

КОРОНЫ ГАЛАКТИК

Демокрит (V—IV века до н. э.) говорил, что Млечный Путь, белесоватая полоса, протянувшаяся через все небо, есть соединение света множества звезд. История астрономии знает немало и других предположений о природе Млечного Пути, обсуждавшихся задолго до того, как появилась возможность проверить их астрономическими наблюдениями; споры о Млечном Пути продолжались веками. Решение — в пользу догадки Демокрита — пришло в 1610 г., когда Галилей направил на небо только что созданный им телескоп.

За несколько ночей было сделано тогда множество замечательных астрономических открытий и среди них — открытие звезд Млечного Пути. Как писал Галилей, стали «доступными глазу звезды, которые раньше никогда не были видимы и число которых по меньшей мере в десять раз больше числа звезд, известных издревле. Это факт высокого значения, который положил конец спорам о Млечном Пути и выявил его природу для чувства и разума».

Исследования Млечного Пути превратились в одну из главных задач астрономии в XVIII и XIX веках; общие черты строения этой гигантской звездной системы, названной Галактикой, надежно выяснены в 20—40-е годы нашего века. Тогда же стало известно, что во Вселенной имеются и другие звездные системы, более или менее похожие на нашу Галактику и названные галактиками.

Наконец, в самые последние годы появились прямые наблюдательные указания на то, что Галактика и многие другие крупные галактики содержат помимо видимых звезд еще и очень значительные массы темного, невидимого вещества. Эти массы создают тяготение, проявляющееся в динамике галактик, их групп и скоплений. «Скрытые массы» образуют протяженные разреженные короны вокруг светящихся звездных систем. Их природа остается

неизвестной, и, как много веков назад, высказываются все новые догадки, идеи, гипотезы, которые еще предстоит проверить в наблюдениях Млечного Пути, других галактик.

Диск Галактики

Звезды диска Галактики движутся по почти круговым орбитам. Их движение похоже на обращение планет вокруг Солнца, хотя в Галактике нет такого подавляющего по массе тела, как Солнце в Солнечной системе, которое одно создавало бы притяжение всех тел к центру. Центральная плотная область Галактики, ее ядро, имеет очень небольшую массу, и не ядро удерживает звезды на их орбитах. Сила притяжения к центру создается в Галактике совместным тяготением самих звезд.

На звезду, движущуюся по круговой орбите радиуса R , действует притяжение звезд, находящихся внутри этой орбиты. Силы притяжения, создаваемые внешними звездами, направлены в разные стороны и примерно уравниваются. Звезды не замечают внешних тяготеющих масс, а масса всех внутренних звезд действует так, как если бы вся она целиком была сосредоточена в центре. Тогда, по закону всемирного тяготения, сила притяжения звезды к центру Галактики

$$F = \frac{G m_s M(R)}{R^2}. \quad (5.1)$$

Здесь m_s — масса звезды, $M(R)$ — полная масса внутри орбиты радиуса R , $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$ — гравитационная постоянная.

Сила F направлена к центру Галактики. При скорости кругового движения звезды v сила тяготения создает на орбите радиуса R центростремительное ускорение

$$v^2/R = F/m_s. \quad (5.2)$$

Из уравнений (5.1) и (5.2) следует связь между скоростью звезды v , радиусом ее орбиты R и массой $M(R)$ внутри этой орбиты:

$$v^2 = GM(R)/R. \quad (5.3)$$

Скорость движения не зависит от массы движущегося тела. Формула вида (5.3) описывает также круговые движения Земли и планет вокруг Солнца.

Если радиус орбиты звезды сравним по величине с радиусом Галактики, $R \approx R_G \approx 10^{20}$ м, то под массой $M(R)$ нужно понимать величину, сравнимую с массой всех звезд Галактики, $M(R) \approx M_G \approx 10^{41}$ кг. При этих значениях R и $M(R)$ находим из соотношения (5.3) характерную скорость движения звезды в диске Галактики: $v \approx 3 \cdot 10^5$ м/с = 300 км/с.

