

Е. ПАРНОВ,
Е. ГЛУЩЕНКО



ОКНО

в антимир

ГОСАТОМИЗДАТ • 1963

Е. ПАРНОВ, Е. ГЛУЩЕНКО

ОКНО В Антимир

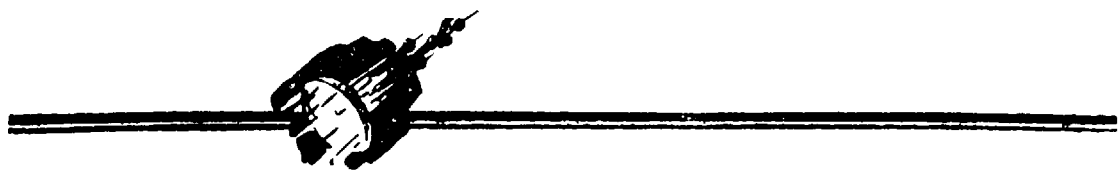
2-е ИЗДАНИЕ



Государственное издательство литературы
по атомной науке и технике
Государственного комитета
по использованию атомной энергии СССР

Москва 1963

В книжке популярно рассказывается о некоторых важных и интересных свойствах элементарных частиц и законах их взаимодействия. В общедоступной форме авторы обсуждают возможные применения результатов современной ядерной физики для объяснения космических явлений.



НЕОБЫЧНАЯ КОМЕТА

В далекие времена средневековья появление комет люди встречали с тревогой и страхом. Кометы считались верными предвестниками кровопролитных войн и опустошительных эпидемий. С развитием науки на кометы стали смотреть как на естественное явление природы. Но страх прошел не сразу: люди боялись, что комета отравит земную атмосферу ядовитыми газами или, столкнувшись с Землей, вызовет мировую катастрофу.

Сейчас подобные опасения кажутся смешными. В наши дни сообщение о новой комете никого не напугает и сильно взволнует только астронома. И если за полетом очередного советского космического корабля или «лунника» напряженно следит весь мир, то за кометой наблюдают лишь немногие астрономы. Но все ли мы знаем о кометах?

В 1957 году в небе появилась загадочная комета.

В честь открывших ее астрономов она получила двойное имя — комета Аренд — Ролланда. Комета не грозила Земле столкновением, но вид ее был загадочен. У кометы было два хвоста, причем направленных в противоположные стороны (рис. 1).

Обычно хвост кометы направлен в сторону от Солнца. Это объясняется световым давлением, которое испытывают частицы, составляющие кометный шлейф. Так было и с одним из хвостов кометы Аренд — Ролланда. Зато второй хвост исполинской иглой в несколько миллионов километров, вопреки всем теориям, устремился к Солнцу. Это необычное явление породило

самые разнообразные гипотезы. Одни ученые считают, что комета сформировалась недавно и впервые попала в область Солнца. Поэтому ее светящийся шлейф может состоять из ледяных кристалликов; с приближением кометы к Солнцу лед тает и нагретые струи пара, преодолевая давление света, устремляются к Солнцу.

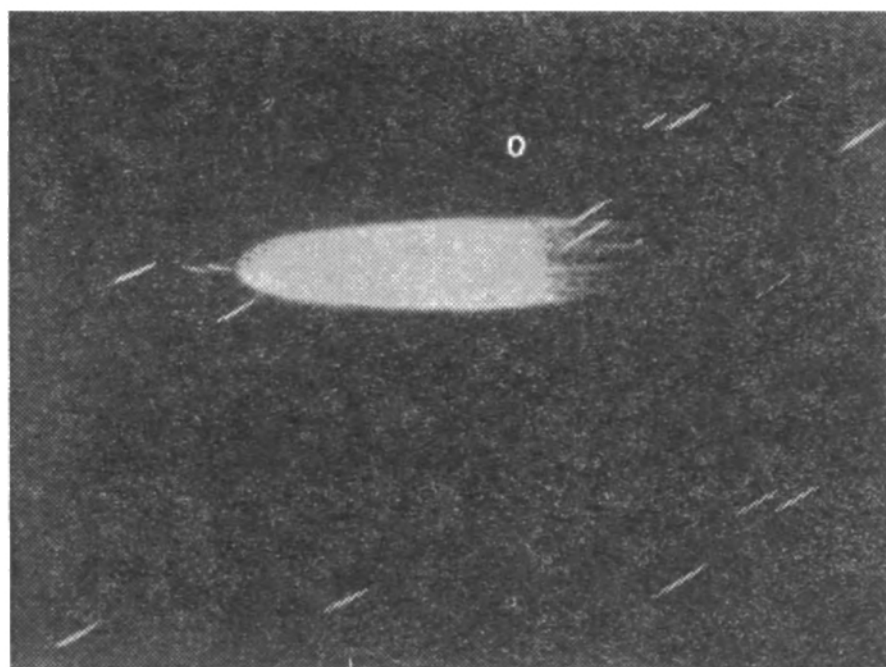
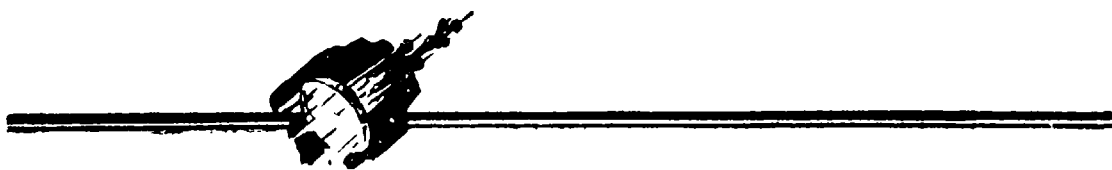


Рис. 1. Комета Аренд — Роллапда.

Но нас гораздо больше интересует вторая гипотеза. Она заключается в следующем. Комета могла оказаться посланцем какой-то очень далекой галактики, где материя построена совсем не так, как в нашей Вселенной. Атомные ядра там заряжены не положительно, а отрицательно, вокруг них вращаются положительно заряженные электроны — позитроны. Из таких антиатомов собраны различные молекулы антивеществ. Поэтому комета, состоящая из антивещества, попав в поле притяжения Солнца, устремилась к нему струей светящейся материи. Что же такое антивещество? Чтобы ответить на этот вопрос, нам придется совершить экскурсию не только в отдаленные галактики, отстоящие от Земли на расстоянии миллионов световых лет, но и в мир невообразимо малых величин — микромир.





ОБИТАТЕЛИ НЕВИДИМОГО МИРА

Путеводитель по микромиру

Обычно люди, прежде чем отправиться в путешествие, сначала изучают маршрут, выбирают по путеводителям дороги, знакомятся заочно с достопримечательностями и обычаями тех мест, куда им предстоит поехать. Нам, прежде чем отправиться в микромир, тоже будет полезно познакомиться с его законами, привычками его «обитателей».

Итак, перед нами путеводитель по микромиру. На первых же страницах этого путеводителя сказано, что элементарные частицы подчиняются законам теории относительности Эйнштейна. Одно из основных положений этой теории говорит: скорость движения любого тела не может превышать величину $c = 299\,776$ километров в секунду. Это значит, что нельзя двигаться со скоростью, большей скорости света в пустоте. С приближением к этой скорости масса тела начинает возрастать. Более того, всякое изменение энергии тела влечет за собой соответствующее изменение массы. Это значит, что, увеличивая скорость, а следовательно, и энергию тела, мы увеличиваем и его массу. Причем при скоростях, близких к c , увеличение массы может быть весьма значительным.

Поэтому, когда говорят о массе элементарной частицы, то подразумевают ее массу покоя. Есть частицы, у которых нет массы покоя. Это значит, что их масса проявляется лишь в движении.

Кроме теории относительности, микромир управляется еще законами квантовой механики. Поэтому

сразу же назовем ее основное правило: одноименные элементарные частицы полностью тождественны друг другу. Это совсем непохоже на окружающий нас мир, где мы не можем назвать ни одной пары абсолютно одинаковых предметов. И если существует поговорка «похожи, как две капли воды», ее легко можно опровергнуть. Как? Да, хотя бы взвесить эти капли с достаточно высокой точностью. Между тем все, например протоны, строго равны по массе и обладают одинаковой величиной заряда.

Далее, элементарные частицы — это не совсем частицы. Вернее сказать, это и частицы и волны одновременно, сосредоточенные в определенной области пространства. Фотон, например, распространяется в виде волны, а излучается и поглощается как частица. Обмен энергией между частицами осуществляется строго определенными порциями — квантами, энергия которых тоже может быть строго определена.

Мы назвали далеко не все законы и правила, управляющие микромиром. Мы даже не упомянули о многих его обитателях. Но ведь это только путеводитель, а путешествие еще предстоит.

Первые шаги в лабиринте

Совершенное на заре нашего века великое открытие радиоактивности поставило под сомнение многие физические теории, казавшиеся бесспорными. Ни у кого не возникло сомнений, что для передачи энергии есть только две, совершенно отличные друг от друга возможности: движение частиц (корпускулярное движение) или волновые колебания. Положительно заряженные ядра атомов гелия, или альфа-лучи, представляют собой поток корпускул, точно так же, как и поток электронов (бета-лучи). И только гамма-лучи полностью оправдывают название лучей. Они представляют собой электромагнитные колебания с очень большой энергией. Новые исследования показали, что электромагнитные колебания проявляют свойства корпускул, а частицы ведут себя как волны. Поэтому двойственность частиц и волн сделалась основным законом микромира.

Двадцать с лишним веков отделяют наивную атомистику Демокрита от блестящих опытов Э. Резерфор-

да, показавшего, что атомы не только распадаются и взаимопревращаются, но и имеют сложное строение. Для этого хватило всего двух видов элементарных частиц: отрицательно заряженных электронов (e^-) и положительных протонов (p^+). К ним можно добавить еще частицу: квант света, или фотон (γ), так как в то время было уже ясно, что свет излучается и поглощается маленькими, но вполне определенными порциями — квантами.

В 1932 году наука обогатилась открытием еще одной элементарной частицы — нейтрона (n). Казалось, что вопрос исчерпан. Ядро состоит из нуклонов (приблизительно равных по весу протонов и нейтронов), вокруг ядра вращаются электроны (рис. 2). Но с этого момента физики попали в настоящий лабиринт. Чем глубже проникали они в тайны атома, тем больше загадок вставало перед ними.

Вот одна из загадок. Какова природа могучих ядерных сил, удерживающих протоны в ядре? Казалось, что электрические силы, которые притягивают отрицательный электрон к положительному ядру, должны были бы заставить протоны разлететься в разные стороны. Но протоны не только не разлетаются, но, напротив, противостоят попыткам разрушить ядро. Сейчас известно, какие высокие энергии требуются для расщепления атомных ядер. Значит дело не в электрическом притяжении и отталкивании. Тем более, что силы, удерживающие нуклоны в ядре, во много раз превосходят электрические. Да и как электрические силы могут влиять на незаряженный нейтрон? Ньютоновская сила тяготения также не может служить разумным объяснением, ведь она в 10^{37} раз меньше действительных сил нуклонного сцепления. Ядерные силы совершенно не зависят от электрического заряда частицы. Они обладают свойством «зарядовой независимости». Приблизительно с одинаковой силой притягиваются друг к другу протон и нейтрон, нейтрон и нейтрон, протон и протон. Однако ядерные силы обладают исключительно небольшим радиусом действия. На расстоянии порядка 10^{-13} см два протона притягиваются друг к другу с силой, в 40 раз превосходящей их электростатическое отталкивание. Но стоит увеличить это расстояние только в четыре раза, ядерные силы станут равны электро-

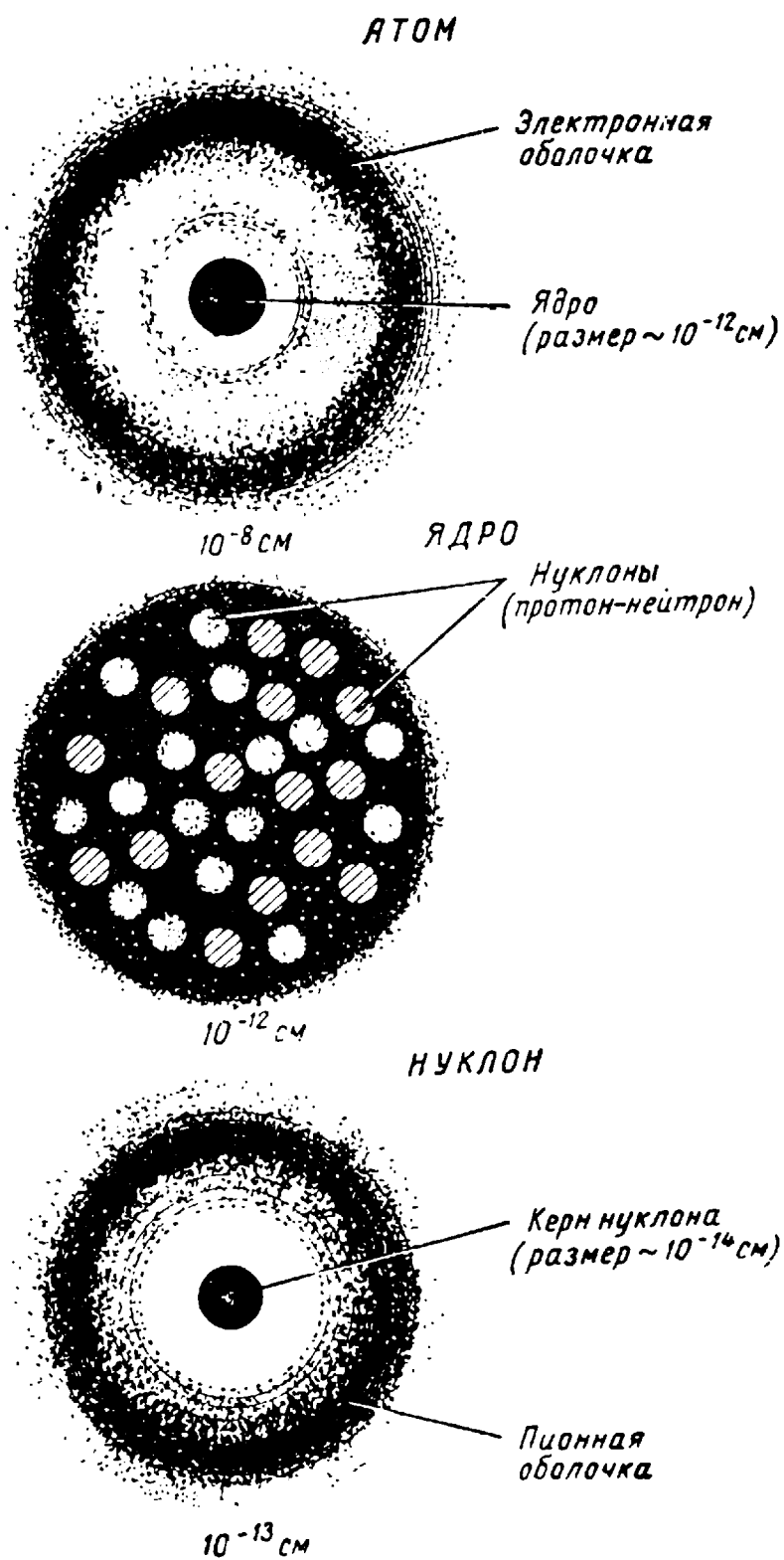


Рис. 2. Сравнительная характеристика масштабов атома, ядра, нуклона.

статическому отталкиванию. Резко меняется характер ядерных сил и на очень малых, менее $0,5 \cdot 10^{-13}$ см, расстояниях. Здесь они как бы меняют направление, превращаясь в еще более мощные силы отталкивания.

Откуда же берутся эти таинственные силы? Сначала попробуем разобраться в законах, управляющих электростатическими силами разноименно заряженной пары электрон — протон.

Фотон — квант электромагнитного поля

Закон Кулона, установленный еще в 1784 году, гласит, что сила, действующая между двумя электрическими зарядами, изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния между ними. Но только благодаря работам Фарадея и Максвелла было установлено, что изменение электрических сил между зарядами распространяется не мгновенно, а со скоростью света. Если изменить расстояние между зарядами, отодвинув один из них, то другой «почувствует» уменьшение электростатической силы через некоторый промежуток времени, необходимый световому кванту, чтобы пробежать расстояние между зарядами.

Взаимодействие между электрическими зарядами переносится посредством световых квантов — фотонов. Электромагнитное поле представляет собой фотоны, непрерывно испускаемые и поглощаемые заряженной частицей. Благодаря такому полю электрон притягивается к протону. Может быть, нуклоны удерживаются в ядре тоже благодаря какому-либо ядерному полю и тоже непрерывно обмениваются какой-нибудь частицей, похожей на фотон? Другими словами, должен существовать квант ядерного поля. Мысль о такой аналогии впервые высказал советский физик лауреат Нобелевской премии И. Е. Тамм. Но прежде чем рассказать об этой загадочной частице, нам придется перенестись в тридцатые годы нашего века.

Мезон — квант ядерного поля

Масса покоя кванта электромагнитного поля — фотона — равна нулю, а радиус действия электромагнитных сил у него бесконечен. Зато ядерные силы, как мы

уже говорили, действуют на очень коротких расстояниях. Это позволило японскому теоретику Х. Юкаве в 1935 году высказать предположение, что таинственными квантами должны быть некие мезоны (от греческого «мезос» — промежуточный). Их масса предполагалась приблизительно в 300 электронных масс — э. м. Попутно отметим, что масса покоя протона составляет 1836,1 э. м., а нейтрона — 1838,6 э. м. Таким образом, масса мезонов должна лежать в «промежутке» между массами электронов и нуклонов.

Так как фотоны интенсивно взаимодействуют с электронами, Юкава по аналогии предположил, что мезоны активно вступают во взаимодействие с носителями «ядерного заряда» — нуклонами.

Прошло два года, и на помощь физикам пришли космические лучи. Изучая с помощью камеры Вильсона космическое излучение, К. Андерсон и С. Неддермайер обнаружили в его спектре до сих пор неизвестные частицы, превышающие по весу 200 э. м. Казалось бы, на этом можно поставить точку — предсказание Юкавы сбылось.

Но дальнейшие исследования показали, что эти так называемые мю-мезоны, или мюоны (μ^+ , μ^-), не могут быть квантами ядерного поля. Они практически не вступают во взаимодействие с нуклонами.

Но не успели физики разоблачить «лжемезон», как все те же космические лучи помогли сделать новый важный шаг.

В 1947 году Поуэлл, Оккиалини и Латтес обнаружили на толстослойных фотопластинках след новой космической частицы, которая энергично взаимодействовала с нуклонами. Новые частицы называли пи-мезонами, или пионами. Пионы бывают и положительно и отрицательно заряженными (π^+ , π^-) и «весят» 273 э. м. Кроме того, несколько позже был открыт и нейтральный пион (π^0). Масса π^0 несколько меньше чем заряженных, и составляет 264 э. м. Нейтральный пион очень недолговечен, даже в масштабах жизни частиц микромира. Он распадается в сотни миллионов раз скорее, чем его заряженные тезки.

Теперь, когда мы располагаем сведениями о трех видах мезонов, попытаемся представить себе картину взаимодействий, которые происходят в атомном ядре.

Суть этих взаимодействий заключается в непрерывном взаимопревращении протонов и нейтронов, фактически представляющих собой две разновидности одной и той же частицы — нуклона. Когда протон и нейтрон вступают во взаимодействие, протон излучает положительный пион, который поглощается нейтроном. Пион как бы уносит положительный заряд от протона к нейтрону. В результате протон становится нейтроном, нейтрон — протоном. Точно то же происходит, когда нейтрон излучает отрицательный пион, который поглощается протоном.

При взаимодействии протона с протоном и нейтрона с нейтроном существеннейшую роль играет нейтральный пион. Именно благодаря ему получила объяснение присущая ядерным силам зарядовая независимость.

