуль «Астрономия»
3. Курс является основой астрофизических курсов, поскольку в нем идет речь об основополагающих понятиях: звёздах, звёздных скоплениях и галактиках, населении галактик, методах астрофизических наблюдений и источниках массовых астрономических данных.

3.1 Курсы «Общей астрономии», «Сферической астрономии», «Астрометрии», «Astronomical distances», курсы «Аналитической геометрии» и «Линейной алгебры»

3.2 Остальные курсы из модуля «Астрономия»

2. Образовательные технологии

Курс сопровождается многочисленными подробными презентациями, доступными по сети Интернет, и учебными Интернет-пособиями. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Занятия могут проходить на русском или английском языках.

3. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме тестовой контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях и семинарах.

Список задач для контрольной работы

Форма отчетности: экзамен

Экзаменационные билеты:

Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная литература

Локтин А.В., Марсаков В.А. Лекции по звёздной астрономии. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2009 (<http://www.astronet.ru/db/msg/1245721>)

Расторгуев А.С. Курс лекций «Галактическая Астрономия» (PPT) (RUS) (<http://lnfm1.sai.msu.ru/~rastor/GA.HTM>)

Расторгуев А.С. Курс лекций «Astronomical Distances» (PPT) (ENG) (<http://lnfm1.sai.msu.ru/~rastor/AD.HTM>)

Расторгуев А.С., Заболотских М.В., Дамбис А.К. Кинематика населений Галактики. М.: ГАИШ МГУ, 2010. (<http://lnfm1.sai.msu.ru/~rastor/Materials.htm>)

Куликовский П.Г. Звездная астрономия. М.: «Наука», 1985.

Дополнительная литература

Мионов А.В. Основы астротометрии. М.: «Физматлит», 2008.

Марочник Л.С., Сучков А.А. Галактика. М.: «Наука», 1984.

Паренаго П.П. Курс звездной астрономии. М.-Л., 1954.

Холопов П.Н. Звездные скопления. М.: «Наука», 1981.

Расторгуев А.С. Применение метода максимального правдоподобия для исследования кинематики галактических подсистем. М.: ГАИШ МГУ, 2002.

(<http://lnfm1.sai.msu.ru/~rastor/Materials.htm>)

Кинг И. Введение в классическую звездную динамику. М.: УРСС, 2002

Binney J., Merrifield M. Galactic Astronomy. Princeton: Princeton University Press, 1998.

Binney J., Tremaine S. Galactic Dynamics. Princeton: Princeton University Press, 2007.

Периодическая литература

Интернет-ресурсы

Локтин А.В., Марсаков В.А. Лекции по звёздной астрономии. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2009 (<http://www.astronet.ru/db/msg/1245721>)

Расторгуев А.С. Курс лекций «Галактическая Астрономия» (PPT) (RUS)

(<http://lnfm1.sai.msu.ru/~rastor/GA.HTM>)

Расторгуев А.С. Курс лекций «Astronomical Distances» (PPT) (ENG)

(<http://lnfm1.sai.msu.ru/~rastor/AD.HTM>)

Расторгуев А.С., Заболотских М.В., Дамбис А.К. Кинематика населений Галактики. М.: ГАИШ МГУ, 2010. (<http://lnfm1.sai.msu.ru/~rastor/Materials.htm>)

Расторгуев А.С. Применение метода максимального правдоподобия для исследования кинематики галактических подсистем. М.: ГАИШ МГУ, 2002. (<http://lnfm1.sai.msu.ru/~rastor/Materials.htm>)

4. Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по специальности «Астрономия» имеются:

аудитории №26 и № 48 в здании ГАИШ МГУ, проекционное оборудование и ноутбуки.