

щих с известными нам частицами. Точнее, эти новые частицы не взаимодействуют ни электромагнитно, ни сильно, ни слабо. Однако они имеют определенную энергию и поэтому взаимодействуют с нашим миром гравитационно. Мы уже говорили о слабости гравитационного взаимодействия на уровне элементарных частиц. Поэтому открыть и исследовать эти частицы в лаборатории будет необычайно трудно.

Тем не менее, не исключено — а, скорее, даже вероятно — что именно эти неизвестные нам частицы составляют 80 или 90 % общей массы в каждом достаточно большом объеме, произвольно выбранном во Вселенной. При образовании галактик и звезд большая плотность достигается благодаря тому, что нагретый газ отдает энергию излучением. Неизвестные частицы или вовсе не излучают, или излучают другие, неизвестные нам подобия фотонов. Поэтому в составе звезд нельзя ожидать сколько-нибудь заметного количества неизвестных частиц — они пролетают сквозь звезду без столкновений и без торможения.

Обратимся теперь ко второму вопросу.

Барьонная асимметрия

Естественно предположить, что в начале расширения линейные размеры Вселенной a_0 были порядка планковских (10^{-33} см), и плотность вещества была порядка планковской (10^{93} г/см³). Тогда и масса всего вещества была порядка планковской, 10^{-5} г. Если даже это вещество состояло целиком из покоящихся нуклонов, общее число их было ничтожно, порядка 10^{19} штук. Еще меньшее число получится, если учесть принцип Паули и движение нуклонов.

В настоящее время нет никаких оснований думать, что где-то существуют антигалактики. Они проявля-

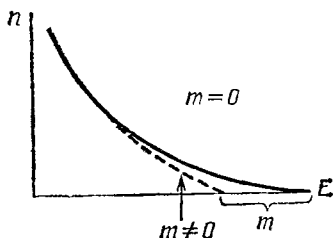


Рис. 36. Случай нулевой (сплошная линия) и ненулевой (штриховая линия) массы нейтрино отличаются формой бета-спектра вблизи его верхней границы и величиной максимальной энергии электронов, т. е. величиной верхней границы бета-спектра

лись бы в аннигиляционном излучении на стыках между галактиками и антигалактиками, а также в сплошных пустых областях, отделяющих области, заполненные веществом от областей с антивеществом. Ничего подобного не наблюдается!

При высокой температуре $kT \gg m_p c^2$ (m_p — масса протона), несомненно, было много барионов и антибарионов. Однако несмотря на усилия многих теоретиков, не удалось найти механизм, который разделял бы барионы и антибарионы в астрономических масштабах.

Таким образом, и наблюдения, и расчеты, относящиеся к той стадии, на которой физика нам хорошо понятна, приводят к такой картине: на стадии $kT \gg m_p c^2$ Вселенная заполнена равновесной плазмой с большим количеством барионов и антибарионов — но все же везде есть небольшой (порядка 10^{-9}) избыток числа барионов над числом антибарионов*).

В ходе охлаждения остается *только* этот избыток, все остальные барионы аннигилируют с антибарионами. Именно так получается современный средний состав Вселенной, где в среднем на один барион приходится 10^9 — 10^{10} фотонов. В этом смысле барионов мало (отношение концентрации барионов и фотонов, обозначаемое B/γ , составляет $B/\gamma \sim 10^{-9} \div 10^{-10}$).

Подсчитаем теперь общее количество барионов в наблюдаемой области Вселенной (шар радиусом порядка $c/H = 6000$ мегапарсеков $= 2 \cdot 10^{28}$ см, где $H = 50$ км/(с·Мпк)). Объем равен $3 \cdot 10^{85}$ см³, плотность около $3 \cdot 10^{-7}$, итого общее количество барионов около 10^{78} . Это огромная величина, по сравнению с максимальным начальным количеством порядка 10^{19} .

Итак, астрономические соображения приводят к неизбежному выводу, что Вселенная переживала период, когда барионный заряд не сохранялся!

Речь идет не о тривиальном процессе рождения и аннигиляции барион-антибарионных пар. Такой процесс уже 30 лет наблюдается в лаборатории. Этот процесс сохраняет барионный заряд. Но астрономия доказывает, что могли — должны были! — рождаться отдельные барионы (без антибарионов). По общим принципам квантовой теории это означает также, что

*) Этот избыток образуется уже после инфляционной стадии (см. ниже).

возможен самопроизвольный, спонтанный, распад протона, например, на позитрон и нейтральный пион, или мюон и пион. Нестабилен также и нейтрон. Более того, возможен распад не только свободных, но и связанных нейтронов и протонов.

С этой точки зрения *любая* форма обычной материи должна быть радиоактивной.

В начале восьмидесятых годов среди физиков-экспериментаторов возник ажиотаж, неистовое соревнование — кто первый откроет самопроизвольный, радиоактивный распад протонов. Опыты ставили главным образом с большими резервуарами воды. Воду легче очистить от примеси обычных радиоактивных веществ. Продукты распада дают в воде черенковское излучение, и благодаря прозрачности воды это излучение (его часть, приходящаяся на видимый свет) можно улавливать в толстом слое воды. Рекордный опыт состоял в наблюдении 10 000 тонн воды в течение двух лет, в шахте, под толстым слоем горной породы, уменьшающей фон космических лучей. Не было зарегистрировано ни одного распада! Это значит, что время жизни протона больше, чем 10^{32} лет. Такой результат создает определенные трудности для простейшего варианта теории.