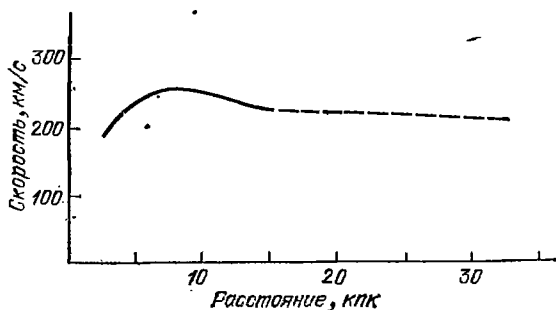


Рис. 30. Типичная зависимость линейной скорости вращения галактики от расстояния до центра (кривая вращения). Прерывистая линия — область короны.

Согласно данным наблюдений Солнце обращается вокруг центра Галактики со скоростью $v_0 = 220 - 250$ км/с, что довольно близко к полученной нами оценке. Кстати, вращение вокруг центра Галактики — это еще не самое быстрое из всех движений, в которых мы участвуем вместе с Землей; скорость обращения Земли вокруг Солнца составляет 30 км/с, линейная скорость собственного вращения Земли — 0,5 км/с. Имеется, возможно, и скорость, вдвое большая, чем v_0 , с которой наша Галактика вместе с другими соседними галактиками перемещается относительно реликтового излучения — об этом см. гл. 7.

Движение звезд в диске Галактики происходит так, что диск как целое вращается вокруг своего центра. Скорости вращения — и линейные, и угловые — различны на разных расстояниях от центра (рис. 30).

Динамика гало

Движение звезд гало иное — их орбиты не круговые, а сильно вытянутые. Оси орбит проходят через центр Галактики и более или менее равномерно распределены по всем направлениям.

Чтобы разобраться в особенностях движения по сильно вытянутым орбитам — а, в принципе, возможны и чисто прямолинейные, радиальные орбиты, — стоит вспомнить один вопрос, который, кажется, любят задавать на вузовских вступительных экзаменах: как будет двигаться камень, брошенный в шахту, пробуренную в Земле насквозь через центр? Очевидно, камень будет сначала падать с ускорением к центру вдоль радиуса; затем, миновав центр, начнет замедлять движение; потом на мгновение остановится, достигнув противоположной точки поверхности, и полетит обратно, наращивая скорость; но пролетев центр, он снова начнет замедлять движение, остановится, полетит опять к центру и т. д. Это будет периодическое, колебательное движение от одного апоцентра (т. е. точки максимального удаления от центра) до другого.

Подобные колебательные движения вокруг центра Галактики и совершают звезды ее гало. То обстоятельство, что их орбиты несколько отличаются от радиальных, мало что меняет в этой картине. Поведение скорости радиального движения звезд напоминает классический пример колебательного процесса — качание маятника: его скорость максимальна в среднем положении и обращается в нуль в крайних положениях.

Двигаясь каждая в своей «шахте», звезды испытывают тяготение, различное по силе на разных расстояниях от центра звездной системы (при круговом движении в диске Галактики сила тяготения все время одинакова по величине). Ясно, что в этом случае для количественного описания движения требуется знать конкретное распределение массы в системе. Но если интересоваться не деталями, а общими динамическими характеристиками звезд гало, то достаточно и того, что мы уже знаем о Галактике.

Самой важной характеристикой динамики гало служит типичная скорость радиального движения звезд. Из периодичности радиального движения звезд следует, что средняя радиальная скорость за период обращения равна нулю: $\bar{v}=0$. Средний же квадрат скорости отличен от нуля: $\bar{v}^2 \neq 0$. Корень квадратный из этой величины — среднеквадратическая скорость — и будет нас интересоваться. Оценим ее для звезды, которая при максимальном удалении от центра выходит к границам системы. Следует ожидать, что в таком случае среднеквадратическая скорость будет определяться величинами, характеризующими систему в целом, — полной массой Галактики M_G и ее радиусом R_G .

В выражение, связывающее величины $\overline{v^2}$, M_G и R_G , должна, конечно, входить и гравитационная постоянная G , так как движение управляется силами тяготения.

