

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКФИЗИКА НАШИХ ДНЕЙ

539.12

**ОТКРЫТИЕ ОМЕГА-МИНУС-ЧАСТИЦЫ \*)***У. Фаулер, Н. Сеймиос*

Важное место среди достижений физики XX в. занимают успешные предсказания теоретической физики. Опыт Девиссона — Джермера, доказавший, что электроны ведут себя подобно волнам (как это было предсказано Луи де Бройлем), открытие нейтрино с массой, равной нулю (предсказанного Вольфгангом Паули), обнаружение позитрона и других античастиц (в соответствии с предсказаниями П. А. М. Дирака), — вот некоторые примеры успеха тех гипотез, которые в то время, когда они были предложены, многим казались едва ли большим, чем игрой ума. Каждая из этих гипотез основывалась на абстрактных, математических теориях, которые базировались на ранее установленных экспериментальных результатах, и каждая рано или поздно была подтверждена физическим обнаружением предсказанных явлений. Последним в этой серии замечательных открытий является  $\Omega^-$ -частица, чье существование было предсказано всего два года назад и подтвердилось теперь фактическим обнаружением частицы.

Имеются особые причины, объясняющие, почему открытие этой частицы вызвало такой интерес физиков. Дело в том, что этот факт подтверждает теорию, которая обещает ввести некоторый порядок в загадочный ассортимент частиц, обнаруженных физиками при расщеплении атомных ядер. Такая теория была предложена в 1961 г. Гелл-Манном из Калифорнийского технологического института и независимо Неemanом из Тель-Авивского университета в Израиле (см. обзор М. Гелл-Манна, А. Розенфельда и Дж. Чу «Сильно взаимодействующие частицы», УФН, т. 83, вып. 4, август 1964 г.). Она объединяет частицы в семейства в соответствии с их квантовыми свойствами. Гелл-Манн заметил, что одно из таких семейств явно неупаковано. Девять членов этого семейства были известны; теория же указывала, что их должно быть десять, и предсказывала свойства недостающей частицы.

Эта ситуация в каком-то смысле подобна той, с которой столкнулся Менделеев, когда он в 1869 г. предложил периодическую таблицу элемен-

\*) William B. Fowler and Nicholas P. Samios, The Omega-minus Experiment, *Scient. American* 211 (4), 36 (1964). Перевод В. Б. Мандельцвейга.

В оригинале — резюме: «Рассказ об эксперименте, выполненном на ускорителе Брукхейвенской национальной лаборатории, сообщающем частицам энергию до 33 Гэв. Этот эксперимент подтвердил существование новой частицы, предсказанной «восьмеричным путем».

Уильям Б. Фаулер, Николас П. Сеймиос — физики Брукхейвенской национальной лаборатории. Их статья рассказывает о работе большой группы физиков инженеров и техников, в число которых входили и они сами.

тов. Менделеев видел, что имеются три пустые клетки на определенных местах таблицы, и он настаивал на том, что элементы, соответствующие этим пустым клеткам и обладающие описанными им свойствами, существуют и когда-нибудь будут найдены. Спустя недолгое время они были открыты. Аналогично, недостающая частица, описанная Гелл-Манном и названная им омега-минус-частицей, была найдена, когда ее стали искать, и оказалось, что она имеет точно те свойства, которые предсказывались теорией.

В этой статье рассказывается, как была получена и идентифицирована  $\Omega$ -частица. Мы не будем касаться здесь деталей теории — они подробно обсуждались Гелл-Манном и его соавторами. Теория классифицирует ядерные частицы (барионы и мезоны) по системе, основанной на одном из разделов математики, называемом теорией групп. Эта система известна как  $SU_3$ -симметрия; она получила также название «восьмеричный путь», так как включает восемь математических операторов, связанных с квантовыми числами частиц.

Согласно этой схеме частицы, составляющие семейство, должны иметь тот же самый спин (речь идет о внутреннем моменте движения) и одинаковую четность (правовинтовую или левовинтовую). Они могут отличаться по массе, электрическому заряду и свойствам, известным как «странность» и «изотопический спин», но эти величины должны быть связаны между собой определенными правилами.

