

## Глава 7. Результаты астрономических наблюдений.

В главе 7 приведены результаты астрономических наблюдений, имеющих отношение как к физике в целом, так и к физике Земли. Обсуждаются вопросы, связанные с мировыми константами: постоянной тонкой структуры и гравитационной постоянной. Приведены результаты по изучению планет других звезд, коричневых карликов и комет. Приведены некоторые результаты по обнаружению гравитационных волн и черных дыр. Все результаты получены с помощью наземных и внеатмосферных, космических телескопов. Основные результаты, приведенные в этой главе, опубликованы в течение последних 5 -10 лет в Nature, Science, СМИ и Интернете на сайте <http://arxiv.org/>.

### 7. 1. Мировые константы.

#### *Постоянная тонкой структуры.*

Постоянная тонкой структуры - ("альфа"), безразмерная величина, образованная из универсальных физических постоянных:  $e^2/hc \approx 1/137$ , где  $e$ - элементарный электрический заряд,  $h$  - постоянная Планка,  $c$  - скорость света в вакууме. Постоянная тонкой структуры определяет тонкую структуру уровней энергии атома (величина тонкого расщепления пропорциональна квадрату "альфы"); с этим и связано название константы. В квантовой электродинамике "альфа" - естественный параметр, характеризующий "силу" электромагнитного взаимодействия.

С помощью исследования спектров отдаленных квазаров на спектрометре UVES, установленном на 8,2-метровом очень большом телескопе (Very Large Telescope - VLT) Южной европейской обсерватории (ESO) Paranal в Чили удалось наложить новые строгие ограничения на возможные вариации во времени важной физической константы - постоянной тонкой структуры. Предыдущие исследования в этой области с помощью астрономических методов позволили предположить, что "альфа" немного увеличивается с течением времени, и таким образом за период существования нашей Вселенной заметно изменилась. Если бы такой факт был подтвержден, то это имело бы самые серьезные последствия для фундаментальной физики, ведь постоянная тонкой структуры "завязана" на скорость света в вакууме, которая тогда тоже должна меняться со временем, что входит в противоречие с теорией Эйнштейна.

Фундаментальные законы физики, как теперь считается, зависят от 25 фундаментальных констант. Самые известные примеры такого рода констант - это гравитационная постоянная, которая определяет характер взаимодействия между телами в космосе (например, между Землей и Луной), масса и заряд электрона, и скорость света в вакууме. Обнаружение или ограничение возможных временных вариаций фундаментальных физических постоянных критически важно с точки зрения понимания основ физики того мира, в котором мы живем.

Фундаментальные физические константы просто обязаны быть "постоянными". То есть однажды полученные числа должны всегда и везде быть одними и теми же, с самого начала этой Вселенной. Однако современные теории фундаментальных взаимодействий вроде теорий великого объединения или теории суперструн, которые нацелены на объединение гравитации и квантовой механики, не только предсказывают зависимость фундаментальных физических постоянных от энергии взаимодействия частиц (эксперименты в области физики элементарных частиц показали, что постоянная тонкой структуры может с ростом энергии столкновений вырасти до приблизительно 1/128), но и учитывают их вариации за так называемое космологическое время. Возможны также пространственные вариации фундаментальных констант. Вариации фундаментальных констант легко могут возникнуть, если помимо трех пространственных измерений допустить существование скрытых измерений (компактификации), что также следует из новейших теорий.

В 1955 году Ландау предполагал возможность зависимости "альфы" от времени, а в конце 1960-х Гамов предположил, что заряд электрона (а, следовательно, и "альфа"), может изменяться. Однако понятно, что подобные изменения, если они вообще имеют место, не могут быть очень большими, иначе они бы уже давно "всплыли" в сравнительно простых экспериментах. Таким образом, чтобы проследить эти возможные изменения, требуются самые сложные и точные методы.

Несколько лет назад известный американский физик Фриман Дайсон (Freeman Dyson) изучал продукты радиоактивного распада в уникальном естественном ядерном реакторе в Габоне (цепная реакция в отложениях урана там протекала приблизительно 2 миллиарда лет назад). Дайсон использовал полученные данные, чтобы оценить древнее значение "альфы". Согласно его заключению, прежнее значение постоянной тонкой структуры, скорее всего, не отличалось от современного (возможная погрешность не превосходит одной десятиллионной, то есть изменение значения константы не превышает  $0,5 \cdot 10^{-16}$  в год).

Однако в конце 1990-х появились новые данные из астрономических наблюдений (Джон Вебб (John K. Webb) и его коллеги, телескоп Keck I): были обнаружены крошечные изменения в длинах световых волн от отдаленных квазаров. Моделирование поглощения их света межзвездными облаками показало, что значение "альфы" 10-12 миллиардов лет назад, возможно, было больше нынешнего на 5-7 миллионов. Гарольд Марион (Harold Marion) вместе с коллегами из Парижской обсерватории (Observatoire de Paris) во Франции и американец Джеймс Бергквист (James Bergquist) с сотрудниками из Национального института стандартов и технологий (National Institute of Standards and Technology) в Колорадо исключили любые изменения этой константы, превышающие  $7 \times 10^{-15}$  -  $7 \times 10^{-16}$  в год. Эти две группы определяли значения постоянной в лабораторных условиях с помощью атомных (иначе говоря, квантовых) часов. Самые лучшие из известных часов обладают точностью, позволяющей им ошибаться не более чем на одну секунду за несколько миллионов лет. В таких часах роль маятника играют наиболее стабильные квантовые переходы между энергетическими уровнями атомов или молекул (атомы поглощают радиацию с точно определенной частотой, которую можно измерить, и эти частоты используются как общепринятые мировые стандарты). Если бы постоянная тонкой структуры менялась со временем, это привело бы к заметному изменению частот поглощения в течение уже нескольких лет. Исследователи ничего подобного не обнаружили.

Вселенная - это огромная физическая лаборатория. Изучая очень отдаленные объекты, астрономы могут "оглянуться назад" во времени. Можно даже проверить значения физических постоянных на тот момент, когда Вселенной было только 25% от ее нынешнего возраста, то есть приблизительно 10 миллиардов лет назад. Астрономы полагаются на спектроскопию - измерение свойств света, испускаемого или поглощенного веществом. Если, допустим, свет от пламени пропустить через призму и поставить за ней лист бумаги, то мы увидим радугу. Если в пламя сыпать, например, соль, то к обычным цветам радуги добавятся желтоватые - так называемые эмиссионные линии. Помещая между пламенем и призмой колбу с газом, можно на этой "радуге" увидеть темные линии поглощения. Длины волн этих эмиссионных и поглощательных линий непосредственно связаны с энергетическими уровнями атомов в соли или в газе. Спектроскопия, таким образом, позволяет дистанционно изучать строение атомов.

С точки зрения спектроскопии тонкая атомная структура может дистанционно наблюдаться как мультиплетное расщепление энергетических уровней и спектральных линий атомов и молекул, обусловленное спин-орбитальным взаимодействием. Таким образом, если бы "альфа" действительно менялась спустя какое-то время, то "доисторические" эмиссионные и поглощательные спектры тоже бы изменились. Поэтому один из способов отслеживания любых изменений в значениях "альфы" в истории

Вселенной состоит в том, чтобы получать спектры отдаленных квазаров ("маяков" необыкновенной мощности), и сравнивать длины волны некоторых характерных спектральных линий с соответствующими современными значениями. Квазары здесь используются только в качестве универсальных источников света в наиболее отдаленной части Вселенной. Межзвездные газовые облака в галактиках, расположенных между квазарами и нами на расстояниях от 6 до 11 миллиардов световых лет, поглощают часть света, испускаемого этими квазарами. В полученных спектрах, таким образом, возникают темные "точки минимума", которые могут быть приписаны известным элементам.

Изменение постоянной тонкой структуры должно отразиться на распределении энергетических уровней в атомах, и длины волн поглотительных линий при этом тоже будут меняться. Сравнивая расстояния между точками "минимумов" с лабораторными значениями, можно вычислить "альфу" как функцию расстояния соответствующих объектов от нас, то есть как функцию возраста Вселенной.

Однако этот способ требует чрезвычайной аккуратности и очень хорошего моделирования поглотительных линий. Чрезвычайно высокие требования налагаются и на качество астрономических спектров. Они должны иметь достаточно высокие разрешения, чтобы позволить очень точно измерить крошечные изменения в спектрах. И количество захваченных фотонов должно обеспечивать статистически однозначный результат. Для этого астрономы должны обращаться к наиболее совершенным спектральным приборам на крупнейших телескопах. При этом Спектрограф ультрафиолетового и видимого диапазона Эшеля (Ultra-violet and Visible Echelle Spectrograph - UVES) и 8,2-метровый телескоп Кюеуен ESO в обсерватории Paranal - вне конкуренции благодаря комбинации высокого спектрального качества и большой зеркальной собирающей свет области.

Группа астрономов во главе с Патриком Петитжином (Patrick Petitjean) из Астрофизического института Парижа (Institut d'Astrophysique de Paris) и Парижской обсерватории (Observatoire de Paris) во Франции и Раганатаном Срианандом (Raghunathan Srikanand, IUCAA Pune, Индия) очень тщательно изучила гомогенную выборку 50 поглотительных систем, наблюдавшихся с помощью UVES и Кюеуен по 18 отдаленным линиям визирования квазаров. Работа называлась "Исследование космологических вариаций постоянной тонкой структуры". Они делали запись спектров квазаров в течение 34 ночей, чтобы достичь наибольшего спектрального разрешения и лучшего соотношения сигнал-шум. Затем были применены некоторые автоматические процедуры и компьютерное моделирование, специально разработанные для этого проекта, чтобы выявить возможную вариацию "альфы".

В результате этого обширного изучения было установлено, что за последние 10 миллиардов лет относительные вариации "альфы" не могут превышать одной миллионной (точнее,  $6 \cdot 10^{-7}$ ). Это самое строгое ограничение на вариации "альфы" на настоящий момент из полученных путем изучения линий поглощения квазара. Что еще более важно, этот новый результат не подтверждает предыдущих данных такого рода. Интересно, что этот результат поддерживается другим - менее обширным - анализом, также проведенным на спектрометре UVES на VLT. Даже при том, что те наблюдения были ограничены только одним из самых ярких из известных квазаров - HE 0515-4414, - это независимое исследование также говорит в пользу того, что вариаций "альфы" либо нет, либо они столь малы, что не могут быть обнаружены существующими методами.

Майкл Мерфи (Michael Murphy), астроном из британского Кембриджского университета, входивший в группу, которая с помощью гавайского телескопа Кеэк нашла изменения в значении постоянной тонкой структуры, с доверием отнесся к новым результатам: "Данные VLT имеют более высокое качество", - говорит он. Результат Кеэк базировался на большем количестве облаков - 143, - однако отдельные наблюдения проводились не столь длительное время, и квазары были в среднем более слабыми, что делало спектральные линии вдвое менее яркими по сравнению с новыми измерениями на VLT.