Вторжение «странных» частиц

Начиная с 1950 года исследователям удалось найти целую серию новых частиц, совершенно неожиданные свойства которых никак не укладывались в предшествующие теории.

Среди следов, оставляемых на фотопластинках космическими ливнями, были обнаружены следы неизвестных превращений. Снимки таких превращений напоминали греческую букву Λ .

«Палочки» этой буквы были следами неизвестных и необъяснимых распадов. Пришлось предположить, что распалась какая-то неизвестная частица, безусловно, не имеющая заряда и, следовательно, не оставляющая следов. Причем и распалась-то она тоже на две до сих пор неизвестные частицы, обладающие зарядами и оставляющие следы.

Тщательное изучение следов новых частиц показало, что к этому интересному явлению причастны по меньшей мере две нейтральные частицы. Одна — распадающаяся на протон и отрицательный пион — была названа ламбда-частицей; другая, продуктами распада которой были пионы, получила название K -частицы. Масса ламбда-частицы составляла 2181 э. м., K -частицы — 965 э. м.

Не успели физики «окрестить» новорожденных представителей микромира, как фотография запечат-

лела случай, где буква Λ была образована следами неизвестной заряженной частицы и продукта ее распада. Причем другая вторичная частица была нейтральна и следовательно, невидима. Затем оказалось, что K -частица может распадаться то на два, то на три пиона. Открытия следовали одно за другим. У физиков закружились головы. Подумать только! Десятки неизвестных частиц! Если до сих пор теоретики предсказывали новые частицы, а экспериментаторы по несколько лет старались их обнаружить, теперь все было наоборот — теоретики не знали даже, что делать с новыми неожиданными частицами, которые без всякой помощи теории находили экспериментаторы.

Но когда страсти улеглись и началось кропотливое изучение странных снимков, все стало на свои места. Таблица элементарных частиц пополнилась семью новыми членами, включая уже названные нами Λ - и K -частицы. Те из них, которые тяжелее протона, называли гиперонами.

Итак, появились три K -мезона (K^+ , K^- и K^0) и четыре гиперона: Λ (Λ^0), два Σ (Σ^+ , Σ^-) с массой 340 э. м. и Ξ (Ξ) — гиперон с массой около 2580 э. м.

Когда тщательно изучили тяжелые мезоны и гипероны (сверхпротоны), оказалось, что все они нестабильны и живут в течение лишь 10^{-8} — 10^{-10} сек. Все они могут распадаться несколькими способами, что и привело сначала физиков в такое смущение.

Но не это оказалось самым главным в поведении новооткрытых частиц. Самой странной их «странностью» оказалось слишком долгое время жизни. Чтобы понять, почему 100—10-миллиардные доли секунды кажутся слишком долгими, нам придется познакомиться с характерными для микромира взаимодействиями: сильными, электромагнитными и слабыми.

Но прежде мы остановимся на таком важном понятии, как «спин» элементарной частицы. По-английски «спин» означает вращение, кручение. Многие частицы обладают спином. Спин характеризует особое свойство микрочастиц, напоминающее то, что в привычных нам масштабах называется вращением вокруг своей собственной оси. Частица, обладающая спином, ведет себя как микроскопический магнитик. Вращательный мо-

мент, или спин частицы, не может быть каким угодно. Он всегда является кратным строго определенной величине C — единице спина: $\frac{h}{2\pi}$, где h — постоянная Планка, равная $6,6252 \cdot 10^{-27}$ эрг. В этих единицах спин может быть равен только 0; $\frac{1}{2}$; 1; 2; 3 и т. д. Спин никогда не исчезает и ниоткуда не возникает. Когда две частицы соединяются в одну, более сложную, их спины складываются. Если спины были равны по величине, но противоположны по направлению, суммарный вращательный момент новой частицы становится равным нулю. Если направления спинов совпадают, допустим $+\frac{1}{2}$ и $+\frac{1}{2}$, то суммарный спин становится равным $+\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$. В том, что спин является важнейшей характеристикой элементарной частицы, читатель убедится несколько позднее. Здесь мы только заметим, что свойства частиц со спином, равным $\frac{1}{2}$ (электроны, протоны и нейтроны), существенно отличны от свойств частиц с целым спином (пионы).

Сильные и слабые взаимодействия

Когда мы говорим «слабые» или «сильные» взаимодействия, мы поступаем не совсем правильно. Дело здесь не в слабости и силе, а в скорости реакции. На самом деле физики измеряют именно скорость — абсолютную и относительную по сравнению с другими реакциями.

Сильные и слабые взаимодействия — это два резко отличных класса процессов, протекающих в микромире. Сильные взаимодействия вызывают ряд быстротекущих процессов, возникающих за счет ядерных сил. Это взаимодействия нейтрона с протоном, пионов с нуклонами. Быстрота процесса определяется отношением размеров частиц к скоростям их движения. Поэтому если размеры нуклонов измеряются величинами порядка 10^{-13} см, а их скорости — порядка скорости света (10^{10} см/сек), то длительность процессов, связанных с сильными взаимодействиями, составит $10^{-13} : 10^{10} = 10^{-23}$ сек. За такое время свет пройдет расстояние, равное размеру частицы. Чтобы за такой ничтожно короткий срок частицы успели испытать взаимодействие, оно должно быть необычайно сильным.

Слабые взаимодействия происходят несравнимо медленнее. Вот почему время жизни «странных» частиц мы называли необычайно долгим. Образованные в результате сильных взаимодействий, они, на первый взгляд, и распадаться должны были с быстротой, свойственной сильным взаимодействиям, но этого не происходит, и странные частицы становятся «долгожителями». Действительно, если при столкновении протона и пиона за время порядка 10^{-23} сек образуется Λ -частица и K -мезон, то проходит «целых $3 \cdot 10^{-10}$ сек, пока Λ -частица распадется на протон и пион. Если мы в нашем воображении будем считать 10^{-23} сек за целую секунду, то интервал времени в 10^{-10} сек растянется в миллион лет!

Когда разговор заходит о слабых взаимодействиях, то прежде всего упоминают о бета-распаде. Это наиболее хорошо изученный процесс. Впервые он наблюдался еще в начале нашего века, когда была открыта неустойчивость радиоактивных элементов. В процессе радиоактивного бета-распада нейтрон самопроизвольно распадается на протон и электрон. Электрон «улетает», а образовавшийся элемент передвигается в следующую клетку таблицы Менделеева, так как заряд ядра увеличивается на единицу. Заметим, кстати, что самопроизвольный бета-распад может происходить лишь у элементов с естественной радиоактивностью.

Время жизни свободного нейтрона по новейшим данным составляет 11,7 мин. Среди неустойчивых элементарных частиц он является самым долгоживущим. Масса нейтрона превосходит массы продуктов его распада (протона и электрона) на величину, эквивалентную энергии в 780 000 эв. Эта избыточная энергия по закону сохранения должна перейти в кинетическую энергию продуктов распада. Но самые точные эксперименты показывают, что продукты распада всегда уносят меньшую величину энергии, да и не только меньшую, но даже непостоянную: кинетическая энергия меняется от случая к случаю.

У этой новой загадки природы могли быть только два решения: или закон сохранения энергии нарушается, или существует новая невидимая частица. Конечно, легче было поверить в новую частицу, чем опровергнуть основной закон физики. Так впервые родилась

идея о существовании нейтрино — таинственной неуловимой частицы микромира.

Нейтрино не тормозится и не вступает во взаимодействие с веществом. Вероятность того, что, пройдя сквозь толщу Земли, нейтрино замедлит скорость и где-нибудь в самом центре нашей планеты будет вести себя иначе, чем в вакууме, составляет $1/1\,000\,000\,000\,000$.

Слабость или сила взаимодействия — это не свойства, раз и навсегда принадлежащие элементарным частицам. Как мы уже видели, один и тот же нейтрон участвует и в сильных, и слабых взаимодействиях. Пion участвует в реакциях, которые вызваны сильным взаимодействием, но и в продуктах распада странных частиц, которые, как уже известно, распадаются по законам слабых взаимодействий, мы тоже встречаем пion. Распад нейтрального пиона на два протона, как и рассеяние фотонов электронами, характеризует уже новый класс взаимодействий — электромагнитные. И только загадочное нейтрино проявляет удивительное постоянство и ни в каких других взаимодействиях, кроме слабых, не участвует.

Загадка «тау-тета»

Но не ради нейтрино, этой, может быть, самой интересной частицы микромира, мы уделили столько внимания слабым взаимодействиям. Именно этот класс реакций готовил физикам один из самых ошеломительных сюрпризов.

Как известно, при столкновениях частиц высоких энергий в области сильных взаимодействий образуется много отходов — различных неустойчивых продуктов. Вот слабые взаимодействия и были «призваны» путем медленного распада очистить поле «сражения» для новых столкновений, для новых ядерных битв. Но когда физики пристальней взгляделись в реакции слабых взаимодействий, они обнаружили нечто совершенно новое.

Началось это в ту не столь далекую пору, когда физики ломали головы над загадками «странных» частиц, и мысль, что одна и та же частица может по-разному распадаться, только брезжила за туманной завесой различных предположений. Две «странные» частицы

распадались на пионы: одна — на три, другая — на два. Так как тогда считали, что разные пути распада характеризуют разные частицы, то первую называли тау-мезоном (τ), вторую — тета-мезоном (θ). И вот здесь-то был обнаружен парадокс: и тау-, и тета-частицы проявили совершенно одинаковые свойства. У них совпадали буквально все параметры: масса, относительная частота возникновения в разных взаимодействиях, время жизни. Сейчас мы знаем, что это один и тот же тип частицы, а именно K -мезон. Но обозначения τ и θ остались, и они относятся к частицам с трех- и двухмезонным распадом.

Если с различными путями распада частицы физики и могли как-то примириться, поскольку уже давно были известны различные способы распада многих ядер радиоактивных элементов, то совершенно необъяснимо было другое. Здесь мы должны на короткое время прервать наше повествование и познакомить читателя с еще одним законом микромира — законом сохранения четности.

Низвержение четности

Четность в физике — это не та четность, с которой мы привыкли встречаться в арифметике. Физическая четность характеризует симметрию частиц по отношению к левой и правой сторонам и их поведение при зеркальной замене правой стороны на левую и наоборот. Такое изменение (инверсия) означает перемену знаков пространственных координат XUZ . Эта перемена равносильна отражению в зеркале.

На первый взгляд зеркальное отражение какого-либо предмета ничем не отличается от оригинала, иначе зачем тогда смотреться в зеркало? Но это только на первый взгляд: все зависит от оригинала. Шар, например, действительно полностью совпадает со своим зеркальным двойником. Это зеркально-симметричный предмет. Но стоит поднести к зеркалу винт и станет ясно, что отражение винта вместо правой нарезки имеет левую. Точно так же у зеркального отражения человека сердце будет находиться с правой стороны. Поэтому человек, винт, раковина моллюска и абсолютное большинство физических тел зеркально-асиммет-

ричны. Аналогично зеркально-симметричным и зеркально-асимметричным предметам квантовая механика различает состояния с положительной и отрицательной пространственными четностями, или четные и нечетные.

Несохранение четности означает, что симметричность или асимметричность предмета зависит не от его природы, а от того, в какой системе координат мы его рассматриваем: в «предзеркальной» или «зазеркальной». Но эти системы координат отличаются только тем, что правое в одной системе заменяется на левое в другой и наоборот. Отсюда следует, что несохранение четности предполагает неравноправие «левого» и «правого» в пространстве. Это могло показаться абсурдным даже привыкшим к самым невероятным абстракциям теоретикам. Против этого восставали и здравый рассудок и многократные опыты в области сильных взаимодействий, где сохранение четности было так же нерушимо, как и закон сохранения масс.

Но так или иначе, а загадка «тау — тета» требовала своего разрешения. Конечно, гораздо легче было предположить, что здесь имеет место распад двух разных частиц и сохранить закон четности. Но частицы вели себя совершенно одинаково, и ничто не свидетельствовало об их различии. В лабиринте оказался тупик. Однако теоретическая физика уже стояла на грани одного из самых значительных открытий нашего века.

Не так просто сказать, что дважды два не есть четыре, даже если ты в этом убежден. Примерно в таком положении находились работающие в США молодые теоретики и будущие лауреаты Нобелевской премии Ли Цзун-дао и Янг Чжень-лин.

Они не только высказали исключительное по смелости предположение, что причиной загадки «тау — тета» является несохранение четности в слабых взаимодействиях, но и указали пути экспериментальной проверки этого предположения.

Суть эксперимента заключалась в следующем. Нужно было каким-либо способом поляризовать распадающиеся в процессе бета-распада частицы или ядра, чтобы установить, куда чаще вылетают электроны — по направлению спина распадающейся частицы или против него. И вот в конце 1956 года группе физиков во

главе с Ву Чьен-шьюнг удалось под действием магнитного поля и температур, близких к абсолютному нулю, ориентировать ядра кобальта-60 так, что их спины были направлены в одну сторону.

Результаты этих замечательных опытов подтвердили гипотезу китайских физиков. Закон сохранения четности в области слабых взаимодействий был низвергнут. Левое и правое направления действительно оказались неравноправными. Вскоре это нашло подтверждение в реакциях распада пионов и мюонов.

Не оправдался закон сохранения четности и в распаде заряженного K -мезона на мюон и нейтрино.

Но, чтобы окончательно отказаться от сохранения четности в слабых взаимодействиях, нужно было решить еще одну проблему. Дело в том, что все процессы, где наблюдалось нарушение четности, имели одну общую черту: среди конечных продуктов распада наблюдалось как минимум одно нейтрино. Поэтому с окончательным ниспровержением закона спешить не следовало. Возможно, что нарушение четности есть характерная черта нейтрино.

Интересно еще одно обстоятельство. В нашу мевшей загадке «тау — тета» нейтрино не участвует. Да и несохранение четности здесь доказано только косвенно, хотя именно этот процесс и послужил завязкой описываемых событий. Поэтому на повестку дня встал вопрос: доказать несохранение четности хотя бы для одного процесса, где не участвует нейтрино. Только тогда можно будет с полным правом утверждать, что нарушение четности присуще всем слабым взаимодействиям без исключения.

Такие опыты были поставлены весной 1957 года.

На протоны направили пучок отрицательных пионов высокой энергии. В результате столкновения протона с пионом рождаются две «странные» частицы: Λ -частица и K -мезон. Попутно отметим, что способность появляться только попарно — еще одна неотъемлемая странность этих частиц.

Распадаясь, Λ -частица обычно рождает отрицательный пион и протон. Через линию полета исходного пиона (бомбардирующей частицы) и линию Λ -частицы можно мысленно провести плоскость (рис. 3). Теперь проследим, куда полетит образующийся при распаде

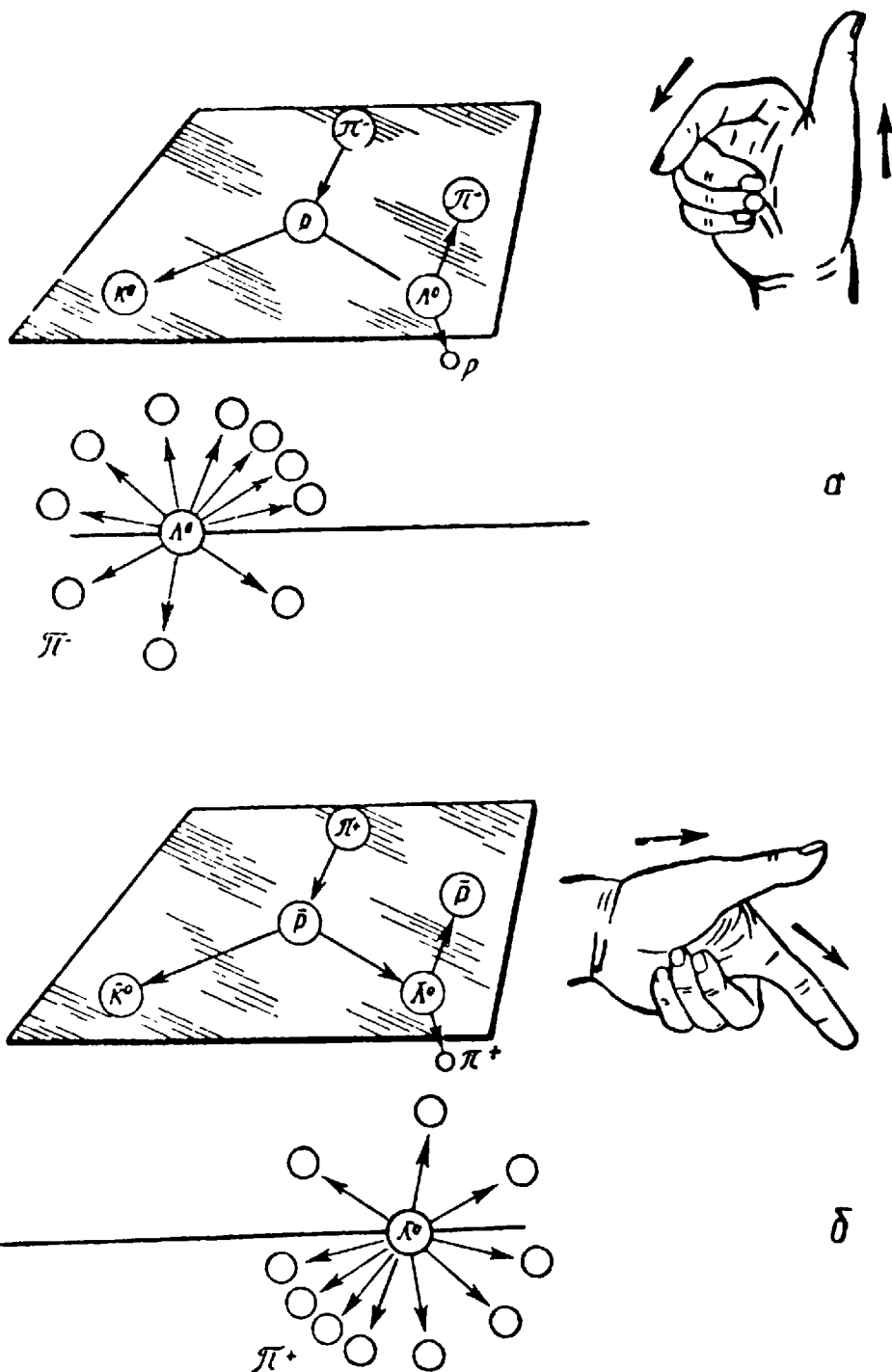


Рис. 3. Распад лямбда-частицы и ее антипода:

а — правило правой руки применяется к образованию и распаду лямбда-частицы (Λ^0). На верхней схеме отрицательный пион (π^-) ударяет протон (p), рождая лямбда-частицу и нейтральный K -мезон (K^0). Лямбда-частица затем распадается на протон (p) и отрицательный пион (π^-). По правилу правой руки отрицательные пионы вылетают преимущественно «вверх» от плоскости, образованной путями лямбда-частицы и нейтрального пиона (π^0); б — правило левой руки иллюстрирует обратную картину для случая образования и распада антиламбда-частицы ($\bar{\Lambda}^0$); здесь все частицы представлены соответствующими античастицами, а знаки пространственных координат заменены на обратные.

Λ -частицы пион. Из всех возможных направлений полета пиона нас будут интересовать только два — «вверх» и «вниз» от воображаемой плоскости. Но где у нас «верх», а где «низ»? Здесь можно условиться о следующем. Если указательный палец правой руки направить вдоль линии полета исходного пиона, а средний — по траектории Λ -частицы, то будем считать, что большой палец указывает «вверх». Конечно, все это условно. Ту же операцию мы могли бы проделать и с левой рукой. Тогда, подобно зеркальному отображению, наши «верх» и «низ» поменялись бы местами. Но нам просто важно как-то отличить одно направление от другого.