Семейство, с которого мы начнем знакомство с барионами, называется  $\Delta$ -частицами:  $\Delta^-$ ,  $\Delta^0$ ,  $\Delta^+$ ,  $\Delta^{++}$  (с двумя единицами положительного заряда). Члены этого квартета имеют спин  $3/2$ , положительную четность и массу покоя  $1238 \text{ Мэв}$ . (В физике частиц массу в настоящее время принято выражать в единицах энергии.) Если поискать теперь рядом другие известные барионы, которые могут принадлежать к тому же семейству, немедленно оказывается, что вероятной родственницей является  $\Sigma^-$ -частица с массой  $1385 \text{ Мэв}$ . Подобно  $\Delta$ -частице, все три зарядовые вариации  $\Sigma$ -частицы ( $\Sigma^-$ ,  $\Sigma^0$ ,  $\Sigma^+$ ) имеют спин  $3/2$  и положительную четность. Квантовое число, описывающее странность  $\Delta$ -частиц, равно 0; для  $\Sigma$ -частиц оно равно  $-1$ .  $\Delta$ -частицы имеют изотопический спин  $3/2$ ,  $\Sigma$ -частицы 1, т. е. различие на  $1/2$ . Тем самым  $\Sigma$ -триплет относится к уровню с более высокой массой, что связано с формой симметричной пирамиды (рис. 1).

Какой дублет может относиться к следующему уровню пирамиды? Так как различие в массах между  $\Delta$ - и  $\Sigma$ -частицами  $147 \text{ Мэв}$ , предположили, что масса следующей пары частиц должна быть около  $1532 \text{ Мэв}$ , на  $147 \text{ Мэв}$  больше, чем масса  $\Sigma$ -частиц. Такие частицы с нужными квантовыми числами были неизвестны. Однако на происходящей раз в два года Международной конференции по физике высоких энергий в июле 1962 г. в Женеве экспериментаторы сообщили об открытии двух  $\Xi$ -частиц ( $\Xi^-$  и  $\Xi^0$ ) с массой  $1530 \text{ Мэв}$ . Гелл-Манн, присутствовавший на конференции, немедленно обратил внимание на связь между этим довольно обыденным сообщением и восьмеричным путем. Новые  $\Xi$ -частицы были приписаны к семейству, включающему  $\Delta$ - и  $\Sigma$ -частицы, благодаря их массе (очень близкой к предсказанным  $1532 \text{ Мэв}$ ). Кроме того, странность этих частиц равнялась  $-2$ , что еще больше укрепило за ними место в пирамиде, так как квантовые числа, характеризующие странность, пробежали следующий ряд значений:  $\Delta$ -квартет 0,  $\Sigma$ -триплет  $-1$ ,  $\Xi$ -дублет  $-2$ .

Теперь стало возможным с достаточной степенью уверенности предсказать, что вершина пирамиды должна быть увенчана синглетом — частицей со странностью  $-3$ , спином  $3/2$ , положительной четностью, отрицательным зарядом и массой около  $1676 \text{ Мэв}$  (на  $146 \text{ Мэв}$  выше, чем масса

$\Xi$ -частиц). Планомерные тщательные поиски этой частицы, уже тогда получившей название омега-минус, были начаты поэтому почти немедленно.

Большинство из приблизительно сотни известных ядерных частиц уже заняли свои места в семействах (состоящих из восьми членов каждое)