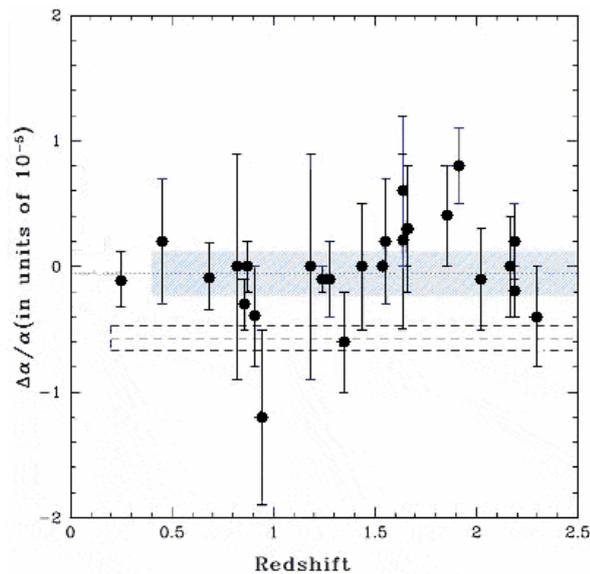


Рис. 7-1. Отклонения постоянной тонкой структуры от величины красного смещения.

Используя квазары, можно исследовать и другие фундаментальные константы. В частности, измеряя длины волн молекулярного водорода в отдаленной части Вселенной, можно оценить возможные вариации отношения между массами протона и электрона. Та же самая группа астрономов на VLT теперь занята именно такой работой (ESO Press Release, New Scientist, Nature News Service).

К настоящему моменту лучшие результаты измерений постоянства постоянной тонкой структуры получены при изучении явления Окло. Постоянная  $\alpha$  за период в 2 млрд. лет не изменялась с точностью  $10^{-7}$ . Переходя к среднему изменению  $\alpha$  во времени, было получено:  $-6.7 \cdot 10^{-17} \text{ год}^{-1} < d\alpha/dt - \alpha < 5 \cdot 10^{-17} \text{ год}^{-1}$  (Турышев В.Г. Экспериментальные проверки общей теории относительности: недавние успехи и будущие направления исследований. УФН. 2009. Т. 179. № 1. С. 3-34).

### **Измерение гравитационной постоянной.**

Экспериментальное определение гравитационной постоянной  $G$  позволяет установить мост между теоретическими и абстрактными аспектами тяготения как универсального атрибута материи и более земным вопросом ее локализации и оценки массы материи, создающей гравитационные эффекты. Последнюю операцию иногда называют взвешиванием. С точки зрения теории мы уже видели, что  $G$  – одна из фундаментальных постоянных природы и поэтому имеет первостепенное значение для физической теории. Но величина  $G$  должна быть известна и в том случае, если мы хотим обнаружить и «взвесить» материю на основании того гравитационного действия, которое она создает.

По закону всемирного тяготения Ньютона ускорение любого пробного тела в гравитационном поле другого тела с массой  $m$  дается формулой  $g = Gm/r^2$ , где  $r$  – расстояние от тела с массой  $m$ . В астрономические уравнения движения множители  $G$  и  $m$  входят только в виде произведения  $Gm$ , но никогда не входят по отдельности. Это означает, что массу  $m$ , создающую ускорение, можно оценить только в том случае, если известна величина  $G$ . Исходя из отношений масс, можно, сравнивая производимые ими ускорения, - выразить массы планет и Солнца в земных массах. Действительно, если два тела создают ускорения  $g_1$  и  $g_2$ , то отношение их масс равно  $m_1/m_2 = g_1 r_1^2 / g_2 r_2^2$ . Это позволяет выражать массы всех небесных тел через массу какого-нибудь одного выбранного тела, например Земли. Такая процедура равнозначна выбору массы Земли в качестве эталона массы. Чтобы перейти от этой процедуры к системе единиц сантиметр–грамм–секунда, нужно знать массу Земли в граммах. Если она известна, то можно

вычислить  $G$ , найдя произведение  $Gm$  из любого уравнения, описывающего создаваемые Землей гравитационные эффекты (например, движение Луны или искусственного спутника Земли, колебания маятника, ускорение тела при свободном падении). И наоборот, если  $G$  можно измерить независимо, то произведение  $Gm$ , входящее во все уравнения движения небесных тел, даст массу Земли. Эти соображения позволили экспериментально оценить  $G$ . Примером может служить знаменитый эксперимент Кавендиша с торсионными весами, проведенный в 1798. Установка состояла из двух небольших масс на концах уравновешенного стержня, прикрепленного посередине к длинной нити торсионного подвеса. Две другие, более крупные массы закреплены на вращающейся подставке так, что их можно подвести к малым массам. Притяжение, действующее со стороны больших масс на меньшие, хотя и намного слабее притяжения такой большой массы, как Земля, поворачивает стержень, на котором закреплены малые массы, и закручивает нить подвеса на угол, который можно измерить. Затем, подведя большие массы к меньшим с другой стороны (чтобы направление притяжения изменилось), можно удвоить смещение и тем самым повысить точность измерения. Модуль упругости при кручении нити предполагается известным, так как его легко можно измерить в лаборатории. Поэтому, определив угол закручивания нити, можно вычислить силу притяжения между массами.

### *Данные современных экспериментов и наблюдений по гравитации.*

Возможность измерения степени стабильности величины  $G$  появилась лишь в последние годы в связи с определенным прогрессом в области техники точных измерений времени (в связи с появлением атомных часов) и расстояний (после внедрения технологии радио и лазерного зондирования космических объектов, спутников и Луны) (Кузнецов, 1996).

Одним из способов оценки стабильности величины  $G$  является измерение параметров движения Луны в атомном времени. Эти наблюдения ведутся в нескольких обсерваториях в течение 35-40 лет. По измеренному атомными часами интервалу времени между двумя покрытиями Луной одной и той же звезды удается определить период движения Луны и любые его возможные изменения. О параметрах её движения можно судить и на основании лазерной локации Луны. Так, например, сотрудник Вашингтонской военно-морской обсерватории Т. Фландерн сделал анализ более 8000 наблюдений времени лунных покрытий звезд в период между 1955 и 1980 гг., полученных в Японии и США, а также результаты лазерной локации Луны. В результате он получил величину векового ускорения Луны, несколько отличающуюся от принятой ранее (Flandern, 1975). Была вычислена та часть вариации, которая могла бы быть объяснена изменением величины  $G$ . Она соответствует изменению  $\Delta G/G = (3.2 \pm 1.1)10^{-11}$  за год. Надо сказать, что автор этих исследований весьма осторожно относится к полученной им оценке. Фландерн не исключает. Что в ней могут содержаться неизвестные систематические ошибки. Полученный результат необходимо сравнить с другими аналогичными оценками величины вариации  $G$ .

Другая известная экспериментальная проверка стабильности  $G$  была выполнена большой группой ученых из Калифорнийского технологического института и Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) США. В основу этой работы положены 1136 измерений расстояний между станцией дальней космической связи, расположенной на Земле и спускаемым аппаратом «Викинг» на поверхности Марса. Наблюдения охватывают период с июня 1976 по июль 1982. Измерения расстояний были проделаны с очень высокой точностью (2 м), однако неопределенности, обусловленные задержкой времени при распространении радиосигналов в межпланетной плазме, а также в самой станции слежения и в орбитальном аппарате «Викинг», увеличивают ошибку до 9 м. (Миллюков, 1976).

Кроме данных «Викинга», в оценках стабильности  $G$  были использованы: 1) результаты измерений расстояний до космического аппарата «Маринер-9», находящегося на орбите вокруг Марса (с 1971 по 1973); 2) результаты радиолокационных измерений расстояний до поверхности Меркурия и Венеры (с 1964 по 1977); 3) лазерных измерений расстояний до Луны (с 1969 по 1970) и 4) оптических измерений положения Солнца и планет (с 1911 по 1979). На основании такого обширного наблюдательного материала была построена модель Солнечной системы, которая учитывала движение не только планет, но и астероидов. Были рассмотрены варианты этой модели с изменяющимися  $G$  и  $M$ .

В результате решения обобщенной задачи, для Солнечной системы были определены и уточнены ряд параметров, таких как: элементы орбит, массы астероидов, параметры  $\Delta G/G$ ,  $\Delta(GM)/(GM)$  и некоторые другие величины. Было получено, что  $\Delta G/G = (0.2 \pm 0.4) \cdot 10^{-11}$  за год, а  $\Delta(GM)/(GM) = (0.1 \pm 0.8) \cdot 10^{-11}$  за год. Таким образом. Комплекс доступных астрономических наблюдений Солнечной системы дает ограничение вариации величин  $G$  и  $(GM)$  более жесткие, чем предсказанные П.Дираком ( $\Delta G/G \approx 5 \cdot 10^{-11}$  за год), и, следовательно, подвергает сильному сомнению справедливость теории Дирака (Dirac, 1938).

Недавно при анализе данных космические экспериментов по лазерной дальнометрии Луны (ЛДЛ), начатых ещё во времена выполнения проекта APOLO, был установлен новый предел на возможную временную зависимость гравитационной постоянной:  $(dG/dt)/G = (4 \pm 9) \cdot 10^{-13}$  в год. Результат интерпретирован как отсутствие локального ( $\sim 1$  а.е.) расширения масштаба Солнечной системы. Согласно Турышеву, использование лазерной дальнометрии Марса (ЛДМ) позволит этому пределу достигнуть величины  $(dG/dt)/G \approx 3 \cdot 10^{-15}$  в год. Более того, с помощью метода ЛДМ окажется возможным определить с точностью  $dM/dt \cdot M \sim 3 \cdot 10^{-14}$  год<sup>-1</sup> потери солнечной массы. Значение, предсказанное теориями, составляет  $7 \cdot 10^{-14}$  год<sup>-1</sup>.

## 7. 2. Планеты других звезд.

### *Первые наблюдения таких планет.*

В восьмидесятых годах прошлого века была совершена первая серьезная попытка поиска планет у одной из ближайших звезд - Летящей звезды Барнарда. Эта звезда, открытая в 1916 году американским астрономом Барнардом, обладает самым большим собственным движением (более 10 угловых секунд в год) и является второй по близости к Солнечной системе после системы альфы Центавра. Она идеально подходила для поиска планет астрометрическим способом. Анализируя фотопластинки, сделанные с 1938 года по 1962 год, Питер Ван де Камп объявил о существовании планеты, в 1,6 раза тяжелее Юпитера с периодом обращения в 24 года. Затем, расширив диапазон изученных архивных фотоснимков до 1916 года, он заявил о двух планетах с массой порядка массы Юпитера. Однако уже в 1973 году другие астрономы усомнились в этом, не обнаружив никаких колебаний в траектории звезды. Оппоненты Ван де Кампа интерпретировали колебания на фотоснимках как искажения, вызванные модернизацией телескопа. Ван де Камп до самой смерти в 1995 году был уверен в своей правоте, он посвятил звезде Барнарда более 40 лет своей жизни и изучил несколько десятков тысяч снимков с ее изображением. В 1995 году Гатевуд установил, что вокруг звезды нет планет тяжелее 10 масс Юпитера. Позднее космический телескоп имени Хаббла провел очень точные (до 0,001 угловой секунды) астрометрические измерения звезды Барнарда и Проксимы Центавры, не выявив никаких колебаний. Тогда и стало ясно, что наземные и неспециализированные космические обсерватории не способны обнаружить этим способом планеты даже около ближайших звезд.

