

## **Рабочая программа дисциплины**

### **1. Физика галактик**

### **2. Лекторы.**

**2.1.** Д.ф.-м.н., Засов Анатолий Владимирович, кафедра астрофизики и звездной астрономии физического факультета МГУ, e-mail: zasov@sai.msu.ru, телефон.: +7(495) 939-1660

### **3. Аннотация дисциплины.**

Физика галактик – быстро развивающаяся область астрофизики, объединяющая в себе звездную динамику, физику и эволюцию звездных систем, физику межзвездного газа и звездообразования. Спецкурс посвящен изложению теоретических и экспериментальных направлений изучения галактик. Две основные составляющие курса - это динамика газовых и звездных подсистем, а также звездообразование и связанные с ним процессы в галактиках. Спецкурс содержит обширный фактический материал, охватывающий важнейшие данные наблюдений галактик в различных спектральных интервалах. Обсуждаются методы получения информации из спектральных и фотометрических данных и современные возможности наблюдений. Рассматриваются физические процессы, происходящие в галактиках, как обусловленные внутренними причинами, так и связанные с их окружением. Особое внимание уделяется нерешенным проблемам, затрагивающим наблюдаемые особенности галактик, многообразие их типов, условия звездообразования, формирование структур диска, а также взаимодействие галактик с окружающей средой. В спецкурсе раскрывается общая картина современных представлений о природе галактик и процессах, которые в них протекают.

### **4. Цели освоения дисциплины.**

Знакомство с методами и результатами исследования галактик. Приобретение профессиональных знаний в области внегалактической астрономии и в знакомстве с решаемыми в настоящее время проблемами. Иллюстрация применения законов физики для объяснения процессов, наблюдаемых в галактиках. Умение производить простейшие численные оценки, связывающие важнейшие параметры галактик.

### **5. Задачи дисциплины.**

В результате освоения дисциплины «Физика галактик» студенты должны приобрести профессиональные знания о методах и результатах исследования галактик и о связи этих исследований с решением смежных проблем астрофизики и космологии, познакомиться с методами получения численных оценок величин, относящихся к физическим характеристикам галактик и их подсистем.

### **6. Компетенции.**

#### **7.1. Компетенции, необходимые для освоения дисциплины.**

ПК-1, ПК-2

#### **7.2. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины**

ПК-2, ПК-3, ПК-6.

### **7. Требования к результатам освоения содержания дисциплины**

В результате освоения дисциплины студент должен профессионально знать основы физики галактик, иметь ясное представление о наблюдаемых процессах в галактиках, уметь производить простые вычисления, основанные на определенных физических принципах, связывающие различные параметры звездных и газовых подсистем галактик,

владеть информацией об актуальных проблемах изучения галактик, решаемых современниками.

#### 8. Содержание и структура дисциплины.

Вид работы	Семестр			Всего
	7			
<b>Общая трудоёмкость, акад. часов</b>	72			72
<b>Аудиторная работа:</b>	36			36
Лекции, акад. часов	36			36
Семинары, акад. часов	-			-
Лабораторные работы, акад. часов	-			-
<b>Самостоятельная работа, акад. часов</b>	36			36
<b>Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, эк-замен)</b>	Зачет			Зачет

N раз- дела	Наименование раздела	Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий			Форма текущего контроля
		Аудиторная работа		Самостоятельная ра- бота	
		Лекции	Семинары		
1	Вводный раздел. Ос- новные свойства нашей Галактики. Морфологическая классификация и ос- новные составляю- щие наблюдаемых галактик.	<i>№1. 2 часа. Строение и основные параметры нашей Га- лактики. Понятие размера, светимости, массы, поверхностной яркости галактик, интервалы наблюдае- мых значений, связь с морфологическим ти- пом. Базы внегалак- тических данных. Ос- новные источники из- лучения в различных спектральных диапа- зонах.</i>			<i>Оп, Об</i>

2	Структура галактик и галактических дисков	<p>№2. 2 часа.</p> <p><i>Структурные компоненты галактик и физические процессы, определяющие разделение на компоненты. Радиальный профиль яркости дискового и сфероидального компонента, эмпирические законы. «Вертикальное» распределение плотности для звездного диска и изотермичного газового диска, условия применимости к реальным галактикам.</i></p>			3 часа. Работа с лекционным материалом.	Об
---	---	--	--	--	---	----

		<p>№3. 2 часа.  <i>Круговая скорость, связь с распределением потенциала. Учет градиента давления (радиальной дисперсии скоростей). Различие между динамикой звездной и газовой составляющей галактических дисков. Определение массы эллиптических галактик по дисперсии скоростей и по рентгеновскому свечению газа.</i></p>			3 часа. Работа с лекционным материалом.	
3	Кинематика галактических дисков	<p>№4. 2 часа.  <i>Методы измерения максимальных скоростей вращения и кривых вращения галактик (оптические и радио наблюдения). Принципы восстановления полей скоростей по оптическим наблюдениям (разрезы длинной щелью, интерферометр Фабри-Перо). Не-круговые скорости газа и звезд.</i></p>			3 часа. Работа с лекционным материалом.	Оп