Итак, если закон четности верен и природе «безразлично» любое направление, то образующиеся пионы с одинаковой вероятностью будут вылетать и «вверх» и «вниз». Но эксперимент этого не подтвердил. Пионы предпочитали чаще вылетать «вверх».

Так удалось окончательно удостовериться, что природа делает различие в выборе направлений и «правое» неравноправно «левому», а «верх» — «низу». Но так ли это бессмысленно, как кажется на первый взгляд?

Академик Л. Д. Ландау, например, сразу же после открытия Янг Чжень-лина и Ли Цзун-дао обратил внимание, что симметрия в мире не исчезла, наоборот, она приобрела более естественный вид. Л. Д. Ландау пришел к выводу: абсолютная симметрия может быть только в вакууме, где нет полей. Зато реальный мир должен быть несимметричен. Это его непреложное свойство, связанное с «неравноправием» частиц и античастиц, потому что мы живем в мире, где преобладают протоны и нейтроны, а не антипротоны и антинейтроны.

Мир по ту сторону зеркала

Частицы и античастицы. Мы еще не закончили наше путешествие по микромиру, но уже стоим на мосту, который ведет в антимир.

Попробуем вообразить себе зеркало с чудесными свойствами. В нем предмет не просто отражается, это зеркало еще заменяет частицу соответствующей античастицей. Происходит то, что физики называют «зарядовым сопряжением».

Для чего нам нужно такое зеркало? Дело в том, что в слабых взаимодействиях безразлично не только выбираемое направление, но и то, какие частицы участвуют в процессе: частицы или античастицы. Или, как бы сказал физик, слабые взаимодействия не инвариантны ни относительно пространственной инверсии, ни относительно зарядового сопряжения.

Но если обе эти операции провести одновременно, т. е. сменить «правое» на «левое» и наоборот, а частицы заменить соответствующими античастицами, то свойства системы не изменятся.

Чтобы пояснить это, вернемся к нашей аналогии с отражением зеркально-асимметричных предметов. Когда мы смотрим в зеркало, то сердце у нас с правой стороны, а винт, что у нас в руках, имеет правую резьбу. Но если мы повторим такое отражение еще раз, то сердце вернется на левую сторону, левой станет и нарезка винта, т. е. мы получим изображение, полностью тождественное предмету. Аналогично свойство симметрии будет сохраняться в любой системе при замене «левого» на «правое» и частиц на античастицы. Л. Д. Ландау называет это комбинированной четностью.

Из сохранения комбинированной четности следует еще одно интереснейшее правило. Оказывается, все взаимодействия безразличны (инвариантны) к инверсии времени, т. е. описание взаимодействия не зависит от замены «будущего» на «прошедшее»! Это позволяет, например, рассчитать вероятность образования A и B при столкновении C и D , если нам известна вероятность, с которой протекает обратный процесс образования C и D в результате столкновения A и B .

Совсем недавно А. И. Алиханов, Г. П. Елисеев и В. А. Любимов доказали опытным путем (с точностью до нескольких процентов) сохранение «временной», а следовательно, и комбинированной четности.

Комбинированная четность осветила и самый темный участок лабиринта микромира — тот, где обитает нейтрино и его античастица — антинейтрино. Было установлено, что они, подобно фотонам, не имеют массы покоя и спин одной частицы всегда направлен по направлению движения, а другой — противоположно.

Теперь уже ясно, что раз при комбинированной инверсии мы «меняем» частицы на античастицы и «пра-

вое» на «левое», то и направление поляризации должно быть изменено. Непросто было установить направление поляризации для нейтрино и антинейтрино. Но после многочисленных опытов физики установили, что нейтрино поляризованы против направления движения, а антинейтрино — по направлению, т. е. спин первых направлен навстречу движению, а вторых — противоположно.

Закон сохранения комбинированной четности

После всего, что мы рассказали, вполне естественен вопрос: раз закон сохранения пространственной четности не соблюдается в слабых взаимодействиях, почему он должен соблюдаться в сильных или электромагнитных? Ответ на него дал молодой советский ученый В. Г. Соловьев.

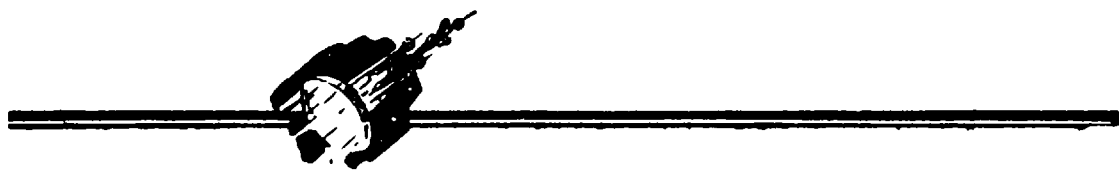
Пространственная четность будет сохраняться только в электромагнитных взаимодействиях и в таких сильных, где участвуют нейтральные пионы. Почему? Теперь нам легко ответить на это. Ведь фотон и нейтральный пион — единственные частицы, не имеющие античастиц, вернее частицы, являющиеся одновременно и античастицами. Поэтому перемена заряда для них ничего не меняет, а значит и «левое» будет равноправно с «правым».

Зато, когда в сильных взаимодействиях участвуют «странные» частицы, закон четности не должен соблюдаться. А раз это так, то поскольку в какой-то мере, пусть небольшой, «странные» частицы принимают участие в промежуточных состояниях или сильных взаимодействиях, то какое-то нарушение закона сохранения пространственной четности будет проявляться и здесь.

Значит, вместо закона сохранения пространственной четности в природе господствует закон сохранения комбинированной четности. А равноправие «правого» и «левого» — это только частный случай, следствие равноправия некоторых частиц с античастицами.

И именно об античастицах пойдет речь дальше.





БЛИЗНЕЦЫ И АНТИПОДЫ

Море Дирака

Античастицы и проблема существования антимиров стали предметом оживленных споров не так уж давно — примерно с осени 1955 года, когда Эмилио Сегре и Оуэн Чемберлен сообщили об открытом ими антипротоне. Но «окно» в антимир было «прорублено» значительно раньше.

В 1928 году знаменитый английский физик Поль Дирак работал над теорией строения электрона. По мысли Дирака, эта теория должна была включить в себя не только новейшие достижения теоретической и экспериментальной физики, но и отвечать тем требованиям, которые вытекали из теории относительности.

Тогда-то и было выведено замечательное уравнение, определяющее магнитные свойства электрона. Несмотря на то, что теория не расходилась с результатами экспериментов, она насторожила многих ученых. И недаром. Новая теория предполагала существование электронов с отрицательной энергией и отрицательной массой. Под влиянием электростатических сил подобные электроны должны были бы двигаться в направлении, противоположном обычным. Нечего говорить, что термины: «отрицательная энергия», «отрицательная масса» были в то время малопонятной абстракцией. В природе частицы с отрицательной энергией не наблюдались, и физики не спешили с признанием «электронов-ослов» (так прозвали тогда дираковские электроны). Тогда Дирак построил теорию, которая стала известна под названием «Море Дирака».

Представьте себе, что электроны попали на уровень с отрицательной энергией. А то, что мы называем пустотой, на самом деле есть бесконечное множество таких вот электронов, которые обладают самым различным запасом энергии. Но электромагнитные и гравитационные поля этих электронов в сумме равны нулю. В этом «море» дираковских электронов, подобно пузырькам воздуха в воде, заключены «пузырьки» свободного от электронов пространства. Когда в такой «пузырек» попадает обычный электрон, происходит взаимное уничтожение «пузырька» и электрона. Уничтожение сопровождается испусканием квантов электромагнитной энергии.

Излишне говорить, что «пузырек» свободного пространства необходимо было чем-то «наполнить». Поэтому некоторые теоретики пытались представить отвлеченную дираковскую идею в виде единственной известной тогда положительной частицы — протона. Но и здесь возникли препятствия. Во-первых, почему в атомах протон и электрон достаточно долго «уживаются» друг с другом, тогда как дираковская теория требует почти немедленного уничтожения противоположно заряженных частиц, а во-вторых, куда девается тогда разница в массе электрона и тяжелого протона? Чем глубже погружались теоретики в море Дирака, тем меньше оно им нравилось. Но на помощь Дираку пришли космические лучи.

Первый посланец антимира

В 1932 году в космических лучах был обнаружен предсказанный Дираком антипод электрона — позитрон (e^+). Равный электрону по массе, позитрон обладал положительным зарядом и противоположно направленным магнитным моментом. Так была обнаружена первая античастица. Первый посланец антимира!

Что же характеризует частицу и античастицу? Главное, что они могут рождаться и уничтожаться без всякого преобразования других частиц, участвующих во взаимодействии. Частица и античастица могут возникнуть и исчезнуть даже в таком процессе, где, кроме них и гамма-квантов, нет ни одной другой частицы.

Под действием кванта могут появиться электрон и позитрон, которые, взаимно уничтожаясь, рожают два кванта. Гораздо реже выделяются три или один квант.



Рис. 4. Образование электронно-позитронной пары при взаимодействии гамма-квантов с ядрами металлического экрана, перегораживающего камеру Вильсона:

1 — электрон; 2 — позитрон.

Запомните это обстоятельство! Для нашего повествования оно будет очень важным.

Энергия кванта, рожающего электрон и позитрон, должна равняться сумме их масс, помноженной на

квадрат скорости света. Так как масса покоя электрона и позитрона очень невелика, то рождение электронно-позитронной пары может быть вызвано даже действием гамма-излучения, испускаемого радиоактивными элементами. Поэтому этот процесс, точно так же как и уничтожение пары, наблюдался физиками задолго до изобретения ускорителей.

На полученном в камере Вильсона снимке (рис. 4) можно видеть изображение перегораживающего камеру металлического экрана. Когда гамма-квант ударяет в экран, из него выбиваются электрон и позитрон, которые под действием магнитного поля камеры закручиваются в разные стороны. Так как массы частиц одинаковы, то и следы их движения мало отличаются друг от друга. Они напоминают длинные усы жука-дровосека.

В преддверии открытия антинуклонов

Первые годы, последовавшие за обнаружением позитрона, были полны напряженного ожидания. Физики искали антипротон. Но прошли целые десятилетия, а позитрон остался единственной античастицей.

Окно в антимир казалось узенькой форточкой.

Протон в 1840 раз тяжелее электрона, и для получения антипротона нужна была энергия не в миллионы, а в миллиарды электронвольт. И, хотя благодатные космические лучи подарили физике пионы и мюоны, т. е. частицы, гораздо больших энергий, антипротоны в них еще не были обнаружены.

Тогдашние ускорители не располагали достаточными энергетическими возможностями. Но, несмотря на это, большинство теоретиков не сомневалось в существовании антипротона.

В чем же дело?

Оказывается, что даже при высоких энергиях вероятность образования антипротона очень мала — в десятки раз меньше, чем, допустим, мезонов. Но даже если антипротон все-таки рождается, вероятность «выжить», т. е. просуществовать какое-то достаточное для обнаружения время, у него очень невелика. Эта античастица поглощается ядром и уничтожается.

Все надежды возлагались на единственный в то время мощнейший ускоритель — бэватрон. Но хватит

ли и у нового ускорителя мощности, чтобы вырвать из антимира отрицательно заряженную частицу с массой, равной массе протона? Большинство физиков было уверено, что хватит. Об этом говорили и прекрасные качества нового ускорителя, и имена исследователей, которым предстояло обнаружить антипротон,— Эмилио Сегре и Оуэна Чемберлена.

Эмилио Сегре окончил Римский университет в 1927 году. Там он и остался работать, сначала ассистентом, затем адъюнктом. В 1934—1935 годах он вместе с великим Энрико Ферми принимает участие в опытах по изучению радиоактивности, вызываемой нейтронами. Вскоре тридцатилетнего Сегре приглашают в Университет в Палермо. Там молодой ученый получает кафедру физики, а несколько позднее становится деканом физического факультета.

В 1937 году Сегре и К. Перье синтезируют один из самых неуловимых элементов таблицы Менделеева «таинственный № 43» — технеций. Фашистская реакция, особенно усилившаяся в Италии перед второй мировой войной, заставляет Сегре покинуть родину. Ученый эмигрирует в США. Там в 1940 году ему удастся заполнить еще одно белое пятно периодической системы. На этот раз был получен элемент № 85 — аstat.

Уже более двадцати лет Сегре работает в Радиационной лаборатории Калифорнийского университета (Беркли). За это время под руководством Сегре были осуществлены исследования по делению атомных ядер, в области сильных взаимодействий, по физике элементарных частиц.

Много талантливых физиков воспитал Эмилио Сегре. Среди них можно назвать имена Ву Чьен-шьюнг (мы уже говорили о ее замечательном эксперименте по проверке несоблюдения закона четности) и Оуэна Чемберлена.

В 1943 году Чемберлен под руководством Сегре выполнил свою дипломную работу. Она была посвящена определению пробега альфа-частиц, испускаемых изотопами плутония. Затем Чемберлен работает сначала в лаборатории в Лос-Аламосе, где определяет период полураспада урана-234, затем — в Чикагском институте ядерных исследований.

С 1950 года Чемберлен вместе с Сегре работает в области физики частиц высокой энергии.

За обнаружение (в октябре 1955 года) антипротона Эмилио Сегре и Оуэн Чемберлен в 1959 году удостоены Нобелевской премии.

Как же был получен первый антипротон?

Единственный среди тысяч

Разогнанные до энергии в миллиарды электрон-вольт протоны выбивают из помещенной в камеру ускорителя мишени целый поток всевозможных частиц. Здесь легкие и тяжелые, заряженные и незаряженные, неустойчивые и долгоживущие, быстрые и медленные. Как же в такой толпе обнаружить один единственный антипротон?

Вспомним опыт, который был поставлен еще на заре атомной физики. Сейчас он известен каждому старшекласснику. Суть его такова: излучение радиоактивных элементов под влиянием магнитного поля разделяется на три части. В одну сторону отклоняются альфа-лучи, в другую — поток бета-частиц, а нейтральные гамма-кванты летят прямо. Поскольку физиков интересовал только отрицательный антипротон, то под действием магнита M_1 с фокусирующим устройством Q_1 все отрицательно заряженные частицы отделялись от пучка протонов и выводились за защитную стену. Затем магнитное поле из потока отрицательных частиц отбирало только частицы с определенными импульсами и направляло их через сделанную в стене щель на сцинтилляционный счетчик. Как известно, импульс есть произведение массы на скорость. Поэтому в счетчик S_1 (рис. 5) вместе с антипротоном устремлялись и более легкие, но обладавшие большими скоростями пионы. На этот раз нужно было как-то отсортировать частицы по скорости движения, а следовательно, и по массе. Проще всего определить скорость частицы, измерив время ее движения на каком-нибудь отрезке пути. Скорость пиона достигла 99% скорости света в пустоте, тогда как антипротон должен был лететь на 23% медленнее. Поэтому новый магнит M_2 с особым приспособлением Q_2 еще раз поворачивал поток частиц и направлял их к счетчикам S_2 и S_3 . Когда частицы про-

ходили через счетчики, то вызывали на экранах вспышки света. Сдвиг вспышек по времени записывался на осциллографах. Отрезок, на котором замерялась скорость частиц, равнялся 12 м. Антипротоны пробегали это расстояние за 51 нсек (10^{-9} сек), а пионы — за 40 нсек. Вначале экспериментаторы предполагали, что каждая тройная вспышка на экранах счетчиков S_1 , S_2 и

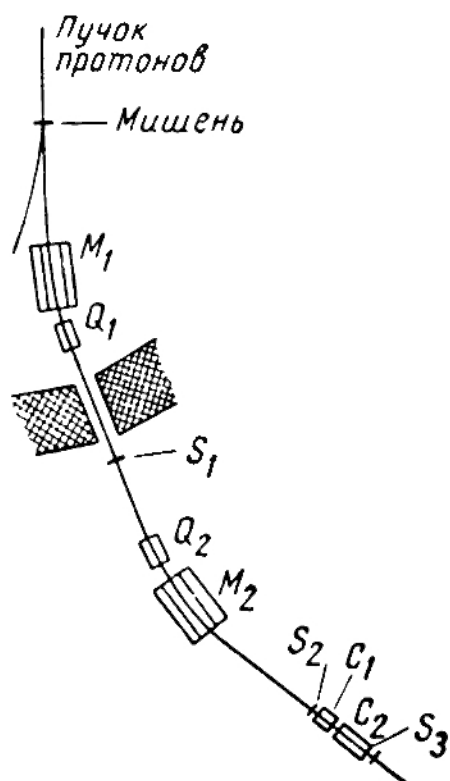


Рис. 5. Схема установки для обнаружения антипротона.

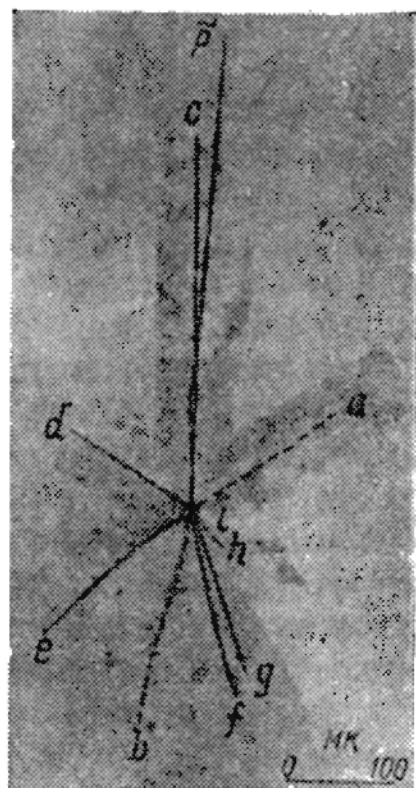


Рис. 6. Звезда, образованная при аннигиляции первого антипротона.

S_3 , при которой S_2 зажжется на 51 нсек позднее, чем S_1 , — след антипротона. Но на самом деле все обстояло сложнее. Слишком уж много пионов приходилось на один антипротон. При таком соотношении очень легко было совпадение импульсов от двух пионов принять за след антипротона. Поэтому к трем имеющимся счетчикам пришлось добавить еще два — C_1 и C_2 . Но это были уже счетчики, основанные на знаменитом эффекте Вавилова — Черенкова.

Черенковское свечение (голубоватый свет, наблюдаемый иногда вокруг стержней в урановых котлах) могут испускать только такие частицы, скорость кото-

рых больше, чем скорость света c в данном веществе, т. е. v больше $\frac{c}{n}$, где n — показатель преломления, а $c \approx 300\,000$ км/сек. Угол, под которым испускается свечение, тоже зависит от скорости частиц. На этом принципе и основаны черенковские счетчики, которые отбирают частицы по скорости. В первом счетчике свечение возникало, когда отношение $\frac{v}{c}$ было выше 79%, а во втором — при $\frac{v}{c}$, составлявшем 75—78%. Благодаря этому пионы давали импульс в C_1 , а антипротоны — в C_2 .

Вот какие хитроумные и тонкие методы понадобились для обнаружения первого антипротона! Хотя импульсы на счетчиках и возвестили о том, что антипротон открыт, ученым понадобились новые, еще более веские доказательства, а именно — аннигиляция. Это было осуществлено с помощью фотоэмульсии. На первой фотографии антипротона виден его все более отчетливый (по мере торможения) след. При столкновении антипротона с ядром фотоэмульсии (рис. 6) происходит уничтожение его и протона ядра. Этот ядерный взрыв сообщает большую энергию множеству частиц. В разные стороны разлетаются два пиона (a и b), быстрый (c) и медленные (d, e, f, g, h, i) протоны. Это первая «звезда» аннигиляции вещества и созданного гением человека антивещества. Первый взгляд в одну из самых сокровенных кладовых природы, где хранятся неисчерпаемые запасы еще неведомой энергии.

Не уничтожение, а превращение

Слово «аннигиляция» образовано от латинского «*ni-hil*» (ничто) и в буквальном смысле означает превращение в ничто, уничтожение.