Открытия экзопланет в начале 90-х годов пришли совсем с неожиданной стороны. Еще в начале 60-х, после появления первых мощных радиотелескопов, были обнаружены высокочастотные точечные источники радиоизлучения. Их назвали пульсары. Довольно

быстро пульсары отождествили с нейтронными звездами. Испускающие мощные потоки релятивистских частиц и жесткого излучения, они являются одним из самых неблагоприятных мест для жизни в нашей Галактике. Однако у пульсаров имеется одно уникальное свойство. Они обладают необычайно стабильной частотой импульсов. Измеряя очень малые периодические изменения частоты импульсов в течение несколько месяцев или лет, можно так точно измерить лучевую скорость пульсара, что реально зафиксировать колебания, вызванные влиянием на пульсар объектов с массой, даже меньшей, чем масса Луны! В 1991 году американский астроном Александр Вольжан, анализируя несколько месяцев измерения периодичности пульсара PSR 1257+12 на радиотелескопе в Аресибо, пришел к выводу, что он окружен как минимум тремя планетами с массами равными нескольким массам Земли, и большими полуосями до 1 астрономической единицы. Измеряя очень точно параметры системы, радиоастрономы впервые зафиксировали резонансные явления, наблюдаемые до этого только в Солнечной системе. В начале 2005 года было объявлено об открытии четвертого компонента этой системы, находящегося на орбите с большой полуосью до 4 а.е. и массой менее массы Цереры. Планетные системы пульсаров являются, по-видимому, очень редким явлением: кроме системы пульсара PSR 1257+12, был обнаружен только один газовый гигант у PSR B1620-26 b, называемый еще Мафусаилом. Большая полуось его орбиты составляет 23 а.е. (примерно соответствует орбите Урана в Солнечной системе).

### ***Внеатмосферные телескопы.***

#### ***Космический телескоп "Hubble".***

В апреле 1990 года кораблем многоцелевого использования на орбиту была выведена **космическая обсерватория**, на борту которой был установлен телескоп с диаметром главного зеркала 2.4 метра весом более 12 тонн. Впоследствии при запуске космических челноков в 1993г. и в 1997г. на обсерватории были проведены корректирующие работы, заменены некоторые электронные блоки и установлена дополнительная аппаратура. Это позволило продлить срок службы телескопа сверх запланированного времени и оправдать заложенные надежды на чрезвычайно высокую эффективность телескопа.

**Угловое разрешение телескопа** удалось повысить до 0.1 угловой секунды и регистрировать объекты до 30-ой звездной величины.

Благодаря Хаббловскому телескопу обнаружены:

**протопланетные диски** вокруг молодых звезд, новые типы планетарных туманностей с чрезвычайно сложной структурой газовых волокон.

Богатый материал получен о **планетах** нашей Солнечной системы:

- сезонные изменения полярных шапок **Марса**; извержение вулкана на **спутнике Ио**;
- падение на Юпитер **кометы Шумейкера-Леви 9**;
- удалось проследить формирование газового хвоста у **кометы Хейла-Боппа** во время ее подлета к Солнцу и пронаблюдать взрывоподобные выбросы пыли из ядра кометы.

В рамках программы по исследованию **галактик** :

- получены данные о **формировании молодых звезд**;
- определены периоды пульсаций цефеид в далеких галактиках и по ним уточнена **шкала межгалактических расстояний**;
- только благодаря отсутствию атмосферных помех реализовалась возможность увидеть в деталях **ядра галактик**,
- наблюдать отдельные **молодые звездные скопления, квазары** и
- получить веские свидетельства о существовании **черных дыр**.

Получаемые результаты через определенное время становятся доступными по сети **Internet** (<http://www.stsci.edu/>) для бесплатного использования всеми интересующимися.

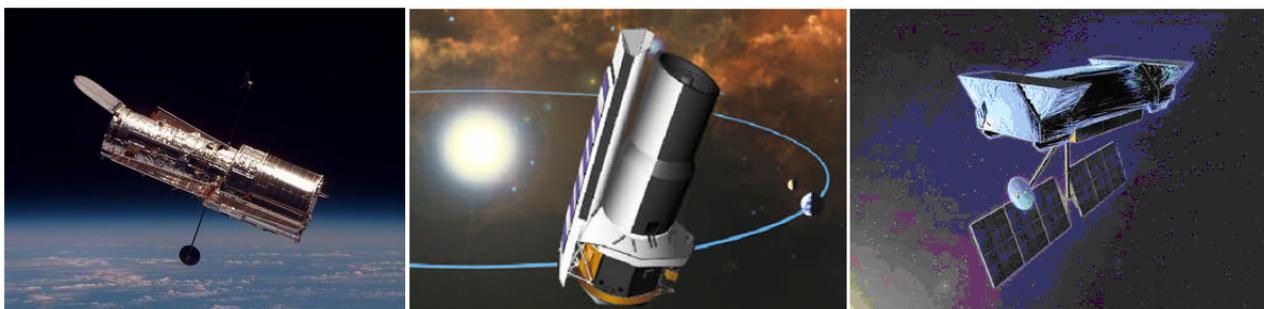


Рис. 7-2. Космические телескопы: «Хаббл», «Спитцер» и инфракрасный интерферометр (SIM).

***Космический телескоп NASA Спитцер (Spitzer).***

Телескоп впервые зафиксировал достаточно света от планет вне нашей солнечной системы, известных как экзопланеты, чтобы идентифицировать молекулы в их атмосферах. Это достижение поможет обнаруживать возможное наличие жизни на экзопланетах. Инфракрасный спектрограф Спитцера был построен Корнеллским университетом (the Cornell University), Итака, штат Нью-Йорк. Его разработкой руководил доктор Джим Хуок (Jim Houck) из Корнелла.

Спитцер получил детальную информацию, называемую спектром, о двух разных газообразных экзопланетах с именами HD 209458b и HD 189733b. Эти так называемые "горячие Юпитеры", подобно Юпитеру, состоят из газа, но вращаются намного ближе к своим солнцам. Спитцер смог выделить спектры из слабого свечения двух планет с помощью приема, известного под названием "вторичное затемнение". По этому методу – впервые использованному Спитцером в 2005 году, чтобы напрямую обнаружить свет от экзопланеты в первый раз – за так называемой проходящей планетой ведется наблюдение во время ее вращения за своей звездой, когда она временно исчезает из нашего Земного поля зрения. Измеряя перепад в инфракрасном свете, который возникает, когда планета исчезает, Спитцер может узнать количество света, исходящего собственно от планеты. Этот прием будет работать только в инфракрасных волнах, где планета ярче, чем в видимых волнах и четче выступает рядом с ослепительным сиянием своей звезды.

***Космический телескоп Кеплер.***

7 марта 2009 с мыса Канаверал был запущен космический телескоп Кеплер. Его цель: найти планеты, пригодные для обитания.

Телескоп, названный в честь астронома Иоганна Кеплера, будет летать вокруг Земли три с половиной года. Ожидается, что за это время он соберет информацию примерно о ста тысячах звездных систем в нашей галактике. На основе полученных данных можно будет сказать, какая из планет этих систем пригодна для обитания. Для этого нужно, чтобы она была нагрета до определенной температуры, на ней была вода в жидком виде и кислород. Именно такие планеты будет искать «Кеплер» с помощью самого большого на сегодняшний день телескопа-фотометра с диаметром рабочей поверхности около метра. Впрочем, ответить определенно, на вопрос, одиноки ли мы во Вселенной, телескоп не сможет. Любой сигнал, отправленный к исследуемым планетам, где, возможно, есть разумная жизнь, дойдет до них только через сотни лет.

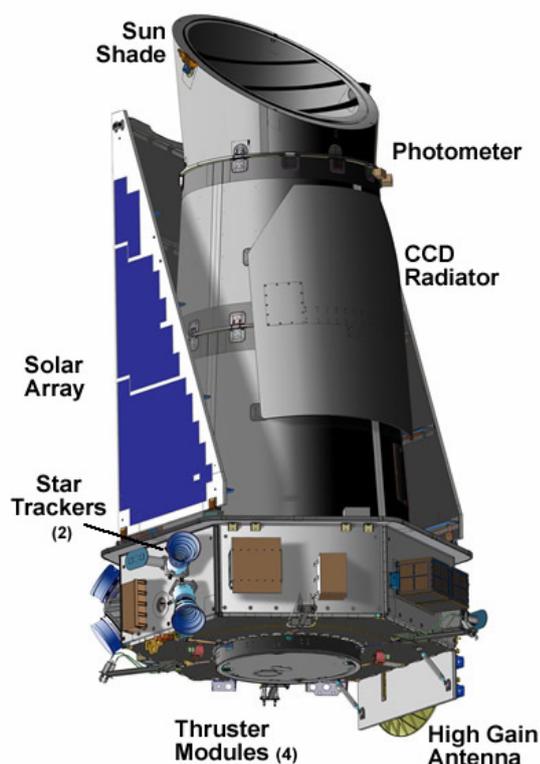


Рис. 7-2. Космический телескоп Кеплер.

***Космический интерферометр SIM PlanetQuest.***

SIM (Space Interferometry Mission) - проектируется как один из самых точных астрономических приборов, хотя его характеристики, на первый взгляд, и напоминают параметры дорогого, но любительского инструмента. Интерферометр представляет собой 30-сантиметровый телескоп, куда поступает свет от пары зеркал, разделенных 10-метровым расстоянием. С точки зрения оптики, такое устройство эквивалентно 10-метровому телескопу по качеству воспроизведения мелких деталей, хотя "светосила" интерферометра и меньше во много раз. Слабые источники света останутся для него невидимыми, зато яркие, но не слишком удаленные друг от друга звезды будут выглядеть как два различных объекта, даже если их не "разделяет", например, телескоп Hubble. Космический интерферометр оказывается "космической линейкой" для сверхточного измерения расстояний, одно "деление" на которой соответствует 4 микросекундам дуги (это значит, например, что с Луны он мог бы различить головы орла на российской рублевой монете). В частности, SIM способен зафиксировать неровности звездных траекторий, которые объясняются присутствием невидимых планет. Этот эффект срабатывает безотказно даже в тех случаях, когда Kepler не обнаружил бы ничего подозрительного. А "неровности" позволяют вычислить, сколько весит и как далеко от звезды находится планета.

Запуск интерферометра SIM был намечен на 2011 год. Космическую обсерваторию снабдили бы координатами двух тысяч звезд из разных областей Млечного Пути, которые уже прошли предварительный отбор. Интерферометр - в роли "промежуточного звена" между двумя другими миссиями - должен был рассортировать планеты и подготовить список, к каждому пункту которого следовало отнести уже со всей серьезностью.

***Методы обнаружения внесолнечных планет.***

Известны пять основных методов обнаружения внесолнечных планет: *Во-первых*, это метод прямых наблюдений - можно элементарно увидеть планету рядом с

другой звездой, подобно тому, как видим планеты нашей звёздной системы. Впрочем, хотя сфотографировать гигантскую планету у другой звезды таким способом однажды удалось, обнаружена она была другим способом. Тем не менее, развитие телескопов позволяет надеяться, что скоро метод прямых наблюдений станет именно методом обнаружения.

