

## Краткое содержание лекций

### Лекция 1.

Межзвёздная среда (МЗС) — вещество и поля, заполняющие межзвёздное пространство внутри галактик<sup>[1]</sup>. Состав: межзвёздный газ, пыль (1 % от массы газа), межзвёздные электромагнитные поля, космические лучи, а также гипотетическая тёмная материя. Химический состав межзвёздной среды — продукт первичного нуклеосинтеза и ядерного синтеза в звёздах. На протяжении своей жизни звёзды испускают звёздный ветер, который возвращает в среду элементы из атмосферы звезды. А в конце жизни звезды с неё сбрасывается оболочка, обогащая межзвёздную среду продуктами ядерного синтеза.

Пространственное распределение межзвёздной среды нетривиально. Помимо общегалактических структур, таких как перемычка (бар) и спиральные рукава галактик, есть и отдельные холодные и тёплые облака, окружённые более горячим газом. Основная особенность МЗС — её крайне низкая плотность, в среднем 1000 атомов в кубическом сантиметре.

### Лекция 2.

Квазár (англ. quasar; из лат. quas(i) «наподобие», «нечто вроде» + англ. (st)ar «звезда») — класс астрономических объектов, являющихся одними из самых ярких (в абсолютном исчислении) в видимой Вселенной.

Предполагается, что квазары являются мощными и далёкими активными ядрами галактик. Как считается, в них находится сверхмассивная чёрная дыра, которая в результате аккреции вытягивает на себя материю из окружающего пространства. Это приводит к огромной массе «дыры» и мощному излучению.

Мощность излучения квазара иногда в десятки и сотни раз превышает суммарную мощность всех звёзд таких галактик, как наша. Следы родительских галактик вокруг квазаров (причём далеко не всех) были обнаружены лишь позднее.

В первую очередь квазары были опознаны как объекты с большим красным смещением, имеющие электромагнитное излучение (включая радиоволны и видимый свет) и настолько малые угловые размеры, что в течение нескольких лет после открытия их не удавалось отличить от «точечных источников» — звёзд (напротив, протяжённые источники больше соответствуют галактикам<sup>[1]</sup>; звёздная величина самого яркого +12.6. Для сравнения, звёздная величина самой яркой звезды –1.46).

По одной из теорий, квазары представляют собой галактики на начальном этапе развития, в которых сверхмассивная чёрная дыра поглощает окружающее вещество<sup>[2][3]</sup>. В последнее время принято полагать, что источником излучения является аккреционный диск сверхмассивной чёрной

дыры, находящейся в центре галактики, и, следовательно, красное смещение квазаров больше космологического на величину гравитационного смещения, предсказанного А. Эйнштейном в общей теории относительности (ОТО).

### Лекция 3.

Предметом данной статьи является современное представление об основных этапах развития Вселенной с момента её образования и до наших дней. Оно базируется на следующих теориях:

- теории расширения Фридмана;
- теории Большого взрыва (теории горячей Вселенной);
- теории инфляции;
- иерархическая теории формирования крупномасштабной структуры;
- теории звёздного населения.

Экстраполяция расширения Вселенной назад во времени приводит к точке космической сингулярности, вблизи которой ныне известные законы физики перестают работать. Время же расширения из этой космической сингулярности до современного состояния называют возрастом Вселенной; по различным данным, оно составляет приблизительно 14 млрд лет.

Расширение является основным процессом, на фоне которого происходят все остальные, поэтому всю историю развития можно разделить на этапы расширения<sup>[1]</sup>:

1. Планковская эпоха — момент с которого начинает работать современная физика<sup>[⇔]</sup>.

2. Инфляционная стадия. На этой стадии происходит резкое увеличение размеров Вселенной, а в конце его — также сильный нагрев.

3. Стадия радиационного доминирования. Основная стадия ранней Вселенной. Температура начинает снижаться и в начале электрослабое взаимодействие отделяется от сильного взаимодействия<sup>[⇔]</sup>, затем образуются кварки<sup>[⇔]</sup>. После смены последовательных эпох адронов<sup>[⇔]</sup> и лептонов<sup>[⇔]</sup>, в эпохе нуклеосинтеза<sup>[⇔]</sup> образуются привычные нам химические элементы.