Физики называют аннигиляцией превращение элементарных частиц, обладающих собственной массой, в другие формы материи, в частности даже в частицы с массой покоя, равной нулю, например в гамма-кванты. Закон сохранения материи при этом не нарушается, изменяется лишь форма существования материи. Суммарные значения энергии импульса, спина и заряда

системы частиц остаются теми же, что и до аннигиляции.

В зарубежной физической литературе нередко употребляются неправильные термины: «аннигиляция материи» и «материализация энергии». Эти термины могут породить идеалистические представления о превращении частиц материи в «ничто», о рождении материи из «чистого» движения. Такие выводы вытекают из неправильного определения понятия материи. Некоторые буржуазные философствующие физики считают материей только те формы, которые имеют собственную массу; фотоны или нейтрино им уже не представляются материей. Взяв на вооружение термины «аннигиляция материи», «материализация энергии», «превращение материи в лучистую энергию» и др., идеалисты говорят, что современная физика доказала возможность исчезновения материи, а следовательно, опровергла материализм. В действительности же эти новые открытия физики лишний раз подчеркивают правильность гениального ленинского положения о том, что выражения «материя исчезает» и «материя сводится к электричеству» и т. п. представляют собой лишь гносеологически беспомощные выражения той истины, что удастся открыть новые формы материи, новые формы материального движения, свести старые формы к этим новым и т. д.

Новейшие достижения физики, выразившиеся в открытии новых элементарных частиц и новых форм движения (процессы, протекающие в ядрах, аннигиляция), только подтвердили основные положения диалектического материализма. Более того, явление аннигиляции характеризует взаимопревращение элементарных частиц и показывает, что не может быть абсолютного разграничения отдельных форм материи, как это утверждают метафизики. Наоборот, при определенных условиях одни формы существования материи могут превращаться в другие.

Чем же характеризуется явление аннигиляции?

Нуль плюс колоссальная энергия

Об аннигиляции пары электрон-позитрон мы уже рассказывали. Разберем теперь, как поведут себя при встрече протон и антипротон. Разлетевшиеся в разные

стороны с околосветовой скоростью пионы уносят выделившуюся энергию. Они претерпевают различные превращения и порождают разнообразные реакции. В итоге вся масса и энергия столкнувшихся частиц окажутся в «распоряжении» пионов, мюонов, фотонов и нейтрино.

Таким образом, при столкновении атома и антиатома должны происходить бурные процессы аннигиляции как электронно-позитронных пар, так и нуклонов и антинуклонов.

Все эти процессы могут быть сведены к одному — высвобождению больших количеств энергии. Пока еще наука не располагает достаточным количеством данных, которые бы дали возможность судить об эффективности использования энергии аннигиляции. Значительная доля этой энергии приходится на поток нейтрино и очень коротковолновые гамма-лучи, которые слабо взаимодействуют с веществом. Поэтому вряд ли в ближайшее время удастся использовать энергию аннигиляции; но, если бы это когда-нибудь удалось, человечество получило бы поистине неисчерпаемый источник энергии. Действительно, при полном взаимодействии вещества и антивещества выделяется в 3 млрд. раз больше энергии, чем при сгорании такого же количества каменного угля, и в тысячу раз больше, чем дает «сжигание» такого же количества урана в атомном котле.

При сгорании 1 кг обычного топлива выделяется энергия в $7 \cdot 10^3$ ккал, ядерный распад высвобождается в 3 млн. раз больше энергии — $2 \cdot 10^{10}$ ккал, термоядерный синтез еще больше — $15 \cdot 10^{10}$ ккал, процесс же аннигиляции дает совершенно фантастическую цифру энергии — $2,15 \cdot 10^{13}$ ккал, т. е. в 133 раза больше, чем при термоядерном синтезе!

Однако изготовление антивещества требует колоссальных затрат энергии. И пройдет немало времени, пока оно станет экономически целесообразным. Кроме того, возникает еще одна пока нерешенная проблема: как хранить антивещество? Какой бы сосуд мы для него ни приготовили, оно моментально аннигилирует, лишь только соприкоснется с его стенками. Такую попытку можно сравнить разве только с желанием сохранить порох в раскаленной печи. И тем не менее уже сейчас

можно наметить принципиальные пути для решения этой проблемы. Но об этом читатель узнает в другой главе.

Мишень, притягивающая пули

До сих пор мы говорили об антиподах заряженных частиц — электрона и протона. Но ведь и у нейтральных частиц могут быть свои антиподы, отличающиеся направлением спина, а следовательно, и магнитным моментом. Одна пара нейтральных частиц (нейтрино — антинейтрино) нами уже упоминалась.

Поэтому читатель уже подготовлен и к рассказу об открытии антинейтрона. Но рассказа, во всяком случае такого, как об антипротоне, не будет. Обнаружение антинейтронов явилось неизбежным следствием открытия Сегре и Чемберлена. Антипротон показал антинейтрону короткую дорогу из антимира в лабораторию физиков. Но все-таки и эта частица доставила ученым кое-какие хлопоты.

Для физиков все обстояло значительно проще, чем нам кажется. Об открытии антинейтрона они рассказали бы нам скорее всего так: он был выделен как продукт перезарядки антипротона. Неясно? Это означает превращение пары протон — антипротон в пару нейтрон — антинейтрон. Или короче: $p + \bar{p} = n + \bar{n}$. [Волна наверху ($\sim$) означает «анти».]

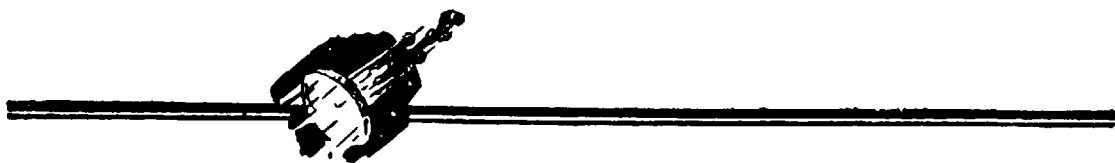
Но мы немного дополним «рассказ» физиков.

Когда быстрый протон залетает в ядро атома, он часто претерпевает превращения и вылетает наружу уже как нейтрон. Это было известно довольно давно. Такое же поведение ожидалось и от антипротона. И вот после рождения антипротона на экране одного из сцинтилляционных счетчиков заметили вспышку света, которая была значительно слабее, чем от антипротона. Значит, в счетчик залетела какая-то неизвестная нейтральная частица, вероятно, антинейтрон. Посмотрим на следующий счетчик. Здесь частица со взрывом исчезает. Есть аннигиляция: это антинейтрон, столкнувшись с нейтроном, превратился в мезонный вихрь.

Когда антипротоны и антинейтроны были обнаружены и изучены, физики натолкнулись на интересный факт. Оказалось, что вероятность участия антипротона

в ядерных реакциях значительно превосходит подобную вероятность для протонов и нейтронов. Может быть, античастицы более активны? Чтобы ответить на этот вопрос, мы должны будем отправиться в самое ядро атома и узнать, как построены нуклоны. Такое путешествие нам еще предстоит. Пока же ограничимся следующим. Нуклоны очень сложны по своему строению и мало изучены. Мы можем представить себе их как непроницаемые «керны» (сердцевины), окруженные облаком пионов. Но для античастиц керны оказываются не только проницаемой, но и притягивающей целью. Если, допустим, пули летят в «молоко», а затем где-нибудь на середине пути свернут и направятся в «яблочко», то, конечно, вероятность поражения мишени будет значительно больше, чем «обычными» пулями.





НА ПУТИ К ЕДИНОЙ ТЕОРИИ

Двенадцать кирпичей Вселенной

Итак, у каждой частицы нашего мира есть антипод, живущий в зазеркалье, в антимире. Только фотон и нейтральный пион, как мы уже говорили, не имеют пары. Правда, можно сказать и по-другому: они одновременно являются частицами и античастицами.

Так или иначе, а мы произвели какое-то разделение, сделали первый шаг по пути классификации обитателей микромира. Но не такое деление характеризует внутренние свойства элементарных частиц. Тем более названия «частица», «античастица» условны. Все зависит от того, что мы будем считать «частицей». Ведь антипротон тоже можно назвать частицей, а протон его «античастицей». Просто с протоном мы познакомились достаточно давно, да и живем мы в мире протонов, а не антипротонов и естественно поэтому считать «частицей» именно протон. Зато с мезонами дело обстоит не так просто. Действительно, что считать частицей, а что античастицей у мюонов: положительный или отрицательный мюон? Любое название здесь будет одинаково правильным и абсолютно ничего не меняет.

Тогда какое же разделение, какая классификация позволит наглядно выявить внутренние закономерности микромира?

В конце сороковых годов американские физики Гелл-Манн и Розенбаум выдвинули казавшуюся в то время бесспорной «теорию строения вещества из двенадцати частиц». В число этих частиц входили прежде

всего «ветераны»: фотоны, электроны, протоны и нейтроны. Именно они дали жизнь таким понятиям, как масса покоя (у фотона ее нет), заряд, которым не обладают фотон и нейтрон, и разделение частиц по величине спина. Такое разделение называют статистикой Ферми — Бозе. Частицы с половинным значением спина (электроны, протоны, нейтроны) получили название фермионов, с единичным (фотон) — бозонов. К этим частицам присоединились и обнаруженные впоследствии античастицы. По величине массы покоя частицы делились на четыре подгруппы: тяжелые частицы — барионы (протоны, нейтроны и их античастицы), средние — мезоны, легкие — лептоны (электрон, нейтрино и их античастицы) и, наконец, фотоны.

Открытие «странных» частиц заставило ввести в теорию новое подразделение, а именно — «странность». Но вместе с тем стало ясно, что внутренние закономерности микромира все-таки не вскрыты. Переходы одних частиц в другие, различные обратимые процессы и превращения — все говорило о каком-то единстве микромира. Мысль о таком единстве буквально носилась в воздухе. Чем больше новых частиц появлялось в таблице, тем упорнее стремились физики свести к минимуму количество основных первородных частиц. Поэтому наряду с процессом открытия новых частиц шел обратный процесс их теоретического сокращения. Физика стремилась к единой теории. Прежде чем рассказать о попытках создания такого рода теории, мы познакомим вас с одним видом взаимодействия — гравитационным и с еще не открытыми квантами тяготения.

Загадка тяготения (гравитации)

Увлеченная победным шествием среди элементарных частиц и атомных ядер, физика сороковых-пятидесятых годов уделяла мало внимания проблемам гравитации. Но интерес к ним начал заметно усиливаться в последние годы. Международные конференции по тяготению, состоявшиеся в 1957 г. в США и 1959 г. в Париже, служат этому достаточным подтверждением.

Как известно, наука о тяготении «родилась» вместе с законом Исаака Ньютона. Современное человечество уже успело свыкнуться с тем, что всякие два тела при-

тягиваются друг к другу с силой, пропорциональной их массам и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

Правда, на вопрос, почему это так, не могли ответить ни сам Ньютон, ни те, кто жил после него. Последователи Декарта пытались объяснить распространение тяготения посредством вихрей неизвестного вещества, которое переносит тяготение от предмета к предмету.

Но за двести с лишним лет такие вихри обнаружены не были. И людям пришлось довольствоваться законом Ньютона, пока Альберт Эйнштейн не создал теорию относительности.

Оказалось, что все материальные тела — гигантские звезды и мельчайшие частицы, планеты и атомы — искривляют пространство. Это искривление проявляется в форме тяготения. Такое небесное тело, как Солнце, в какой-то мере искривляет пространство, и планеты движутся уже не в обычном евклидовом пространстве, а в «прогнутом». В свою очередь Земля (хотя и в гораздо меньшей степени) тоже как-то искривляет пространство. Луна еще меньше искривляет пространство. И так вплоть до электрона.

Теорию искривленного пространства создали русский математик Н. И. Лобачевский, венгр Я. Больяй и немецкий математик Г. Риман.

Лобачевский был уверен, что реальное пространство должно быть хоть чуть-чуть искривлено. Но тогдашняя астрономия не располагала возможностями для такой проверки — только через сто лет была доказана справедливость предвидения великого математика.

Во время солнечного затмения можно фотографировать звезды, кажущееся положение которых на небе близко к Солнцу. Ученые решили проверить, как идет свет от этих звезд. Если кажущееся положение звезды меняется, значит, луч света притягивается к Солнцу и движется в искривленном пространстве. Такое отклонение луча и было зафиксировано. Оно составляло величину около 2 угловых секунд. Это ничтожное искривление блестяще подтвердило теорию. Спустя несколько лет искривление пространства было подтверждено и наблюдением за так называемым красным смещением спектров сверхплотных звезд. Смещение в сторону длинных волн объясняется мощным

гравитационным полем этих небесных тел, один кубический сантиметр которых весит многие десятки тонн.

До последнего времени гравитация не учитывалась при создании теории атомов и их ядер. Однако не исключено, что для объяснения структуры элементарных частиц придется привлечь гравитационные силы.

Современная физика требует пересмотра и детализации различных сторон классической теории тяготения Эйнштейна. Предпринимаются попытки установить отдельные элементы гравитационного поля или, говоря иначе, квантовать это поле, найти связи его с другими формами материи.

Еще Эйнштейн обнаружил, что слабые гравитационные поля распространяются в виде волн, притом со скоростью света. А это значит, что они могут нести какую-то энергию. Да и какая-то часть излучения должна при этом теряться.

Если массу, испускающую гравитационные волны, представить себе в виде некоего гравитационного заряда, то гравитационные волны можно подвергнуть квантованию. Тогда, подобно фотонам электромагнитного и мезонам ядерного полей, должны быть кванты гравитационного поля — «гравитоны». Теория предсказывает значение спинов гравитонов, равное 2.

Итак, у нас есть ультраслабое взаимодействие — гравитационное. Теперь мы можем объяснить и закон Ньютона. Сила гравитационного притяжения осуществляется путем обмена гравитонами, может быть, аналогично обмену квантами в электромагнитном и ядерном полях.

В этом случае, согласно квантовой механике гравитоны должны превращаться в фотоны и другие частицы, и обратно, при аннигиляции частиц и античастиц вместе с фотонами и мезонами будут образовываться также гравитоны.

Автором этих теоретических представлений является известный советский физик Д. Д. Иваненко. С его выводами согласился на Планковской конференции 1958 года первооткрыватель антимира Поль Дирак. Однако далеко не все физики согласны «допустить» гравитоны в микромир.

И все-таки последнее слово, как всегда, остается за экспериментом. Можно не сомневаться, что в ближай-

шие годы будут созданы приборы такой высокой степени точности, которая будет достаточна, чтобы зафиксировать неуловимые гравитационные волны, если они действительно существуют.

Возникает вопрос: как будет проявлять себя гравитация в мире из античастиц, т. е. не будет ли там гравитация антигравитацией?

Эмилио Сегре в октябре 1957 г. на Международном конгрессе по элементарным частицам (Падуа) так прямо и спросил: «Не будут ли антипротоны подниматься вверх, а не падать вниз?»

Прямым ответом на этот вопрос является давно сделанный опыт с отклонением световых лучей во время солнечного затмения. Ведь световой квант (фотон) является одновременно частицей и античастицей. Раз на него действует сила тяжести, значит, она не различает частицы от античастицы. Согласно теории тяготения Эйнштейна в гравитационном отношении частицы и античастицы должны вести себя одинаково. Тогда, даже если комета Аренд — Ролланда, о которой мы говорили в начале книги, и состоит из антивещества, ее хвост должен подчиняться тем же законам тяготения, что и у обычных комет.

Три кита микромира

О том, что частицы могут испытывать самые разнообразные превращения, читатель уже знает. Возможно, он даже подметил, что, несмотря на все это разнообразие, превращения частиц подчиняются определенным законам.

Действительно, тяжелые частицы сами по себе не могут превратиться в легкие, электроны не могут стать фотонами и т. д.

В чем же здесь дело? В физике есть классический закон — закон сохранения электрического заряда. Какие бы изменения и превращения ни претерпевали частицы, все равно алгебраическая сумма их электрических зарядов должна оставаться постоянной. Поэтому при столкновении двух электронов не образуются ни фотоны, ни нейтрино, которые, как известно, электрически нейтральны. Другое дело, если электрон столкнется с позитроном. Алгебраическая сумма разноимен-

ных зарядов равняется нулю, поэтому продукты аннигиляции имеют полное право быть нейтральными.

Подобно закону сохранения электрического заряда, должен существовать и закон, который бы запрещал превращение тяжелых частиц в легкие. Ведь при столкновении протона и электрона не образуются, допустим, позитрон и фотон, хотя согласно закону сохранения электрического заряда это возможно. Так в физике возникло понятие ядерного, или барионного, заряда. Подобно электрическому заряду, барионный заряд может быть либо положительным, либо отрицательным, либо нейтральным. Так, протоны и нейтроны обладают барионным зарядом, равным $+1$, антипротоны и антинейтроны — -1 , лептоны и мезоны — 0 . Чтобы понять всю важность закона сохранения барионного заряда, достаточно на секунду представить себе, что такого закона нет. В этом случае исчезла бы всякая стабильность атомных ядер, возможно, что и сами атомы как таковые перестали бы существовать. А ведь все в мире, в том числе и мы сами, построено из атомов!

Для легких частиц академик Я. Б. Зельдович ввел еще и понятие «нейтринный заряд» и как вытекающее отсюда следствие — закон сохранения нейтринного заряда. Для электрона и нейтрино нейтринный заряд равен $+1$, у позитрона и антинейтрино он соответственно равен -1 . Согласно закону сохранения нейтринного заряда мюон может распадаться на электрон, нейтрино и антинейтрино, но не может, например, распадаться на электрон и два нейтрино, хотя оба предыдущие закона такой распад разрешают.

Эти три закона зарядового сохранения подобны трем китам, которые, по представлению древних, держали на себе Землю. Вернее, они гораздо могущественнее мифических китов, ведь на них держится не только Земля, но и все мироздание. Эти законы строго определяют всевозможные превращения элементарных частиц. Знание этих законов дает нам возможность полнее осветить такой важный для нас вопрос: что такое античастица? Теперь мы с полным правом можем охарактеризовать античастицу как двойник соответствующей частицы, у которого знаки всех трех зарядов изменены на противоположные. Как уже известно, не всякая частица располагает своим антиподом. Фотоны,

рожденные электроном и позитроном, неотличимы. Световой квант — истинно нейтральная частица, частица и античастица одновременно, точно так же, как и нейтральный пион. Кроме них, существуют еще две истинно нейтральные частицы — K_1^0 - и K_2^0 -мезон. Но свойства их настолько неожиданны и изучены еще так мало, что мы ограничимся только их упоминанием.

Теперь, когда введено расширенное понятие заряда элементарных частиц, читателю будет понятна приводимая в приложении таблица обитателей микромира.

Кирпичи мироздания

С древнейших времен человечество грезило о единой основе всего сущего, стараясь представить себе «кирпичи» мироздания. Что такая основа существует, люди чувствовали инстинктивно. В этом инстинкте была и непреодолимая жажда познания, и тайный страх перед загадками времени и пространства, и вековая тоска о бессмертии.

Сколько раз, казалось, основа была найдена. Но проходило время, и новое открытое наукой явление разрушало построенное в пух и прах. И вновь ученые собирали факты, чтобы... еще одна с гигантским трудом воздвигнутая башня рухнула под напором новых открытий. Так создавалась наука, так она крепла и двигалась вперед.

Что, кажется, могло быть убедительнее созданной Ньютоном механической картины мира? Ведь люди тогда думали, что физика — это наука без будущего. Она объясняла все, она включала в себя все, она была проста и логична. Ей больше некуда было развиваться.

Но появились электричество и магнетизм. Потом было обнаружено, что никакое тело не может двигаться со скоростью, большей чем 299 776 км/сек. И ньютоновская механика стала только частным случаем другой механики — релятивистской, механики околосветовых скоростей. Опять нужно было собирать воедино разрозненные и необъяснимые факты, чтобы создать единую теорию, на этот раз на основе электромагнитного поля.