Это выражение мы найдем, воспользовавшись методом анализа размерностей, позволяющим получать почти без вычислений многие важные соотношения, которые без его применения можно было бы найти лишь решением сложных математических задач. Следует, однако, сразу оговорить его ограничения: за избавление от сложной математики приходится платить меньшей точностью результата. Отличие от точного результата может быть раза в три, а то и больше. Но в физике, и особенно в астрофизике, часто приходится иметь дело с такими проблемами, в которых точные значения исходных величин неизвестны, либо вообще не поддаются определению и к тому же меняются от случая к случаю; а между тем всегда желательно найти общий для всех таких случаев результат, не слишком зависящий от исходных неопределенностей. Здесь и оказывается полезным метод размерностей.

Запишем размерности величин M_G , R_G , G : $[M_G] = \text{кг}$, $[R_G] = \text{м}$, $[G] = \text{м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$. Интересующая нас величина среднего квадрата скорости имеет размерность $[\overline{v^2}] = \text{м}^2/\text{с}^2$. Из трех величин M_G , R_G и G можно составить лишь единственную комбинацию, имеющую размерность квадрата скорости $[GM_G/R_G] = \text{м}^2/\text{с}^2$.

Поэтому нужно считать, что

$$\overline{v^2} = a \frac{GM_G}{R_G}. \quad (5.4)$$

Здесь a — некоторый безразмерный множитель, зависящий от деталей строения системы; как показывает накопленный в теоретической физике опыт оценок такого рода, безразмерный множитель обычно не слишком сильно отличается от единицы.

Не удивительно, что соотношение (5.4) совпадает — с точностью до множителя a — с (5.3) для скорости круговых движений в диске Галактики; в случае круговых движений звезды с радиусом орбиты, близким к радиусу Галактики, эта скорость тоже определяется лишь полной массой Галактики и ее радиусом. Это означает, что типичные или характерные скорости радиальных движений звезд гало близки к значению в несколько сотен километров в секунду, которое мы нашли выше для круговых движений в диске.

Метод анализа размерностей, приведший к соотношению (5.4), формально как будто прост; но, по существу, он предполагает, что сначала достигнуто общее качественное понимание того, что происходит.

И на круговых, и на вытянутых орбитах звезды совершают финитное движение — они не выходят за пределы некоторого ограниченного объема. Звезды связаны в звездной системе их общим тяготением. Связанное состояние звезд обеспечивает неизменное во времени, стационарное состояние системы в целом.

Массы галактик

Возможен только один способ определения масс звездных систем — по создаваемой ими силе тяготения. Тяготение проявляется в движениях звезд, и, если удастся измерить их характерные скорости, можно найти ее массу с помощью формул (5.3) или (5.4). Первая применима к спиральным галактикам с дисками, а вторая — к гало этих галактик и к эллиптическим галактикам, которые динамически подобны гало. В обоих случаях речь чаще всего идет о приближенной оценке, и потому, опуская в (5.4) неопределенный множитель, близкий к единице, можно написать общую оценочную формулу для массы галактики:

$$M_G \approx \frac{v^2 R_G}{G}. \quad (5.5)$$

В таком виде это приближенное соотношение применимо и к неправильным галактикам.

Скорости звезд в галактиках измеряют на основе эффекта Доплера по наблюдениям красного смещения в спектрах звезд. Каждая отдельная звезда излучает или поглощает свет в линиях, сдвинутых относительно их стандартного положения в соответствии с величиной ее лучевой скорости, т. е. скорости вдоль направления от звезды к наблюдателю. Мы обсуждали эффект Доплера ранее в гл. 3, где имеются и соответствующие формулы, полностью применимые к движениям звезд в Галактиках. Звезды данной галактики создают все вместе не отдельную спектральную линию, а целую полосу, получающуюся наложением линий излучения или поглощения всех этих звезд, движущихся с различными лучевыми скоростями. Очевидно, что середина этой полосы сдвинута относительно стандартного положения соответствующей линии

из-за движения всей галактики как целого относительно нас; ширина же полосы дает представление о разбросе лучевых скоростей. Ширина полосы и разброс этих скоростей тем больше, чем больше скорости звезд в галактике и, очевидно, границы полосы отвечают типичной или характерной скорости, которая фигурирует в соотношении (5.5).

