

■ Планеты, принадлежащие не нашей Солнечной системе, а иным планетным системам у других звёзд, называют **экзопланетами** или **внесолнечными планетами**. Очевидно, существуют и планеты, не связанные силой притяжения с конкретной звездой, а свободно движущиеся в межзвёздном пространстве. Общепринятого названия для них пока не утвердилось. Предлагаются варианты: планеты-сироты, межзвёздные планеты и др.

Обнаруживать экзопланеты очень сложно, ведь планета светит отражённым светом своей звезды, перехватывая и отражая лишь малую его часть. Например, отражённый от Земли свет в оптическом диапазоне спектра при наблюдении с большого расстояния будет в миллиарды раз слабее излучения Солнца. До недавних пор технические возможности астрономии не позволяли заметить столь тусклые источники света рядом с ярко сияющими звёздами. Поэтому надежды астрономов обнаружить экзопланеты основывались на том, чтобы, наблюдая звезду, заметить влияние на неё соседних с ней планет.

Открытие экзопланет

Практические поиски экзопланет начались в середине XX в. С 1938 по 1990 г. поиски велись только с помощью оптических угломерных (*астрометрических*) измерений: предпринимались попытки зарегистрировать периодические смещения положения выбранной звезды под влиянием обращающихся вокруг неё планет. Хотя даже для ближайших звёзд эти колебания, как правило, по амплитуде не превосходят $0,01''$, что ниже реальных ошибок астрометрических измерений, была надежда выделить их на фоне ошибок, учитывая периодический характер смещения звезды, связанный с орбитальным движением планеты. Этот метод обнаружения планет называется **астрометрическим** (рис. 117). За несколько десятилетий астрометрический метод не принёс надёжных результатов. Начиная с 1942 г. несколько раз публиковались сообщения об открытии экзопланет, но ни одно не подтверждалось дальнейшими наблюдениями.

Первую систему из трёх экзопланет открыл радиоастроном **Алекс Вольцжан** в 1991 г. Изучая нейтронную звезду-радиопульсар PSR B1257+12, он заметил периодическое изменение частоты прихода импульсов, вызванное смещением пульсара вдоль луча зрения под влия-

нием притяжения окружающих его планет. Это открытие вызвало у астрономов крайнее изумление. Известно, что рождению нейтронной звезды предшествует взрыв сверхновой, вызывающий большую потерю массы (в виде сброшенной оболочки звезды). Поэтому исходная планетная система, если бы она существовала, скорее всего, не смогла бы сохраниться: имея большие орбитальные скорости, планеты улетели бы от лёгкой нейтронной звезды. Но если взорвавшаяся звезда составляла пару с более массивным компонентом, то из вещества второй звезды, перетекавшего на пульсар уже после взрыва, возможно, могли бы образоваться планетообразные тела. До сих пор исчерпывающего объяснения этому открытию не дано.

«Настоящая» экзопланета была впервые надёжно обнаружена в 1995 г. Это сделали астрономы Женевской обсерватории (Швейцария) **Мишель Майор** и **Дидье Кёло**, построившие спектрометр, способный с высокой точностью измерять смещение линий в спектре звезды. Их расчёт был на то, что притяжение к планетам вызовет периодическое изменение скорости звезды вдоль луча зрения, а это в силу эффекта Допле-

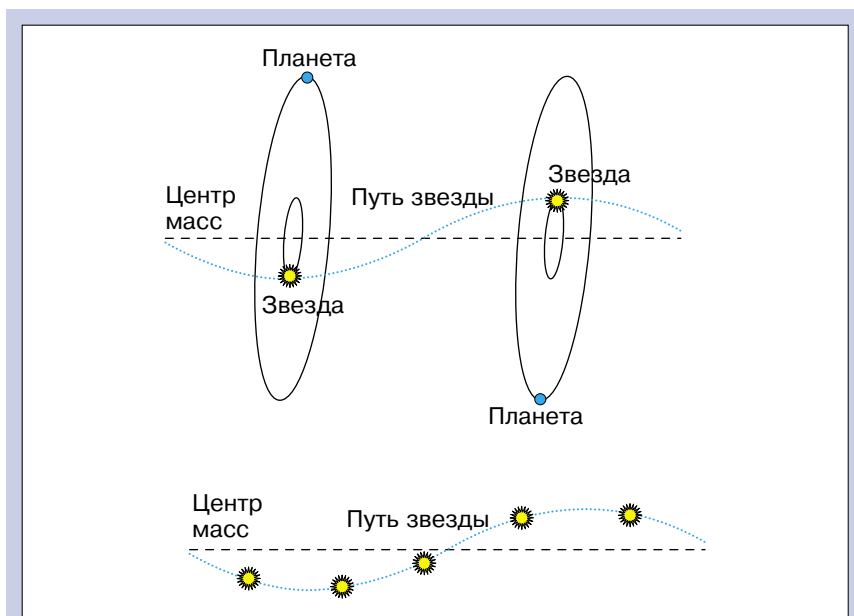


Рис. 117. Астрометрический метод обнаружения экзопланет

ра приведёт к смещению спектральных линий с тем же периодом. Такой метод обнаружения экзопланет называется доплеровским или методом лучевых скоростей (рис. 118).

