

Содержание

| | |
|--|-----------|
| Предисловие | 7 |
| Благодарности | 11 |
| I. Жизнь звезды | 13 |
| Звездный свет | 15 |
| Рождение и смерть звезд | 17 |
| Звезды и элементы | 21 |
| Будущее звездной Вселенной | 28 |
| II. Многообразие нейтронных звезд | 31 |
| Все хорошо в меру | 33 |
| Предсказание и открытие нейтронных звезд | 35 |
| Радиопульсары и рентгеновские пульсары — старый зоопарк | 38 |
| Магнитары, Великолепная семерка и все-все-все — новый зоопарк нейтронных звезд | 41 |
| Источники энергии нейтронных звезд | 44 |
| Отпечатки «пальцев» сверхновых на нейтронных звездах | 48 |
| III. Эволюция нейтронных звезд | 51 |
| Вращение | 53 |
| Изменение магнитного поля | 57 |
| Тепловая эволюция | 62 |

| | |
|---|-----|
| IV. Недра нейтронных звезд | 67 |
| Экстремальное состояние вещества | 69 |
| Из чего сделаны нейтронные звезды | 70 |
| Вращение и состав | 73 |
| Измерение температуры как способ изучения недр | 75 |
| Глитчи | 78 |
| Вопросы о массе и масса вопросов | 81 |
| Как сейчас отвечают на главный вопрос? | 83 |
| V. Свойства двойных звезд | 89 |
| Главный параметр | 91 |
| Про тройняшек | 92 |
| Эволюция двойных | 94 |
| Новые и сверхновые | 96 |
| Посмертные красоты двойных систем | 100 |
| Размеры двойных | 101 |
| Гиперскоростные звезды | 106 |
| Планеты двойных звезд | 109 |
| VI. Релятивистские двойные звезды | 111 |
| Массивные двойные | 113 |
| Измерение масс и радиусов в двойных системах | 117 |
| Двойные с черными дырами | 121 |
| Ультрамощные рентгеновские источники | 123 |
| Вращение звезд и магнитары | 127 |
| Двойные радиопульсары | 129 |
| VII. Гравитационные волны | 137 |
| Теория гравитации и геометрия | 139 |
| Волны пространства-времени | 145 |
| Слияния нейтронных звезд | 148 |
| Как ловят гравитационные волны | 150 |

| | |
|---|-----|
| VIII. Скорости компактных объектов | 155 |
| Стремительные звезды..... | 157 |
| Взаимодействие и разгон..... | 158 |
| Измерения скоростей пульсаров..... | 160 |
| Взрыв сверхновой и скорость..... | 163 |
| Гравитационная ракета..... | 166 |
| IX. Одиночные компактные объекты | 169 |
| Миллиард нейтронных звезд..... | 171 |
| Аккреция на одиночные компактные объекты..... | 172 |
| Гравитационное линзирование..... | 177 |
| X. Магнитары | 183 |
| Изобретение магнитаров..... | 185 |
| Открытие магнитаров..... | 187 |
| Аномальные рентгеновские пульсары..... | 190 |
| Сильные поля..... | 192 |
| Картина запутывается..... | 195 |
| XI. Великое объединение нейтронных звезд | 199 |
| Про зайчиков и белочек..... | 201 |
| Такие разные нейтронные звезды..... | 203 |
| Связующий элемент..... | 205 |
| Секретные поля..... | 209 |
| XII. Компактные объекты и фундаментальная физика | 213 |
| Астрофизические лаборатории для бедных..... | 215 |
| Неземная гравитация..... | 220 |
| Сверхтекучие звезды..... | 222 |
| Сверхплотное вещество..... | 225 |
| Неземная электродинамика..... | 226 |
| Атмосферы нейтронных звезд..... | 228 |
| Нейтрино из ада..... | 229 |
| Грядущие открытия..... | 230 |
| Послесловие..... | 235 |

Посвящается моей семье

Предисловие

Рано или поздно наша цивилизация погибнет в результате катаклизма. Грядущие поколения заново пройдут путь развития, который у нас уже за плечами. Но новый цикл жизни на Земле не будет простым повторением. Наши далекие потомки будут находить артефакты наших времен, но не смогут полностью понять их смысл. На основе интерпретаций наших знаний будет возникать новая мифология. Будут мифы и о самых совершенных небесных объектах.