В двадцатых годах нашего века опять попытались создать единую картину мира на базе геометризированной единой теории поля. Успех теории относительности

вызвал к жизни попытку связать воедино гравитацию и электромагнетизм, но в стороне оставались элементарные частицы. А именно они (вернее большинство их) буквально стучались в двери науки, стоя на грани открытия. Дверь распахнулась, и могучее дыхание микромира сокрушило геометризованную теорию, поставив перед учеными множество казавшихся неразрешимыми загадок. Что было потом, читатель уже знает: на смену механической, электромагнитной и геометризованной теориям пришла атомная картина физического мира и ее двенадцать (теперь уже тридцать) частиц.

25 февраля 1958 года в Геттингенском университете с лекцией «Прогресс в теории элементарных частиц» выступил создатель основного уравнения квантовой механики выдающийся немецкий физик Вернер Гейзенберг. Он сообщил, что ему и его сотрудникам удалось вывести математическое уравнение, которое может объяснить всю структуру космоса. В чем сущность нелинейной спинорной теории Гейзенберга? И почему она так называется?

Мы знаем, что все в нашем мире движется, все изменяется во времени и пространстве. Встречаясь друг с другом, физические тела, будь то знакомые нам предметы или же частицы, либо отталкиваются, либо вступают в энергичную реакцию, превращаясь в новые вещества, либо переходят в другие формы существования материи (аннигилируют). Но главное — это то, что они всегда как-то реагируют, как-то изменяются при встрече. Зато световые волны проходят друг сквозь друга, как-будто бы сквозь пустоту. Но, проходя сквозь вещество, эти же волны преломляются или поглощаются, т. е. взаимодействуют с заряженными частицами.

Здесь можно провести аналогию с линейными и нелинейными процессами. Движущиеся тела, обладающие массой покоя и сталкивающиеся между собой математически, описываются нелинейными уравнениями, а движущиеся электромагнитные волны — линейными, поскольку они не вступают друг с другом во взаимодействия и не ведут ни к каким взаимным превращениям.

Но оказывается, что волны могут и взаимодействовать, т. е. волновой процесс может быть нелинейным.

Достаточно вспомнить эффект рождения пары электрон — позитрон, наблюдаемый при столкновении фотона высокой энергии с ядром, или аннигиляцию этой пары в один, два или три фотона. Этот эффект наглядно показывает взаимодействие фотонов между собой, а электронно-позитронная пара служит здесь как бы посредником. Из этого вытекает далеко идущий вывод, что световые волны при встрече не ведут себя, как бесплотные духи. Напротив, они отражают друг друга, а свет рассеивается не только на электронах, но и на окружающем их электростатическом поле. Более того, свет может преломляться не только в веществе, но и в свете.

Пока это только теория, некоторые положения которой лишь косвенно подтвердил эксперимент. Тем не менее эти теоретические предпосылки подвели наш рассказ к самому главному, к квинтэссенции материи.

Прежде всего, чтобы из праматерии могла возникать любая элементарная частица, основное, единое, поле должно быть способно возбуждаться. Различные состояния этого возбуждения и будут характеризовать различные частицы, т. е. каждой частице будет соответствовать определенная степень возбуждения. Теперь мы подвергнем единое поле квантованию и установим самую маленькую «порцию» праматерии. Это и будет «кирпичик», из которого построено все. Каким же спином должен обладать такой «кирпичик»? Если равным нулю, то из этого ничего не получится, так как сколько не комбинируй покоящиеся частицы — вращающуюся все равно не получить. Целый спин нам тоже не подходит, так как из комбинаций целых чисел не выйдет половины. Значит, нас устроит только значение спина, равное $\frac{1}{2}$, как у электрона, протона, нейтрона. Это первый закон праматерии. Вторым законом требует от праматерии взаимодействия только с самой собой. Действительно, ведь, кроме праматерии, ничего другого и нет, а все, что нас окружает, да и мы сами — только проявление основного поля.

Третий закон, о нем мы уже говорили, требует от единого поля обязательного возбуждения. Потому что, если бы поле оставалось в состоянии покоя, у нас был бы только один «кирпичик» со спином $\frac{1}{2}$. И больше ничего.

Так в чем же все-таки суть единой теории? Чтобы ответить на этот вопрос, нам пришлось бы написать спинорное уравнение Дирака и показать, как Гейзенберг его нелинейно обобщил, т. е. произвести математические операции над уравнениями квантовой механики.

Вдобавок нам пришлось бы еще оперировать такими терминами, как «отрицательная вероятность» или «второе гильбертово пространство». Поэтому мы попытаемся лишь приблизительно сказать, к чему, собственно, привело преобразование дираковской формулы и что дает нам новая теория.

Прежде всего мы сравним окончательный вид дираковского уравнения с ключом или, еще лучше, с волшебной палочкой. Стоит взять этот ключ, и мы узнаем, как превратить частицу с полуцелым спином в такую, как нейтральный пион (спин равен нулю) или фотон с единичным значением спина. Это все равно, что прикоснуться волшебной палочкой к одной частице, чтобы получить совершенно другую. Единая теория, например, считает такие частицы, как фотон, K -мезон и пион, высшими состояниями возбуждения спинорной праматерии. Она позволяет вычислить массы и заряды элементарных частиц. Правда, единая теория не дает еще достаточно точных значений и не учитывает гравитацию. Но кто сказал, что теории возникают в готовом виде? Тем более, что единая теория Гейзенберга — не единственный вариант. И слово «единая» не значит «единственная». Но здесь мы должны сделать небольшое отступление и рассказать еще об одном свойстве микромира. Оно научит нас складывать из нескольких частиц одну.

Антимир внутри вещества

Когда мы видим поднятую над землей бабу копра, то прекрасно понимаем, что при падении она совершит работу. Чем выше крановщик поднимает стрелу с бабой, тем больше будет работа. То есть чем больше потенциальная энергия поднятого тела, тем больше будет его кинетическая энергия при падении. Если же связать энергию с массой, то масса бабы и земли (ведь баба падает на землю) будет тем больше, чем выше подня-

та баба. Но силы тяготения не настолько велики, чтобы проявилось подобное изменение массы. И ни один прибор не обнаружит разницы в массе двух систем — земли и лежащей на ней бабы и земли и поднятой бабы, даже если поднять бабу на орбиту спутника.

В микромире дело обстоит иначе. Там действуют уже знакомые нам ядерные силы. Именно их действие диктует микромиру еще один закон. Он гласит, что масса системы связанных ядерными силами частиц меньше суммы масс отдельно взятых частиц. Разница в массе называется «дефектом масс». Вот почему при ядерных взаимодействиях, когда нуклоны обмениваются пионами и претерпевают взаимные превращения, их массы изменяются довольно значительно.

Теперь, когда мы знакомы с дефектом масс, нам будут понятны оригинальные положения теории известного советского физика М. А. Маркова.

Как это ни парадоксально, Марков считает даже не имеющий массы покоя фотон комбинацией тяжелых частиц: протона и антипротона, нейтрона и антинейтрона. Электрические заряды первой и второй нейтральны, поэтому и вся система тоже обладает нулевым зарядом, а титанические ядерные силы приводят к такому сильному взаимопротяжению, что дефект масс становится равным сумме масс отдельно взятых частиц.

Советский ученый считает, что не только фотон, но и любая частица может быть представлена комбинацией частиц и античастиц. Ядерные силы заставили вещество и антивещество слиться. Антимир оказался внутри вещества!

Ну а как же быть со спином? Фотон обладает единичным спином. Поэтому, чтобы полуцелые спиновые значения нуклонов могли образовать единицу, количество их должно быть четным. Почему тогда четыре, а не две или шесть частиц составляют фотон?

Марков предполагает, что такая система наиболее устойчива.

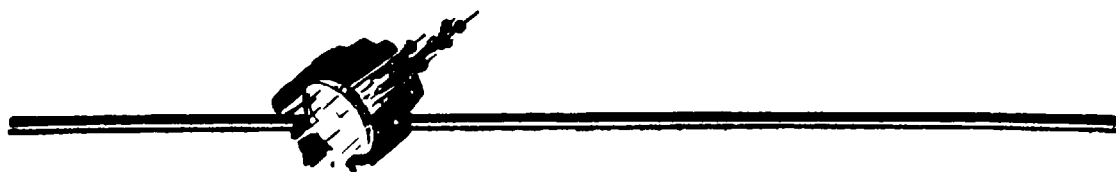
Нулевой спин нейтрального пиона, напротив, составлен из спинов двух частиц: нуклона и антинуклона, которые, как известно, антипараллельны. Эта система неустойчива. Действительно, этот пион быстро распадается. Полуцелые значения спинов у фермионов тоже результат комбинации различного числа нуклонов. Но

на этот раз такое число должно быть нечетным. Ну, а как же быть с гиперонами, масса которых превышает массу нуклонов? Они рисуются Маркову в виде комбинации нуклонов и пионов, связанных особыми силами, характеризующими возбужденное состояние нуклонов.

Здесь уместно упомянуть о недавно обнаруженных «наисверхтяжелых» частицах — гиперфрагментах. Их существование тоже объясняется особым нуклонным возбуждением. Гиперфрагменты представляют собой ядра лития, гелия и других легких элементов, в которых один из нейтронов замещен нейтральной лямбда-частицей.

Только будущее покажет, справедливы ли идеи Гейзенберга и Маркова. Сейчас же ясно только одно, что физика неудержимо стремится к единой картине мира. И чем большим количеством частиц будут располагать физики, тем больше вероятность свести его к минимуму и найти «кирпичики мироздания».





АНАЛИЗ И СИНТЕЗ АТОМОВ

Модели атомов

Наше путешествие по микромиру близится к концу. Нам остается только «побывать» внутри атомного ядра и, может быть, даже внутри отдельных нуклонов.

Кроме того, мы должны познакомиться еще с искусственными атомами.

«Ядра атомов абсолютно безнадежно невидимы», — пишет американский физик Роберт Хофстадтер. И с этим нельзя не согласиться. Хотя очень неприятно признать слово «безнадежно». Очень сомнительно, чтобы в скором будущем человек смог непосредственно увидеть атом. Ведь вспышка на экранах счетчиков, туманные следы в камере Вильсона и в толстослойной эмульсии, т. е. все, чем мы сейчас располагаем, — это только косвенные следы и изображения частиц и ядер.

Электронные микроскопы дают снимки с увеличением в 250 000 раз. Благодаря им человек сумел разглядеть некоторые мельчайшие вирусы и молекулы — гиганты. Но разрешающая способность электронных микроскопов ограничивается величиной 10^{-8} см.

Недавно изобретенный ионный эмиссионный микроскоп еще в 40 раз увеличил возможности человека. Но принятая для измерения радиусов атомных ядер ядерная единица длины «ферми» равна 10^{-13} см, поэтому слово «безнадежно» еще долго будет преследовать человека в его попытках увидеть ядро атома. И долго еще будут говорить — «модель ядра». Самой старой, но еще употребительной моделью является «капель-

ная» модель. Суть ее такова: нуклоны размещены в ядре подобно молекулам в капле воды. Это значит, что плотность «капель» будет постоянной для всех без исключения ядер, а сама «капля» будет иметь ясно очерченную поверхность. Подобно большим и маленьким каплям дождя, ядерные капли будут иметь одинаковую плотность и для больших «капель» урана и для малых — водорода. Поэтому объемы ядер будут пропорционально возрастать с увеличением числа нуклонов. Так как объем шара пропорционален кубу радиуса, то радиусы ядер будут пропорциональны кубическим корням из числа нуклонов. Это дает возможность измерить ядро любого атома. Положительный заряд у ядер атомов и отрицательный у антиатомов равномерно распределен по всему объему «капли». Плотность заряда будет различна для разных атомов, потому что различно отношение числа протонов к общему числу нуклонов. Больше всего она будет у водорода, где в ядре нет нейтронов. Но капля воды — все-таки не атомное ядро. Квантовая теория, например, считает, что плотность ядерного вещества непостоянна и уменьшается от центра к поверхности.

Каково же на самом деле атомное ядро? Пусть его нельзя увидеть непосредственно, но можно постараться его «прощупать». Ведь еще Резерфорд, следя за рассеиванием альфа-частиц, впервые обнаружил, т. е. «нащупал» ядро атома. Построенный в 1951 году в Стэнфорде большой линейный ускоритель мог разгонять электроны до энергии около 1 миллиарда электрон-вольт. Именно такими энергичными электронами (чем больше энергия, тем яснее электрон «чувствует» ядро) и решили основательно «прощупать» ядро. Почему именно электронами? Ответить на это очень просто. Электрон не входит в состав ядра, поэтому между ним и нуклонами будут действовать не таинственные ядерные силы, а хорошо изученные — электромагнитные.

Как же поведут себя электронные пули? Если ядро представляет собой плотный шарик, то, чем ближе к его центру пролетит электрон, тем заметнее отклонится от первоначального пути. А электронная пуля, попавшая в самый центр, может даже сделать поворот и полететь обратно. Если же ядро не имеет четких гра-

ниц, то картина рассеяния электронов будет похожа на дифракцию света через маленькое отверстие.

Если расстояние между светлыми дифракционными кольцами позволяет вычислить диаметр отверстия, через которое шел световой луч, то расстояние между максимумами рассеянных электронов скажет нам о размере ядра.

Когда были обработаны и изучены данные электронного рассеяния, оказалось, что существовавшие модели не могут достаточно полно объяснить эксперимент. Ученые построили новые модели, которые, вероятно, тоже скоро устареют. И так будет до тех пор, пока человек не построит модель, которая даст точное представление об атомном ядре. Но тогда, в это хочется верить, вопреки всем «безнадежностям» и «абсолютностям» человек сможет увидеть ядро.

А пока перед нами новая модель. Это ядро атома золота (электроны бомбардировали тонкую золотую фольгу). Плотность сердцевинки ядра имеет радиус около 4 ядерных единиц. Эту сердцевину (кern) окружает менее плотная «оболочка». К периферии плотность постепенно падает и на расстоянии 9 ядерных единиц практически становится нулевой. Такая, хотя бы и более точная модель, имеет свои недостатки. Очень трудно установить, например, где начинается и где кончается ядро. Когда произвели обстрел других атомных ядер, то была найдена интересная закономерность. Для всех атомов с атомным номером свыше 40 толщина «оболочки ядра» равнялась 2,4 ядерных единицы. Это означает, что с изменением ядер тонкая расплывчатая оболочка не меняется.

Сатурн? Нет, нуклон

Если такие хорошие результаты получаются при обстреле ядер, то почему бы не заняться элементарными частицами? Для начала можно попытаться проникнуть внутрь нуклонов. Для этого можно использовать те же электроны или особо жесткие гамма-лучи. Первые же опыты показали, что зарядовая плотность протона очень плавно убывает к периферии. Что же касается нейтрона, то электрический радиус его оказался равным нулю или во всяком случае во много раз мень-

шим, чем у протона. Это значит, что нейтрон или целиком нейтрален, или внутри нейтрона электрический заряд сосредоточен на расстояниях, в десятки раз меньших, чем у протона. И вообще «элементарные» частицы нуклона оказались похожими на планету Сатурн. Центральная область — сердцевина — окружена у них облаком пионов, которые часто называют «мезонной шубой». Если сердцевина положительна, а «шуба» состоит из нейтральных пионов — это протон; если облако состоит из отрицательных пионов — нейтрон. Но сердцевина протона может быть и нейтральной, только «шуба» тогда будет из положительных пионов. А нейтронное нейтральное ядро окружают соответственно нейтральные пионы.

Известно, что при бомбардировке нуклонов частицами высокой энергии может протекать процесс рождения мезонов. Но это не значит, что с нуклонов сдирается «шуба» и сердцевина остается обнаженной. Нуклон сохраняет свой первоначальный вид. С него ничего не стоит спустить легендарные «семь шкур» — сердцевина все равно не будет голой. И дело здесь не в том, что запас пионов неисчерпаем. Способность рождать пионы отнюдь не означает, что они содержатся внутри нуклонов.

Одна нуклонная структура постоянно переходит в другую; протон и нейтрон представляют собой смесь всевозможных состояний каждого из них. Однако картина нуклонных сердцевин, укутанных в «мезонные шубы», не соответствует данным, говорящим о резком отличии электрических радиусов протонов и нейтронов. О том, что сердцевина нейтрального нейтрона может быть положительно заряжена, мы уже говорили.

Советские ученые Д. И. Блохинцев, В. С. Барашенков, Б. М. Барбашов предложили свою теорию электромагнитного строения нуклонов. Эта теория полностью согласуется с экспериментальными данными. Она предполагает наличие двух видов распределения электростатической плотности: для нуклона в целом и отдельно для его сердцевины. Протон более электроположителен, чем его сердцевина. Последняя, как уже говорилось, может быть и нейтральной. Сердцевина нейтрона соответственно тоже или нейтральна или положительна («в шубе» из отрицательных пионов).

Из этого следует, что внутри нейтрона существуют различные внутренние области. В одних областях находится положительный заряд, в других — компенсирующий его отрицательный. Вот насколько сложным оказалось строение нуклонов.

Первый искусственный атом — позитроний

Начиная еще с классических опытов Резерфорда физики на протяжении четырех десятилетий стремились любым путем разрушить атомное ядро. Непрерывные бомбардировки атомов с помощью самых различных частиц помогли науке разобраться в сложном строении ядер, понять, какие законы и силы управляют микромиром. Не будь физики так упорны в своем старании разбить атомное ядро, человечество не располагало бы сейчас ни внутриядерной энергией, ни многими из искусственных радиоактивных изотопов, не говоря уже о том, что большинство элементарных частиц обязано своим открытием именно такого рода бомбардировкам. Период бомбардировки атомных ядер — это период разрушения. Его можно уподобить тщательному и кропотливому анализу. Но после анализа в науке всегда наступает период синтеза. Действительно, физика сегодняшнего дня уже вступила в эту важнейшую фазу развития. Поэтому здесь мы расскажем о создании искусственных атомов.

Когда мы рассказывали об открытии позитронов, то обратили внимание на одно интересное обстоятельство. Дело в том, что при встрече со своим антиподом позитрон чаще всего аннигилирует на два кванта и гораздо реже — на три или один. Немного позднее мы дадим этому объяснение. А пока предлагаем вниманию читателя первый искусственный атом — позитроний.

Позитроний образуется в момент встречи позитрона и электрона до начала их аннигиляции. На ничтожную долю секунды частица и античастица образуют неустойчивую атомную структуру. Они пускаются в бешеный хоровод вокруг общего центра масс, преследуя друг друга. Электрически позитроний подобен атому водорода, где электрон вращается вокруг протона. Но так как позитрон весит столько же, сколько и электрон, такой искусственный атом приблизительно в 1000 раз

легче водорода. Зато диаметр позитрония раза в два превышает диаметр атома водорода. Время существования позитрония в одних случаях измеряется десяти-миллионными долями секунды, в других — десяти-миллиардными. Но даже за этот ничтожный отрезок времени наши «преследователь» и «преследуемый» успевают сделать около миллиона оборотов. Эта погоня оказывается смертельной для обоих: так и не прикоснувшись друг к другу, они аннигилируют — превращаются в световые кванты.

Почему же все-таки при аннигиляции чаще всего образуются именно два и более фотона, а не один? В физике есть неумолимый закон — закон сохранения количества движения. Сколько бы тел не участвовало во взаимодействии, сумма количества движения у них всегда остается постоянной. Всякому действию присуще равное противодействие.

Если мы стреляем из ружья, то после вылета пули следует неизбежный толчок в плечо — отдача. После вылета одного фотона (в результате аннигиляции электрона и позитрона) неизбежно следует такая же отдача: вылет в противоположном направлении и с тем же запасом энергии другого фотона. Иногда позитрон оставляет после себя три фотона. Теория предусматривает возможность образования еще большего числа квантов, причем выделившаяся при аннигиляции энергия распределяется между ними поровну. Но чаще всего наблюдается исчезновение позитрона с образованием двух (парапозитроний) и трех (ортопозитроний) фотонов. Причем время существования позитрония в первом случае составляет $1,25 \cdot 10^{-10}$ сек, а во втором — $1,4 \cdot 10^{-7}$ сек.