4	<p>Моделирование кривых вращения. Проблема «темной массы».</p>	<p>№5. 2 часа.  <i>Моделирование кривых вращения и оценка массы дисковых галактик. Модели распределения массы: сфера, эллипсоид, экспоненциальный диск. Составляющие кривой вращения, связанные с отдельными компонентами. Проблема неоднозначности их определения и пути ее решения. «Темная» масса в дисковых и эллиптических галактиках, ее наблюдаемые проявления.</i></p>			<p>3 часа. Работа с лекционным материалом.</p>	
5	<p>Гравитационная устойчивость столкновительных и бесстолкновительных дисков</p>	<p>№6. 2 часа.  <i>Условия гравитационной устойчивости газовых и звездных дисков к возмущениям в плоскости диска. Дисперсионное соотношение. Использование условия устойчивости для оценки масс дисков. Представление о численном моделировании динамической эволюции равновесных галактических дисков.</i></p>			<p>3 часа. Работа с лекционным материалом.</p>	<p>Оп, Об</p>

6	Изгибная неустойчивость	<p>№7. 4 часа.  Представление об изгибной неустойчивости звездного диска и ее роли в установлении вертикальной шкалы диска. Условия устойчивости диска к изгибным возмущениям. Связь относительной толщины диска с массой темного гало.</p>				
7	Наблюдаемые свойства спиральной структуры галактик	<p>№8. 4 часа.  Наблюдаемые свойства спиральных ветвей, упорядоченная и флоккулентная структура. Проблема "долгоживучести" спиралей. Представление о волновой природе спиралей, наблюдаемые свидетельства волновых движений.</p>			<p>№9. 4 часа.  Работа с лекционным материалом. Подготовка к контрольной работе</p>	<p>OK</p>

8	Элементы теории спиральных волн плотности	<p>№10. 2 часа.</p> <p><i>Математическое описание возмущений в линейной спиральной волне плотности.</i></p> <p><i>Элементы линейной гравитационной теории спиральных волн плотности в дисках галактик. Дисперсионное соотношение.</i></p> <p><i>Параметры волны.</i></p> <p><i>Области распространения волн, резонансы.</i></p> <p><i>Механизмы возбуждения спиралей. Бар-структуры.</i></p>			2 часа. Работа над ошибками контрольной работы.	Об
---	---	--	--	--	---	----



9	Газ в галактиках	<p>№11. 2 часа.  Атомарный и молекулярный газ, методы наблюдения и относительная масса.. Фактор конверсии. Физические факторы, влияющие на относительное количество молекулярного газа. Радиальное распределение поверхностной плотности газа, связь с устойчивостью диска. Газ в спиральных ветвях галактик.</p>			3 часа. Работа с лекционным материалом.	Об
---	------------------	---	--	--	---	----

10	Наблюдаемые проявления звездообразования	<p>№12. 2 часа.</p> <p>Наблюдаемые проявления звездообразования в галактиках различных типов, индикаторы звездообразования. Области звездообразования, основные характеристики, распределение по диску. Газо-звездные комплексы. Ожидаемые размеры и массы комплексов для маргинально устойчивых газовых дисков. Особенности звездообразования в спиральных ветвях и во внешних областях галактик.</p>			3 часа. Работа с лекционным материалом.	Об Оп
----	--	--	--	--	---	----------

11	Количественные оценки темпов и эффективности звездообразования	№13. 2 часа. Принципы количественных (модельных) оценок темпов звездообразования. Темпы звездообразования в галактиках разных типов. Вспышки звездообразования и ожидаемые свойства молодых галактик. Понятие эффективности звездообразования (SFE). Изменение темпов звездообразования и относительной массы газа со временем при постоянстве SFE.	12		3 часа. Работа с лекционным материалом.	Об
12	Физические факторы, регулирующие процесс звездообразования	№14. 2 часа. Физические факторы, увеличивающие и уменьшающие SFE в галактиках. Связь темпов звездообразования с плотностью атомарного и молекулярного газа и локальной плотностью звездного диска. Галактики как открытые системы: влияние внешних факторов на звездообразование.				Об