Такой миф может выглядеть так: «Когда Творец Вселенной — Летающий Макаронный Монстр — создавал весь мир, то, сделав небо и Землю и населив Землю первыми существами, он захотел создать настоящий шедевр и поместить его в небо, которое было еще пустым и темным. Тогда он взял комок первовещества и начал его сжимать. Чем больше он мял его — тем больше он ему нравился. Он мял и мял его, делая все плотнее и плотнее. Но вдруг комок в его руках сжался очень сильно. Вещество исчезло, и получилась дыра. И стал Летающий Макаронный Монстр печален. Подумав, он взял другой комок. Смял его не очень сильно и бросил в небо. Появилось Солнце. Оно ярко светило и вначале радовало Творца. Он сделал много таких шариков, раскидав их вокруг — появились звезды. Но потом Летающий Макаронный Монстр опять стал печален. Светящиеся шарики недолго радовали его. Тогда он взял одну из звезд и начал ее мять и уминать. Но, помня о своем первом опыте, он был очень аккуратным. Творец лепил и лепил, мял и мял. Однако все время следил, чтобы шарик

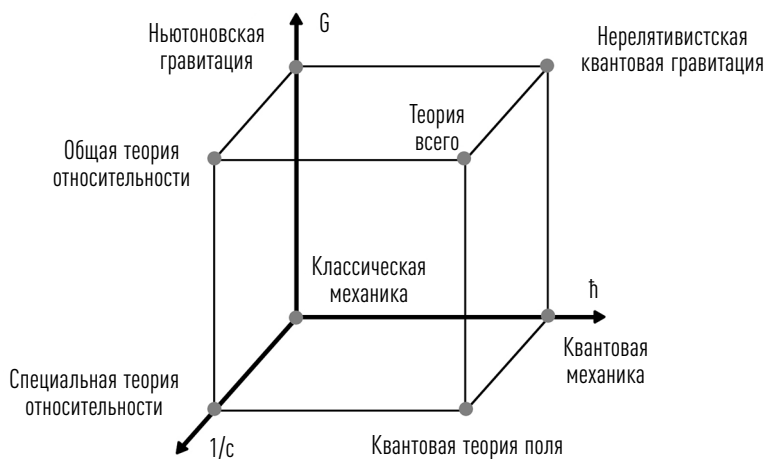
не превратился в дыру. Наконец Летающий Макаронный Монстр остановился. То, что получилось, очень понравилось ему. Это был настоящий шедевр, достойный того, чтобы украсить Вселенную. Так появились нейтронные звезды».

Действительно, я полагаю, что нейтронные звезды — это самые интересные макроскопические объекты неживой природы. Мы сейчас описываем мир, пользуясь тремя фундаментальными теориями: Специальной теорией относительности, Общей теорией относительности и квантовой механикой. Есть известный рисунок — cGh-карта или «куб теорий», придуманный очень талантливым физиком Матвеем Бронштейном¹. На нем есть три координатные оси, одна из которых соответствует росту важности квантовых эффектов, другая — приближению к скорости света, а третья — увеличению гравитационного поля. Начало координат соответствует классической механике. Двигаясь вдоль оси, соответствующей увеличению скорости, мы попадем в область, где надо использовать Специальную теорию относительности. Если мы теперь начнем добавлять гравитацию, то окажемся там, где необходима Общая теория относительности. В том случае, если мы выйдем из начала координат вдоль оси, обозначенной значком постоянной Планка, то станут важны квантовые эффекты. Теперь, если добавить гравитацию, то это приведет нас в Terra Incognita квантовой гравитации. Наконец, переместившись в самую дальнюю от начала координат вершину куба, — столкнемся с процессами, требующими для своего описания так называемой «Теории всего», которая объединит все известные взаимодействия.

Если представить на этом рисунке место нейтронных звезд, то среди всех непосредственно наблюдаемых макроскопических объектов они окажутся самыми удаленными от начала координат. Для адекватного описания нейтронных звезд необходимы все три фундаментальные теории. Конечно, недра черных дыр должны быть еще экзотичнее, но их мы не можем наблюдать. Поэтому среди

¹ К сожалению, Бронштейн не дожил до открытия нейтронных звезд. Он стал жертвой сталинских репрессий, его расстреляли в 1938 году. Ему было чуть больше 30 лет. Примерно через 30 лет были открыты радиопульсары. — *Здесь и далее примечания автора.*

астрономических объектов, которые мы можем изучать, наиболее любопытная комбинация сложных физических процессов встречается у нейтронных звезд. Они и будут основными героями нашей книги. Разумеется, не забудем мы и про их «младших братьев» — белых карликов и про «старших сестер» — черные дыры.