Чтобы понять, почему это так происходит, нам опять придется возвратиться к понятию спина. В момент существования позитрона спины электрона и позитрона могут быть либо параллельны, либо антипараллельны. Значит суммарный спин может быть либо равен единице, либо нулю. Это и определяет возможность существования ортопозитрония в первом случае и парапозитрония во втором.

Закон сохранения моментов количества движения запрещает обладающему единичным спином ортопозитронию распадаться на две частицы. Ведь суммар-

ный спин двух фотонов может быть равным либо двум, либо нулю. Поэтому ортопозитронию остается только одна возможность распада, а именно на три фотона. Два «антипараллельных» фотона дают суммарный спин, равный нулю, а третий фотон определяет единичное значение спина ортопозитрония. Естественно отсюда ждать распада обладающего нулевым спином паропозитрония на два «антипараллельных» фотона.

Орбита внутри ядра

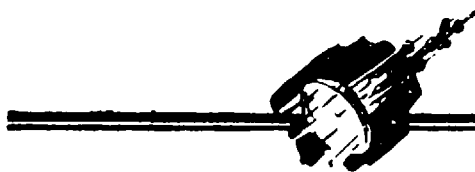
Позитроний — не единственный вариант искусственного атома, или, если можно так выразиться, «псевдоатома». Квантовая теория предполагает возможность образования еще и мезонного атома. Представление о таком атоме можно получить, мысленно заменив электроны, вращающиеся вокруг атомного ядра, отрицательными мезонами. Каждой энергии электрона соответствует определенная орбита. Если атом захватит световой квант, энергия атома увеличится, и электрон перескакивает на более удаленный энергетический уровень. При возвращении электрона на прежнюю орбиту атом выбрасывает энергию опять-таки в виде светового кванта. Атом каждого элемента характеризуется определенным набором орбит. Поэтому и фотоны, излученные ядром, характеризуются тоже строго определенной частотой излучения.

Если в атоме водорода заменить электрон отрицательным мезоном, то мезону тоже будут предоставлены строго определенные орбиты; если электрон заменен мюоном, то диаметр его возможных орбит уменьшится во столько раз, во сколько мюон тяжелее электрона, т. е. в 210 раз. Точно так же уменьшатся и длины волн излучаемых атомом световых квантов. То же будет иметь место и в случае с отрицательными пионами, только здесь диаметры орбит и длины волн ядерного излучения уменьшатся соответственно в 273 раза. Такое уменьшение длины волны приводит к тому, что вместо видимого света атом начинает излучать мягкие рентгеновы лучи с очень малой проникающей способностью. А такие лучи очень трудно обнаружить. Поэтому физики предпочитают иметь дело с тяжелыми мезонными атомами, испускающими более жесткие рентгеновы лучи.

Первые мезонные атомы были получены на синхротроне. Поток отрицательных мюонов замедлялся до тепловых скоростей и захватывался атомными ядрами, а специальные счетчики измеряли длину волны рентгеновых лучей, которые испускали возбужденные ядра различных элементов. В опытах с относительно легкими элементами, такими, как неон и углерод, длина волны ядерного излучения вполне соответствовала 210-кратной разнице масс мюона и электрона. Но когда перешли к опытам с более тяжелыми элементами, энергия рентгеновского излучения резко уменьшилась. В чем же дело? Рассмотрим модель атома свинца, где вокруг ядра вращаются 82 электрона. Если заменить один из них мезоном, то самая ближняя из возможных его орбит будет находиться в $82 \cdot 210$ раз ближе к ядру, чем самый ближний электрон. Иначе говоря, мезонная орбита будет в $82 \cdot 210$ раз меньше диаметра атома водорода (10^{-8} см). Это составит величину, равную $5,8 \cdot 10^{-13}$ см. Но диаметр ядра атома свинца равен $17 \cdot 10^{-13}$ см. Получается, что орбита мюона проходит не где-нибудь, а внутри атомного ядра! И ничего невероятного в этом нет. Непроницаемость присуща только миру больших вещей, миру, среди которого мы живем. В микромире такого свойства просто не существует. Поэтому мюон может совершенно свободно передвигаться в таком сверхплотно упакованном теле, как атомное ядро. Мюон успевает за какие-то 100-миллионные доли секунды совершить внутри ядра триллионы оборотов, после чего он поглощается ядерным веществом. Излишняя энергия взрывает ядро изнутри.

Иначе ведет себя пион. Он очень интенсивно взаимодействует с нуклоном. Поэтому едва пион попадает на ближайшую к ядру орбиту, как сразу же захватывается протоном. Энергия захваченного пиона тоже взрывает ядро с очень большой силой. Это можно видеть по тем звездам, которые образуются в толстом слое фотографической эмульсии. Эти фотографии лишний раз свидетельствуют о том, что элементарные частицы на самом деле вовсе не элементарны.





ТАЙНА СОЗВЕЗДИЯ ЛЕБЕДЬ

Когда бессильны телескопы

«Мы имеем теперь электроны и позитроны, протоны и антипротоны... Это открывает возможность поставить вопрос о существовании антимира. Действительно, у нас есть все частицы, необходимые для того, чтобы составить мир, который будет полностью тождествен нашему миру по всем своим физическим и химическим свойствам, за исключением того, что он весь будет состоять из античастиц. Такой мир был бы абсолютно стабилен и неотличим от нашего мира с помощью астрономических наблюдений».

Эти слова произнес в мае 1956 года в Московском политехническом музее профессор Калифорнийского университета Эмилио Сегре.

Антимир! Где-то в неведомых глубинах космоса существуют антигалактики, вокруг голубых и оранжевых анτισолнц вращаются планеты из антивещества. На некоторых из них существует жизнь: фауны и флоры на них могут быть подобны нашим. В результате миллионов лет эволюций там могли появиться мыслящие существа — такие же, как и люди. Они живут в больших городах, трудятся, любят и страдают, как и мы. Может быть, их физики сумели получить частицы нашего вещества — для них это будет антивещество — и строят гипотезы о существовании нашей галактики — для них антигалактики. Их оптические приборы не в состоянии доказать эти гипотезы, как нам наши. Дело в том, что для наблюдателя, принимающего световые

сигналы или радиоволны, совершенно безразличен способ рождения фотонов. Перескочил ли с одной орбиты на другую, расположенную ближе к ядру электрон или такое же путешествие к антиядру совершил позитрон — результат будет один. Появятся фотоны, и наш наблюдатель увидит световой луч, так и не узнав, откуда он идет — из мира, подобного нашему, или из антимира.

Оптическая астрономия здесь бессильна. Радиоастрономия также не в силах отличить радиоволны от «антирадиоволн», однако именно она позволила человеку получить, быть может, первую весточку из антимира.

Чтобы рассказать о том, как это было, нам придется теперь отправиться не в глубь микромира, а в космический мир галактик, по сравнению с которым наша Земля будет выглядеть, как атом по отношению к Земле.

Мы уже рассказывали, какими приборами пользуются ученые для изучения мира элементарных частиц, мерилom расстояния в котором служит ядерная единица длины. В космосе расстояния обычно измеряются парсеками ($30,8 \cdot 10^{12}$ км), и для его исследования ученые применяют не менее совершенные приборы.

Уши, нацеленные на Вселенную

Радиоастрономия — наука молодая, ставшая самостоятельной в послевоенные годы. Однако оснащена она хорошо.

Среди многих радиотелескопов, которыми располагают разные страны, есть несколько поистине гигантских. Один из этих великанов установлен в Подмосковье на радиоастрономической станции Физического института им. П. Н. Лебедева Академии наук СССР.

В разные стороны вращается зеркальный радиотелескоп. Он представляет собой 22-метровое параболическое зеркало, сделанное из листового дюралюминия. Идущие из глубин космоса сигналы, «голос» Солнца, Луны и планет отражает оно на антену-рупор. Полученные данные обрабатываются сложными электронными приборами. Замечательная точность отделки поверхности рефлектора (качество отделки считается

лучшим в мире) позволяет вести исследования на очень коротких волнах, вплоть до 1 см, благодаря чему удалось проникнуть сквозь сплошной слой облаков, окружающих соседку Земли—Венеру (для оптических телескопов эти облака совершенно непроницаемы).

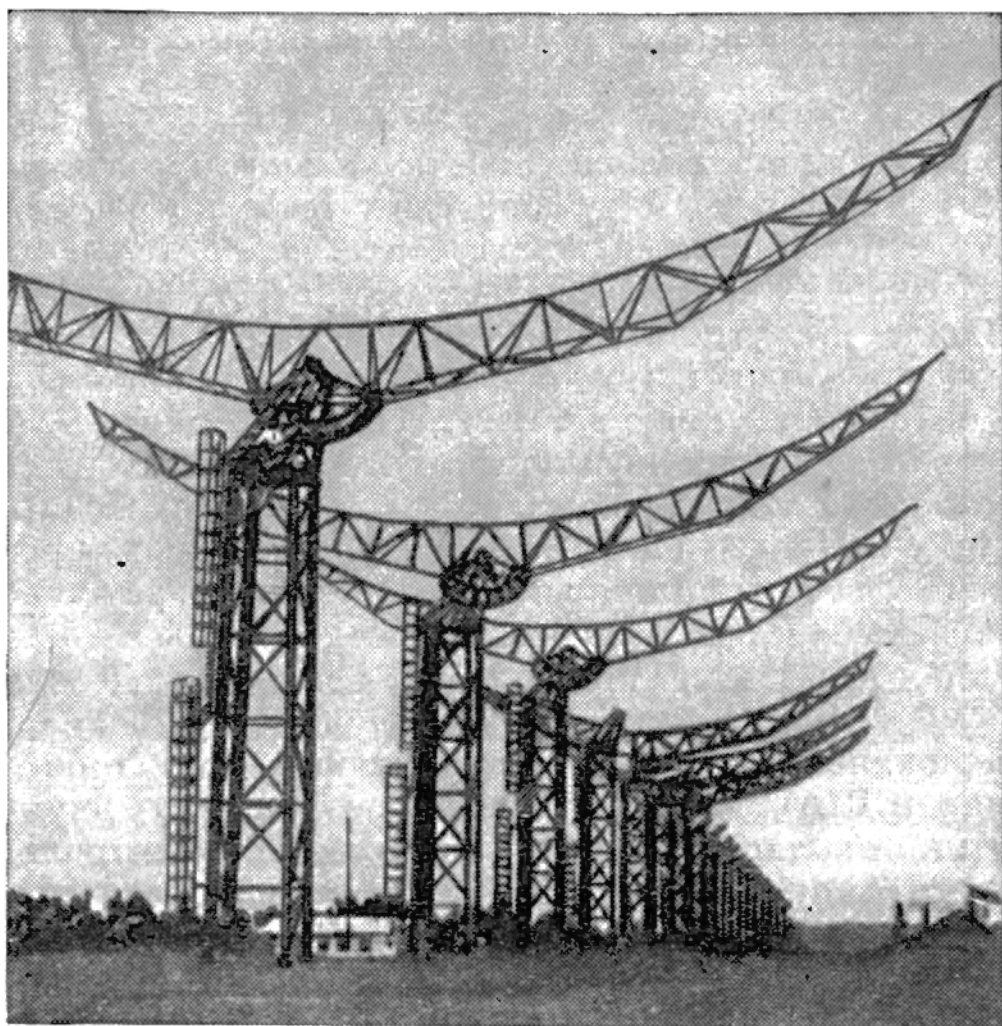


Рис. 7. Строительство радиотелескопа.

Чем дальше от Земли находится неведомый мир, тем слабее его радиосигналы. Поэтому возникает нужда в еще более крупных радиотелескопах, чем только что описанный нами. Так, например, в обсерватории Джодрел Бэнк (Англия) десятиметровой антенной нацелилась в космос исполинская чаша диаметром 76 м. Этот телескоп позволяет ученым «выслушивать» космические события, происходившие многие миллионы

лет назад. С его помощью удастся проникнуть в космос на расстояния свыше 1 миллиарда световых лет. Но это далеко не предел. У нас в Советском Союзе скоро войдет в строй радиотелескоп (рис. 7), который даст возможность исследовать области Вселенной, отстоящие от Земли на миллиарды световых лет.

Крик столкнувшихся галактик

В последние годы астрономы открыли небесные тела, излучающие радиоволны подобно тому, как видимые нами звезды излучают свет. Нередко случается, что эти источники радиоизлучений находятся в месте расположения видимых небесных тел (Крабовидная туманность и другие остатки взорвавшихся звезд). Были и такие случаи, когда радиоизлучение шло из мест, где оптические приборы, казалось, не установили присутствия видимых космических тел. Внимание астрономов всего мира устремлено к созвездию Лебедя (оно отстоит от Земли на 270 миллионов световых лет), где находится самый мощный источник радиоизлучения. Этот источник был назван Лебедь А.

Много раз пытались сфотографировать Лебедь А с помощью оптических телескопов. И только очень совершенный телескоп, установленный на горе Паломар (США), дал поразительную картину двух галактик, входящих одна в другую. Их центральные области были сильно искажены; напрашивалась мысль, что они смяты чудовищной силой гравитационного взаимодействия, возникшего при лобовом столкновении.

Столкновение галактик (рис. 8), конечно, не означает столкновения отдельных звезд, расстояния между которыми измеряются сотнями световых лет. Сами звезды остаются без изменения, но пути их движения под влиянием взаимного притяжения сильно искажаются. Столкновение газовых и пылевых облаков галактик изменяет форму последних, при этом возникает температура порядка 100 миллионов градусов.

Межзвездная пыль и газ взаимопроникающих галактик при столкновении начинают светиться, изменяются и рушатся магнитные поля, возникают мощные электрические явления, сигналы от которых через сот-

ни миллионов световых лет достигают земных радиотелескопов.

Итак, можно предположить, что столкнулись две галактики, две гигантские звездные системы. Но как при этом возникло такое интенсивное радиоизлучение? Исследования мощности и спектра радиоизлучения по-

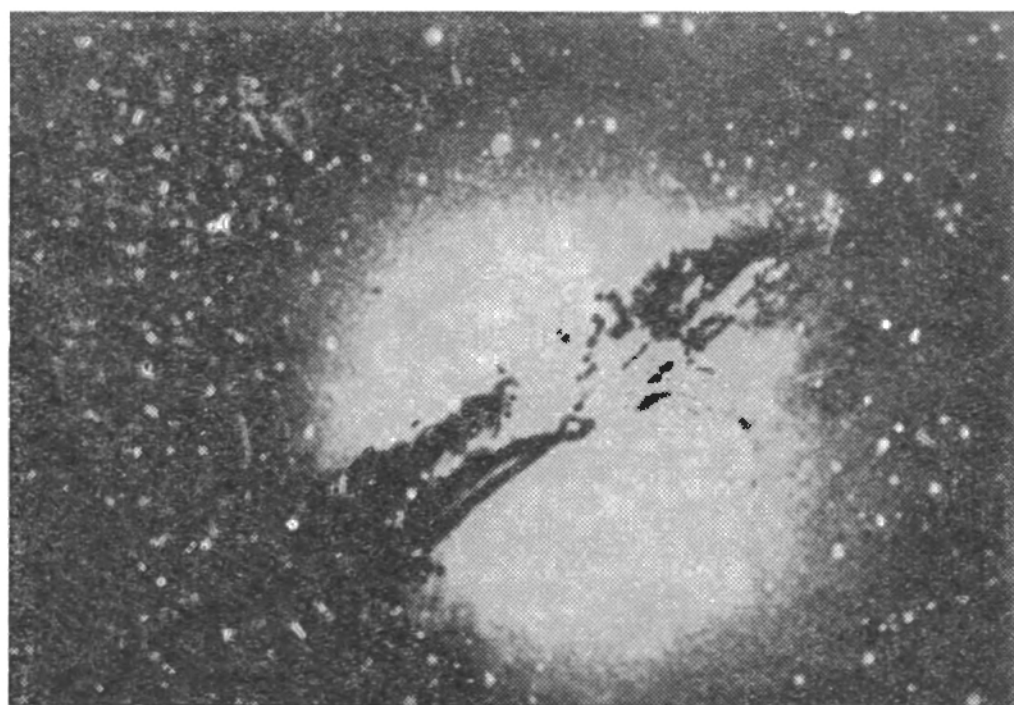


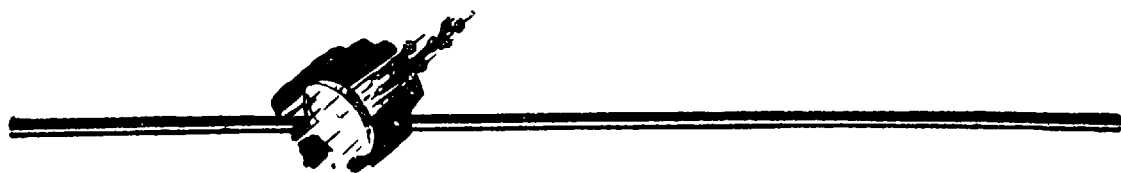
Рис. 8. Столкновение двух спиральных галактик NGC-5128; плоскости галактик взаимно перпендикулярны.

казали, что оно не может возникнуть в результате нагревания столкнувшихся газов. Сгустки радиоизлучения Лебедя А обнаружены в двух точках, разделенных расстоянием 120 000 световых лет. Это почти в три раза превышает видимую протяженность галактики. Тогда, может быть, эти источники излучения расположены в рассеянных облаках столкнувшихся газов? Но откуда тогда такая огромная энергия радиоизлучения, в 10 раз превышающая световую энергию столкнувшихся галактик? Разреженные наружные части галактики не могут излучать ее. Возникло смелое предположение, что в созвездии Лебедь галактика столкнулась с антигалактикой или вошла в облака газа, состоящего из атомов антивещества. Плюс-вещество столкнулось с ми-

нус-веществом! Тогда легко можно объяснить такое колоссальное выделение энергии.

Однако такая гипотеза кажется фантастической и пока далеко еще не строго обоснована. Многие ученые считают, что Лебедь А — не столкнувшиеся, а наоборот, расходящиеся галактики. Но только будущее позволит пролить свет на тайну созвездия Лебедь.





С ОКОЛОСВЕТОВОЙ СКОРОСТЬЮ

Дорога в пять парсеков

Даже ближайшие звезды отстоят от Земли на расстояния, измеряемые световыми годами. От других же звезд свет идет сотни, тысячи и даже миллионы лет. И мы видим эти звезды не такими, какие они есть в данный момент; мы видим их далекое прошлое. Скорости же любого даже самого фантастического космического корабля поставлен предел — скорость света c .

Не означает ли это, что расстояния в сотни световых лет недоступны для исследователей космоса? Та же теория относительности, которая ограничила скорость движения корабля, предоставляет человеку великую возможность сокращения пространства и выигрыша времени. Если корабль будет двигаться со скоростью, близкой к c , то относительно земных часов течение времени в корабле замедлится; это будет тем заметнее, чем ближе скорость корабля к c . Уже при скорости в 0,995 c время на корабле по сравнению с земным замедлится в 10 раз. На Земле пройдет 10 лет, а космические путешественники станут старше лишь на год.