13	Особенности звездообразования в околоядерных и во внешних областях галактик	№15. Особенности звездообразования в околоядерных областях галактик и областях, далеких от центра. Околоядерные диски, их наблюдаемые свойства. Звездообразование в условиях низкой средней плотности газа.				
14	Активность ядер галактик	№ 16. 2 часа. Сверхмассивные черные дыры и ядерные скопления, связь с активностью ядер. Проблема формирования центральных компактных объектов.			2 часа Работа с лекционным материалом	Об
15	Галактики как открытые системы	№ 17. 2 часа. Галактики как открытые системы. Взаимодействие галактик. Аккреция. Взаимодействие с горячим газом в скоплениях.			№ 18. 4 часа. Подкотвка к зачету	Оп, Об

## 9. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

1. Дисциплина является обязательным спецкурсом кафедры
2. Базовая часть, профессиональный блок, модуль «Астрономия».
3. Курс является связывающим звеном между общими курсами «Общая астрофизика», «Звездная астрономия» и спецкурсами по звездной динамике, физике межзвездной среды, эволюции галактик и космологии.

3.1. Дисциплины и практики, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины.

«Общая астрономия», «Общая астрофизика», «Звездная астрономия». «Механика»

3.2. Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее.

Спецкурсы по звездной динамике, физике межзвездной среды, эволюции галактик и космологии. Ее освоение также необходимо для научно-исследовательской работы, курсовой работы, дипломной работы, связанной с исследованием галактик.

## 10. Образовательные технологии

Дискуссии.

Использование интернет-ресурсов.

Использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

## 11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

**Промежуточная аттестация** проводится на 9 неделе в форме 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.

### Примерный список задач для контрольной работы

1. Найти светимость галактики (в светимостях Солнца), если известна центральная поверхностная яркость диска, шкала диска и расстояние до галактики. Значения параметров задаются преподавателем
2. Оценить интегральную массу диска с экспоненциальным распределением плотности  $\sigma(R) = \sigma(0)\exp(-R/R_0)$  по величине  $V_{\max}$  и положению  $R_{\max}$  экстремума кривой вращения. Значения параметров задаются преподавателем.
3. Найти скорость вращения сферически симметричной галактики на расстоянии  $R_0$  от центра, если ее объемная плотность убывает с  $R$  по закону  $\rho(R) = \rho_0 - aR$ . Значения параметров задаются преподавателем.
4. Оценить массу эллиптической галактики в пределах заданного радиуса, если известно значение дисперсии скоростей звезд, которая не меняется с расстоянием до центра. Значения параметров задаются преподавателем.

5. Найти массу сферического компонента галактики в пределах двух радиальных шкал диска, если известна центральная плотность диска и скорость кругового движения на этом расстоянии. Значения параметров задаются преподавателем.
6. Оценить толщину звездного диска по известной дисперсии скоростей звезд и поверхностной плотности диска. Значения параметров задаются преподавателем.
7. Оценить толщину газового слоя по известной турбулентной скорости газа и объемной плотности звездного диска. Значения параметров задаются преподавателем
8. Оценить плотность газового слоя в плоскости звездного диска с заданной объемной плотностью, если известна скорость турбулентных движений газа. Значения параметров задаются преподавателем
9. Найти центральную поверхностную плотность и массу диска с экспоненциальным распределением плотности по известной центральной поверхностной яркости и радиальной шкале диска. Значения параметров задаются преподавателем.
10. Оценить плотность диска в области  $R_{\max}$ , где скорость вращения  $V_{\max}$  максимальна, и массу диска, если известна радиальная дисперсия скоростей звезд. Использовать предположение о его пороговой гравитационной устойчивости. Значения параметров задаются преподавателем

### **Полный список вопросов к зачету**

1. Назовите основные источники излучения в эллиптических и спиральных галактиках в различных диапазонах (рентген, УФ, видимый, ближний ИК, далекий ИК, миллиметровый и метровый радиодиапазоны).
2. Что понимают под радиусом, эффективным радиусом, радиусом обрыва и радиальной шкалой диска галактик? Каковы характерные значения этих величин? Что такое параметр Серсика?
3. Нормальные галактики, карликовые галактики, галактики низкой яркости. Характерные значения размеров, светимостей, центральных поверхностных яркостей. Чем отличаются между собой галактики различных морфологических типов?
4. Как различаются спиральные и эллиптические галактики, если сравнивать их звездное население, содержание горячего и холодного газа, характер движения звезд?
5. Толщина звездного диска в зависимости от дисперсии скоростей звезд и его объемной (в плоскости диска) или поверхностной плотности (приближение плоского изотермического слоя). Каковы характерные значения толщины? Что понимают под «толстым диском»?
6. Толщина газового диска галактик в зависимости от дисперсии скоростей газа и от объемной плотности звездного диска (приближение плоского изотермического газового слоя) Каковы характерные значения толщины?
7. Какие физические причины могут быть ответственны за динамический «нагрев» звездных дисков галактик? В чем они проявляется?
8. Условие равновесия газового диска вдоль вертикальной оси. Как связан период малых колебаний звезд или газовых облаков относительно плоскости диска (по  $z$ - координате) с плотностью звездного диска?
9. Эпициклическая частота, ее физический смысл, связь с угловой скоростью для кривой вращения вида  $V \sim R^n$ ? Каковы характерные значения этой частоты для галактик типа нашей?

10. Из каких наблюдений оценивается количество атомарного газа в галактиках, какова его относительная масса для галактик различных типов? Связь массы газа и потока в линии HI.
11. Из каких наблюдений и как оценивается количество молекулярного газа в галактиках? Связь массы молекулярного газа и светимости в линии CO. В чем сложность оценки массы H<sub>2</sub>? Каковы характерные значения отношения M<sub>H<sub>2</sub></sub>/M<sub>HI</sub> и почему это отношение меняется с радиусом?
12. От каких динамических параметров зависит интегральная масса газа в галактике, если плотность газового слоя близка к предельной для его гравитационной устойчивости?
13. В чем различие динамики газа и звезд в галактиках? Каковы характерные значения дисперсии скоростей HI и молодых звезд в дисках галактик и какие физические процессы определяют величину этой дисперсии?
14. Из каких наблюдений получают оценки скорости вращения? Учет эффектов проекции. К чему приводит нарушение осевой симметрии диска?
15. Могут ли газ и звезды в диске иметь различные скорости вращения на одинаковом расстоянии от центра? В чем причина различия между круговой скоростью и скоростью вращения?
16. Как скорость кругового вращения диска связана с распределением гравитационного потенциала в плоскости диска? Как связана скорость вращения и круговая скорость для случая изотропной дисперсии скоростей?
17. Как соотносится масса M(R) и круговая скорость V(R) для сферически –симметричной галактики с плотностью  $\rho \sim R^{-n}$ .
18. Как связана масса M(R) диска с величиной и положением экстремума на кривой вращения V(R), если диск обладает с экспоненциальным распределением плотности  $\sigma(R) = \sigma(0)\exp(-R/R_0)$ .
19. Как кривая кругового вращения галактики связана с кривыми вращения для отдельных компонент, составляющих галактику? В чем заключается проблема неоднозначности интерпретации кривой вращения и как она решается?
20. Дисперсионное соотношение для радиальных возмущений вращающегося тонкого диска и физический смысл отдельных его членов. В каком приближении оно получено? Чем определяется критическое значение дисперсии скоростей для гравитационной устойчивости тонкого диска к радиальным возмущениям?
21. Способы количественных оценок массы звездного населения и темного гало в дисковых и в эллиптических галактиках и предположения, на которых они основаны.
22. В чем заключается проблема долгоживучести спиралей и как она решается? Какие типы спиральной структуры встречаются в галактиках? Возможные механизмы возбуждения и поддержания волн плотности.
23. Дисперсионное соотношение, описывающее распространение спиральных волн плотности в тонких галактических дисках, физический смысл отдельных членов. В каком приближении оно получено?
24. Методы количественных оценок темпов звездообразования (SFR). На каких допущениях они основаны? Соотношения между текущими SFR и средними за историю.
25. Понятие эффективности звездообразования. Связь между удельным темпом звездообразования (SFR/L) и SFE для случая не меняющегося со временем SFE.
26. Глобальные и локальные факторы, влияющие на SF. Крупномасштабные неустойчивости: парке-ровская и гравитационная. Роль спиральных волн плотности в звездообразовании.

27. Содержание тяжелых элементов в межзвездном газе, зависимость от относительной массы газа. Понятие эффективного выхода  $Y_{\text{eff}}$ . Какие факторы могут влиять на его значение?
28. Галактики как открытые системы. Влияние окружения на структуру и физические процессы в галактиках: гравитационные и не-гравитационные механизмы взаимодействия.
29. Особенности галактик в скоплениях. Условие выметания и/или сильного сжатия газового слоя галактики внешним давлением. Особенности и возможное происхождение линзовидных галактик.
30. В чем проявляется активность галактических ядер? Какова мощность выделения энергии? Наблюдаемые свидетельства существования сверхмассивных черных дыр в ядрах галактик.

## **12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

А.В.Засов, К.А.Постнов. Общая астрофизика, глава 9. М., Век-2, 2-е издание, 2011.

В.Г.Горбацкий. Введение в физику галактик и скоплений галактик.  
М., Наука, 1986.

А.М.Фридман, А.В. Хоперсков. Физика галактических дисков. М., Физматлит, 2011. Главы 1,4,7,10

### **Интернет-ресурсы**

<http://www.sai.msu.ru/dept/zasovotd/index.html>

**Методические указания к лабораторным занятиям -**

**Методические указания к практическим занятиям -**

## **13. Материально-техническое обеспечение**

Аудитория 48. ГАИШ МГУ. Мультипроектор. Компьютер. Доска и мел.