Куб теорий, придуманный Матвеем Бронштейном. Чем дальше мы отходим от начала координат, двигаясь сразу по трем координатам, — тем более разнообразной становится физика.

Как астрофизика меня в первую очередь интересует то, что уже наблюдается или что можно наблюдать. Но за всеми этими данными стоит физика — наше понимание того, как устроена природа. По мере сил я попробую рассказать, что скрывается за скупыми словами «астрономы увидели», поэтому книга не везде будет легким чтением. Путь к звездам, а к нейтронным особенно, лежит через тернии. Тем не менее никаких специальных знаний, выходящих за рамки школьного курса или обычной эрудиции современного человека, читателю не потребуется. Для тех, у кого возникнет желание углубить и расширить свои знания о нейтронных звездах и связанных с ними феноменах, по ходу изложения будут приводиться ссылки на другие книги или интернет-ресурсы. Также о некоторых онлайн-ресурсах и книгах будет сказано в послесловии.

Благодарности

Книга основана на цикле коротких видеолекций, записанных «ПостНаукой». Без участия этого замечательного проекта она не появилась бы.

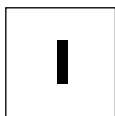
Я признателен Антону Бирюкову, Сергею Блинникову, Дмитрию Вибе, Андрею Игошеву, Владиславу Кобычеву, Игорю Огневу, Максиму Пширкову и Валерию Сулейманову, которые прочли разные варианты рукописи и сделали полезные замечания, которые я постарался учесть. Огромное спасибо Валентину Пальшину и Дмитрию Фредериксу, предоставивших некоторые из иллюстраций, связанных с экспериментом «Конус».

Множество важных уточнений сделал научный редактор книги Константин Постнов. Все оставшиеся в книге неточности — на моей совести.

Благодарю слушателей моих лекций за хорошие вопросы, стимулирующие рассказывать больше и лучше. А также коллег, в первую очередь — соавторов моих научных работ, много способствовавших моему просветлению в вопросе изучения нейтронных звезд.

Особая благодарность фонду «Династия», который не только на протяжении нескольких лет поддерживал мою научную работу и многократно приглашал меня для участия в научно-популярных мероприятиях, но и в целом воссоздал в России атмосферу интереса к научно-популярной литературе.

Наконец, я хотел бы выразить бесконечную признательность моей жене Сусанне за все, что она для меня делает.



Жизнь звезды

Звездный свет

Многие считают, что самые важные астрономические объекты — это звезды, и для этого есть основания. Если задуматься, все, что мы видим, мы видим так или иначе благодаря свету звезд. И, вообще говоря, мы видим именно все так, как мы видим, благодаря свету самой близкой к нам звезды — Солнца. Ведь наше зрение формировалось в течение длительной эволюции именно в условиях естественного солнечного освещения и адаптировалось именно к нему. На самом деле даже электрический свет имеет отношение к звездам и Солнцу. Как правило, искусственное освещение связано либо с углеводородами биогенного происхождения, которых, конечно, не было бы без солнечного света (как и каменного угля, который, если бы он мог говорить, рассказал бы нам о том, как светило Солнце сотни миллионов лет назад), либо — непосредственно с солнечной энергией, если у вас стоят солнечные панели, либо с гидроэнергетикой, а ведь вода у нас течет, потому что Солнце греет Землю. Пожалуй, только атомная энергетика в некотором смысле находится в стороне — однако на поверку (это мы покажем ниже) и она, как ни странно, имеет отношение к звездам.

Если мы посмотрим на ночное небо, то опять-таки все, что мы видим, — это или звезды, или объекты, которые светят отраженным светом звезд: Луна, планеты, кометы — все это отраженный свет Солнца. И если мы видим экзопланеты — планеты, вращающиеся вокруг других звезд, — то в основном они или отражают свет других звезд, или прогреты излучением звезд и поэтому излучают вроде бы сами, но часто без звезды этого мощного инфракрасного, к примеру, излучения экзопланеты

не существовало бы. Поэтому первое важное утверждение этой главы состоит в том, что мы видим только потому, что во Вселенной есть звезды.