Скрытые массы

Многие крупные галактики имеют по нескольку малых галактик-спутников. У нашей Галактики есть 7 карликовых эллиптических галактик-спутников и неправильные галактики-спутники — Большое и Малое Магеллановы Облака. Спутники обращаются вокруг центральной галактики, и из анализа их движений тоже можно получить оценку масс крупных галактик. Если центральная галактика целиком лежит внутри орбит ее спутников, а именно такая картина и наблюдается на астрономических фотографиях, то силы тяготения, действующие на все эти спутники, обусловлены одной и той же тяготеющей массой. Применяя в этом случае формулу (5.3) при $M(R) = M_c = \text{const}$, найдем, что скорость v_1 вращения близкого спутника с радиусом орбиты R_1 больше скорости v_2 более далекого спутника с радиусом орбиты R_2 :

$$v_1/v_2 = (R_2/R_1)^{1/2}. \quad (5.6)$$

Скорость вращения убывает с радиусом по закону

$$v(R) \propto R^{-1/2}. \quad (5.7)$$

(Этому закону подчиняются и планеты Солнечной системы.)

К удивлению астрономов, в последние годы обнаружилось, что в семействах спутников нашей Галактики, галактики Андромеды и некоторых других галактик закон (5.7) не выполняется. В наблюдениях измерялись скорости спутников, находящихся на расстояниях до десяти радиусов галактики, и всякий раз оказывалось, что их скорости отнюдь не убывают с радиусом, а остаются (с известной точностью) постоянными. Это обстоятельство отражает штриховая линия на кривой вращения (рис. 30).

Нарушение закона (5.7) в движениях галактик-спутников может означать только одно: масса, создающая силу тяготения, не одинакова для всех спутников, движущихся

по разным орбитам вокруг центральной галактики. Постоянство скорости спутников v для орбит с разными радиусами R возможно лишь при условии, что сама тяготеющая масса возрастает с радиусом R по закону

$$M(R) \propto R. \quad (5.8)$$

Это прямое следствие общей формулы (5.3) при $v = \text{const}$. Другими словами, масса центральной галактики на самом деле не ограничивается той, что лежит в пределах видимого на фотографиях объема, а распределена по гораздо большему объему. В отличие от звезд, эта дополнительная масса не излучает света, она невидима, но создает значительную силу тяготения, добавочную к силе тяготения звезд.

Так возникло представление о «скрытых массах» вокруг галактик, выдвинутое в 1974 г. Я. Эйнасто и его коллегами в Тартуской обсерватории Академии наук ЭССР на основании детального изучения многочисленных наблюдательных данных, касающихся динамики звездных систем. «Скрытые массы» образуют протяженную корону галактики, так что карликовые галактики-спутники движутся не в пустоте, а среди невидимых, но тяготеющих масс. Сила тяготения, действующая на спутники и определяющая их динамику, складывается из массы видимых звезд галактики и скрытой массы, находящейся внутри орбиты спутника.

Как видно из соотношения (5.8), полная масса галактики, считая с короной, может быть существенно больше суммарной массы видимых звезд. Если семейство галактик-спутников, движущихся с одинаковыми скоростями, имеет орбиты с радиусами, скажем, до трех радиусов видимой галактики, то и полная масса всей системы в 3 раза больше массы видимых звезд, т. е. видимого тела галактики.

При возрастании массы по закону (5.8) ее пространственная плотность (т. е. масса, приходящаяся на единичный объем) убывает от центра наружу по закону

$$\rho \propto 1/R^2. \quad (5.9)$$

Считается, что эта масса распределена сферически симметрично вокруг видимого тела галактики.