Пусть звезда имеет массу M , а обращающаяся вокруг неё планета — массу m . Тогда расстояние звезды от центра масс этой системы по сравнению с расстоянием планеты составит $\frac{m}{M}$. Если планета движется по орбите с периодом P и скоростью v , то звезда будет двигаться вокруг их общего центра масс с тем же периодом, но со скоростью $V = v \left(\frac{m}{M} \right)$. Например, для системы «Солнце — Юпитер» $\frac{M}{m} = 1000$, а орбитальная скорость Юпитера $v = 13$ км/с. Следовательно, Солнце движется вокруг их общего центра масс со скоростью $V = \left(\frac{1}{1000} \right) \cdot 13$ км/с = 13 м/с. Это скорость бегуна-спринтера, но для звезды чрезвычайно маленькая. В результате эффекта Доплера линии в спектре звезды будут смещаться относительно своей длины волны λ на величину $\lambda \left(\frac{V}{c} \right)$, где c — скорость света (300 тыс. км/с). Для системы «Солнце — Юпитер» относительное смещение длины волны линий в спектре Солнца составит $\frac{13 \text{ м/с}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 4,3 \cdot 10^{-8}$. Заметить такое малое смещение линий в спектре крайне сложно.

Периодическое смещение линий в спектре звезды указывает на её орбитальное движение в планетной системе.

Майор и Кёло были не единственными, кто в те годы вёл поиск экзопланет доплеровским методом. Подобными поисками занимались уже несколько групп астрономов, но первая удача, отчасти случайно, пришла именно к группе Майора. Начав в 1994 г.

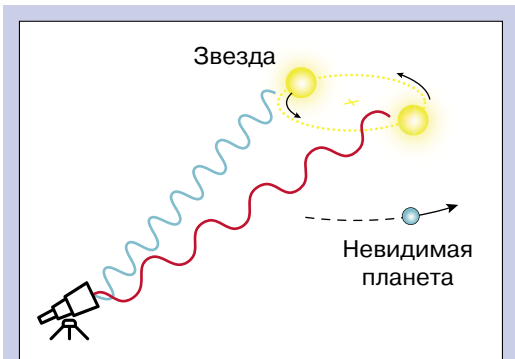


Рис. 118. Метод лучевых скоростей

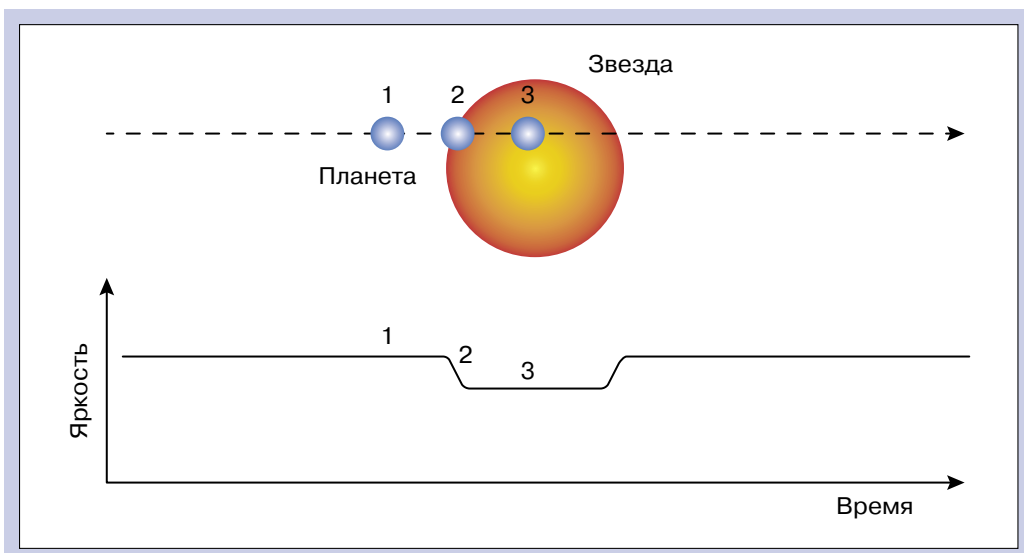


Рис. 119. Метод прохождения (схема) и график наблюдаемой яркости звезды

регулярные измерения лучевых скоростей 142 звёзд из близкого окружения Солнца, они довольно быстро обнаружили «покачивания» звезды 51 Пегаса (51 Peg) с периодом 4,23 сут, вызванные влиянием на неё планеты, по массе близкой к Юпитеру. Обнаружение первых *внесолнечных планетных систем* считается одним из крупнейших научных достижений XX в.