4. Эпоха доминирования вещества (пыли). В начале этой эпохи электромагнитное излучение отделяется от вещества и образуется реликтовый фон. Затем идут тёмные века. Они заканчиваются, когда излучение первых звёзд повторно ионизирует вещество.

5.  $\Lambda$ -доминирование. Текущая эпоха.

## Лекция 4.

### Стадии звездной эволюции

Этот процесс является закономерным, то есть неизбежным. В самом деле, тепловая неустойчивость межзвездной среды неизбежно ведет к ее фрагментации, то есть к разделению на отдельные, сравнительно плотные облака и межоблачную среду. Однако собственная сила тяжести не может сжать облака - для этого они недостаточно плотны и велики. Но тут "вступает в игру" межзвездное магнитное поле. В системе силовых линий этого поля неизбежно образуются довольно глубокие "ямы", куда "стекаются" облака межзвездной среды. Это приводит к образованию огромных газовой-пылевых комплексов. В таких комплексах образуется слой холодного газа, так как ионизирующее межзвездное ультрафиолетовое излучение звезд сильно поглощается находящейся в плотном комплексе космической пылью, а нейтральные атомы углерода сильно охлаждают межзвездный газ и "термостатируют" его при очень низкой температуре - порядка 5-10 градусов Кельвина. Так как в холодном слое давление газа равно внешнему давлению окружающего более нагретого газа, то плотность в этом слое значительно выше и достигает нескольких тысяч атомов на кубический сантиметр. Под влиянием собственной гравитации холодный слой, после того как он достигнет толщины около одного парсека, начнет "фрагментировать" на отдельные, еще более плотные сгустки, которые под воздействием собственной гравитации будут продолжать сжиматься. Таким вполне естественным образом в межзвездной среде возникают ассоциации протозвезд. Каждая такая протозвезда эволюционирует со скоростью, зависящей от ее массы.

## Лекция 5.

В 1896 году французский физик А.Беккерель открыл явление радиоактивности: он обнаружил, что соль урана испускает какое-то излучение.

Изучение поведения открытых Беккерелем лучей при прохождении ими магнитного поля показало, что они состоят из трех компонент (рис.1). Поскольку ничего не было известно о природе этих лучей, их назвали просто первыми буквами греческого алфавита:  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ - излучениями. Впоследствии выяснилось, что  $\alpha$ - частицы - это ядра гелия (заряжены положительно),  $\beta$ - частицы - это электроны (отрицательные и на рисунке отклоняются в другую сторону),  $\gamma$ - лучи - электромагнитное излучение (нейтральное, магнитным полем не отклоняется).

Годом ранее Рентген открыл излучение, которое он назвал "X-лучами" (первый снимок руки в этих лучах на рис.2). Оно оказалось тоже электромагнитным.

Начнем рассмотрение процессов с заряженных частиц  $\alpha$ - частиц, протонов, электронов... При попадании в образец они теряют энергию и рассеиваются.

## **Лекция 6.**

Перейдем к описанию распространения излучения в среде, с которой взаимодействует излучения. Взаимодействие излучения и вещества можно рассматривать на различных физических уровнях. Для наших целей будет достаточно введения макроскопических коэффициентов излучения и поглощения света, хотя расчет самих коэффициентов как функцию частоты фотона и физических характеристик среды проводится классическими электродинамическими и квантовыми методами.

## **Лекция 7.**

Астрономия — одна из древнейших наук. Доисторические культуры и древнейшие цивилизации оставили после себя многочисленные астрономические артефакты, свидетельствующие о знании ими закономерностей движения небесных тел. В качестве примеров можно привести додинастические древнеегипетские монументы и Стоунхендж. Первые цивилизации вавилонян, греков, китайцев<sup>[en]</sup>, индийцев, майя и инков уже проводили методические наблюдения ночного небосвода. Но только изобретение телескопа позволило астрономии развиваться в современную науку. Исторически астрономия включала в себя астрометрию, навигацию по звёздам, наблюдательную астрономию, создание календарей и даже астрологию. В наши дни профессиональная астрономия часто рассматривается как синоним астрофизики.