И все же теоретики убеждены в том, что в очень экзотических условиях ранней Вселенной тем или иным способом рождение барионов происходило. Здесь особенно важно подчеркнуть, что нет векторного поля, которое было бы связано с барионами так, как электромагнитное поле связано с электрическим зарядом.

Выше отмечалось, что сама структура уравнений Максвелла исключает, запрещает несохранение электрического заряда. Вот такого абсолютного запрета несохранения барионного заряда нет, поскольку нет соответствующего поля. Современная физика придерживается точки зрения: «Все, что не запрещено, происходит». Раньше господствующая точка зрения была: «Все, что не доказано опытом, не существует».

Сегодняшняя точка зрения вместе с доводами астрономии доказывает несохранение барионов. При сверхвысоких температурах характерное время процесса распада бариона может быть ничтожным — порядка 10^{-28} с, например. О времени спонтанного распада мы ничего не можем сказать, кроме того, что оно

велико. Может быть, это время — 10^{33} лет, и после еще одного усилия в ближайшие годы распад будет обнаружен. Если это время — порядка 10^{40} лет или больше, обнаружение его практически невозможно, при учете необходимого количества воды и времени и фона от космических лучей.

Заметим, что для объяснения избытка вещества над антивеществом во Вселенной необходимо, но не достаточно, чтобы протоны были неустойчивы. Нужно еще, чтобы была асимметрия законов рождения и распада для вещества и антивещества. Такая асимметрия природы действительно обнаружена — но на других объектах.

Асимметрия проявляется только тогда, когда введена «стрела времени», т. е. когда система эволюционирует.

В термодинамическом равновесии в покоящейся системе вещество и антивещество даже при сверхвысокой температуре должны содержаться в равном количестве.

Однако Вселенная расширяется, и поэтому в ней будущее отличается от прошлого, несимметрия рождения вещества и антивещества может проявиться!

Последнее замечание: почему в избытке оказывается именно *вещество*, а не антивещество? Серьезного ответа на этот вопрос нет, как нет и конкретной теории процесса.

Можно перевести вопрос в филологическую плоскость. Мы *называем* веществом именно те частицы, которые рождаются в избытке. Вспомним двуступище Самуила Маршака (не путать с физиком Робертом Маршаком!): «Мятеж никогда не кончался удачей, иначе бы он назывался иначе».

Однако это не вся правда. Определим «вещество» как то, из чего построены Солнце, планеты и все остальное. При этом мы определим и положительный знак электрического заряда как знак заряда протона. Тогда возникает вопрос, почему в распаде K^0 -мезона получаются преимущественно именно *положительные* пионы, электроны (позитроны) и мюоны вместе*). На этот вопрос ответа еще нет, что и не удивительно,

*) Этот распад есть один из тех процессов, в которых на опыте установлена несимметрия частиц и античастиц.

так как не установлен механизм возникновения барионного заряда, известно лишь, что такой процесс не противоречит законам физики.

Инфляционная Вселенная

Современная теория расширяющейся Вселенной содержит как неотъемлемую часть представление о периоде экспоненциального расширения. В этот период все масштабы (в том числе и радиус Вселенной, если она замкнута) растут как $\exp(Ht)$ — по тому закону (рис. 37), по которому растут цены, когда экономика страны поражена инфляцией. Только здесь H — постоянная Хаббла в период инфляции. При этом время такого роста может быть очень малым, например, 10^{-33} секунды. Но если постоянная Хаббла в этом периоде равна 10^{36} с^{-1} , то произведение Ht равно 1000. Это значит, что радиус успевает вырасти в $\exp(1000) = 10^{434}$ раза. При начальном планковском радиусе 10^{-33} см получим радиус 10^{400} см, в гигантское число раз превышающий современную наблюдаемую Вселенную. В настоящее время под влиянием идеи инфляционного расширения считается весьма вероятным, что наблюдаемая часть Вселенной (радиус которой порядка $c/H = 6000$ мегапарсек = 20 000 миллиардов световых лет) составляет ничтожную долю всей Вселенной, даже если Вселенная замкнута и, следовательно, имеет конечный полный объем.

Но каковы условия, необходимые для экспоненциального роста радиуса?

Оказывается, что такой режим расширения возникает при наличии *скалярного поля*. При этом необходимо, чтобы плотность энергии скалярного поля содержала наряду с обязательными градиентными членами $\left(\frac{\partial\varphi}{\partial t}\right)^2, \left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)^2$ еще и «потенциал» $V(\varphi)$.

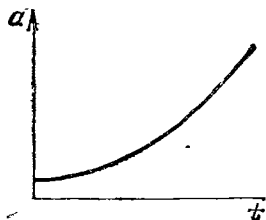


Рис. 37. Вызываемая скалярным полем инфляция — экспоненциальный рост радиуса Вселенной со временем — обеспечивает раздувание Вселенной до размеров, охватывающих наблюдаемую в настоящее время часть Вселенной