*Во-вторых*, это доплеровский метод: измеряя смещение линий различных элементов в спектре звезды, астрономы могут заметить периодические изменения её скорости, связанные с обращением светила вокруг центра масс системы звезда-планета. Этот метод особо чувствителен к массивным планетам, расположенным рядом со своими светилами. При этом желательно видеть орбиту системы «с ребра» - в противном случае никаких изменений скорости не будет. Этим методом были открыты большинство внесолнечных планет. Его небольшая модификация - измерение моментов прихода импульсов от пульсаров - работает для этого типа небесных объектов.

*Третий метод* - астрометрический: астрономы измеряют смещение положения звезды, также вызванное её обращением вокруг общего с планетой центра масс. Выглядит такое смещение, как «виляние» звезды в стороны от средней траектории её перемещения по небу относительно более далёких звёзд. Этот метод также чувствителен к массивным спутникам звезды, однако расположенным, напротив, на относительно большом от неё расстоянии. Кроме того, он работает лишь для близких звёзд. Пока таким методом открывались лишь спутники-звёзды, планеты слишком маломассивны, чтобы вызвать заметное смещение.

*Четвёртый метод*, активно развивающийся в настоящее время - метод транзитов. Астрономы следят за блеском большого количества звёзд. Если плоскость орбиты планеты пересекает диск звезды, будут происходить регулярные «частные затмения» или прохождения планеты по диску звезды. Хотя заметить крохотный диск планеты на неразличимом в телескоп диске звезды нельзя, блеск звезды чуть ослабнет. Этот метод чувствителен к крупным спутникам, однако требует, чтобы мы смотрели на систему «с ребра»: в противном случае затмений не будет. Данным методом большинство внесолнечных планет открывается в настоящее время.

*Пятый метод* - гравитационное линзирование. Если звезда с планетой проходит перед какой-то далёкой звездой, блеск последней будет увеличиваться за счёт эффекта гравитационного линзирования. Наличие планеты чётко отметится на кривой блеска в виде дополнительного пика. Так были открыты несколько планет массой, близкой к массе Земли. Кроме того, возможны различные вариации этого метода - например, можно наоборот, искать планету у звезды-источника с помощью расположенной на луче зрения звезды-линзы. Недостаток этого метода - единичность каждого события. Поймав одно событие гравитационного линзирования, от данной звезды-линзы, следующего события нужно ждать очень долго.

### ***Внесолнечные планеты.***

#### ***Планета в созвездии Водолея.***

Международная группа астрономов, работающая на телескопе Кек в Гавайской обсерватории, обнаружила в созвездии Водолея самую маленькую планету вне пределов Солнечной системы. Планета вращается вокруг звезды Gliese 876, ее диаметр всего в 2 раза больше земного, а масса превосходит массу Земли в 6-8 раз. Звезда Gliese 876 находится в 15 световых годах от нашего Солнца. Если путешествовать на кораблях типа "Союз", полет займет 5,5 миллиона лет. Это возраст человека от самых далеких наших предков.

Принято считать, что в Солнечной системе существует восемь планет. Ну, максимум девять, если добавить сомнительный Плутон. Но в 1990-х годах с планетами начался форменный бум. Сегодня открыто уже около 150 планет. Вне пределов нашей Солнечной системы, они называются экзопланетами, или экстрасолнечными планетами.

Все экзопланеты зафиксированы по косвенным признакам, исходя из колебаний положения звезд, которое вызвано гравитационным воздействием планет, неразличимых при наблюдении с Земли. Это так называемое доплеровское смещение, вроде показаний милицейского радара, который ловит лихачей, превышающих скорость на дороге. Астрономы вооружены лучше гаишников - оптические спектрометры определяют доплеровское смещение линий с точностью до 10 метров в секунду на гигантских расстояниях. Именно такие приборы привели к открытию группы профессора Джеффри Марси на Гавайях Gliese 876 в созвездии Водолея - одна из ближайших к нам звезд. По классификации она относится к классу коричневых карликов. Это класс небесных объектов, который занимает промежуточное положение между обычными звездами и собственно планетами. Коричневые карлики были предсказаны в 1963 году, но впервые зафиксированы совсем недавно - в 1995 году. Сегодня на небосклоне обнаружено всего 200 таких карликов, гораздо меньше, чем белых карликов и черных дыр.

Коричневые карлики - совсем дистрофики, их масса меньше, чем у нашего Солнца. Из-за малой массы внутри коричневых карликов невозможны типичные для звезд термоядерные реакции. Свет и тепло выделяются за счет медленного гравитационного сжатия. Астрономы иногда жалостливо называют их "неудавшимися звездами". Однако именно с таких неудавшихся звезд астрономам в последнее время все чаще улыбаются новые экзопланеты. Как это случилось, к примеру, в 2004 году, когда была впервые сфотографирована так называемая Суперземля около звезды Мю в созвездии Жертвенника в 50 световых годах от Земли. Суперземля была в 14 раз больше Земли и на тот момент оказалась самой маленькой экзопланетой.

У карлика Gliese 876 имеются еще две газообразные планеты-гиганта, похожих на наш Юпитер, которые были обнаружены еще раньше. Вообще большинство экзопланет - это газообразные гиганты вроде Юпитера, которые не имеют ничего общего с Землей. Что касается только что найденной горячей кухни нашей Земли, то температура на ее поверхности достигает 200-400 С, а год равен всего двум дням. Планета находится к звезде в 50 раз ближе, чем наша Земля к своему Солнцу. И все-таки астрономы уверены, что именно эта планета более всех из найденных, - похожа на Землю. Экзопланеты размером с Землю и даже еще более мелкие уже попадались в объективы телескопов, но они живут около раскаленных нейтронных звезд и совсем не похожи на Землю. Планета же у звезды Gliese 876 - это каменистый объект с плотной атмосферой, по размеру занимающий положение между Марсом и Ураном.

На заре науки Карл Линней занимался классификацией животных. Сегодня астрономы столь же увлечены классификацией планетных систем, хотя материала у них гораздо меньше, чем было у Линнея. Без такой классификации создать теорию формирования и эволюции Вселенной невозможно. К тому же, в отличие от Линнея, который занимался чистым описанием, современные классификаторы вооружены мощными спектрометрами и постигают истину не словом, а цифрой, что гораздо эффективнее. *Уже можно считать доказанным, что формирование планет рядом со звездами является закономерным этапом их эволюции и наша Солнечная система не уникальна.* Общие закономерности планетных систем позволяют предположить, что существование в комфортной "зоне жизни" планет земного типа является редким явлением. Но в принципе нельзя исключить того, что у некоторых планет в Галактике имеется биосфера.

Что касается новой планеты около звезды Gliese 876, то и на ней, несмотря на адовые условия, жизнь возможна. Планета может быть повернута к своей звезде одной стороной, как смотрит на свои планеты большинство спутников, в том числе Луна на нашу Землю. И на сумеречной линии перехода "день-ночь" температура может оказаться приемлемой для существования неизвестных нам биологических форм жизни. Ведь даже капризный человек ко всему привыкает.

### **Открыта планета у молодой звезды.**

TW Гидры - одна из наиболее изученных молодых звезд в окрестностях Солнца. Это ближайшая к нам известная звезда типа T Тельца. Она удалена от Солнца на  $56 \pm 7$  пк, ее масса оценивается в  $0.7 \pm 0.1$  солнечных масс, светимость составляет  $0.20 \pm 0.05$  светимостей Солнца. Ее спектральный класс - K8 Ve, т.е. с эмиссионными линиями в спектре. Вокруг TW Гидры вращается газопылевой протопланетный диск. Возраст звезды не превышает 10 млн. лет.

Группа немецких астрономов из Института Макса Планка методом измерения лучевых скоростей родительской звезды обнаружила у нее планету-гигант с минимальной массой (параметром  $m \sin i$ ), равной  $1.2 \pm 0.4$  масс Юпитера. Планета вращается вокруг своей звезды на расстоянии 0.041 а.е. (чуть больше 6 млн. км) и делает один оборот за 3.56 суток. Параллельно они измерили период вращения молодой звезды, оказавшийся равным  $2.1 \pm 0.5$  суток. Регулярное изменение полутолщины спектральной линии водорода H $\alpha$  с периодом 9.05 суток авторы связали с наличием внутреннего края газопылевого диска, расположенного на расстоянии 0.07 а.е. от звезды. Таким образом, получается, что молодой горячий гигант вращается вокруг своей звезды в области, уже свободной от газа и пыли.

Какова истинная масса TW Нуа b? Наклонение протопланетного диска звезды TW Гидры известно из наблюдений и составляет  $7 \pm 1$  градусов (т.е. система наблюдается практически плашмя). Если плоскость орбиты планеты близка к экваториальной плоскости протопланетного диска, истинная масса планеты оказывается равной  $9.8 \pm 3.3$  масс Юпитера. Иначе говоря, в самом "плохом" случае TW Нуа b оказывается не планетой, а легким коричневым карликом.

Авторы отмечают, что обнаружение массивной планеты-гиганта у столь молодой звезды говорит о том, что время формирования планет-гигантов оказывается меньше 10 млн. лет (для сравнения, считается, что планеты земной группы Солнечной системы формировались в течение  $\sim 100$  млн. лет). *Этот результат не находит объяснения.*

### **Очень плотная планета.**

Спутник CoRoT нашёл сразу несколько внесолнечных планет и загадочный тёмный объект неизвестной природы. Его масса в 50 раз меньше, чем у Солнца, а плотность в 4 раза больше, чем у свинца. Для бурых карликов – объектов промежуточных между планетами и звёздами масс – это слишком плотно, и, возможно, астрономам придётся переписать их теорию.

Французские астрономы, обрабатывающие данные с исследовательского спутника CoRoT, объявили об обнаружении сразу трёх, а возможно, и четырёх объектов, обращающихся вокруг нормальных звёзд. Два из них – обычные «горячие юпитеры» CoRoT-Ехо-4b и CoRoT-Ехо-5b. Их массы составляют 70% и 90% массы крупнейшей планеты Солнечной системы Юпитера, а вокруг своих звёзд, которые немногим больше Солнца, эти гиганты обращаются всего за 9 и 4 дня, соответственно; Юпитеру, чтобы обогнать Солнце, требуется 12 лет.

Учёные также осторожно заявляют о возможности обнаружения планеты радиусом всего в 1,7 радиусов Земли; сигнал от неё – это крохотное ослабление блеска звезды на 0,05% – недостаточно силён для уверенных заявлений на этот счёт, потому пока обозначение внесолнечной планете не присваивается.

Однако наибольший интерес вызывает четвертый достоверно обнаруженный объект – CoRoT-Ехо-3b. Будучи по массе промежуточным звеном между планетами и звёздами, объект слишком мал, чтобы быть одним из бурых, или коричневых, карликов, считающихся основным типом объектов с такими массами. Согласно сообщению Европейского космического агентства, доклад об обнаружении CoRoT-Ехо-3b был представлен на проходящей сейчас в Гарварде конференции по поиску экзопланет транзитным методом.

Как рассказала в своём докладе на конференции Анни Баглен из Парижской обсерватории, CoRoT-Exo-3b обращается вокруг слабой звездочки 13-й звёздной величины, идентифицируемой в эксперименте как CoRoT-Exo-3. На деле она немного ярче, горячее и массивнее Солнца, только находится примерно в 2 тысячах световых лет от нашей звёздной системы.