В XX веке астрономия разделилась на две главные ветви: наблюдательную и теоретическую<sup>[en]</sup>. Наблюдательная астрономия — это получение наблюдательных данных о небесных телах, которые затем анализируются. Теоретическая астрономия ориентирована на разработку компьютерных, математических или аналитических моделей для описания астрономических объектов и явлений. Эти две ветви дополняют друг друга: теоретическая астрономия ищет объяснения результатам наблюдений, а наблюдательная астрономия даёт материал для теоретических выводов и гипотез и возможность их проверки.

## **Лекция 8.**

История науки знает множество попыток представить сложные процессы во Вселенной в виде определенных схем. Успешное познание окружающего мира и приведение наблюдаемых явлений к простейшим

понятиям возможны лишь в том случае, если мы сумеем описать мир в терминах ограниченного числа фундаментальных взаимодействий.

В основе научного мировоззрения лежат представления о материи. По определению В. И. Ленина, материя - это философская категория для обозначения объективной реальности, которая отображается нашими ощущениями и существует независимо от них. С понятием материи связано бесконечное множество существующих в мире объектов и систем, проявляющих все реально существующие свойства, связи и формы движения. Неотъемлемый атрибут материи - движение. Материи присущи саморазвитие, превращение одних состояний и форм в другие. Всеобщие формы бытия - пространство и время. Универсальное свойство материи - отражение.

### **Лекция 9.**

Деление ядра — процесс расщепления атомного ядра на два (реже три) ядра с близкими массами, называемых осколками деления. В результате деления могут возникать и другие продукты реакции: лёгкие ядра (в основном альфа-частицы), нейтроны и гамма-кванты. Деление бывает спонтанным (самопроизвольным) и вынужденным (в результате взаимодействия с другими частицами, прежде всего, с нейтронами). Деление тяжёлых ядер — экзотермический процесс, в результате которого высвобождается большое количество энергии в виде кинетической энергии продуктов реакции, а также излучения. Деление ядер служит источником энергии в ядерных реакторах и ядерном оружии.

### **Лекция 10.**

Для звезд с массами меньше  $0.43M_{\odot}$  основным механизмом переноса является конвекция, что значительно меняет соотношение. Для звезд с массами, превышающими  $20M_{\odot}$ , зависимость принимает вид  $L \propto M$ .<sup>[1]</sup> Можно показать, что данное изменение зависимости возникает благодаря увеличению давления излучения в массивных звездах. Данные уравнения получены эмпирически при определении масс звезд в двойных системах, расстояние до которых известно из измерений параллакса или при применении других методов. При нанесении данных о достаточно большом количестве звезд на график с логарифмическим масштабом осей точки образуют линию, наклон которой показывает величину  $a$ .

Зависимость масса-светимость важна, поскольку позволяет оценить расстояние до двойных систем, которые слишком далеки для того, чтобы было возможным измерение их параллакса, в рамках метода динамических параллакса. Также данная зависимость может быть использована для определения времени жизни звезды, поскольку оно приблизительно пропорционально отношению  $M/L$ .

## Лекция 11.

Научная картина мира — одно из основополагающих понятий в философии науки — особая форма систематизации знаний, качественное обобщение и мировоззренческий синтез различных научных теорий. Будучи целостной системой представлений об общих свойствах и закономерностях мира, научная картина мира существует как сложная структура, включающая в себя в качестве составных частей общенаучную картину мира и картины мира отдельных наук. Картины мира отдельных наук, в свою очередь, включают в себя соответствующие многочисленные концепции — определённые способы понимания и трактовки каких-либо предметов, явлений и процессов объективного мира, существующие в каждой отдельной науке<sup>[1]</sup>.

Система убеждений, утверждающая основополагающую роль науки как источника знаний и суждений о мире называется сциентизм.

В процессе познания окружающего мира в сознании человека отражаются и закрепляются знания, умения, навыки, типы поведения и общения. Совокупность результатов познавательной деятельности человека образует определённую модель (картину мира). В истории человечества было создано и существовало довольно большое количество самых разнообразных картин мира, каждая из которых отличалась своим видением мира и специфическим его объяснением. Однако прогресс представлений об окружающем мире достигается преимущественно благодаря научному поиску<sup>[2]</sup>. В научную картину мира не входят частные знания о различных свойствах конкретных явлений, о деталях самого познавательного процесса. Научная картина мира не является совокупностью всех знаний человека об объективном мире, она представляет собой целостную систему представлений об общих свойствах, сферах, уровнях и закономерностях реальной действительности<sup>[1]</sup>.

## Лекция 12.

Анализируя свойства излучения, испущенного космическими объектами, определяют физические свойства небесных тел. По наблюдаемому излучению прежде всего определяют положение источника на небе и его форма. При известном расстоянии до небесного тела по его излучению можно найти также размеры тела и общее количество энергии, излученной за тот или иной промежуток времени. Этих сведений обычно недостаточно для того, чтобы определить физическое состояние тела, и тем более для выяснения природы происшедшего на нем взрыва. Информацию о физическом состоянии небесных тел получают, исследуя излучение в отдельных, узких промежутках длин волн. Для понимания методов таких исследований необходимо познакомиться с процессами, обуславливающими излучение тел. Так как подавляющее большинство небесных тел состоит из

газа, причем имеющего высокую температуру, то мы ограничимся описанием процессов свечения нагретого газа.

Газ, как и все другие тела, состоит из атомов, представляющих собой системы заряженных частиц. Вокруг ядра атома, имеющего положительный заряд, движутся электроны, заряд которых отрицателен. Если заряд ядра равен суммарному заряду электронов, то атом называют нейтральным, а в том случае, когда это условие не выполняется - ионом. Простейшим из всех является атом водорода, обладающий всего одним электроном. Ядро атома водорода называется протоном. У следующего по сложности атома - гелия - ядро, вчетверо превосходящее по массе ядро атома водорода, состоит из двух протонов и двух частиц, называемых нейтронами, лишенных заряда и очень близких по своей массе к протону. Электронов в атоме гелия также два.

Энергия движения электрона в поле ядра не может быть произвольной. Для каждого атома существует некоторый набор (совокупность) допустимых значений энергии электрона - энергетических состояний атома. О причинах, вызывающих эту особенность строения атомов, рассказать здесь не представляется возможным, так как соответствующая теория слишком сложна. Отметим только, что указанный факт подтвержден огромным числом физических экспериментов.

### **Лекция 13.**

Космические лучи — элементарные частицы и ядра атомов, движущиеся с высокими энергиями в космическом пространстве

Физика космических лучей изучает:

- процессы, приводящие к возникновению и ускорению космических лучей;
- частицы космических лучей, их природу и свойства;
- явления, вызванные частицами космических лучей в космическом пространстве, атмосфере Земли и планет.

Изучение потоков высокоэнергетичных заряженных и нейтральных космических частиц, попадающих на границу атмосферы Земли, является важнейшими экспериментальными задачами.

Классификация по происхождению космических лучей:

- вне нашей Галактики
- в Галактике
- на Солнце
- в межпланетном пространстве

Первичными принято называть внегалактические и галактические лучи. Вторичными принято называть потоки частиц, проходящие и трансформирующиеся в атмосфере Земли.

Космические лучи являются составляющей естественной радиации (фоновой радиации) на поверхности Земли и в атмосфере.

До развития ускорительной техники космические лучи служили единственным источником элементарных частиц высокой энергии. Так, позитрон и мюон были впервые найдены в космических лучах.

Энергетический спектр космических лучей на 43 % состоит из энергии протонов, ещё на 23 % — из энергии гелия (альфа-частиц) и 34 % энергии, переносимой остальными частицами<sup>[3]</sup>.

По количеству частиц космические лучи на 92 % состоят из протонов, на 6 % — из ядер гелия, около 1 % составляют более тяжелые элементы, и около 1 % приходится на электроны<sup>[3][4]</sup>. При изучении источников космических лучей вне Солнечной системы протонно-ядерная компонента в основном обнаруживается по создаваемому ею потоку гамма-лучей орбитальными гамма-телескопами, а электронная компонента — по порождаемому ею синхротронному излучению, которое приходится на радиодиапазон (в частности, на метровые волны — при излучении в магнитном поле межзвёздной среды), а при сильных магнитных полях в районе источника космических лучей — и на более высокочастотные диапазоны. Поэтому электронная компонента может обнаруживаться и наземными астрономическими инструментами

#### **Лекция 14.**

Звёздная эволюция в астрономии — последовательность изменений, которым звезда подвергается в течение её жизни, то есть на протяжении миллионов или миллиардов лет, пока она излучает свет и тепло. В течение таких колоссальных промежутков времени изменения оказываются весьма значительными.

Звезда начинает свою жизнь как холодное разреженное облако межзвёздного газа, сжимающееся под действием гравитационной неустойчивости и постепенно принимающее форму шара. При сжатии энергия гравитационного поля переходит в тепло, и температура объекта возрастает. Когда температура в центре достигает 15—20 миллионов К, начинаются термоядерные реакции и сжатие прекращается. Объект становится полноценной звездой. Первая стадия жизни звезды подобна солнечной — в ней доминируют реакции водородного цикла<sup>[1]</sup>. В таком состоянии она пребывает большую часть своей жизни, находясь на главной последовательности диаграммы Герцшпрунга — Расселла, пока не закончатся запасы топлива в её ядре. Когда в центре звезды весь водород превращается в гелий, образуется гелиевое ядро, а термоядерное горение водорода продолжается на периферии ядра.



В этот период структура звезды начинает меняться. Её светимость растёт, внешние слои расширяются, а температура поверхности снижается — звезда становится красным гигантом, которые образуют ветвь на диаграмме Герцшпрунга-Рассела. На этой ветви звезда проводит значительно меньше времени, чем на главной последовательности. Когда накопленная масса гелиевого ядра становится значительной, оно не выдерживает собственного веса и начинает сжиматься; если звезда достаточно массивна, возрастающая при этом температура может вызвать дальнейшее термоядерное превращение гелия в более тяжёлые элементы (гелий — в углерод, углерод — в кислород, кислород — в кремний, и наконец — кремний в железо).

Изучение звёздной эволюции невозможно наблюдением лишь за одной звездой — многие изменения в звёздах протекают слишком медленно, чтобы быть замеченными даже по прошествии многих веков. Поэтому учёные изучают множество звёзд, каждая из которых находится на определённой стадии жизненного цикла. За последние несколько десятилетий широкое распространение в астрофизике получило моделирование структуры звёзд с использованием вычислительной техники.

### **Лекция 15.**

В XIX в. для обнаружения инфракрасного излучения астрономы пользовались термопарами - двумя соединенными проволочками из разных металлов. Если место их соединения нагревают ИК-лучи, то на концах проволочек возникнет электродвижущая сила. Измеряя ее, можно узнать интенсивность лучей, попавших на термопару, а по ней - и температуру небесного тела. Именно так в прошлом веке определили температуру поверхности Луны, а затем и планет. Следующим шагом стало создание болометра. Главным элементом этого прибора является зачерненная полоска фольги специального состава, поглощающая ИК-лучи. Электрическое сопротивление фольги меняется при повышении температуры. Измерив это изменение, также можно установить интенсивность падающего на нее излучения. В настоящее время в качестве детекторов с успехом применяют и полупроводниковые кристаллы.

И все же чувствительность этих приборов остается невысокой, а трудности измерений очень велики. Ведь в инфракрасном диапазоне излучают не только звезды и планеты, но и все предметы вообще, в том числе детали аппаратуры, "забивая" слабый сигнал от небесных тел. Чтобы ослабить эти помехи, аппаратуру охлаждали - сначала "сухим льдом", позднее жидким азотом и наконец жидким гелием. Для уменьшения собственного излучения начали охлаждать и сами детекторы. Только после этого чувствительность аппаратуры стала удовлетворять требованиям астрономов. В качестве собирающих устройств в инфракрасных телескопах используются обычные

вогнутые зеркала, как и при оптических наблюдениях. Однако требования к точности обработки отражающей поверхности здесь значительно ниже, поэтому изготовление рефлекторов с диаметрами зеркал 2-4 м особых технических сложностей не представляет. Наблюдения в ИК-лучах можно выполнять при помощи наземных телескопов, установленных высоко в горах, со стратостатов и даже с высотных самолетов. С развитием космической техники наступила очередь телескопов, размещаемых на спутниках. Большое значение имел вывод на околоземную орбиту в 1983 году инфракрасного телескопа IRAS, в котором использовалось охлаждение приемной аппаратуры жидким гелием. Телескоп проработал на орбите год, пока не испарился весь 300-литровый запас гелия. За это время ученым удалось многое узнать об инфракрасной Вселенной.