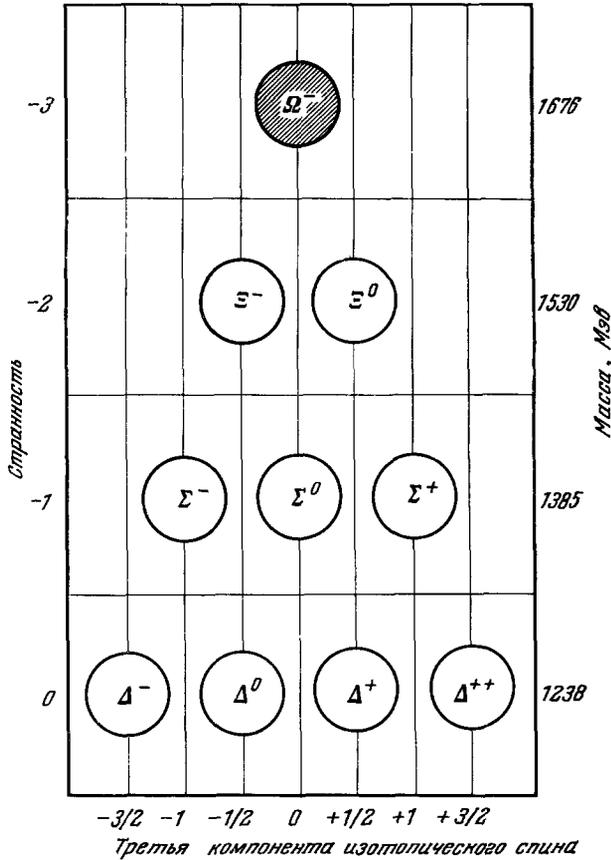


Рис. 1. Восемьмеричный путь, как показано на рисунке, объединяет частицы с одинаковым спином и четностью в пирамиду, указывающую, какими правилами связаны характеристики частиц.

Частицы отличаются массой (правый столбец), странностью (левый столбец) и третьей компонентой изотопического спина (внизу), связанной с электрическим зарядом. Четыре члена дельта-семейства ( $\Delta^-$ ,  $\Delta^0$ ,  $\Delta^+$  и  $\Delta^{++}$ ), три члена сигма-семейства ( $\Sigma^-$ ,  $\Sigma^0$ ,  $\Sigma^+$ ) и два члена кси-семейства ( $\Xi^-$  и  $\Xi^0$ ) требуют существования семейства, состоящего из одной частицы с предсказуемыми свойствами, венчающей вершину пирамиды. Такая  $\Omega^-$ -частица, проверяющая схему, потом была открыта. Изотопический спин  $\Delta$ -барионов равен  $3/2$ ,  $\Sigma$ -барионов  $1$ ,  $\Xi$ -барионов  $1/2$ , для  $\Omega^-$ -частицы он равен нулю.

на основе новой классификации. Тем самым теоретически система классификации оказалась для них весьма удовлетворительной. Однако одно придумать схему, описывающую ряд известных фактов, и совсем другое — создать обобщение, проливающее свет на новые, ранее неизвестные явления. Проверка любой полноценной теории означает проверку ее способности предсказать ранее непредсказанное и привести к новым знаниям. Если бы восьмеричный путь смог из чисто теоретических соображений предсказать точные свойства новой частицы, это явилось бы значительным шагом вперед на пути к разгадыванию глубоко запрятанных тайн природы материи и энергии. Поиски этой частицы стоили большого усилия.

Требовались прежде всего мощные специальные устройства, однако, к счастью, инструменты, необходимые для работы, имелись в готовом виде. Очень большие машины, которые были построены для ядерной физики в недавние годы, предназначались как раз для таких решающих и трудных экспериментов, как этот. Ускоритель Брукхейвенской национальной лаборатории, сообщаящий частицам энергию до 33 Гэв, и новая 80-дюймовая жидководородная пузырьковая камера были приготовлены для подходящего случая и с радостью предоставлены для работы по обнаружению  $\Omega$ -частицы. Такая ситуация — мечта для экспериментаторов: следует проверить важную теорию, и именно ее четкое и решающее предсказание, после чего теория либо устоит, либо будет отвергнута; оборудование было полностью готово к рождению и обнаружению новой частицы, если она существует. В ноябре 1963 г. в Брукхейвене был поставлен такой крупномасштабный эксперимент, в котором участвовало большое число физиков (включая авторов статьи), инженеров и техников.

Какое взаимодействие может привести к рождению  $\Omega$ -частицы? Оказался полезным пучок высокоэнергичных  $K^-$ -мезонов, генерируемых в качестве вторичного продукта синхротроном со знакопеременным градиентом магнитного поля, ускоряющим частицы до энергии 33 Гэв. Вычисления показали, что  $K^-$ -частицы с достаточно большой энергией при взаимодействии с протонной мишенью рождают  $\Omega^-$ -барион,  $K^+$ - и  $K^0$ -мезоны в следующей реакции:  $K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$ . Какой же энергией должны обладать падающие  $K^-$ -мезоны, чтобы воспроизвести такую реакцию? Массы частиц, получающихся в результате реакции ( $\Omega^-$ ,  $K^+$  и  $K^0$ ), представляются соответственно энергиями 1676 Мэв, 494 Мэв и 498 Мэв, что в сумме дает 2668 Мэв. Так как часть энергии падающих частиц в такой реакции переходит в энергию движения частиц, возникающих в результате реакции, было вычислено, что  $K^-$ -мезоны должны бомбардировать протонную мишень с энергией по крайней мере 3200 Мэв. Чтобы повысить вероятность возникновения реакции, желательно употреблять пучок  $K^-$ -частиц с намного большей энергией, чем минимальная. К счастью, ускоряющая и сепарирующая пучок система была приспособлена для создания пучка с энергией вплоть до 5000 Мэв.