Изображение системы 2M1207, состоящей из экзопланеты (ее обозначают 2M1207b, она слева внизу) и бурого карлика. Это первый в истории прямой снимок объекта планетной массы (несколько масс Юпитера) вне Солнечной системы. Данная экзопланета видна благодаря собственному излучению. За счет продолжающегося гравитационного сжатия недра объекта разогреваются, и мы видим его инфракрасное излучение. То же верно и для некоторых других достаточно молодых планет. Поскольку соседом 2M1207b является бурый карлик — т.е. «недозвезда», в которой не начались реакции превращения водорода в гелий, то иногда ее классифицируют не как экзопланету, а как «объект планетной массы, вращающейся вокруг бурого карлика». Наблюдения проводились на телескопах VLT Европейской южной обсерватории (ESO).

Звезды в виде ярких неподвижных огоньков в небе были известны людям всегда, но, что это такое, по-настоящему поняли только в XIX веке, когда сумели надежно и достоверно измерить расстояния до звезд. Конечно, и раньше многие предполагали,

что звезды — это далекие солнца, но тогда это были всего лишь догадки. Известно, например, что Тихо Браге был противником этой идеи, как раз потому, что он не смог измерить параллактическое смещение звезд и тем самым определить расстояния до них, а смириться с тем, что это настолько далекие солнцеподобные объекты, ему не позволяли его философские убеждения.

В 30-е годы XIX века сразу три астронома в разных странах (и даже полушариях) смогли измерить расстояния до звезд. Томас Хендерсон проводил свои наблюдения в Южной Африке (а обрабатывал уже в Британии). Он правильно выбрал звезду — Альфа Центавра. Это действительно ближайшая звезда на нашем небе. И Хендерсон верно измерил расстояние — получилось около одного парсека (т.е. три световых года с четвертью). Хотя наблюдения проводились в 1832–1833 годах, результаты были опубликованы только в 1839-м, поэтому пальму первенства он упустил. К чему, видимо, отнесся со свойственным английским джентльменам спокойствием.

Формально гонку выиграл Фридрих Бессель. Он выбрал слабую звезду 61 Лебеда, положившись на ее большое собственное движение на небе. И не прогадал. В 1838 году он опубликовал точные надежные измерения: расстояние порядка 10 световых лет (три парсека с лишним).

Другой Фридрих (которого мы знаем как Василия) — Струве — выбрал одну из двух самых ярких звезд северного неба — Вегу. И в серии работ (первая раньше работы Бесселя, вторая — позже) показал, что расстояние до Веги составляет 4–8 парсек (сейчас мы знаем, что оно составляет чуть менее 8 парсек).

Но знать расстояния — это еще не все.

Рождение и смерть звезд

Звезды рождаются и умирают, в том числе и прямо сейчас. Этот неоспоримый факт веками не был общепринятым и очевидным. Звезды воспринимались людьми как нечто практически вечное. Считалось, что эти далекие объекты, пусть и похожие на Солнце, светят всегда или почти всегда и в наше время уже не формируются и еще не прекращают свое существование. Это казалось

логичным, само собой разумеющимся (возможно, Иммануил Кант был одним из первых, кто в Новое время серьезно заговорил о том, что звезды рождаются и умирают, и представил модель для формирования звезд и планетных систем, обычно же обсуждение ограничивалось Солнечной системой, хотя стоит отметить и Эммануила Сведенборга, рассуждавшего, правда, в рамках декартовской модели, где гравитация не играет определяющую роль). Но теперь мы понимаем, что звезды, конечно же, образуются, изменяются на протяжении своей жизни, и затем их жизненный цикл заканчивается — они во что-то превращаются. И это второй важный факт: звезды рождаются, живут и умирают. И это происходит на наших глазах.

