

Лекция 9 декабря

1. Млечный Путь

Млечный Путь - Полоса туманного света, опоясывающая небо, которая образуется светом огромного количества звезд нашей Галактики.



В мифах и легендах многих народов мира его называли Дорогой Богов, таинственным Звездным Мостом, ведущим в райские кущи, волшебной Небесной Рекой, наполненной божественным молоком. Полагают, что именно он имелся в виду, когда старинные русские

сказки говорили о молочной речке с кисельными берегами. А жители древней Эллады звали его *Galaxias kuklos*, что означает «молочный круг». Отсюда и происходит привычное сегодня слово Галактика. Название «Галактика» (то же что и «Млечный Путь») происходит от греческого *Γαλαξίας*, производного от слова *γάλα* — молоко. Согласно древнегреческой легенде, Зевс решил сделать своего сына от смертной женщины Геракла бессмертным, и для этого подложил его спящей жене Гере, чтобы Геракл выпил божественного молока. Гера, проснувшись, увидела, что кормит не своего ребёнка, и оттолкнула его от себя. Брызнувшая из груди богини струя молока превратилась в Млечный Путь.

Млечный Путь — одна из многочисленных галактик Вселенной. Является спиральной галактикой с перемычкой типа **SBbc** по классификации Хаббла, и вместе с галактикой Андромеды (M31) и галактикой Треугольника (M33), а также несколькими меньшими галактиками-спутниками образует Местную группу, которая, в свою очередь, входит в Сверхскопление Девы.

Видимая полоса представляет собой рассматриваемый "изнутри" диск Галактики. Солнце в Галактике располагается ближе к краю, на расстоянии двух третей расстояния от центра галактического диска. Поэтому Млечный Путь кажется наиболее ярким в направлении балджа вокруг галактического центра, который лежит в созвездии Стрельца. Облака пыли затеняющей свет звезд, придавая Млечному Пути пятнистый вид.

В северном полушарии Млечный Путь пересекает созвездия Орла, Стрелы, Лисички, Лебедя, Цефея, Кассиопеи, Персея, Возничего, Тельца и Близнецов; в южном — Единорога, Кормы, Парусов, Южного Креста, Циркуля, Южного Треугольника, Скорпиона и Стрельца. В Стрельце находится галактический центр.

Предположение, что Млечный Путь скопище слабо светящихся звезд, впервые высказал **Демокрит** (460-370, Др. Греция). Доказал это в декабре 1609г **Галилео Галилей** (1564-1642, Италия), направив свой 32-х кратный телескоп на небо. В 2004 году группа астрономов, работающих на телескопе VLT в Чили, пришла к заключению, что наша

Галактика имеет возраст 13 миллиардов 700 миллионов лет, плюс-минус 800 миллионов лет.

2. Состав Галактики (греч. молочный) - **огромная звездная система сплюснутой формы.** Галактика является **гравитационно-связанной** космической системой: силы тяготения играют решающую роль в ее существовании и наряду с силами инерции и силами электромагнитной природы определяют структуру и основные свойства Галактики. Наша **Галактика** - спиральная система массой $3 \cdot 10^{12} M_{\odot}$, диаметром порядка **100000** св.лет и светимостью $2-4 \cdot 10^{10} L_{\odot}$. Галактика состоит из **200-350** миллиардов звезд и множества других космических объектов: более **6000** галактических молекулярных облаков, содержащих в себе до 50% межзвездного газа, туманностей, планетных тел и их систем, нейтронных звезд, белых и коричневых карликов, черных дыр, космической пыли и газа. Диск Галактики пронизан крупномасштабным магнитным полем, удерживающим частицы космических лучей и заставляющим их двигаться вдоль магнитных линий по винтовым траекториям. 85-95% видимой массы Галактики сосредоточено в звездах, 5-15% - в межзвездном диффузном газе. Массовая доля тяжелых элементов в химическом составе Галактики составляет 2%. Возраст Галактики **$13,7 \pm 0,8$ млрд. лет.** Большая часть звезд Галактики образовалась свыше 9 млрд. лет назад.



1. Звезды - в Галактике до 350 млрд. звезд. Самые многочисленные - карлики. Кроме одиночных и их спутников (планет) около 70% двойных и кратных звезд. Телескопическим наблюдениям доступно лишь 10^9 звезд - до 1% всех звезд Галактики. На фото, полученном в мае 2002г американскими астрономами, работающими на Гавайских островах на северном телескопе "Gemini" сфотографирована двойная звезда, в которой оба светила вращаются вокруг единого центра масс. Звезды удалены друг от друга всего на 3 астрономические единицы. Один из объектов звездной системы - небольшая звезда, а второй - белый карлик.