К концу XX в. было обнаружено около 20 планетных систем у близких звёзд. Затем частота открытий возросла. К 2012 г. было обнаружено уже более 760 планет (до шести планет в системе). Большинство из них было открыто доплеровским методом — по периодическому изменению лучевой скорости звезды, но уже начинал приносить плоды и другой метод, ныне ставший наиболее эффективным. Это **метод прохождения**, или **транзита**, при котором наблюдение ведётся не за изменением положения или скорости звезды, а за изменением её яркости (рис. 119).

Если орбита экзопланеты ориентирована к нам «ребром», то на каждом обороте планета проходит на фоне звезды, немного закрывая её от нас своим диском.

По размеру планеты обычно намного меньше звёзд, поэтому планета может заслонить лишь малую часть поверхности звезды. Например, даже гигант Юпитер в 10 раз меньше Солнца, значит, для удалённого наблюдателя он может закрыть лишь 1 % солнечной поверхности, ослабив

этим яркость Солнца на 1 %. Земля в 10 раз меньше Юпитера, поэтому её прохождение на фоне Солнца ослабило бы блеск нашего светила всего лишь на 0,01 %, что очень трудно заметить. Тем не менее современные методы *фотометрии* позволяют измерить такие малые колебания блеска звёзд. Особенно надёжно это можно сделать с помощью космических телескопов, которым не мешают флуктуации прозрачности земной атмосферы. Самым эффективным разведчиком экзопланет оказался космический телескоп «Кеплер» (NASA), выведенный в 2009 г. на околосолнечную орбиту, близкую к орбите Земли (рис. 120). Он одновременно изме-



Рис. 120. Космический телескоп «Кеплер» (NASA) обнаруживает экзопланеты, наблюдая за их прохождениями на фоне звёзд

рлял яркость 145 тыс. звёзд в созвездиях *Лиры* и *Лебедь*, что позволило обнаружить тысячи экзопланет.

Применяются и другие методы поиска экзопланет, но пока они не очень эффективны. К 2018 г. в основном методами прохождения и лучевых скоростей надёжно обнаружено почти 4000 экзопланет примерно у 3000 звёзд. Обнаружилась планета даже у ближайшей к нам звезды — Проксимы в созвездии Кентавр. Есть планета и в системе α Кентавра. Четыре планеты, похожие на Землю, найдены у одной из ближайших звёзд — τ Кита. Можно уже уверенно сказать, что значительная доля звёзд в нашей Галактике обладает планетными системами.

Свойства экзопланет

О физических характеристиках некоторых экзопланет известно уже довольно много, хотя увидеть экзопланету как светящуюся точку вблизи звезды удалось лишь в нескольких случаях. Наблюдение за прохождением экзопланеты на фоне звезды позволяет измерить размер экзопланеты, а метод *лучевых скоростей* даёт оценку её массы и орбитальной скорости. Оба метода дают орбитальный период, что позволяет вычислить радиус орбиты. Этих данных достаточно, чтобы получить представление о физических свойствах экзопланеты и даже о вероятных условиях на её поверхности.

По своим характеристикам экзопланеты оказались очень разнообразны. Встречаются как небольшие, уступающие по массе Земле, так и гигантские, в несколько раз массивнее Юпитера.

Верхней границей массы экзопланет условно считается 13 масс Юпитера, поскольку в недрах более массивных тел в процессе их формирования могут протекать некоторые термоядерные реакции (отличные от основной звёздной реакции превращения водорода в гелий), что заставляет отнести их к так называемым *бурым* (коричневым) *карликам* — переходному типу между планетами и звёздами. Нижняя граница массы планет устанавливается самим определением понятия «планета» как тела, способного своей гравитацией придать себе сфероидальную форму. Для каменистого тела это диаметр около 1000 км. Такие «мини-планеты» в тысячи раз легче Земли, поэтому обнаруживать их невероятно сложно: они почти не затеняют звезду при прохождении на фоне её диска и почти не влияют на её движение своей слабой гравитацией.