Человеческий организм в какой-то мере можно сравнить с часами. Человеческое сердце — это мерило времени. За секунду сердце делает один удар, за минуту — 60, за час — 3600, за сутки — 86 400. И так год за годом. Много ударов сделает сердце, пока человек состарится. Точно так же, как сердце, отмеривает время каждый орган человеческого тела. Если предположить, что все эти «живые маятники» остановятся (причем с

тем условием, что в организме не произойдет необратимых изменений), а через несколько десятков лет возобновят свою работу, то организм не почувствует перерыва — он не состарится, хотя пройдет уже много

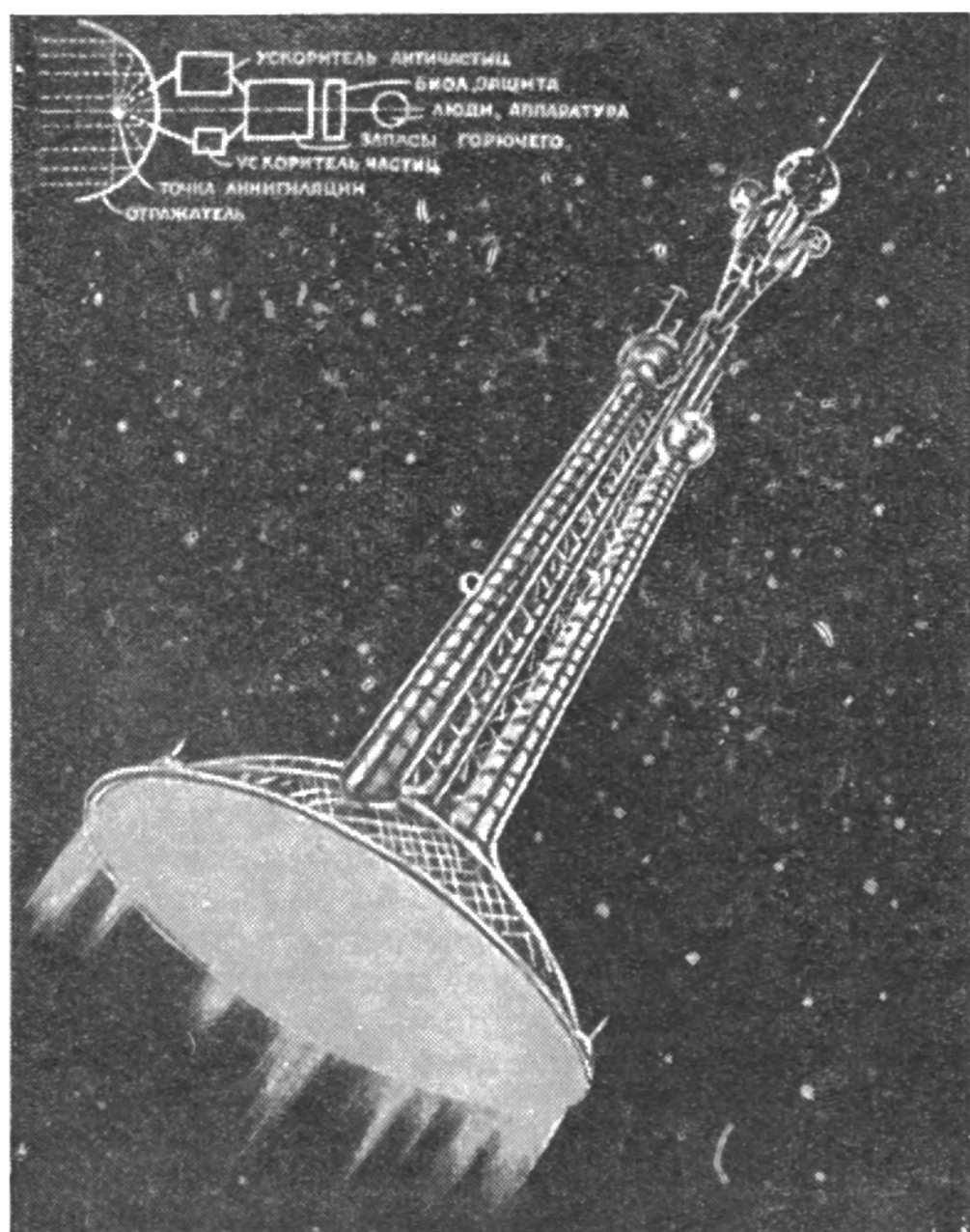


Рис. 9. Фотонная ракета.

лет. При скорости космического корабля в 0,995 с за одну земную минуту сердце космонавта сделает не 60, а только 6 ударов. То есть одна земная минута будет соответствовать только одной десятой минуты по часам космического корабля. Значит и расстояние в 100 све-

товых лет при скорости в 0,995 с потребует не 100,5 года полета, а в 10 раз меньше. Такой поразительный выигрыш времени — прямое следствие теории относительности. И когда прошедшие лет 30 в космическом пространстве космонавты вернутся на Землю, на ней пройдет уже 300 лет! Учитывая продолжительность человеческой жизни, экипажи ракет, движущихся с околосветовой скоростью, смогут удалиться от солнечной системы на расстояния, допустим, в 5 парсеков (16 световых лет, или 150 000 000 000 000 километров) и посетить планеты сорока двух звездных систем: Альфу-Центавра, Проксима А, Тау-Кита, Альтаир, Сириус А и др. Настанет время, и этого человеку покажется мало! Стремясь достигнуть более отдаленных миров, люди будут отправляться в путешествие с планет, все дальше и дальше отстоящих от нашей солнечной системы!

Какие же пути для достижений околосветовых скоростей можно хотя бы наметить уже сейчас?

Скорость ракет зависит от скорости истечения газа из сопла. Химическое горючее позволяет достигнуть скорости истечения около четырех километров в секунду, атомная энергия даст возможность достичь скоростей порядка десятков тысяч километров в секунду. Существуют проекты ионных и фотонных ракет, которые позволят достичь еще больших скоростей.

Ионные ракеты (если их когда-либо построят) будут двигаться за счет выбрасывания электрических заряженных частиц (электронов, ионов). Это даст возможность развить скорость 150 000—200 000 километров в секунду.

Но мы более подробно будем говорить только о фотонных ракетах (рис. 9). И вот почему. Принцип фотонных двигателей — это создание и отбрасывание назад мощного потока квантов электромагнитных излучений — фотонов. А какой процесс, кроме хорошо известной читателю аннигиляции, может быть пригоден для этого? Только аннигиляция позволит освободить всю энергию, скрытую в веществе и антивеществе.

Порох в раскаленной печи

Но как осуществить идею фотонной ракеты? Как преодолеть десятки труднейших, на первый взгляд непреодолимых препятствий? Одна проблема хранения

антивещества (мы уже приводили пример пороха и пещи) грозит тупиком. А сколько еще подобных проблем предстоит решить! Взять хотя бы такую: аннигиляционное горючее фотонной ракеты должно представлять собой заряженные частицы, а между ними неизбежны силы электростатического притяжения. О величине этих сил можно судить из следующего примера. Взаимопритяжение грамма позитронов и грамма электронов, разделенных промежутком в сантиметр, можно сравнить с тяжестью Луны! А запас позитронов или антипротонов на фотонном корабле должен исчисляться не граммами, а десятками тысяч тонн. Как же быть? Попробуем вступить на путь научной фантастики.

Представьте себе мощнейший конденсатор, который длительное время накапливал все большее и большее количество электричества. Наконец в каком-то замкнутом объеме произошел мгновенный электрический разряд. В каждом кубическом сантиметре этого объема выделится мощность, равная мощности по крайней мере нескольких Куйбышевских ГЭС! В результате возникнет колоссальная температура порядка нескольких миллионов градусов. Вещество при этих условиях сильно видоизменяется. Вместо молекул и атомов образуется беспорядочная смесь ядер и электронов, которые с большими скоростями мечутся в пространстве. Чем выше температура, тем больше сорванных электронных оболочек. В таком состоянии вещество находится в недрах звезд. Подобное состояние, когда вещество теряет привычные для нас свойства, называют плазмой. Плазму можно нагреть до такой температуры, которую не выдержит никакая стенка. Отсюда вытекает невозможность создания сосудов (имеются в виду сосуды из обычного вещества) для хранения горячей плазмы. Точно так же, как антивещество уничтожит сосуд в результате аннигиляции, горячая плазма испарит его. Но обуздать горячую плазму, «запрягать» ее в замкнутый сосуд все же можно. Наука нашла здесь очень интересное решение.

Ученые рассуждали так: если высокотемпературная плазма так агрессивна, нельзя ли противопоставить ей такую «стенку», которая была бы безразлична к температуре? Такая «стенка» есть — это электромагнитное поле. Но как замкнуть его в своего рода бутылку?

Всякая заряженная частица искривляет траекторию своего движения под влиянием сильного магнитного поля. Если уподобить силовые линии магнита катушке, то траекторию частицы можно сравнить с наматывающейся ниткой. Магнитные силовые линии могут стать преградой для заряженных частиц плазмы. Из кольцевых магнитных линий можно создать замкнутую трубку, в которой, как в бутылке воду, можно будет хранить плазму. Это дает нам право надеяться, что в будущем удастся создать и «бутылку» для хранения античастиц, и в этом случае надежда возлагается на магнитные «бутылки». Сквозь невидимые магнитные стенки ни изнутри, ни снаружи не сможет прорваться ни одна частица. В таком сосуде можно будет безбоязненно хранить запасы античастиц, не опасаясь аннигиляции.

Конечно, магнитное хранилище антивещества представляется мало похожим на магнитные «бутылки», в которых должна быть осуществлена управляемая термоядерная реакция. Прежде всего фотонному кораблю нужны такие хранилища, которые могли бы существовать без расхода энергии. Ведь «бутылки» для плазмы образуются посредством текущего по металлическим обмоткам электрического тока. Хранилища же аннигиляционного горючего будут построены где-нибудь в космосе. Затраченная на их постройку энергия не будет нуждаться в пополнении. Этому отчасти способствует холод межпланетного пространства. При температурах, близких к абсолютному нулю, наступает, как известно, явление сверхпроводимости. Металлы теряют электрическое сопротивление. Поэтому циркулирующие в таких сверхпроводящих замкнутых контурах токи никогда не угаснут.

Таких «бутылок» будет сделано много. Причем предполагается они будут следующим образом: за бутылкой с позитронами будет следовать бутылка с электронами и т. д. Это позволит установить своеобразное электростатическое равновесие, и силы притяжения разноименных зарядов будут значительно уменьшены.

По мере расхода частиц появится все больше опорожненных «бутылок». Они тоже послужат топливом для фотонного корабля.

Невидимое зеркало

Допустим, что все проблемы решены. Осталась только одна — двигатель. Каким же должен быть этот преобразователь вещества — антивещества в поток фотонов? Прежде всего он будет представлять собой сферически вогнутое зеркало, изготовленное из пока еще не изобретенного сплава, так называемого «абсолютного отражателя». В фокусе этого зеркала будет находиться точка аннигиляции, в которой ядерное горючее превратится в свет и быстрые частицы.

Читатель наверное догадался, что именно здесь ему придется столкнуться с еще одной, конечно, тоже пока не решенной проблемой. Ведь образующиеся после аннигиляции кванты не смогут отразиться ни от какой твердой поверхности, будь это даже чудесный «абсолютный отражатель». Фотоны либо пробьют зеркало, либо застрянут. Застревание же кончится тем, что зеркало превратится

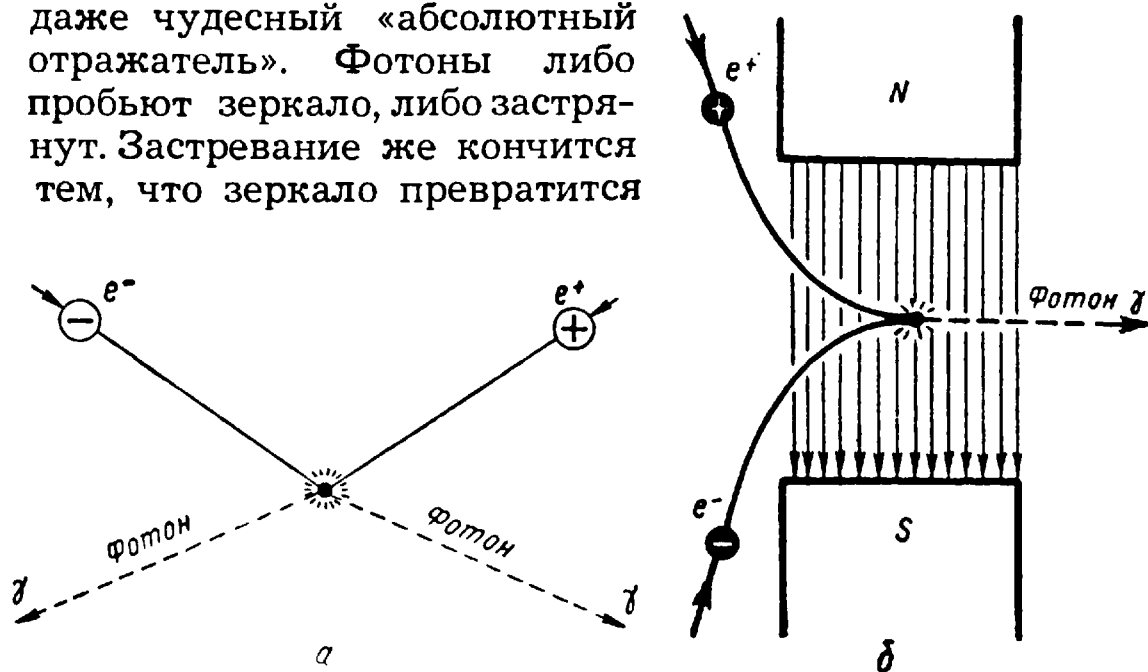


Рис. 10. Аннигиляция электронно-позитронной пары:
а — обычный случай; б — в магнитном поле.

в раскаленный пар. Выходит, что реактивной струи фотонов получить нельзя? Да, от твердого зеркала — нельзя.

Мы уже говорили, что при аннигиляции электронно-позитронной пары образуются чаще всего два кванта (рис. 10). Вот, если бы можно было получить только один квант, тогда нашелся бы и выход из тупика.

Но один квант получить нельзя,—скажет читатель, если он внимательно прочел раздел, в котором рассказывается о позитронии,—что же тогда воспримет импульс отдачи? Этот толчок приклада в плечо стрелка?

Но все обстоит не так безнадежно. При известных условиях в электромагнитных полях большой напряженности возможно испускание только одного кванта. Именно поле возьмет на себя импульс отдачи, именно оно «подставит плечо».

При определенной конфигурации электрических и магнитных полей в результате аннигиляции каждой пары будет выделяться только один фотон и лететь в определенном направлении. Так мы сможем сформировать фотонную реактивную струю. И наша фотонная ракета с околосветовой скоростью вырвется за пределы солнечной системы, к звездам.

К звездам!

Мы не ставили себе целью обсуждение возможностей «плавания» в космос с околосветовыми скоростями. Мы не говорили ни о стартовой массе, ни о метеоритной опасности, ни о межзвездном газе. Если мы и коснулись космических проблем, то лишь потому, что они в той или иной мере были связаны с антивеществом, рассказать о котором нам хотелось возможно полнее. На самом же деле для создания фотонного или какого-либо другого звездолета придется решать гораздо более сложные и многочисленные задачи. Это проблема, которую предстоит решить потомкам. Нам же хотелось лишь познакомить читателя с многообразием проявлений материальной природы. Той природы, которую человек познает и постепенно заставляет служить себе. Сейчас трудно сказать, где найдет свое применение антивещество. Настанет день, и будет получен первый антиатом. Сначала антиводород, потом антигелий и так до самого последнего номера таблицы Менделеева; сегодня он 103, кто знает, каким он будет через много лет.

Энергия, которую таит антивещество — поистине космическая энергия. Антивещество и полет к звездам — это завтрашний день человечества.

Настанет день, когда на удаленном от Земли астероиде закончатся последние приготовления к старту.

Включится кибернетическое управление старта, и, по-
винувшись заданной программе, в действие вступят про-
тонные и антипротонные ускорители. Широкая, осле-
пительно яркая струя стартового пламени, сжигая все
на своем пути, ударит в поверхность маленькой обре-
ченной планетки. Будь этот старт на Земле, квантовая
струя уничтожила бы на ней все живое.

Стремительно летящий звездолет бомбардируют
космические частицы. При ударе в обшивку они могут
разогреть ее и создать сильное ядерное и рентгенов-
ское излучение. Но незримые защитники — электро-
магнитные поля — надежно защищают звездолет, от-
клоняя потоки заряженных частиц. Направленный впе-
ред небольшой фотонный луч расчищает путь кораблю.
Метеориты фотонная струя уничтожит еще далеко от
корабля, который будет мчаться вперед, вслед за фо-
тонным лучем. Не полетом фотонной ракеты кончается
наш рассказ. Будет ли создан такой звездолет или че-
ловечество найдет другие, совершенно новые принципы
передвижения в космосе, сейчас трудно сказать. Но
одно уже ясно — завтрашний день начинается именно
сегодня. Поэтому читателя ожидает сейчас последнее
путешествие не в микромир, не к далеким галактикам
и не к звездам на фотонном корабле. Наше путешест-
вие закончится в небольшом городке под Москвой.





ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Дубна — молодой город. Но молодость не мешает Дубне служить замечательным примером международного содружества ученых, посвятивших свою деятельность великому делу мирного атома.

Двенадцать социалистических государств основали здесь в 1956 году Объединенный институт ядерных исследований. Здесь трудятся ученые, чьи имена известны всему миру: академики Н. Н. Боголюбов, В. И. Векслер, И. Е. Тамм, члены-корреспонденты Академии наук И. М. Франк, Г. Н. Флеров (СССР), профессора В. Вотруба (Чехословакия), Л. Инфельд и М. Даныш (Польша), вице-президент Болгарской академии наук, директор Института физики Георгий Наджаков, декан физико-математического факультета Ханойского университета Ле Ван Тхиен (Вьетнам), директор Института физики при Лейпцигском университете Густав Герц (ГДР), китайские ученые Ван Ган-чан и Ху Нин, профессор Университета им. Ким Ир Сена Ким Хен Бон (КНДР), действительный член Комитета науки Монгольской Народной Республики Содном Намсарайн, руководитель лаборатории Института ядерной физики Хория Хулубей (Румыния), венгерский физик Лайош Яноши и многие другие.

Объединенный институт ядерных исследований известен всему миру не только своими учеными, но и одним из крупнейших в мире ускорителей — синхрофазотроном.