Интересно, что космический телескоп Chandra в 2005 году разглядела пару из белых карликов, обращающихся один вокруг другого всего за 321 секунду. И период обращения, по словам ученых, быстро сокращается. Сейчас расстояние между звездами системы J0806 всего 80 тыс. км, но в будущем они должны слиться. Этот объект может оказаться одним из самых мощных источников гравитационных волн в нашей Галактике, которые, возможно, ученые сумеют обнаружить в будущем.

Возраст старейших обнаруженных в Галактике звезд составляет **13,2 млрд лет.**



2. Звёздное скопление - группы звезд связанных силой тяготения. В будущем скопление стареет и разрушается под действием внутренних и внешних сил (рассеянное разрушается быстрее). Открыл скопления **Вильям Гершель** (1738-1822, Англия) с 1775г по 1790г (более 250 и составил три каталога).

а) Рассеянное - содержат обычно от 50 до 2000 массивных больших звезд, распределенных в области размером в несколько световых лет (от 1,5 до 20пк). Члены такого скопления находятся на значительно большем удалении друг от друга, чем в шаровых скоплениях. (в среднем 1зв/пк³, в центре до 80зв/пк³). Их массы от 10 до сотни масс Солнца, типичный возраст около 10 млн.лет. Рассеянные скопления состоят из относительно плотного ядра и более разреженной короны, содержащей, однако, сравнимое с ядром число звезд. В среднем радиус ядра ≈ 3 пк, радиус короны в 2-10 раз больше. Известно около 1200 рассеянных скоплений.



Эти скопления относительно молоды (звезды 1 типа, богатые металлами), обычно содержат много горячих и очень ярких звезд, имеют возраст максимум до 3 млрд.лет. Они расположены в диске Галактики и поэтому на небе лежат в пределах Млечного Пути. Они движутся почти по круговым орбитам со скоростью

150-200 км/с. Среди общеизвестных рассеянных скоплений выделяются **Плеяды**, **Гиады**, "Шкатулка драгоценностей" и другие. Молодые звезды классов O, B, A возрастом 0,1-3 млрд. лет в рассеянных скоплениях относятся к новому III поколению звезд. Они содержат около 3-4% тяжелых элементов.

Рассеянное звёздное скопление



б) Шаровое - Плотное скопление сотен тысяч или даже миллионов звезд (в основном красные гиганты и субгиганты), форма которого близка к сферической. Самое яркое шаровое скопление в небе - Омега Центавра (ω Cen) диаметром 620 световых лет (диаметры обычно от 15 до 600 св.лет). Это одно из самых старых известных шаровых скоплений, возраст которого, как полагают,

достигает 13 млрд. лет. Некоторые самые старые звезды нашей Галактики также содержатся в шаровых скоплениях. Шаровые скопления распределены внутри сферического гало вокруг Галактики и движутся по очень вытянутым эллиптическим орбитам вокруг центра Галактики со

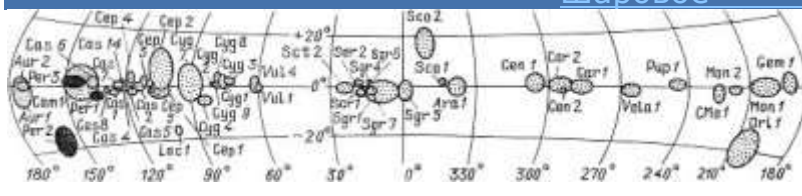
скоростями более 50 км/с. Известно более 170 таких скоплений. Концентрация звезд в центральной части - несколько тысяч и даже десятков тысяч в 1 пк³ (в окрестностях Солнца пространственная концентрация звезд составляет всего лишь 0,13 звезды в 1 пк³). Массы скоплений составляют 10⁴-10⁶ М_☉. В скоплениях встречаются переменные звезды различных типов, наиболее многочисленны типа RR Лиры, встречаются также долгопериодические цефеиды сферической составляющей Галактики (типа W Девы), звезды типа Миры Кита и др.

Звезды в шаровых скоплениях имеют низкое содержание элементов тяжелее гелия. Это согласуется с предположением о том, что они сформировались из первоначального вещества Галактики до того, как межзвездная среда обогатилась элементами, образующимися только внутри звезд.