Жизнь звезды — это в основном смена источников горения, смена источников энергии. Энергия вырабатывается в результате термоядерных реакций. Все эти термоядерные реакции начинаются с того, что водород превращается в гелий. Сейчас именно этот процесс происходит в Солнце и, вообще говоря, в большинстве звезд. Это самая длинная стадия звездной эволюции, она занимает примерно 90% жизни звезды, некоторые из самых первых звезд нашей Галактики еще находятся на ней. Поэтому если мы наугад выберем какую-то звезду на небе, то с вероятностью более 90% окажется, что в ее недрах водород пережигается в гелий. Затем водород заканчивается, звезда претерпевает первое изменение — она раздувается, превращается в красного гиганта. На диаграмме Герцшпрунга–Рэссела этот процесс соответствует движению вправо и вверх, в область низкой температуры поверхности, но большой полной светимости. Дальше все зависит от самого главного параметра звезды — от ее массы. Если масса достаточно большая, то ядро подожмет, станет еще более плотным и горячим, и пойдут следующие реакции: гелий начнет превращаться в углерод, углерод — в кислород, и так цепочка может идти до железа¹. Лишь до железа и родственных элементов (никеля, кобальта), а не дальше вдоль таблицы Менделеева,

¹ Мы говорим здесь лишь о процессах в звездном ядре. В оболочках гигантских звезд может идти синтез тяжелых элементов благодаря так называемому s-процессу, т. е. медленному захвату нейтронов ядрами элементов. Например, так могут образовываться свинец и стронций.

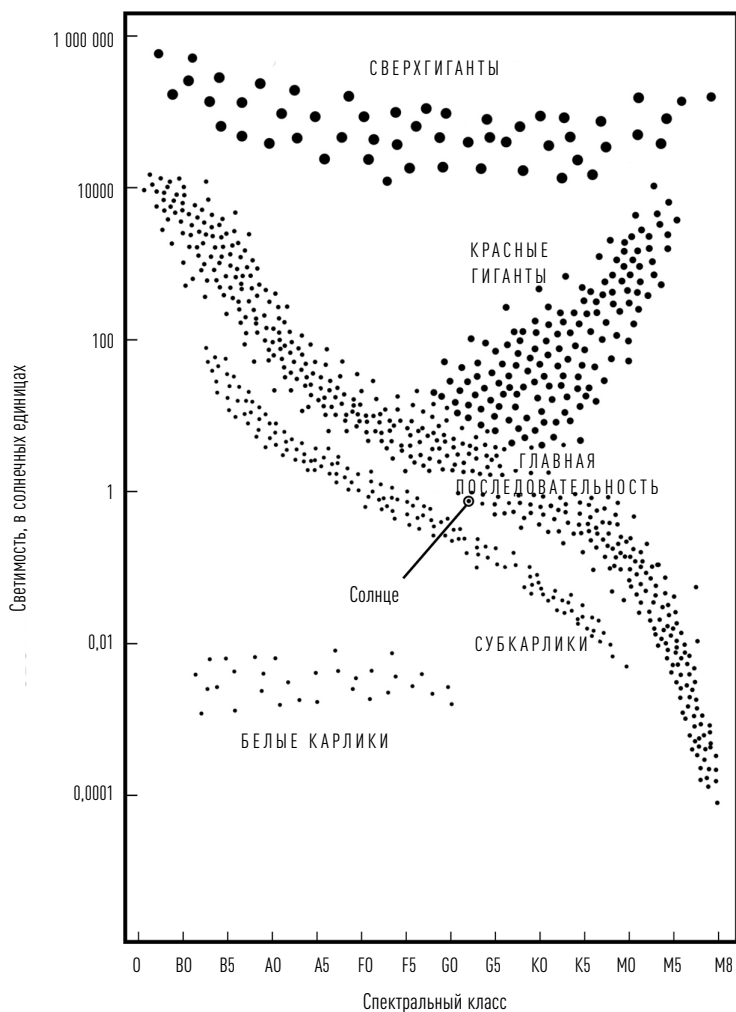


Диаграмма Герцшпрунга-Рассела. Горизонтальная ось, на которой указаны спектральные классы, соответствует температуре звезд (горячие — слева, холодные — справа). Вертикальная — светимости (яркие вверх, слабые — вниз), она выражена в единицах светимости Солнца. Хорошо видны основные последовательности. Они соответствуют различным стадиям эволюции звезд. Важно, что эти последовательности не являются эволюционными треками. Выделяется так называемая главная последовательность, на которой звезда проводит большую часть своей жизни, превращая водород в гелий.