Этот атомный исполин построен у нас в стране и безвозмездно передан советским государством Объ-

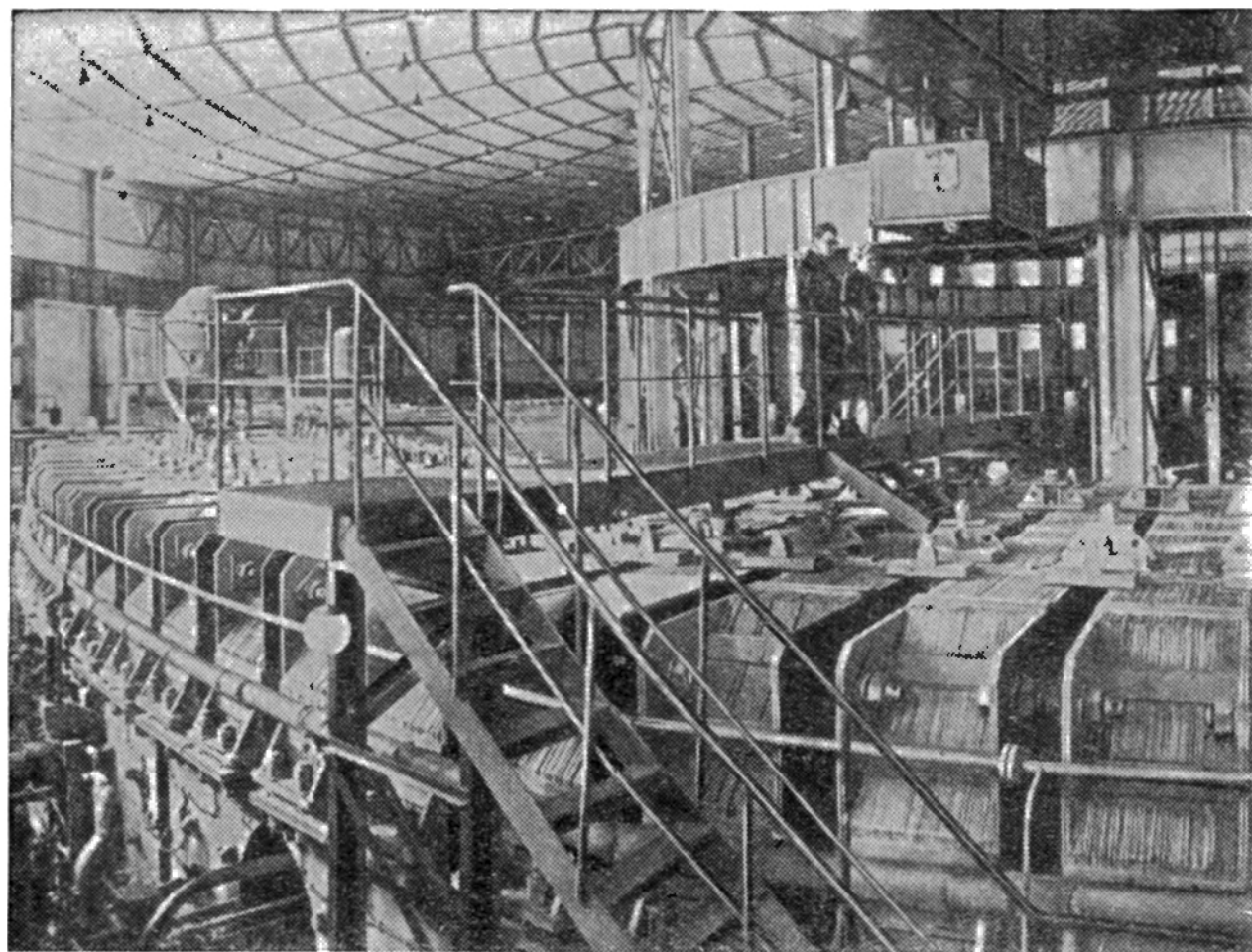
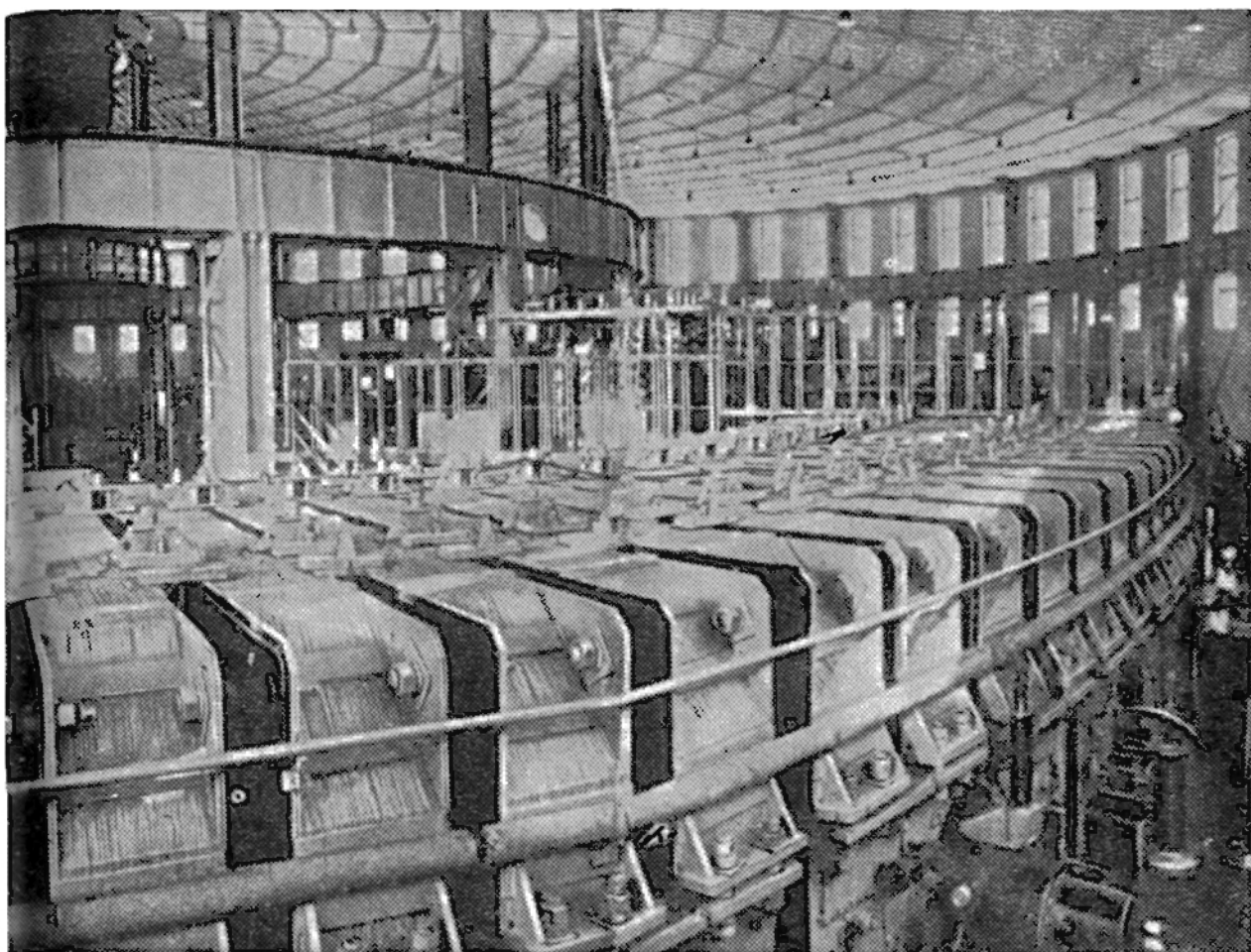


Рис. 11. Общий вид

единенному институту. Он способен ускорять протоны до скорости света и сообщать им энергию в 10 млрд. электронвольт.

Синхрофазотрон установлен в большом круглом здании. Основной агрегат ускорителя—кольцевой электромагнит (рис. 11)—занимает почти все пространство огромного, похожего на стадион зала. Обмотка электромагнита представляет собой шестисоттонную медную шину. Ее пришлось собирать уже при монтаже электро-транспортной. Сам электромагнит весит 36 000 тонн, диаметр его внешнего кольца 70 метров, объем зданий, занятых под различную аппаратуру исполкома ускорителя, составляет 335 000 куб. метров. В них, кроме основного оборудования, установлено 500 панелей, щитов и пультов, тысячи всевозможных реле, контрольно-измерительных приборов и аппаратов управления.



синхрофазотрона.

Специальная мощная электрическая подстанция, способная обеспечить электричеством целый город, построена только для того, чтобы дать ток обмоткам электромагнита! Одного только электрического кабеля проложено около тысячи километров!

Попробуем мысленно проделать путь, который проходят протоны в ускорителе. Начало этого пути — баллон с водородом, откуда газ поступает в протонный источник. Там, подобно ядрышкам орехов, протоны «очищаются» от окружающих их электронных оболочек. Далее их путь лежит через фарфоровую ускорительную трубку, из которой они вылетают, обладая энергией в 600 000 электронвольт. Теперь их ожидает огромная цистерна — это линейный ускоритель, который увеличивает энергию частиц до 9 миллионов электронвольт. Система пластин направляет эти разогнан-

ные протоны непосредственно в камеру ускорителя. Всего за 3,3 секунды протоны, сделав 4,5 миллиона оборотов, проходят внутри камеры путь, в два с половиной раза превышающий расстояние от Земли до Луны!

При каждом обороте высокочастотное поле сообщает протонам добавочный импульс энергии. По мере увеличения энергии частиц растет и мощность магнитного поля, которое заставляет протоны двигаться по одним и тем же круговым орбитам. После того, как частицы достигнут необходимого уровня энергии, они через узкое отверстие в бетонной стене толщиной 8 метров направляются в павильон с установками для физических исследований. Иногда протонные пули нацеливаются и на мишени, установленные внутри камер. Протоны бомбардируют ядра вещества, дробят их и рожают другие элементарные частицы. Совсем недавно, в конце марта 1960 года, весь мир узнал о замечательном открытии, сделанном группой ученых Объединенного института ядерных исследований. Обнаружена новая, ранее не наблюдавшаяся частица, новый гость антимира — антисигма-минус-гиперон.

Само название нового члена семьи микромира говорит о том, что это прежде всего античастица, относящаяся к группе гиперонов. Науке известны положительно заряженный сигма-плюс-гиперон, отрицательный сигма-минус-гиперон и нейтральный сигма-нуль-гиперон. Таким образом, «новорожденный» является антиподом сигма-минус-гиперона. Подобно ему, антисигма-минус-гиперон весит 2340 э. м., но, естественно, обладает противоположным (положительным) зарядом. Продолжительность жизни антисигма-минус-гиперона составляет $1,2 \cdot 10^{-10}$ сек, после чего он распадается на положительный пион и антинейтрон, подобно тому как сигма-минус-гиперон рождает после себя отрицательный пион и нейтрон.

Как же была обнаружена новая частица?

В результате бомбардировки бериллиевой мишени ускоренными в синхрофазотроне до 10 миллиардов электронвольт протонами образуются отрицательные пионы. Они-то и направляются для дальнейших исследований в пузырьковую камеру. Эта камера представляет собой более совершенный аппарат, чем камера Вильсона, хотя и предназначена она для тех же целей.

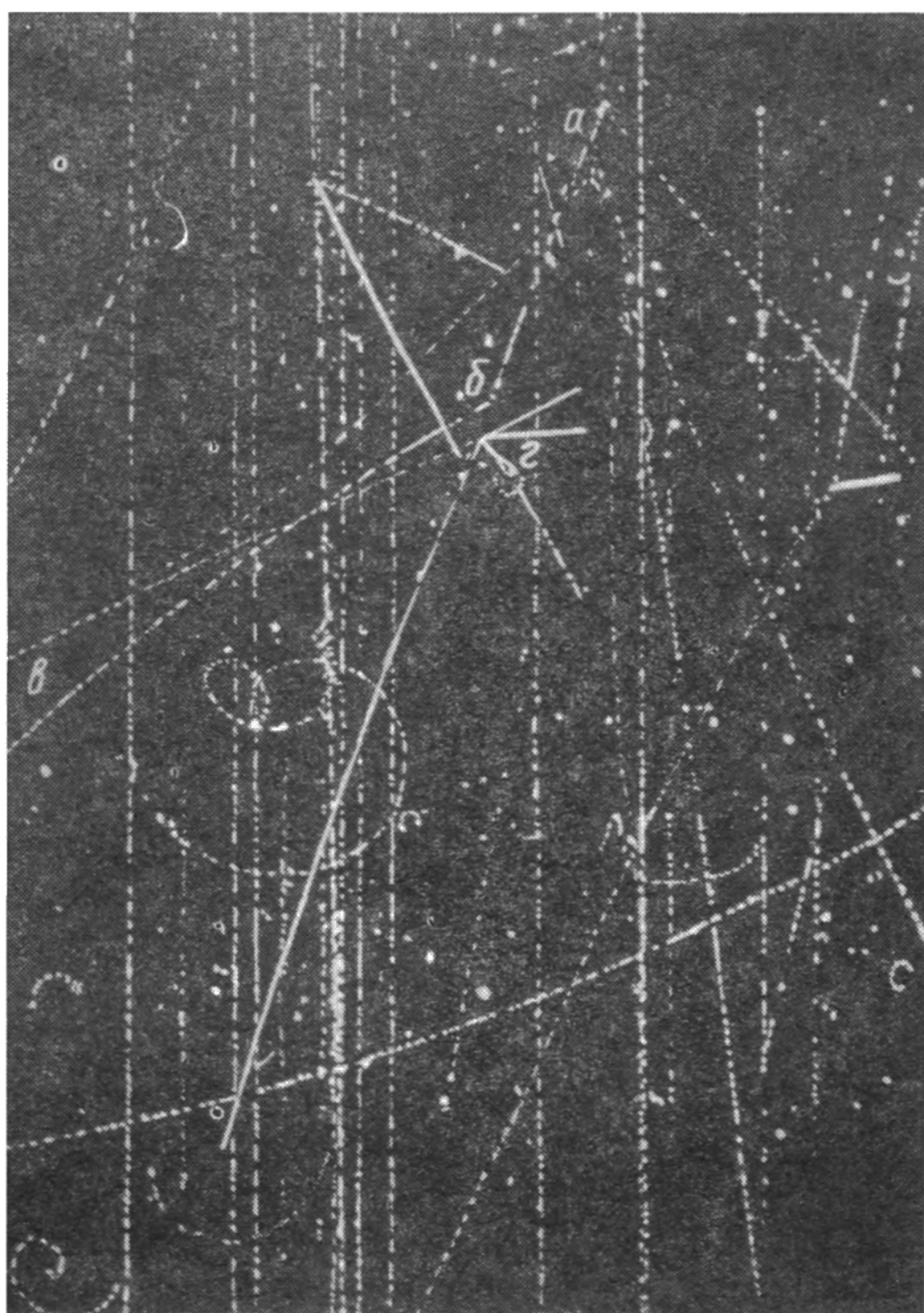


Рис. 12. Рождение и распад $\bar{\Sigma}^-$ -гиперона. Снимок получен в пропановой камере.

Антигиперон рожден первичным π^- -мезоном с импульсом 7 Бэв/с в точке a . Пролетев до точки b , эта нестабильная частица распалась на π^+ -мезон (след δ) и антинейтрон, который в точке c при взаимодействии с ядром углерода аннигилировал, дав большую «звезду». На этом снимке впервые зафиксирован случай рождения и распада заряженного антигиперона.



Рис. 13. Первый антигиперон!

Основа камеры — это сосуд, в котором жидкость находится под давлением. Перед пуском частиц жидкость перегревают, а давление резко снижают. Благодаря этому заряженная частица при движении к камере оставляет в жидкости след — цепочку пузырьков пара. Камера работает синхронно с ускорителем, а через каждые две-три-тысячные доли секунды она освещается импульсной лампой и фотографируется на пленку стереофотоаппаратом.

Магнитное поле заставляет положительно заряженную частицу двигаться в одну сторону, а отрицательно заряженную — в другую. Чем больше скорость частицы, тем она слабее отклоняется и тем тоньше ее след. Пролетая сквозь наполняющий камеру жидкий пропан, пионы могут сталкиваться с ядрами углерода и водорода (пропан — углеводород). Результаты этих столкновений можно видеть потом на фотопленке. Снимки просматривают через стереолупы и отбирают наиболее интересные. Специальные микроскопы и автоматы измеряют координаты траектории частиц на

снимке, а электронные вычислительные машины определяют уже истинные координаты в пространстве, углы и импульсы. После этого можно сделать вывод о том, какие взаимодействия имели место в камере. В частности, прежде чем был открыт антисигма-минус-гиперон, подобным образом было обработано и изучено 40 000 стереофотографий (рис. 12).

Новая частица была открыта в результате плодотворной совместной работы группы физиков разных стран под руководством академика В. И. Векслера и профессора Ван Ган-чана (рис. 13).

Несколько позднее итальянские ученые Э. Амальди, К. Кастаньоли и А. Манфредини обнаружили еще один антигиперон — антисигма-плюс-гиперон — отрицательно заряженный антипод положительного сигма-плюс-гиперона.

Так наука одна за другой вырывает у природы самые сокровенные ее тайны. Каждое новое открытие проливает свет именно на ту область природы, которая сулит человечеству неисчерпаемые источники энергии.

Завтра человечества начинается в его сегодняшнем дне.



ТАБЛИЦА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Название частицы	Символ	Масса в электронных единицах	Заряд			Время жизни, сек
			элект- ронный	барион- ный	нейтрин- ный	
Частицы с зарядами						
Лептоны						
Нейтрино	V	0	0	0	+1	∞
Антинейтрино	$\tilde{V}$	0	0	0	-1	∞
Электрон	e^{-}	1	-1	0	+1	∞
Позитрон	e^{+}	1	+1	0	-1	∞
Мезоны						
Мю плюс	v^{+}	206	+1	0	-1	$2 \cdot 10^{-6}$
Мю минус	v^{-}	206	-1	0	+1	$2 \cdot 10^{-6}$
Пи плюс	π^{+}	273	+1	0	0	$2.5 \cdot 10^{-8}$
Пи минус	π^{-}	273	-1	0	0	$2.5 \cdot 10^{-8}$
Ка плюс	K^{+}	967	+1	0	0	$\sim 10^{-8}$
Ка минус	K^{-}	967	-1	0	0	$\sim 10^{-8}$
Барионы						
Протон	p	1836	+1	+1	0	∞
Антипротон	$\tilde{p}$	1836	-1	-1	0	∞
Нейтрон	n	1839	0	+1	0	10^3
Антинейтрон	$\tilde{n}$	1839	0	-1	0	10^3

Название частицы	Символ	Масса в электр. ед.	Заряд			Время жизни, сек
			электронный	барионный	нейтринный	
Гипероны						
Ламбда нуль	Λ^0	2182	0	+1	0	$3 \cdot 10^{-10}$
Антиламбда нуль	$\bar{\Lambda}^0$	2182	0	-1	0	$3 \cdot 10^{-10}$
Сигма нуль	Σ^0	2326	0	+1	0	$\sim 10^{-10}$
Антисигма нуль	$\bar{\Sigma}^0$	2326	0	-1	0	$\sim 10^{-10}$
Сигма минус	Σ^-	2342	-1	+1	0	$\sim 10^{-10}$
Антисигма минус	$\bar{\Sigma}^-$	2342	+1	-1	0	$\sim 10^{-10}$
Сигма плюс	Σ^+	2328	+1	+1	0	$\sim 10^{-10}$
Антисигма плюс	$\bar{\Sigma}^+$	2328	-1	-1	0	$\sim 10^{-10}$
Кси нуль	Ξ^0	?	0	+1	0	?
Антикси нуль	$\bar{\Xi}^0$	?	0	-1	0	?
Кси минус	Ξ^-	2585	-1	+1	0	$10^{-8} \div 10^{-10}$
Антикси минус	$\bar{\Xi}^-$	2585	+1	-1	0	$10^{-8} \div 10^{-10}$
Кси плюс	Ξ^+	2600	+1	-1	0	$10^{-8} \div 10^{-10}$
Антикси плюс	$\bar{\Xi}^+$	2600	-1	+1	0	$10^{-8} \div 10^{-10}$
Истинно нейтральные						
Фотон	γ	0	0	0	0	∞
Пи нуль мезон	π^0	264	0	0	0	$\sim 10^{-16}$
Ка нуль один мезон	K_1^0	973	0	0	0	?
Ка нуль два мезон	K_2^0	973	0	0	0	?

СОДЕРЖАНИЕ

Необычная комета	3
Обитатели невидимого мира	5
Близнецы и антиподы	23
На пути к единой теории	35
Анализ и синтез атомов	47
Тайна созвездия Лебедь	55
С околосветовой скоростью	61
Вместо заключения	69
Приложение	77

Е. И. Парнов, Е. А. Глущенко

ОКНО В АНТИМИР

Редактор *В. А. Подошвина*

Оформление художника *М. К. Шевцова*

Техн. редактор *С. М. Попова*

Корректор *Т. А. Галахова*

Сдано в набор 30/XI 1962 г.
Подписано в печать 7/I 1963 г.
Бумага 84×108¹/₃₂. Физ. печ. л. 2,5
Привед. п. л. 4,1. Уч.-изд. л. 3,66.
Заказ изд. № 1034. Тираж 52 000 экз.
Т-01504. Цена 11 коп. Заказ тип. 3575

Госатомиздат, Москва, Центр.
ул. Кирова, 18.

Набрано в Первой Образцовой типографии
имени А. А. Жданова
Московского (городского) совнархоза
Москва, Ж-54, Валовая, 28.

Отпечатано в типографии
«Московский рабочий» Зак. 229

Цена 11 коп.