Необычный объект обращается вокруг неё за 4,25 земных дня по почти круговой орбите радиусом около 7,5 миллиона километров и при массе 20,2 масс Юпитера (около 2% солнечной) имеет диаметр лишь около 0,8–0,9 юпитерианских. Средняя температура поверхности CoRoT-Exo-3b при такой близости к центральной звезде должна быть около 2 200 градусов по шкале Цельсия – если, конечно, у него нет внутренних источников энергии.

При этом средняя плотность CoRoT-Exo-3b составляет **около 45 г/см<sup>3</sup>**, что вдвое превосходит плотность платины, в 2,5 раза – урана и в 4 раза больше плотности свинца. Плотность других планет из этой системы несколько меньше, но всё равно очень велика (Deleuil M, Bonomo A.S., Ferraz-Mello S. et al. Transiting exoplanets from the CoRoT space mission Xx. CoRoT-20-b: A very high density, high eccentricity transiting giant planet. arXiv:1109.3203v1. 14 Sep. 2011). *Этот результат не находит объяснения.*

### **Планетные системы у недозвёзд.**

Астрономы из США, Мексики и Венесуэлы в созвездии Тельца нашли две звезды, которые, не успев ещё полностью сформироваться, уже обзавелись целыми семьями планет. Это самые молодые планетные системы, известные к настоящему времени.

Объекты UX Tau<sup>1</sup> A и LkCa 15 расположены примерно в 450 световых годах от Солнечной системы в направлении созвездия Тельца. Их относят к классу протозвёзд, которыми богато это созвездие и его окрестности; возраст данной области звездообразования – около миллиона лет. Протозвёзды, как и подсказывает их название, – предшественники нормальных звёзд, у которых уже есть обособленное физическое тело, однако природа пока не вдохнула в них жизнь – ядерные реакции в центре таких звёзд начнутся позднее.

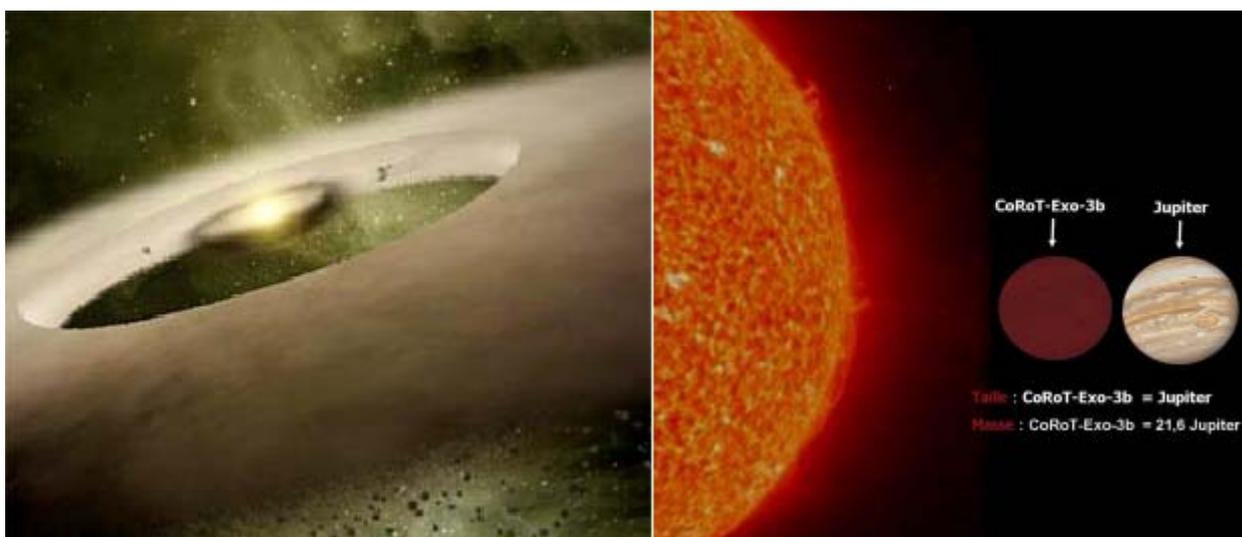


Рис. 7-3. Планеты вращаются вокруг ещё не сформировавшейся звезды (слева). Очень плотная планета (справа).

«Недозвёзды» уже ярко светятся, лишь немного уступая в светимости тому объекту, который появится на их месте через несколько миллионов лет. Энергию даёт сжатие газопылевой смеси, из которой рождается звезда – она всё ещё примерно в полтора

раза больше своего нормального размера. Медленно оседая к центру под действием собственной гравитации, вещество нагревается и начинает ярко светить. Кроме того, на поверхность объекта всё ещё выпадает вещество, оставшееся в том газопылевом диске, из которого сформировалась звезда. *Этот результат так же как предыдущий - не находит объяснения.*

### ***Планета, похожая на Землю.***

В созвездии Водолея обнаружена планета, похожая на Землю. Правда, по словам астрофизиков, там слишком жарко, поэтому найти там жизнь вряд ли удастся. С другой стороны, это открытие укрепило надежды ученых найти земного двойника. Планету нашли у звезды Gliese 876 – красного карлика в созвездии Водолея, в 15 световых годах от Земли. Радиус найденной планеты, по оценкам астрофизиков, примерно в два раза больше радиуса Земли, масса в 5,9 раз больше земной, а температура на поверхности достигает 200–400 градусов Цельсия.

По словам ученых, родительская звезда новой экзопланеты совсем маленькая: ее масса составляет только треть от массы Солнца. В 1998 году астрономы из Исследовательского центра Эймса NASA обнаружили первую планету в ее системе. Это был газовый гигант с массой в два Юпитера. Спустя три года те же ученые нашли у Gliese 876 вторую планету, тоже газовый гигант, хотя с массой в два раза меньше массы Юпитера. Изучая их орбиты, астрономы заподозрили, что в планетарной системе Gliese 876 существует и третья планета – совсем небольшая, с орбитой, приближенной к круговой.

По словам специалистов, сейчас они обладают достоверной информацией о планете и ее орбите. Траектория ее движения находится на расстоянии примерно 10 радиусов звезды, а период обращения – 1,94 земных дня. «Исходя из этого, можно предположить, что температура на поверхности планеты не менее 200 градусов Цельсия, – пояснили ученые, – то есть здесь слишком жарко для существования жидкой воды и тем более жизни». Но зато, как считают специалисты, структура планеты может быть похожа на земную. У нее, вероятно, железное ядро и кремниевая мантия.

### ***Планета «Фомальгаут b».***

По наблюдениям на Космическом телескопе открыта планета около близкой звезды Фомальгаут. Получено прямое изображение планеты. Наблюдается ее движение вокруг материнской звезды.

Счет открытым экзопланетам уже идет на сотни. Даже удалось получить прямые изображения планет. Тем не менее, новое открытие выглядит весьма впечатляющим. Исследовав "рот кита" (именно так переводится название звезды), ученые увидели планету, вероятно ответственную за внешний вид пылевого пояса, окружающего Фомальгаут.

Наблюдения на Космическом телескопе позволили увидеть около известной близкой звезды Фомальгаута (расстояние 7.7 пк от Земли) мощный пылевой диск, а в нем разглядеть планету. Видно, что за 1.73 года наблюдений планета сместилась. Соответственно, можно определить ее примерную орбиту. Ее большая полуось составила примерно 115 а.е. Период обращения около 872 лет. Сама планета довольно массивна, ее масса составляет несколько юпитерианских.

Фомальгаут - относительно молодая звезда (100-300 миллионов лет), поэтому вокруг нее еще сохранился мощный пылевой диск. Изначально ученые предполагали, что форма диска определяется влиянием планет, находящихся в нем. А поскольку планеты очень молоды, то они еще должны быть горячими, поэтому можно было надеяться на их прямую регистрацию. Проблема лишь в том, что Фомальгаут - очень яркая звезда (она вдвое массивнее Солнца). Поэтому понадобился Космический телескоп и коронографические наблюдения.

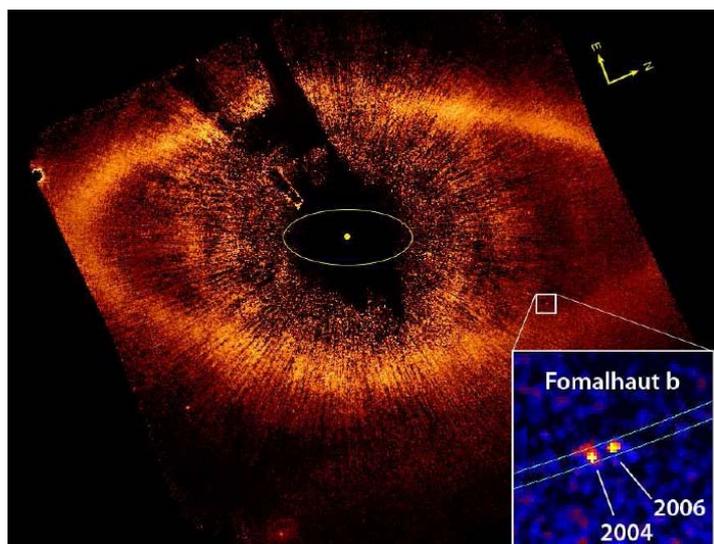


Рис. 7- 4. Планета «Fomalhaut b». Изображение получено Космическим телескопом имени Хаббла на волне 0.6 микрон. Сама яркая звезда была закрыта. Виден мощный пылевой пояс-диск. Желтый эллипс, показанный для масштаба, имеет большую полуось 30 а.е. (это примерно орбита Нептуна). На врезке показано изображение планеты в 2004 и 2006 гг.

Первые наблюдения на КТХ были проведены в 2004 году. Кроме них провели сеансы на 10-метровом телескопе имени Кека (Кекс-II). Это было нужно для обнаружения собственных движений попавших в поле зрения объектов. Ведь всегда есть фоновые источники, но они не движутся вместе с Фомальгаутом, значит, наблюдая то же поле через несколько месяцев, можно отсеять лишнее (поскольку Фомальгаут близок к нам, то его собственное движение довольно велико).

Наконец, удалось показать, что объект, получивший обозначение Фомальгаут b, физически связан со звездой. Массу планеты авторы попробовали определить, исходя из того, что именно она ответственна за морфологию пылевого диска. Для этого было проведено достаточно сложное моделирование. Итогом послужила оценка массы планеты  $< \sim 3$  массы Юпитера. Данные, полученные из анализа прямого изображения планеты, не противоречат этой оценке. Реалистичные модели атмосфер молодых планет дают что-то около 2.5 масс Юпитера или чуть меньше. Хотя остаются кое-какие необъясненные детали, что неудивительно: мы еще плохо понимаем устройство таких объектов.

### ***Время формирования планеты.***

В статье, опубликованной в 2001 в журнале Science, авторы (Throop H.V. et al.), используя внеатмосферный телескоп Хаббла, получили очень интересный и чрезвычайно важный результат. В этой статье приведены результаты исследований спектров пропускания галактического электромагнитного излучения в широком диапазоне длин волн при просвечивании протопланетного диска в созвездии Ориона. Возраст исследуемого протопланетного диска не превышает **100 000 лет**. Согласно общепринятой модели образования планет в таком диске должны находиться планетозимали, рассеивающие это излучение. Однако ожидаемого эффекта поглощения электромагнитного излучения не обнаружено. Авторы пришли к выводу, что планеты в этом диске уже сформировались, хотя их время формирования значительно меньше (в 1000 раз!), чем следует из принятой модели формирования планет. *И этот результат не находит объяснения.*

### **7. 3. Коричневые карлики.**

Коричневые карлики (Сурдин, 1999) - космические тела, занимающие по своим массам промежуточное положение между звездами и планетами. Коричневыми карликами

принято называть объекты с массами приблизительно от 0,01 до 0,08 масс Солнца. От нормальных звезд они отличаются тем, что температура в их недрах никогда не достигает значений, необходимых для протекания важнейшей термоядерной реакции — превращения водорода в гелий, которая обеспечивает длительное свечение обычных звезд. Но по сравнению с планетами, вообще не способными к термоядерному синтезу, коричневые карлики на начальном этапе своей жизни все же разогреваются настолько, что "сжигают" в термоядерных реакциях некоторые редкие элементы (дейтерий, литий), что делает их на короткое время похожими на звезды. Температура поверхности коричневых карликов обычно не превышает 2000 К, поэтому они имеют темно-красный или даже инфракрасный цвет; отсюда и название этих объектов (англ. brown dwarf).

### ***Предсказание и обнаружение коричневых карликов.***

Обычные звезды проводят большую часть своей жизни в состоянии равновесия между силой тяжести, стремящейся их сжать, и препятствующей этому силой газового давления. Высокое давление в недрах звезды обеспечивается огромной температурой плазмы в миллионы и даже десятки миллионов кельвинов, которую поддерживают постоянно идущие в центральной части звезды термоядерные реакции, т. е. реакции синтеза ядер более тяжелых химических элементов из более легких, например гелия из водорода, углерода из гелия и т.п. В этих реакциях выделяется ровно столько энергии, сколько звезда постоянно теряет с поверхности в виде излучения. Чем меньше масса звезды, тем ниже температура в ее ядре и тем медленнее протекают там термоядерные реакции. В 1958 астрофизик индийского происхождения Шив Кумар (университет штата Виргиния, США) занялся теоретическим изучением маломассивных звезд, предположив, что могут существовать звездообразные тела настолько малой массы, что температура в их недрах окажется недостаточной для протекания ядерного синтеза. Дело в том, что в период формирования звезды ее гравитационное сжатие обычно продолжается до тех пор, пока температура в центре не достигнет уровня, необходимого для протекания термоядерных реакций. У массивных звезд эта температура достигается при относительно невысокой плотности вещества, у звезд малой массы - при более высокой (например, в центре Солнца плотность плазмы превышает 100 граммов на кубический сантиметр). В 1963 расчеты Кумара показали, что у формирующихся звезд (протозвезд) очень малой массы сжатие останавливается раньше, чем температура в их центре достигает значения, необходимого для важнейшей термоядерной реакции - синтеза гелия из водорода ( $4\text{H} \rightarrow \text{He}$ ). Причиной остановки сжатия протозвезды служит квантовомеханический эффект — давление вырожденного электронного газа. Таким образом, при массе звезды менее 0,07-0,08 массы Солнца (точное значение зависит от ее химического состава) она не способна сжигать легкий изотоп водорода, а значит, - в ее жизни нет фазы Главной Последовательности — самого длительного этапа эволюции нормальных звезд. Поэтому такие объекты, вообще говоря, нельзя называть звездами. Но с другой стороны, это и не планеты, поскольку в эволюции объекта с массой более 0,013 массы Солнца, как показывают расчеты, должна быть короткая термоядерная стадия, в ходе которой сгорает редкий тяжелый изотоп водорода — дейтерий, превращаясь в легкий изотоп гелия ( $\text{D} + \text{p} \rightarrow \text{He}$ ). Этот краткий эпизод термоядерного горения не задерживает надолго гравитационное сжатие протозвезды. Температура ее поверхности даже при максимальном разогреве не превышает 2800 К, а затем начинает снижаться, и объект практически перестает светиться.

Итак, согласно теоретическому предсказанию Кумара, протозвезды с массой от 0,013 до приблизительно 0,075 массы Солнца в конце своего гравитационного сжатия проявляют робкую попытку стать звездой, но так ею и не становятся; их краткая жизнь заканчивается остыванием и полным исчезновением с небосвода. Такие звезды-неудачники, открытые "на кончике пера", Кумар назвал "черными карликами",

но обнаружить их долго не удавалось, и новый термин забылся. В середине 1970-х годов астрономы выяснили, что помимо наблюдаемых, - в телескоп нормальных ярких звезд в нашей и других галактиках, - присутствует огромное количество невидимого вещества; подозрение пало на тусклые карликовые объекты, предсказанные Кумаром, и они вновь стали популярны. Крис Дэвидсон (университет штата Миннесота, США) назвал эти неведомые звезды "инфракрасными карликами"; другие астрономы хотели назвать их "малиновыми карликами", но в 1975 студентка-дипломница из университета в Беркли (США) Джил Тартер придумала термин "brown dwarf", и он прижился. На русский язык его перевели как "коричневый карлик", хотя в действительности эти объекты имеют инфракрасный цвет, и точнее было бы перевести brown как "темный" или "тусклый". Но термин уже вошел в нашу научную литературу, и, вероятно, навсегда за группой промежуточных между звездами и планетами объектов закрепилось название "коричневые карлики".

Три десятилетия продолжались безрезультатные поиски этих тусклых светил. Их первое надежное обнаружение состоялось лишь после того, как были созданы новые гигантские телескопы диаметром 8-10 метров, снабженные инфракрасными приемниками изображения (ПЗС-матрицами большого размера) и мощными ИК-спектрографами, рассчитанными именно на тот диапазон излучения, в котором должны светиться коричневые карлики. Но даже такая мощная техника способна обнаружить эти слабые источники лишь на расстоянии не более 100 пк (300 св. лет) от Солнца, а в таком сравнительно небольшом объеме пространства их довольно мало. Чтобы выявить несколько коричневых карликов, пришлось провести детальный обзор всего неба. Некоторые из них обнаружили в соседнем молодом звездном скоплении Плеяды.

Первый успех пришел в 1996, когда японские астрономы (Накаджима и др.) обнаружили рядом с очень маленькой и холодной звездой Gliese 229 еще более мелкий и холодный спутник с температурой поверхности всего около 1000 К и мощностью излучения в 160 тыс. раз слабее солнечной. Его не звездная природа была окончательно подтверждена в 1997 с помощью "литиевого теста" (см. ниже); обозначенный как Gliese 229B, этот объект стал первым коричневым карликом, открытым астрономами. Его размер почти в точности равен размеру Юпитера, а масса оценивается в 0,03-0,06 масс Солнца. Коричневый карлик Gliese 229B обращается вокруг своего более массивного компаньона Gliese 229A по орбите радиусом около 40 а.е. с периодом около 200 лет. В 1997 были открыты два первых изолированных коричневых карлика (Kelu-1 и DENIS-PJ1228-1547), а также было доказано, что коричневым карликом является объект GD 165B, компаньон белого карлика. Эти четыре и стали прототипами нового класса астрономических объектов, занявших место между звездами и планетами.

### ***Строение и эволюция коричневых карликов.***

До середины 1990-х годов граница между звездами и планетами представлялась вполне определенной. Наиболее массивной планетой считался Юпитер, масса которого составляет всего 0,001 массы Солнца, а наименьшие среди известных звезд были значительно крупнее: они имели массу около 0,1 солнечной. Однако за последние годы были обнаружены экзопланеты во много раз массивнее Юпитера и близкие к ним по массе мини-звезды. Это потребовало точного определения понятий "звезда" и "планета" на основе физических различий в их эволюции. Поскольку характерным признаком звезды служат протекающие в ее недрах термоядерные реакции, именно их отсутствие было положено в основу определения планеты. Согласно Б.Р.Оппенгеймеру и др. (2000), планета — это объект, в котором за всю его историю реакции ядерного синтеза не происходят ни в каком виде. Если же на каком-либо этапе эволюции мощность термоядерного синтеза была сравнима со светимостью объекта, то он достоин называться звездой. Расчеты показывают, что в звездах с массой менее 0,07-0,08 массы Солнца температура так низка, что термоядерные реакции с участием легкого изотопа водорода

(т.е. реакции pp-цикла) практически не происходят. Это критическое значение массы звезды называют "границей возгорания водорода", или "пределом Кумара". Единственным долговременным источником энергии менее массивных звезд служит их гравитационное сжатие. Однако в процессе этого сжатия каждая протозвезда проходит короткий этап горения дейтерия. Этот тяжелый изотоп водорода вступает в термоядерную реакцию при более низкой температуре, чем легкий водород, потому что реакция с дейтерием происходит под действием электромагнитного, а не слабого взаимодействия. Необходимые для этой реакции условия возникают в звездах с массой более 0,013 солнечной (что всего в 14 раз больше массы Юпитера). Но содержание дейтерия в космическом газе ничтожно (0,001%), сгорает он быстро и слабо влияет на светимость звезды; основным источником ее энергии в этот период все равно остается гравитационное сжатие.

Звезды наименьшей массы, обладающие ядерным источником энергии, очень экономно расходуют запас водорода: например, звезда с массой 0,085 солнечной может поддерживать свою невысокую светимость (около 0,1% от солнечной) в течение 6000 млрд. лет, что в 400 раз больше нынешнего возраста Вселенной. Но коричневые карлики с массой чуть ниже предела Кумара практически лишены ядерной энергии; после быстрого сгорания дейтерия и остановки гравитационного сжатия они быстро остывают и становятся невидимыми всего за несколько миллиардов лет. Поэтому в Галактике может быть много холодных и совершенно невидимых коричневых карликов, которые могли бы составлять немалую долю ее скрытой массы.

Отличить молодой, еще не остывший коричневый карлик от маленькой звезды довольно сложно: их цвет и светимость весьма близки. Критическим признаком при этом сейчас считается "литиевый тест" — наличие линий лития в спектре источника. Дело в том, что литий — нежный элемент: он разрушается ядерными реакциями при температуре выше 2,4 млн. К. Поэтому все нормальные звезды должны сжечь свой литий еще до начала реакций с участием водорода, причем сжечь не только в ядре, но во всем объеме звезды, включая поверхностные слои. Причина в том, что маломассивные звезды и коричневые карлики полностью конвективны: их вещество активно перемешивается ("кипит") и поэтому каждая его порция рано или поздно проходит через ядро, где при высокой температуре литий сгорает без остатка. Расчеты показывают, что звезда минимальной массы (0,075 массы Солнца) сжигает 99% своего лития за 100 млн. лет, а коричневый карлик с массой ниже 0,06 солнечной сожжет такую же долю лития лишь за время больше 10 млрд. лет. Этим и обоснован литиевый тест: обнаружение в спектре холодной звезды линии Li с длиной волны 6708 ангстрем сразу указывает, что ее масса меньше 0,06 солнечной, а значит — это коричневый карлик.

Температура поверхности коричневых карликов не превышает 2800 К. Для таких холодных объектов, - в спектральную классификацию звезд потребовалось ввести новые классы. Принятая сейчас классификация звездных спектров сложилась в первой половине 20 в. Известная гарвардская последовательность спектральных классов O-B-A-F-G-K-M отражает ход температуры звездных фотосфер (от горячих O и B к прохладным K и M), а дополнительные классы R, N и S отражают вариации химического состава у холодных звезд-гигантов с температурой около 3000 К. Эта схема надежно служила астрономам почти целый век, и даже создалось впечатление ее завершенности. Однако последние годы показали, что развитие спектральной классификации не прекратилось: обнаружение коричневых карликов привело в конце 1990-х годов к введению новых спектральных классов L и T для тел с эффективной температурой менее 2000 К.

Оказалось, что в формировании спектров экстремально холодных объектов весьма важную роль играет пыль. У самых холодных звезд класса M с температурой поверхности около 3000 К в спектре видны мощные полосы поглощения окисей титана и ванадия (TiO, VO). Но у более холодных звезд их не оказалось. До открытия ставшего теперь классическим коричневого карлика Gliese 229B самым темным и холодным был

компаньон белого карлика GD 165B, имеющий температуру поверхности 1900 К и светимость 0,01% солнечной. Он поразил исследователей тем, что в отличие от других холодных звезд не имеет полос поглощения TiO и VO, за что был прозван "странной звездой". Такими же оказались спектры и других коричневых карликов с температурой ниже 2000 К. Расчеты показали, что молекулы TiO и VO в их атмосферах сконденсировались в твердые частицы — пылинки и уже не проявляют себя в спектре, как это свойственно молекулам газа.

Таким образом, подавление спектральных полос TiO и VO в результате конденсации этих молекул в пылинки при  $T < 2000$  К потребовало введения нового спектрального класса. В 1998 Дэви Киркпатрик (Калифорнийский технологический институт, США) предложил расширить гарвардскую схему, добавив в нее класс L для мало массивных инфракрасных звезд, имеющих эффективную температуру поверхности 1500-2000 К. Спектр L-карликов характеризуется сильной полосой поглощения C<sub>2</sub>H, сильными линиями редких щелочных металлов Cs и Rb, а также широкими линиями калия и натрия. Но без информации о возрасте объекты L-класса нельзя автоматически считать коричневыми карликами: очень старые мало массивные звезды тоже могут остыть ниже 2000 К. Однако большинство объектов L-класса все же должны быть именно коричневыми карликами.

Продолжая поиск и исследование L-карликов, астрономы обнаружили еще более экзотические объекты, для которых потребовалось ввести самый новый спектральный класс T, еще более холодный, чем L (Дж.Либерт и др., 2000). Эффективная температура T-карликов около 1500-1000 К и даже чуть ниже. В их спектрах видны мощные полосы поглощения воды, метана и молекулярного водорода, поэтому их называют "метановыми карликами". Прототипом этого класса считают коричневый карлик Gliese 229B.

Коричневые карлики ставят перед астрономами много сложных и очень интересных проблем. Чем холоднее атмосфера звезды, тем сложнее ее изучать как наблюдателям, так и теоретикам. Присутствие в атмосфере пыли не делает эту задачу легче: конденсация твердых частиц не только изменяет состав свободных химических элементов в атмосфере, но и влияет на теплообмен и форму спектра. Теоретические модели с учетом пыли предсказали парниковый эффект в верхних слоях атмосферы и уменьшение глубины молекулярных полос поглощения; эти эффекты подтверждаются наблюдениями. Но проблема пыли сложна: расчеты показывают, что после конденсации пылинки начинают тонуть. Возможно, на разных уровнях в атмосфере формируются плотные облака пыли. Метеорология коричневых карликов может оказаться не менее разнообразной, чем у планет-гигантов. Но если атмосферы планет удастся изучать с близкого расстояния, то расшифровывать метановые циклоны и пылевые бури коричневых карликов придется только по их спектрам.

Вопросы о происхождении и численности коричневых карликов пока остаются открытыми. Первые подсчеты их количества в молодых звездных скоплениях типа Плеяд показывают, что по сравнению с нормальными звездами общая масса коричневых карликов, видимо, не так велика, чтобы "списать" на них всю темную массу Галактики. Но этот вывод еще нуждается в проверке.

Другой важный вопрос - как формируются коричневые карлики. Общепринятая теория происхождения звезд не дает на него ответ. Объекты столь малой массы могли бы формироваться подобно планетам-гигантам в околос звездных дисках. Но обнаружено довольно много одиночных коричневых карликов (например, в Туманности Ориона); трудно предположить, что все они сразу после рождения были потеряны своими более массивными компаньонами.

В 2001 совершенно особый путь рождения коричневых карликов наметился при исследовании двух тесных двойных систем - LL Андромеды и EF Эридана. В них более массивный компаньон - белый карлик - своим тяготением стягивает вещество с менее массивного спутника, так называемой звезды-донора. В системе LL Андромеды

перетекающий на белый карлик газ образует аккреционный диск, в котором время от времени, раз в несколько лет, происходят вспышки; поэтому LL Андромеды относят к классу неправильных переменных звезд, называемых карликовыми новыми. Систему EF Эридаана относят к классу полярных: в ней сильное магнитное поле белого карлика препятствует образованию аккреционного диска, поэтому вещество донора течет вдоль силовых линий и падает на магнитные полюса белого карлика.

Расчеты показывают, что в начале эволюции обеих этих систем спутники-доноры в них были обычными звездами, но, за несколько миллиардов лет, их масса упала ниже предельного значения, и термоядерные реакции в этих звездах угасли. Теперь, это по внешним признакам - типичные коричневые карлики. Температура звезды-донора в системе LL Андромеды около 1300 К, а в системе EF Эридаана - около 1650 К. Их массы лишь в несколько десятков раз превосходят массу Юпитера, а в их спектрах видны линии метана. Насколько их внутренняя структура и химический состав сходны с аналогичными параметрами "настоящих" коричневых карликов, пока не известно. Таким образом, нормальная маломассивная звезда, потеряв значительную долю своего вещества, может стать коричневым карликом.

#### 7. 4. Кометы.

Наблюдения за кометой Темпеля 1, сделанные космической станцией ESA Rosetta, позволили ученым установить, что кометы состоят из пыли, скрепленной льдом, а не из льда, как считалось ранее. На фотографии видны выбросы с кометы Темпеля 1 через 13 секунд после столкновения с зондом.

4 июля 2008 года ударная часть космического корабля NASA Deep Impact произвела столкновение с кометой Темпеля 1. Ожидалось, что в результате столкновения образуется кратер диаметром приблизительно 100–125 метров и выпарится порядка 45000 тонн воды. Но на самом деле пыли оказалось намного больше чем предполагалось. Также ожидалось, что воздействие на ледяное ядро кометы может инициировать новую серию выбросов газа и пыли с поверхности кометы. О природе этих выбросов практически ничего не известно, хотя один из них был замечен с помощью телескопа Хаббл, как раз перед самым столкновением.



Рис. 7-5. Выброс вещества при столкновении кометы

Станция Rosetta находилась на расстоянии 80 млн. километров от кометы, в самой удобной для наблюдения позиции. С помощью оборудования станции отслеживалось состояние кометы до столкновения, во время и после него. Обе бортовые камеры Rosetta, с широкоугольным объективом (WAC) и узкоугольным (NAC), входящие в состав инструмента OSIRIS, зафиксировали выброс облака из льда и пыли после столкновения. Оценив состав облака, ученые обнаружили, что содержание пыли в нем превышает содержание воды. Также не было обнаружено появление новых выбросов на комете из-за

столкновения с ударной частью Deep Impact. Таким образом, кометы оказались больше «замерзшей грязью», чем «грязным льдом». Сейчас комбинируя данные Rosetta и земных обсерваторий, ученые пытаются создать трехмерную модель облака пыли вокруг кометы.

За орбитой Плутона открыт так называемый пояс Койпера, второй пояс астероидов. Кометы проводят за орбитой Нептуна большую часть времени, так как в более дальней точке своей траектории их движение более медленное, чем около Солнца.

Различие планет по физическим свойствам, вероятно, обусловлено тем, что планеты земной группы формировались из протопланетного облака рядом с Солнцем. Именно поэтому в них много более тяжелых элементов, металлов, например железа. Планеты-гиганты формировались на более далеких расстояниях от Солнца, поэтому, в основном, состоят из легких элементов.

В настоящее время на планетах и астероидах Солнечной системы активно ищутся следы жизнедеятельности организмов.

Солнечная система – не единственная планетная система во Вселенной. В последние годы обнаружено более пятидесяти планет, с массами 0,15–17 М Юпитера, вращающихся вокруг расположенных вблизи Солнца звезд. Вокруг нескольких из них вращаются сразу две крупные планеты.

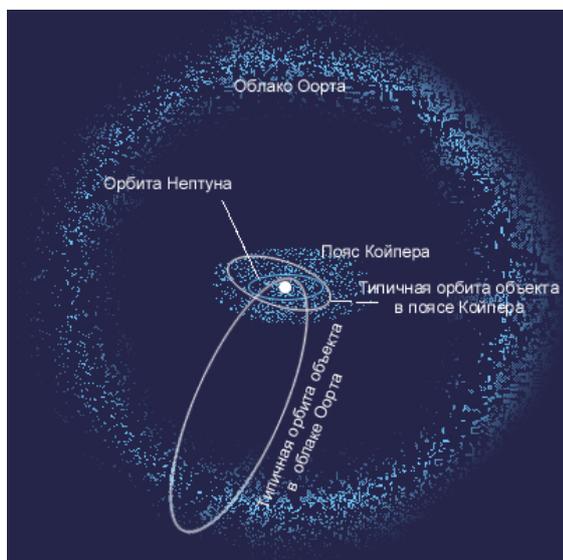


Рис.7- 6. Внешние области Солнечной системы.

Одной из самых интересных из открытых систем является ε Эридана. Эта звезда очень похожа на наше светило, юпитероподобная планета обращается вокруг нее примерно на таком же расстоянии, как пояс астероидов вокруг Солнца. В отличие от прочих известных экзопланет эта находится достаточно далеко от звезды, что дает шанс получить непосредственную фотографию планеты и обнаружить другие, более близкие к звезде и, возможно, более похожие на Землю планеты.

### 7. 5. Поиск источников гравитационных волн.

С помощью космической рентгеновской обсерватории NASA "Чандра" (Chandra) удалось найти свидетельство того, что два белых карлика (система, обозначаемая как RX J0806.3+1527 или просто J0806) облетают друг друга по столь тесной орбите, что вот-вот сольются, устроив космический катаклизм. Данные указывают на то, что гравитационные волны уносят энергию из этой звездной системы невиданными темпами, что позволяет говорить о J0806 как о главном кандидате для экспериментов, целью которых будет непосредственное обнаружение еле уловимой "ряби", что сотрясает пространство-время.

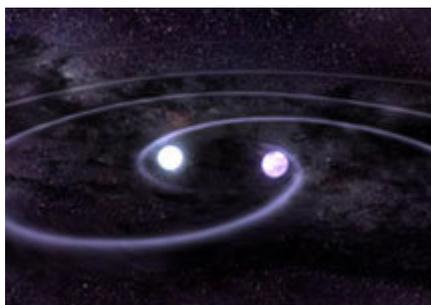


Рис. 7-7. Двойная звездная система – предполагаемый источник гравитационных волн.