потому что только это энергетически выгодно, так как при таких термоядерных реакциях энергия выделяется. Чтобы процесс шел дальше, необходимы затраты энергии, что невозможно на данном этапе жизни звезды: природа так не действует в стабильном режиме. Нужно чтобы происходило что-то не стационарное, чтобы что-то взрывалось. Что взрывается в звезде? Давайте поговорим об этом.

Легкие звезды живут очень долго и очень медленно пережигают водород в гелий. Поскольку Вселенной всего лишь 13 миллиардов лет с хвостиком, то даже самые первые из легких звезд (с массой раза в два меньше солнечной и более легкие) должны доживать до наших дней. И их можно увидеть. Это очень важная задача — искать первичные звезды, образовавшиеся на самой-самой заре жизни Вселенной — спустя всего лишь несколько десятков миллионов лет после Большого взрыва.

Массивные звезды живут меньше просто потому, что они светят ярче и быстрее пережигают свой запас водорода, хотя его и больше, но светимость очень резко растет с ростом массы из-за роста температуры и плотности в центре. Если звезда имеет массу порядка солнечной, то она живет где-то 10–12 миллиардов лет. Солнце находится в середине жизненного пути, и в конце такой объект не взрывается — наша звезда просто не может взорваться, нет никаких физических причин для этого. Солнце превратится в красного гиганта, внешняя оболочка будет сброшена и останется постепенно остывающее ядро без источников энергии — белый карлик.

Белый карлик — это конечная стадия эволюции не слишком массивных звезд. Если же звезда раз в десять тяжелее Солнца, то она превратится не в белого карлика. В конце ее жизни ядро потеряет устойчивость. Оно уже будет состоять в основном из железа и начнет схлопываться, но этот коллапс может остановиться. И тогда произойдет очень мощное выделение энергии. Звезда как бы упадет сама на себя, но не превратится сразу в черную дыру, а произойдет взрыв сверхновой. Это очень важное событие. Оно не только имеет огромное значение в жизни отдельной звезды, отмечая ее яркий финал, но и позволяет образовывать тяжелые элементы.

В природе некоторые элементы тяжелее железа могут образовываться в заметном количестве практически только при взрывах сверхновых (также массивные ядра элементов могут возникать при слияниях нейтронных звезд и при быстром истечении оболочек красных сверхгигантов). А сверхновые — это в основном результат коллапса ядер массивных звезд (есть еще взрывы сверхкритических белых карликов в двойных системах, но их оставим на потом). Если мы говорим о звезде с массой в 10, 20, может быть, в 30 раз больше солнечной, то после взрыва сверхновой останется нейтронная звезда — крайне интересный объект, очень компактный. Средняя плотность у нейтронной звезды чуть выше, чем у атомного ядра¹, а в центре, разумеется, еще больше. Неудивительно, что такой объект имеет очень интересные физические свойства. Если же звезда вначале была еще более массивной, то, скорее всего, она превращается в черную дыру. То есть все-таки коллапс не останавливается — все схлопывается, гравитация побеждает все остальные силы, и образуется черная дыра. Иногда это может произойти со взрывом, а иногда — нет. Таким образом, у разных звезд разные судьбы.

Звезды и элементы

Всем известно, что небо ночью темное. Однако объяснить это явление отнюдь непросто. Лишь в XVIII веке эта загадка стала очень активно обсуждаться учеными и была названа парадоксом Ольберса. Хотя, как полагается, Ольберс был не первым, кто обратил внимание на то, что небо ночью темное, и задумался над этим, связав этот факт с вопросом о бесконечной Вселенной, заполненной звездами². Проблема в том, что, чтобы небо было темным,

¹ Так называемая ядерная плотность составляет $2,3 \times 10^{14}$ грамм в кубическом сантиметре.

² Существует шуточный закон Арнольда, названный в честь великого русского математика, гласящий, что парадоксы и законы чаще всего носят имя не того, кто их впервые придумал. Часть шутки состоит в том, что это верно и для закона Арнольда (его скорее стоит связывать с именем Роберта Мертона). Что касается парадокса Ольберса, или так называемого фотометрического парадокса, то он, видимо, впервые детально обсуждался швейцарским астрономом Жаном-Филиппом Луи де Шезо

нужно чтобы звезды где-то заканчивались. Потому что если бесконечная Вселенная заполнена звездами, то в таком вечном мире мы бы своим взглядом везде упирались в поверхность звезды и все небо сияло бы как поверхность Солнца¹. Мы видим, что это не так — значит, звезды где-то заканчиваются. И самое интересное то, что заканчиваются они не в пространстве, а во времени — Вселенная имеет конечный возраст.