Плотность «скрытых масс» падает по закону (5.9) в той области короны, где скорость движения спутников оидидакова. На достаточно большом удалении от центра плотность падает круче и сходит на нет,

Представление о невидимых коронах галактик подвергается тщательной наблюдательной проверке. При этом привлекаются все новые данные, связанные не только с динамикой галактик-спутников, но и с движением облаков газа, проявляющих себя излучением в радиодиапазоне. Эта работа продолжается, но уже сейчас можно сказать, что новые данные не противоречат первоначальным заключениям. Кривые вращения, подобные той, что показана на рис. 30, построены для значительного числа крупных галактик и все они обнаруживают протяженную внешнюю область, в которой скорость вращения остается более или менее постоянной. Корона нашей Галактики простирается по крайней мере до расстояния в 60 кпк, а может быть и до 100 кпк. Ее масса достигает $10^{12} M_{\odot}$.

Короны проявляют себя и в динамике некоторых пар крупных галактик. Одна из таких пар — наша Галактика с галактикой Андромеды; их относительное движение указывает на присутствие в пространстве между ними значительной невидимой массы, которая, по оценкам Я. Эйнаста, может приблизительно в 10 раз превышать суммарную массу видимых звезд обеих галактик. В ряде других случаев, как показывают исследования, проводимые И. Д. Караченцевым с помощью 6-метрового телескопа на Специальной астрофизической обсерватории АН СССР (Северный Кавказ), «скрытые массы» в парах галактик отсутствуют. Это, вероятно, означает, что не все крупные галактики обладают коронами, и было бы очень важно выяснить, насколько распространены во Вселенной галактики с протяженными массивными коронами.

«Скрытые массы» должны проявлять себя также в динамике групп и скоплений галактик, если последние обладают коронами. Наблюдательные данные о движении галактик в скоплениях определенно указывают на присутствие «скрытых масс». Эти данные накапливаются уже несколько десятилетий, с тех пор, как в 30-е годы были сделаны первые определения скоростей галактик в скоплениях. Скорости измеряются по эффекту Доплера, т. е. по сдвигу линий в спектрах галактик, вызванному их движением в объеме скопления.

К настоящему времени хорошо изучена динамика целого ряда богатых скоплений, содержащих сотни и тысячи галактик. Среди них одно из самых крупных и удобных для наблюдения, скопление Кома (или Волосы Вероники). Оно находится от нас на расстоянии 140 Мпк, или $4 \cdot 10^{24}$ м. Его угловой размер составляет прибли-

тельно 100 мин. Диаметр скопления находится из этих данных по простому тригонометрическому соотношению $D \approx d \sin \vartheta \approx d\vartheta$, в котором угол ϑ мал, а диаметр D гораздо меньше расстояния до объекта d ; угол здесь должен измеряться в радианах. При $\vartheta = 100$ мин $= 0,06$ рад и $d = 140$ Мпк диаметр скопления составляет 8 Мпк, а радиус 4 Мпк, или 10^{23} м. Галактики в скоплении Кома заполняют объем, близкий к сфере (довольно сплюснутой) и движутся по весьма вытянутым орбитам. Типичная скорость движения галактик (относительно центра масс скопления) оценивается приблизительно в две тысячи километров в секунду.

Структура и динамика скопления Кома (и ряда других похожих на него правильных по форме скоплений) подобны структуре и динамике эллиптических галактик или гало спиральных галактик. Поэтому здесь применимы уже обсуждавшиеся выше соображения и формулы, связывающие скорости членов системы с действующими в ней силами тяготения. Пользуясь общим соотношением (5.5), мы можем, в частности, найти полную массу скопления по измеренным значениям радиуса скопления и характерной скорости галактик в нем. Для радиуса $R_c = 10^{23}$ м и скорости $v_c = 2 \cdot 10^6$ м/с, соответствующих скоплению Кома, получаем:

$$M_c \approx v_c^2 R_c / G \approx 6 \cdot 10^{45} \text{ кг} \approx 3 \cdot 10^{15} M_\odot. \quad (5.10)$$

Такой порядок величины имеют и массы других богатых скоплений, найденные тем же способом.

Эта динамическая оценка масс скоплений справедлива, очевидно, лишь в том случае, если скопления, подобно галактикам, представляют собою стационарные системы. Как звезды в галактиках, галактики в скоплениях должны считаться связанными их общим тяготением, так что они движутся в ограниченном объеме и никогда не выходят из него.