J0806 представляет собой едва ли не самую тесную двойную звездную систему из всех известных, ее компоненты разделены дистанцией, составляющей всего лишь одну пятую расстояния от Земли до Луны (50 тысяч миль или порядка 80 000 км), движутся они вокруг друг друга с невиданной скоростью - около миллиона миль в час (1,6 млн км/ч). Белые карлики - это останки звезд, подобных нашему Солнцу, которые израсходовали практически все свое ядерное горючее. Наряду с нейтронными звездами и черными дырами белые карлики относятся к числу сверхкомпактных объектов, поскольку они заключают большую массу в небольшом объеме. В системе J0806 масса каждого из белых карликов оценивается примерно в половину массы Солнца, а их размеры при этом сравнимы с диаметром Земли.

Общая теория относительности Эйнштейна предсказывает, что любая двойная система звезд может служить источником гравитационных волн, которые разбегаются со скоростью света, словно круги по воде, и самыми мощными излучателями таких волн будут сливающиеся звезды и квазизвездные объекты (нейтронные звезды, черные дыры). Согласно современным расчетам, при слиянии двух нейтронных звезд, - излучается около  $10^{45}$  Дж в виде всплеска гравитационного излучения, то есть около 1% от полной энергии ( $E = mc^2$ ) двух звезд. Вращающиеся одна вокруг другой звезды непрерывно теряют энергию, и это заставляет их постепенно придвигаться друг к другу все ближе и ближе, фактически падая по спирали. Так, орбитальный период системы J0806 уменьшается на 1,2 миллисекунды каждый год, что вполне соответствует теории.

Наблюдения J0806 в оптическом и рентгеновском диапазонах позволили зарегистрировать вариации светимости, период которых составил 321,5 секунды - это немногим больше пяти минут. Эти пятиминутные вариации, - скорее всего соответствуют пятиминутному орбитальному периоду системы белых карликов. Однако существует также небольшая вероятность того, что этот период на самом деле является отражением периода вращения вокруг собственной оси одного из белых карликов.

Тод Стромейер (Tod Strohmayer) из Годдардовского центра космических полетов (Goddard Space Flight Center) NASA полагает, что «мы имеем дело либо с самой компактной двойной звездной системой из всех, нам известных, либо с одной из самых необычных систем, которые мы когда-либо видели». Если все это удастся подтвердить, то J0806 может считаться одним из самых ярких источников гравитационных волн в нашей Галактике. Этот объект может также оказаться в числе первых источников, которые удастся обнаружить непосредственным образом в ходе грядущего космического полета LISA (Laser Interferometer Space Antenna - космической лазерной антенны-интерферометра ESA и NASA)".

Антенну LISA предполагается расположить на той же орбите вокруг Солнца, по которой движется Земля. Система будет состоять из зеркал и лазерного интерферометра для измерения их малых относительных колебаний (амплитуда  $10^{-9}$  см при расстоянии между зеркалами в 5 млн. км). Диапазон частот гравитационного излучения, с которым

предполагается работать в этом случае, составляет  $10^{-4}$ -0,1 Гц. *Несмотря на более чем 50-летние поиски гравитационных волн, – они так и не обнаружены.*

## **7. 6. Черные дыры.**

Совместная работа двух университетов Великобритании позволила разрешить одну из самых волнующих астрофизических загадок последнего времени.

Считается почти неоспоримым, что в центрах галактик, в том числе в нашем Млечном Пути, расположены супермассивные черные дыры. С недавних пор астрономам достоверно известно, что в непосредственной близости от них, а стало быть, - в мощном гравитационном поле, происходит рождение новых звезд.

До работы ученых из шотландских научных центров, университетов Эдинбурга и Сент-Эндрю, это считалось невозможным, ведь предполагалось, что молекулярные газовые облака, обычные места звездообразования, мощное гравитационное поле черной дыры должно быстро разрываться на части.

Межвузовская команда во главе с профессором Иэном Боннеллом (Ian Bonnell) из Сент-Эндрю и доктором Кеном Райсом (Ken Rice) из Эдинбурга провела моделирование падения на супермассивную черную дыру газовых облаков весом до 100 тыс. масс Солнца.

Результаты оказались весьма неожиданными: разрушенные гравитацией облака превращаются в спиральные рукава, закручивающиеся вокруг горизонта событий черной дыры, часть вещества захватывается черной дырой, а часть вращается вокруг нее и в этой части - возможно формирование звезд, причем только с высокой массой. Именно такие звезды и наблюдаются в окрестностях супермассивной черной дыры в центре нашей галактики.

Результаты вычислений шотландские ученые опубликовали в статье, вышедшей в Nature 22 августа 2008 года.

### ***Гипотеза "черных дыр": новый парадокс.***

Попытка объяснить неожиданные результаты нового исследования привела ученых к парадоксальному выводу.

Исследование шарового звездного скопления RZ2109 показало, что в нем, вопреки существующим представлениям, отсутствуют черные дыры промежуточной массы – такие, которые, согласно текущим взглядам, и должны образовываться в шаровых скоплениях в процессе эволюции входящих в него звезд.

Работа была выполнена исследовательской группой под руководством Стивена Зепфа (Stephen Zepf) из университета штата Мигичан в городе Ист Лансинг. Скопление RZ2109 расположено в иной галактике в созвездии Центавра; расстояние до него оценивается в настоящее время в 50 млн. световых лет. Исследование скопления проводилось с помощью космического рентгеновского телескопа Европейского космического агентства (ESA) XMM-Newton.

Рентгеновский телескоп зарегистрировал характерное излучение, интерпретируемое в настоящее время как испускаемое падающим на черную дыру веществом. Однако оценки массы этой гипотетической черной дыры, полученные на основании характеристик ее рентгеновского излучения, показали, что дыра эта имеет несоразмерно малую массу – около 10 масс Солнца.

С одной стороны, согласно текущим представлениям, в шаровом звездном скоплении двух черных дыр быть не должно – одна из них неизбежно "поглотит" другую, или "вытолкнет" ее из скопления в процессе гравитационного взаимодействия. С другой стороны, в шаровом звездном скоплении масса черной дыры должна быть существенно большей.

Парадоксальный результат привел ученых к выводу о том, что черных дыр с "промежуточной" массой, возможно, в природе по каким-то причинам не существует вовсе – однако возможны лишь очень "легкие" и очень "массивные" их формы. Возможно также, что гипотеза "черных дыр" нуждается в коррекции.

### ***Парадокс «Пионеров».***

Парадокс «Пионеров» - наблюдаемая аномалия движения космических аппаратов, находящихся во внешней части Солнечной системы, выражающаяся в заметном торможении и искривлении их траекторий в сторону Солнца. Этот эффект был обнаружен при наблюдении за первыми космическими аппаратами, преодолевшими орбиту Плутона - «Пионер-10» и «Пионер-11». Обнаружил парадокс Джон Андерсон и его коллеги из Лаборатории реактивного движения (JPL). Она заключается в том, что оба аппарата, запущенные более 30-ти лет назад (с ними до сих пор поддерживается двусторонняя связь), - теряют скорость существенно быстрее, чем следует из предсказаний небесной механики. Механизм торможения аппаратов непонятен и может быть связан с действием неизвестных доселе законов физики.

Как сообщает Space Daily, НАСА приступило к систематизации имеющихся материалов о траектории движения зондов "Пионер-10" и "Пионер-11". Наблюдения выявили серьезные отличия в истинной траектории движения зондов от расчетной. На сегодняшний день необъяснимое рассогласование достигло уже 380 тыс. км, что составляет несколько часов полета аппарата. Гравитационное ускорение измерено точно  $10^{-8}$  см/с<sup>2</sup>. Ускорение неизвестной природы, направленное к Солнцу равно  $(8.74 \pm 1.33) \cdot 10^{-8}$  см/с<sup>2</sup>. Это дополнительное ускорение не зависит от расстояния и остается постоянным в пределах 20-60 а.е. от Солнца. Объяснения нет, но замечен *любопытный факт*: величина аномального ускорения точно равна произведению скорости света на постоянную Хаббла ( $cH$ , где  $H = 70$  км/с·Мпк). Многие астрономы считают, что проблема КА Пионер 10 и 11 тесно связана с решением проблемы происхождения темной материи (см. П5).

Однако, гравитационное воздействие пояса Койпера практически не изучено, особенно его динамика. Расстояние порядка 7,5 млрд. км, а отклонение 380 тыс. км, - при почти полном незнании распределения материи за орбитой Харона. Последняя реальная корректировка траектории имела место гравитационным полем Нептуна. Расхождение на угол примерно 0.02 градуса через 2 млрд. км как раз и даст подобный разброс. Плюс отсутствует точная привязка положения аппаратов к Солнцу (т.к. фотоэлементам делать уже нечего). Траектории считались на основании Ньютоновской механики, а не ОТО. На таких расстояниях Римановы поправки могут дать вполне приличную величину.

В этой главе приведены некоторые результаты астрономических наблюдений, имеющих отношение к физике Земли, планет, звезд, коричневых карликов и пр. Только понимая все связанные с этими вопросами проблемы, можно разобраться в физике Земли. Здесь приведен далеко не полный перечень результатов. Для иллюстрации сказанного, перечислим некоторые из них:

- Коричневые карлики рождаются так же, как звезды. Первое тому доказательство удалось получить на одно поколение раньше, чем надеялись астрономы.
- Открытая планета MOA-2007-BLG-192Lb оказалась гораздо меньше, чем предполагалось изначально. Повторные наблюдения и расчеты показали, что она во многом похожа на нашу Землю и может привлечь внимание искателей инопланетных форм жизни.

Получены новые результаты не только в области внесолнечной астрономии, но и по ближайшим к Земле планетам, например,:

- После образования планеты Марс еще долго оставался расплавленным океаном лавы. Это говорит в пользу того, что у планеты некогда была плотная атмосфера, согревавшая ее.

- Ученые предполагают, что странная топология марсианского магнитного поля является следствием явлений, которые оставили свой след в облике северного и южного полушарий Красной планеты, заметно отличающихся друг от друга.
- Ученые предложили объяснение странностям магнитного поля Марса и связали их с последствиями грандиозной древней катастрофы.
- Удалось решить сразу две марсианские загадки: тёплое и влажное прошлое планеты и отсутствие известняка на её поверхности. Судя по всему, марсианский парниковый эффект был основан на сернистом газе, а не на углекислом, до сих пор обеспечивающем теплоизоляцию Земли.
- NASA опубликовало серию снимков, на которых подробно виден процесс поглощения одного красного пятна Юпитера другим. Эти подробные изображения были воссозданы в Лаборатории реактивных двигателей NASA по фотографиям, полученным с камер телескопа "Хаббл".

В том числе получена интересная информация и о Солнце:

- Исследовательская группа NASA под руководством доктора Ричарда Мевальда (Richard Mewaldt) из Калифорнийского технологического института проанализировала обстоятельства одной из самых мощных за последние 30 лет вспышки на Солнце, произошедшей 5 декабря 2006 года. Её мощность была оценена как X9.

В заключение заметим, что практически все результаты астрономических наблюдений, полученные в самые последние годы, включенные в содержание этой главы, - находятся в противоречии с общепризнанными представлениями о планетах Солнечной системы. Этот факт настоятельно требует создания новой альтернативной физики Земли и планет, такой физики, в которой приведенные результаты находили бы непротиворечивое объяснение. И, более того, могли бы быть предсказаны на основании этой физики.