Шаровое скопление M13

Шаровые скопления обнаружены и в других галактиках. Так в M87 (спир. Девы) открыто более 20000, в БМО около 5000 (но истинно старых только 10) и т.д.

Шаровое звёздное скопление



в) Звёздная

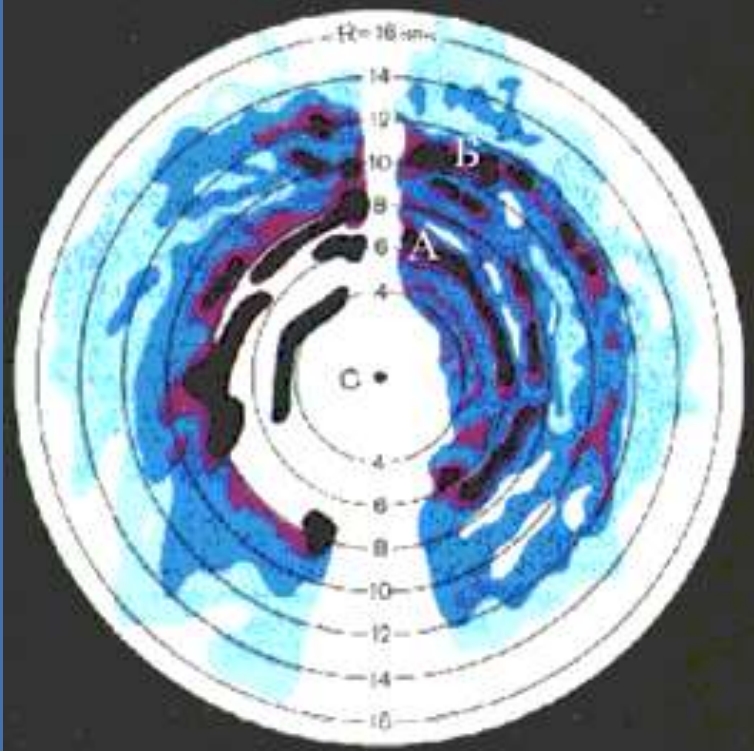
ассоциация - разреженная группа молодых звезд, обычно с числом звезд от десятка

до сотни. Открыты в 1947г астрофизики **Бениамин Егисевич МАРКАРЯН** (1913-1985, СССР) и **Виктор Амазаспович АМБАРЦУМЯН** (1908-1996, СССР) в Бюраканской обсерватории. Обнаружены вдоль спиральных рукавов Галактики; всего их известно около 70. Звезды не очень связаны силами взаимной гравитации, а различие их скоростей приводит к тому, что за несколько миллионов лет (10-20) ассоциации рассеиваются в пространстве. Ассоциации всегда обнаруживаются вместе с межзвездным веществом, из которого, как можно предполагать, они образовались. **Рис.** Распределение ОБ-ассоциаций вдоль Млечного Пути. Нанесена сетка галактических координат. Отсутствие ассоциаций между долготами 30° и 60° связано с тем, что в этом направлении мы видим промежуток между спиральными рукавами.

Различают следующие типы звёздных ассоциаций:

- ОБ-ассоциации, содержащие в основном массивные звёзды спектральных классов **O** и **B**
- Т-ассоциации, содержащие в основном маломассивные переменные звёзды типа Т Тельца
- R-ассоциации (от R — reflection), в которых звёзды спектральных классов **O** — **A2** окружены отражательными газопылевыми туманностями.

3. Межзвездная среда - диффузное вещество в пространстве внутри



галактики между отдельными звездами. В нашей Галактике масса вещества в межзвездной среде составляет, по некоторым оценкам, по крайней мере одну десятую от массы звезд. Концентрация вещества межзвездной среды весьма неравномерна. Она резко возрастает в плоскости вращения Галактики и в слое толщиной 500 св. лет диаметром 100000 св. лет составляет 10^{-21} кг/м³. Облака поглощающей звездный свет темной, плотной пылевой материи видны на фоне Млечного пути невооруженным глазом в созвездиях Лебедя, Змееносца, Щита, Стрельца. Наибольшую плотность она приобретает в направлении ядра Галактики. Турбулентная межзвездная плазма сконцентрирована в облаках, занимающих около 20% межзвездной среды. Вне спиральных рукавов редкие плазменные облака размерами менее 26 пк и плотностью электронов 0,1-0,3 частиц/см³ обнаруживаются на расстояниях до ± 900 кпк от плоскости Галактики. Облака в спиральных рукавах (± 200 пк от плоскости Галактики) имеют размеры до 50 пк, электронную плотность 0,2-1,0 частиц/см³. В зонах звездообразования в плоскости Галактики электронная плотность облаков размерами 10-50 пк достигает 1-10 частиц/см³. Разреженный нейтральный газ вдали от звезд прозрачен для оптического излучения. Изучению распределения и характеристик газа в межзвездной среде и ГМО способствует радиоизлучение молекулярного водорода ($\lambda = 0,21$ м) и гидроксила OH ($\lambda = 0,18$ м). На рисунке показано распределение плотности нейтрального водорода в плоскости Галактики: А – ГМО в ядре; Б - ГМО в "молекулярном кольце" Галактики.

Между звездами и межзвездной средой происходит непрерывное взаимодействие, которое приводит к возникновению целого ряда разнообразных компонентов: **темных облаков газа и пыли**, областей **ионизированного водорода** и **нейтрального водорода**, **молекулярных облаков**, **глобул**, а также очень

горячего **разреженного газа** и высокоэнергичных частиц **космических лучей**.

а) Туманности (Туманность) - облако межзвездного газа и пыли. Этот термин раньше использовался для объектов, о которых теперь известно, что они представляют собой галактики. Например, большую "туманность Андромеды" теперь правильнее называть галактикой Андромеды. Плотность в туманностях очень мала и составляет порядка $10^{-18} - 10^{-20}$ кг/м³.



Туманность Ориона, M42 и M43 - лежащая на расстоянии в 1500 световых лет - самая близкая к нам яркая туманность, которая может наблюдаться невооруженным глазом. Она была первой замеченной в 1916г и первой сфотографированной в 1882г. Внутренние области излучают в основном в зеленом свете ионизированного кислорода, что вместе с красным излучением

водорода придает центру туманности желтоватый цвет. Энергию для этого эффектного зрелища дает маленькое скопление звезд Трапеция, лежащее в самой яркой части туманности и видимое в бинокль.

Эмиссионная туманность светится в присутствии ультрафиолетового излучения; Отражательная туманность отражает свет звезд. Поглощающая туманность (Тёмные туманности) представляет собой темное образование и обычно видна лишь силуэтом на фоне светящейся туманности или на ярком звездном фоне. Список тёмных туманностей

Среди других объектов, состоящих из светящегося газа и также называемых туманностями, выделяются Планетарные туманности и Остаток сверхновой. В современных Диффузные туманности довольно много пыли, различных газов, тяжелых химических элементов и сложных молекулярных соединений.

Изображения: Туманности

Тройная туманность Туманность Гомункулус Туманность Орёл
Туманность Песочные часы.

б) Молекулярные облака - облако межзвездного вещества, в котором газ имеет по преимуществу молекулярную форму - области звездообразования. Существуют молекулярные облака двух различных типов - малые молекулярные облака и гигантские молекулярные облака (ГМО). Облака обоих типов в пределах Млечного Пути можно найти вблизи галактической плоскости. Малые облака имеют обычно несколько световых лет в диаметре, плотность порядка 1000-10000 молекул в кубическом сантиметре и температуру около 10-20 К. В таких облаках встречаются и более холодные сконденсированные "ядра", где плотность в десять или сто раз больше. Малые облака содержат главным образом молекулярный водород (H₂). Не получая энергии излучения звезд, они остаются очень холодными. ГМО масса может достигать миллиона масс Солнца и 60пк в диаметре. Плотность их в сотни раз больше плотности облаков атомарного водорода, а температура всего 10К. Содержание пыли

в них небольшое, но именно это делает их непрозрачными. На расстоянии от 4 до 8 тысяч парсек от галактического центра располагается "**молекулярное кольцо**" Галактики - скопление ГМО массой до $3 \cdot 10^9 M_{\odot}$. В туманности Ориона, например, ГМО лежит позади оптически видимой туманности. Другой пример связан с туманностью "Омега" (M17). ГМО, содержащее от трех до пяти миллионов солнечных масс вещества, расположено вблизи галактического центра, перед радиоисточником Стрелец В2. Оно содержит многие из известных типов межзвездных молекул. Предполагают, что в Галактике существует более 6000 ГМО.

в) Межзвездная пыль - маленькие частицы в межзвездной среде. Частицы межзвездной пыли (размером 0,005 - 1 мкм) в межзвездной среде обычно смешаны с газом. Составляя меньше 1% массы межзвездной среды, пыль поглощает гораздо больше света и генерирует гораздо больше инфракрасного излучения, чем газ. Свет звезд, рассеиваемый частицами пыли, создает отражающую туманность.

Большая часть пыли, как полагают, порождается при оттоке вещества от холодных красных гигантов. По мере того, как с увеличением расстояния от звезды газ охлаждается, происходит конденсация твердых веществ. Обнаруженное у таких звезд инфракрасное излучение показывает, что они и в самом деле окружены оболочками пыли. Вещество может конденсироваться в зерна также внутри молекулярных облаков.

г) Ионизированный водород - водородный газ, в котором электроны находятся отдельно от протонов. Водородные облака в межзвездном пространстве ионизируются в значительной степени из-за поглощения ультрафиолетовых фотонов, которые имеют достаточно энергии, чтобы оторвать электроны от атомов. Ионизированный водород - главная составляющая областей H II (или H⁺), горячих облаков, которые имеют приблизительно сферическую форму размером порядка 600 световых лет. Ионизация возникает из-за интенсивного ультрафиолетового излучения молодых O - и B-звезд, находящихся внутри таких облаков. Одна из ближайших областей H II - гигантская Туманность Ориона. Ионизированный водород присутствует также в остатках сверхновых и оболочках планетарных туманностей.

д) Нейтральный водород (H I или H⁰) - неионизированный атомарный водородный газ, представляющий собой важный компонент межзвездной среды. Возможно, он составляет около половины ее массы, хотя плотность его очень низка (в среднем около 50 атомов в кубическом сантиметре).

Температура нейтрального водорода лежит между 25 и 250 K, т.е. газ слишком холоден, чтобы излучать в видимом диапазоне. Однако измерение радиоизлучения на длине волны 21 см позволило картировать распределение нейтрального водорода в спиральных рукавах нашей собственной Галактики и других близлежащих галактик.

е) Глобулы - маленькое почти сферическое облако темного непрозрачного газа и пыли, которое обнаруживается на более ярком фоне, типа звездных облаков или яркой туманности. Предполагают, что глобулы представляют раннюю стадию процесса звездообразования. Имя голландско-американского астронома Барта Бока (1906-1983) связано с маленькими глобулами, известными как глобулы Бока, которые могут

иметь в поперечнике только несколько тысяч астрономических единиц.

ж) Космические лучи - высокоэнергичные элементарные частицы (с энергией до 10^{21} эВ: протоны -91,7%, релятивистские электроны -0,92%, ядра атомов гелия -6,6% и более тяжелых химических элементов-0,72%), движущиеся сквозь Вселенную фактически со скоростью света. Они были открыты **Виктором Францевичем ГЕСС** (1883- 1964 , Австрия) 7 августа 1912г во время полета на воздушном шаре. Космические лучи с более низкой энергией генерируются внутри Галактики взрывами сверхновых, остатками сверхновых и пульсарами. Несмотря на низкую пространственную плотность космических лучей (у Земли – 1 частица/см³× с), плотность их энергии сравнима с плотностью энергии суммарного электромагнитного излучения звезд, энергии теплового движения межзвездного газа и магнитного поля Галактики. Основным источником космических лучей являются вспышки Сверхновых.

з) Магнитное и гравитационное поле - поля пронизывающие Галактику. Общее магнитное поле Галактики обладает индукцией около 10^{-10} Тл. Силовые линии в основном параллельны галактической плоскости и изгибаются вдоль ее спиральных рукавов. Взаимодействуя с заряженными частицами космических лучей, магнитное поле Галактики искривляет траектории их движения вдоль силовых линий и тормозит релятивистские электроны, порождая нетепловое (синхротронное) излучение радиоволн с длиной волны более 1 м. В галактических окрестностях Солнца силовые линии поля вытянуты в направлении $\theta = 90-100^\circ$. Это близко к направлению вдоль спирального рукава Ориона. Напряжённость поля $\approx 1-3$ мкЭ. Наряду с регулярным (крупномасштабным) компонентом магнитного поля обнаружены его флуктуации с масштабом $\sim 100-200$ пк и с амплитудой порядка основного поля. Более сильные поля ($\sim$ несколько десятков мкЭ) связаны с плотными облаками газа. Кроме того, в галактической окрестности Солнца известны сравнительно большие области регулярного поля, откуда идёт усиленное синхротронное излучение. Эти области (т. н. шпур) дугообразно выступают над плоскостью галактического диска и являются, по-видимому, старыми остатками вспышек сверхновых звёзд.