Вопрос о стационарности и гравитационной связанности скоплений со всей остротой поставил советский астроном В. А. Амбарцумян. Еще в 50-е годы он высказал точку зрения, согласно которой скопления не стационарны, а находятся в состоянии разлета. Предполагалось, что скопления возникают в результате «взрывов» гипотетических плотных и массивных тел, которые дробятся на отдельные фрагменты, превращающиеся затем в галактики. Если это так, то динамическая оценка масс скоплений неправомерна; формулы вида (5.5), справедливые

для галактик, к скоплениям не применимы. Движения галактик в скоплении характеризуют тогда энергично породившего его «взрыва», а не взаимное тяготение галактик, которое не в состоянии сдержать общий разлет скопления.

Предположение о разлете скоплений сталкивается, однако, с одним серьезным противоречием. Если скопление находится в состоянии разлета, то по известным значениям его размера и скорости галактик можно оценить его возраст, т. е. время, протекшее от начала разлета. Так, для скопления Кома находим: $t_c \approx R_c/v_c \approx 5 \cdot 10^{16} \text{ с} \approx \approx 2$ млрд. лет. Но это время гораздо меньше возраста галактик, который составляет по крайней мере 10–12 млрд. лет. Ясно, что галактики, возникшие в едином «взрыве», породившем скопление, не могли бы быть старше самого скопления.

Неожиданный довод в пользу стационарности скоплений привнесла недавно рентгеновская астрономия. В 70-е годы было обнаружено, что многие богатые скопления галактик, и среди них также и скопление Кома, являются источниками рентгеновских лучей. Они искупаются горячим межгалактическим газом, заполняющим весь объем скоплений. Характерная температура газа оценивается в 100 миллионов градусов. При такой температуре излучаются в основном кванты с энергией $kT \approx 10^{-15}$ Дж, что соответствует рентгеновскому диапазону.

Допустим, что горячий газ в скоплении находится в состоянии равновесия, при котором действующая на каждый его объем сила тяготения уравновешена силой давления газа. Из баланса сил давления и тяготения следует оценка характерной температуры газа; соответствующую формулу мы вывели (применительно к звезде) раньше

$$kT \approx GmM_c/R_c. \quad (5.11)$$

Здесь m — средняя масса частиц газа; в состоянии ионизации (а при температуре в сто миллионов градусов водород и гелий — основные элементы межгалактической среды — полностью ионизованы) и при обычном химическом составе космической среды величина m равна приблизительно половине массы атома водорода: $m \approx 10^{-27}$ кг. Выражая из последнего соотношения массу скопления, найдем при радиусе $R_c = 10^{23}$ м:

$$M_c \approx kTR_c/Gm \approx 5 \cdot 10^{45} \text{ кг} \approx 3 \cdot 10^{16} M_\odot. \quad (5.12)$$

Согласие этой оценки с динамической оценкой массы скопления (5.12) — очень сильный довод в пользу того, что межгалактический газ и скопление в целом находятся в состоянии равновесия, в состоянии гравитационной связанности.

В астрономии издавна существует и еще один способ оценить массу скопления. Он основывается на измерении светимости скопления, светового потока от него. При этом исходят из того, что светимость каждой отдельной галактики в скоплении прямо пропорциональна ее массе, а коэффициент пропорциональности зависит только от типа галактики — спиральная ли она, как наша Галактика и Андромеда, эллиптическая, как большинство галактик в скоплении Кома, или неправильная, как Магеллановы Облака.

Этот способ тоже, конечно, опирается на динамику, на динамическую оценку масс галактик: стандартное отношение массы галактики данного типа к ее светимости определяется по тому значению массы галактики, которое находят из динамики ее звезд. Массы скоплений, оцениваемые таким способом, оказываются в 3—10 раз меньше, чем по динамической оценке (5.10) или «температурной» оценке (5.12) для всех крупных скоплений, для которых удается проделать соответствующие измерения.

Гипотеза «скрытых масс» позволяет снять это расхождение. Если, кроме видимых звезд, в скоплениях имеются еще значительные по величине темные массы, то оценку, основанную на светимости, нужно относить только к массе светящегося вещества звезд, а динамическую оценку — к полной массе скопления. Эта полная масса складывается из массы звезд, близкой к ней по величине массы горячего межгалактического газа и «скрытой массы», которая в несколько раз больше суммарной массы звезд и газа. Вероятно, скрытые массы сосредоточены главным образом вокруг самых массивных галактик скопления, образуя их короны.

Нейтринные короны

Если бы короны состояли из обычных звезд — хотя бы и со светимостью, в 1000 раз меньшей светимости Солнца, — эти звезды были бы видны в телескоп. Предполагают, что «скрытая масса» могла бы складываться из масс необычно малых и очень слабых по

блеску звезд. Если так, то звезд в Галактике гораздо больше, чем можно увидеть в лучший телескоп.

Это, однако, не единственная возможность. В последнее время астрономы и физики внимательно обсуждают идею, согласно которой «скрытая масса» представляет собой газ элементарных частиц — нейтрино. Эти частицы известны в физике уже почти полвека, но до сих пор не ясно, имеют ли они массу покоя (подобно протону, нейтрону, электрону) или их масса покоя равна нулю (как у фотона и пока что еще гипотетического гравитона). При наличии массы покоя, пусть даже гораздо меньшей, чем у электрона (легчайшей из частиц, относительно которой точно известно, что она имеет массу покоя), нейтрино действительно могли бы создавать вокруг массивных галактик протяженные облака, невидимые, но тяготеющие.

В недавних экспериментах московских физиков, проведенных не с космическими, а с лабораторными нейтрино, возникающими при радиоактивном распаде, были обнаружены признаки того, что нейтрино, возможно, имеют массу покоя. Сообщается, что она должна быть приблизительно в 30 тысяч раз меньше массы покоя электрона. Если этот результат подтвердится, то нужно будет считать, что и космические нейтрино имеют массу покоя, а идея нейтринной «скрытой массы» получит надежное физическое обоснование.

Но почему именно нейтрино, а не какие-либо иные элементарные частицы?

Согласно современным космологическим представлениям нейтрино — одна из самых распространенных частиц во Вселенной. Их приходится в среднем приблизительно по 350 на каждый кубический сантиметр пространства. По распространенности нейтрино лишь немного уступают фотонам, самым многочисленным частицам Вселенной; их приблизительно в миллиард раз больше, чем протонов и электронов, в 10 миллиардов раз больше, чем нейтронов.

О космической распространенности фотонов, протонов и электронов, нейтронов судят на основании астрономических наблюдений. Что же касается нейтрино, то их непосредственная регистрация лежит пока за пределами наблюдательных возможностей; их среднее число в единице объема определено теоретическим расчетом, опирающимся на общие представления о ранних стадиях эволюции Вселенной (мы расскажем об этом в гл. 7).

Очень важно, что результат расчета никак не зависит от того, имеют ли нейтрино массу покоя или нет.

В своем подавляющем большинстве космические нейтрино (и фотоны) имеют космологическую природу, т. е. не испущены звездами или другими телами, а родились вместе с протонами, электронами, нейтронами в начальном космологическом «Большом Взрыве» около 20 млрд. лет назад.

Если нейтрино имеют массу покоя, они не могут быть рассеяны равномерно по всему пространству Вселенной, а подобно всем частицам с массой покоя, т. е. тем же протонам, электронам, нейтронам, должны в основном собираться в сгущения того или иного масштаба под действием сил тяготения. Из них не может получиться планета или звезда, но они могут содержаться в межзвездном пространстве галактик, они способны также создавать вокруг галактик обширные облака. При той массе покоя, о которой сообщают московские физики-экспериментаторы, космических нейтрино вполне достаточно, чтобы наполнить короны галактик, сделать их такими протяженными и массивными, какими они представляются по астрономическим данным. В этом случае около 90% всей массы Вселенной должно приходиться на нейтрино.

Астрономы с нетерпением ожидают новостей из физических лабораторий, где исследуются нейтрино и где, таким образом, решается вопрос о составе корон галактик, о массе всей Вселенной.