Глядя на самые близкие звезды, мы видим их такими, какими они были несколько лет или несколько десятков лет назад. Большинство звезд на небе видны нам такими, какими они были сотни и тысячи лет назад. Далекие галактики мы видим такими, какими они были миллиарды лет назад. Но нет и не может быть на нашем небе источника, который бы мы видели таким, каким он был 14 миллиардов лет назад, потому что 14 миллиардов лет назад никаких из наблюдаемых нами источников не было. Может быть, наша Вселенная бесконечна, но свет от далеких звезд просто до нас еще не добрался, поэтому у нас темное небо над головой и поэтому возникает вопрос: какими же были самые-самые первые звезды?

Дело в том, что, когда Вселенная образовалась, в ней успели появиться только первые два элемента: водород и гелий (плюс были еще мелкие добавки лития, одного из изотопов водорода — дейтерия, но это несущественные для нашего разговора детали). Соответственно, первые звезды могли состоять только из водорода и гелия, и взрывы этих объектов как раз и давали начало рождению первых тяжелых элементов. Потом цепочка продолжалась: выброшенное вещество входило в состав нового поколения

в середине XVIII столетия. А в самом общем виде проблема была сформулирована еще Иоганном Кеплером в 1610 году, для которого это был аргумент против бесконечности Вселенной.

¹ Заполнение Вселенной пылью лишь частично решает проблему. Так можно избавиться от видимого излучения далеких звезд, но пыль нагреется, поглощая излучение, и будет переизлучать его. Или даже испарится, если нагреется слишком сильно. Так что проблема темного неба остается, сдвинувшись в другой спектральный диапазон. Детальнее о парадоксе Ольберса и связанных с ним космологических вопросах можно прочесть в книге Владимира Решетникова «Почему небо темное», изд-во «Век-2» (2012).

звезд и т. д. Последующие поколения звезд имели уже другой химический состав.

Первые звезды, состоявшие только из водорода и гелия, могли быть очень массивными. В тысячу раз тяжелее Солнца! Сейчас таких уже не делают. Они могли порождать первые черные дыры, которые были в десятки раз тяжелее тех, что сейчас возникают из звезд. А потом первые звездные черные дыры стали зародышами того, что сейчас мы наблюдаем как сверхмассивные черные дыры в центрах галактик. Большой вопрос связан с тем, могли ли самые первые звезды быть легкими (легче Солнца). Вначале считалось, что нет. Моделирование показывало, что в облаке газа с массой около 100 000 масс Солнца возникает 1–2 массивные звезды. Однако расчеты, проводимые в последнее время, опровергают эту точку зрения. Компьютерные симуляции показывают, что в некоторых случаях возникает по 5–6 звезд и некоторые из них оказываются настолько легкими, что время их жизни превышает современный возраст Вселенной.

Чтобы увидеть первые звезды, астрономы идут двумя путями. Во-первых, они пытаются строить все более мощные инструменты. По всей видимости, понадобятся новые аппараты за пределами земной атмосферы — космические телескопы следующего поколения, чтобы увидеть хотя бы взрывы самых первых звезд. Увидеть их где-то там, в прошлом, спустя всего лишь десятки миллионов лет после рождения Вселенной. Свет от них будет сильно покрасневшим из-за расширения Вселенной (она растягивается более чем в 10 раз за время распространения света от первых звезд, т. е. длина волны фотонов возрастает во столько же раз), поэтому аппараты должны наблюдать в длинноволновой области спектра, где земная атмосфера в основном непрозрачна. Большие надежды возлагают на космический телескоп имени Джемса Вебба (JWST). Его гигантское, по меркам орбитальных аппаратов, зеркало позволит увидеть то, что ранее оставалось скрытым от нас¹. Однако, если в ранней Вселенной рождались

¹ Гигантский телескоп будет раскладываться на орбите. Как это будет выглядеть, можно посмотреть на подробных анимациях: http://jwst.nasa.gov/videos_deploy.html.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru