

отчетливо понимали сами Ли и Янг. В заключение своей классической работы, за которую они были удостоены Нобелевской премии, авторы явно указывали на эту проблему.

В самом деле, когда мы говорим о вращении, то представляем себе ось. С одной стороны оси мы наблюдаем вращение по часовой стрелке, с другой — против часовой стрелки. Поэтому, когда мы говорим об определенном направлении вектора вращения (см. Математическое дополнение, с. 187), то в этом определении всегда присутствует условность, потому что все часы условились делать одинаковыми.

Естественно было бы, если бы ядро испускало преимущественно по экватору — это можно было бы понять как эффект центробежной силы. Можно придумать вращающееся тело, симметричное по оси в обе стороны. Однако испускание преимущественно в одну сторону кажется неестественным. Опыт с распадом поляризованного ядра можно было бы поставить гораздо раньше — а не ставили, потому что считали, что тривиальный результат гарантирован.

Действительно, если бы речь шла об электродинамике и сильном взаимодействии, то опыт подтвердил бы симметрию правого и левого: α -распад ядер, вращающихся в определенную сторону, симметричен, и электромагнитное излучение вращающегося атома симметрично.

Несимметрия в живой природе — это исключение, загадка, связанная с происхождением жизни. Напомним, что в неживой природе правый и левый сахар одинаковы. Связаны ли две загадки — β -распад и живое, и если связаны, то каков механизм связи — это дело будущего.

Возможен ли зеркальный мир?

Выделение левой системы координат связано со свойством слабого взаимодействия тех частиц, которые нас окружают. Если у каждой частицы есть в «зазеркалье» двойник, то, отражая процесс в зеркале, мы должны рассматривать именно зеркальные двойники обычных частиц. Должны существовать зеркальные протоны, электроны, нейтроны и нейтрино. Отражая в зеркале ядро, мы получаем «зеркальное» ядро (не зеркальные ядра, в которых поменялись ме-

стами нейтроны и протоны, — а ядро, состоящее из новых частиц — зеркальных нейтронов и протонов). Отражая в зеркале процесс β -распада, мы должны рассматривать распад зеркального ядра, при котором рождаются зеркальный электрон и зеркальное нейтрино. Тогда β -распад ядра выделяет левую систему координат, а « β -распад» зеркального ядра выделял бы правую систему координат.

Между частицами и их зеркальными двойниками должна быть строгая симметрия. Они должны взаимно дополнять друг друга так, чтобы с учетом их симметрии эквивалентность левой и правой систем координат восстанавливалась. С другой стороны, при строгой симметрии законов необходимо было объяснить, почему в окружающем нас мире зеркальных частиц мало (или совсем нет). Для этого требовалось запретить в теории превращение обычных частиц в зеркальные.

Советский физик-теоретик Л. Д. Ландау предложил «экономный» путь спасения эквивалентности правого и левого. Зачем вводить в теорию новые частицы зазеркалья, если у частиц и так уже есть двойники — античастицы? Не могут ли античастицы выполнить роль зеркальных двойников? β -распад ядер выделяет левую систему координат, β -распад ядер антивещества — правую. Если процесс β -распада отразить в зеркале и в отраженном процессе заменить все частицы на их античастицы, то симметрия левого и правого восстанавливается. Зазеркалье надо комбинировать с антимиром. Возникла идея о новой строгой симметрии, которой должно подчиняться и слабое взаимодействие, идея комбинированной четности.

Предполагалось, что четность — точная симметрия гравитационного взаимодействия и электромагнитного взаимодействия, а комбинированная четность — строгая симметрия слабого взаимодействия. Но через несколько лет в опытах с распадами нейтральных K -мезонов выяснилось, что комбинированная четность также не является строгой симметрией Природы. Это вновь нарушалось симметрию левого и правого. Грандиозные следствия нарушения комбинированной четности удалось полностью оценить только почти двадцатилетие спустя, когда была осознана связь этого явления с наличием вещества и отсутствием антивещества.

щества в окружающей нас части Вселенной. Но об этом позже.

Несохранение комбинированной четности сделало особо актуальным вопрос о зеркальных двойниках обычных частиц. Зеркальные частицы не должны обладать сильным (ядерным) и электромагнитным взаимодействием, иначе их существование уже давно проявлялось бы в экспериментах. Но даже если взаимодействие между зеркальными и обычными частицами настолько слабое, что процессы с участием зеркальных частиц даже в отдаленном будущем не смогут стать предметом прямого исследования физики микромира, поиск макроскопических проявлений частиц возможен уже в настоящее время.

Полная симметрия свойств обычных частиц и их зеркальных двойников обеспечивает и симметрию их взаимодействий. Зеркальные частицы обладают своими (зеркальными) сильным, слабым и электромагнитным взаимодействиями, так что зеркальные нуклоны могут связываться в зеркальные ядра, которые, в свою очередь, могут соединяться зеркальным электромагнитным взаимодействием в зеркальные атомы. Тем самым возможно существование зеркального вещества, столь же стабильного, как и обычное. Практически только гравитационное взаимодействие является общим для зеркальных и обычных частиц.

Гравитационное влияние объектов из зеркального вещества на астрономические объекты из обычного вещества делает существование зеркального вещества доступным наблюдательной проверке. На основе современных представлений об эволюции вещества во Вселенной можно ответить на вопросы о том, что должно было происходить с зеркальным веществом в ходе такой эволюции, к образованию каких астрономических объектов из зеркального вещества она должна была бы привести, и каковы возможные наблюдательные эффекты существования зеркального вещества во Вселенной.

При полной симметрии свойств зеркального и обычного вещества ответы на эти вопросы оказываются довольно определенными.

В этом случае во Вселенной должно быть равное количество зеркального и обычного вещества и в галактиках и скоплениях галактик должно быть приблизительно одинаковое количество объектов из обыч-

ного и зеркального вещества. С другой стороны, современные представления об образовании и эволюции звезд и звездных скоплений приводили к выводу о независимом образовании объектов из обычного и зеркального вещества. В среднем в Галактике должно быть одинаковое количество зеркальных и обычных звезд, одинаково их распределение по массам и скоростям, но сами эти объекты — практически «чистые». Обычная звезда должна содержать очень малую примесь зеркального вещества, и, наоборот, в зеркальной звезде должна содержаться очень малая примесь обычного вещества.

Наличие в видимой области галактик гравитирующей массы, вдвое превышающей видимую массу, — жесткое предсказание гипотезы зеркального мира. Причем распределение по массам и по скоростям объектов невидимой массы (зеркальных звезд, облаков зеркального газа и т. п.) должно быть таким же, как для видимого вещества. Специалисты еще не вынесли согласованного мнения о существовании такой «локальной скрытой массы» (в отличие от общепринятой скрытой массы в больших масштабах — см. гл. «Гравитация»). Одна группа астрономов утверждает, что в видимой области Галактики, и, в частности, близкой к Солнечной системе, скрытой массы в таком количестве нет. По их мнению, с точностью не хуже 10 % полная плотность вещества в видимой области Галактики совпадает с плотностью видимого вещества — в основном звезд и межзвездного газа. Однако есть и другая группа астрономов, которые утверждают, что согласованное описание распределения звезд в Галактике с необходимостью требует присутствия в видимой области Галактики «локальной скрытой массы». Результаты этих специалистов согласуются с предсказаниями, сделанными на основе гипотезы зеркального вещества.

Можно указать еще целый ряд астрономических эффектов зеркального вещества, доступных проверке в наблюдениях. В их числе — возможность образования внутри Солнца планеты из зеркального вещества. Образование такой планеты обусловлено динамикой межзвездного зеркального газа и пыли, захватываемых Солнечной системой, и не является необходимым следствием существования зеркального мира. Однако если в гравиметрических измерениях будет

подтверждено движение такой планеты внутри Солнца, значение этого факта трудно будет переоценить.

Так изучение физической природы несохранения четности в физике микромира может повлечь за собой грандиозные астрономические следствия.

Лептонные заряды

Исследование распадов мюона, пионов, странных частиц, изучение реакций взаимодействия нейтрино показали, что β -распад оказался только первым представителем большого класса процессов одного и того же так называемого *слабого взаимодействия*, для которого несохранение четности является фундаментальным законом. На языке спиральных частиц это означает, что в процессах слабого взаимодействия участвуют преимущественно левополяризованные частицы и правополяризованные античастицы. Так, например, в процессах слабого взаимодействия левополяризованное нейтрино превращается в левополяризованный электрон, а правополяризованное антинейтрино — в правополяризованный позитрон*) и имеют место реакции

$$\nu_e + p \rightarrow p + e^-, \quad (A)$$

$$\bar{\nu}_e + p \rightarrow p + e^+. \quad (B)$$

При этом реакция (A) вызывается только нейтрино ν_e , а антинейтрино $\bar{\nu}_e$ вызывает только реакцию (B). Реакция (A) за счет $\bar{\nu}_e$ с образованием правополяризованного электрона не наблюдалась, и, наоборот, не наблюдалась реакция (B), вызываемая ν_e . Об этом различии превращений ν_e и $\bar{\nu}_e$ иногда говорят как о различии *лептонных зарядов* ν_e и $\bar{\nu}_e$. Нейтрино ν_e и электрону приписывают лептонный заряд $+1$, а позитрону и $\bar{\nu}_e$ — заряд -1 . Тогда свойства превращений лептонов объясняются сохранением лептонного заряда.

Однако одного лептонного заряда оказалось недостаточно. В нейтринных экспериментах было установлено, что нейтрино, образующееся вместе с мюоном μ , мюонное нейтрино ν_μ в реакции типа (A) всегда

*) Кварки также участвуют в слабом взаимодействии только левополяризованные, и это обуславливает влияние поляризации ядра на слабые процессы.