Опыт поэтому был спроектирован следующим образом. Пучок  $K^-$ -мезонов с энергией 5000 Мэв попадал в пузырьковую камеру. Чтобы избежать появления большого числа треков в камере, ввод  $K^-$ -частиц был ограничен впрыскиванием 10—20 частиц в течение времени экспозиции каждой картины. Надеялись, что один из  $K^-$ -мезонов провзаимодействует с протоном жидкого водорода и породит  $\Omega^-$ -частицу, которая будет идентифицирована по продуктам ее распада.

Физическая система, созданная для опыта, заслуживает хотя бы краткого описания. Если бы пучок протонов с энергией 33 Гэв из синхротрона со знакопеременным градиентом магнитного поля направил в пузырьковую камеру, он породил бы такое обилие треков, что выбрать отдельные случаи из такой свалки едва ли было бы возможно. Когда в Брукхейвене решили построить свою 80-дюймовую пузырьковую камеру, одному из брукхейвенских физиков, Вебстеру, было предложено продумать способы получения чистого пучка вторичных частиц, которые можно было бы использовать при работе с камерой. Пучок протонов из ускорителя, бомбардируя металлическую мишень, рождает настоящий вихрь вторичных частиц —  $\pi$ -мезонов,  $K$ -мезонов и многих других. Вебстер придумал систему для выделения  $K$ -мезонов, рассеянных от такой мишени, и фокусировки их в пучок. Его система, в которой использовались электростатические сепараторы пучка и отклоняющие и фокусирующие магниты, имеет длину 450 футов и формирует тонкий пучок, имеющий высоту только 0,06 дюйма

в тот момент, когда он выходит из последней передающей щели. Этот пучок, как мы уже упоминали, имеет энергию 5000 *Мэв*, или 5 *Гэв*.

Новая большая брукхайвенская пузырьковая камера, содержащая 900 литров жидкого водорода и имеющая длину 80 дюймов, фотографируется тремя регистрирующими фотокамерами, так что треки частиц внутри ее могут быть отождествлены в трехмерном пространстве. Подобно всем таким устройствам она оборудована большим электромагнитом и другими приспособлениями для идентификации заряда и других параметров частицы, которые сформировали трек. Она может фотографировать со скоростью один раз каждую секунду, при которой принимается в расчет необходимость нового сжатия в камере после каждого снимка треков.

Теперь встает решающий вопрос: на фотографиях какого типа можно было бы идентифицировать  $\Omega^-$ -частицу? Иначе говоря, следует выяснить, на какие частицы может распадаться  $\Omega^-$ . Рассмотрение различных законов сохранения уменьшает число путей, которыми может распадаться омега-минус, до трех наиболее вероятных возможностей: он может распадаться на: 1)  $\Xi^-$ -частицу и нейтральный  $\pi$ -мезон, 2)  $\Xi^0$ -частицу и  $\pi^-$ -мезон или, наконец, 3)  $\Lambda^0$ -частицу и  $K^-$ -мезон. Эти результаты и ожидалось при анализе фотографий.

После шести недель тяжелой работы по завершению наладки оборудования для получения достаточно чистого и интенсивного пучка  $K^-$ -мезонов, 14 декабря 1963 г. было начато фотографирование процесса бомбардировки пузырьковой камеры этим пучком. В следующие месяцы вся система: ускоритель, оборудование для получения пучка, пузырьковая камера и фотоаппараты — функционировали уже круглосуточно. К 3 января было получено 50 000 хороших фотоснимков. По мере получения этих снимков изображенные на них треки просматривались и тщательно анализировались. Последнее означало проведение очень тонких измерений и вычисление точного положения точек, в которых имели место взаимодействия или распады, а также углов и кривизны треков, оставленных новыми частицами, возникающими в реакциях.

31 января внезапно была получена фотография с совокупностью треков, сигнализирующих о рождении  $\Omega^-$ -частицы. Расположение этих треков указывало, что  $\Omega^-$  распался на  $\Xi^0$  и  $\pi^-$ -мезон, которые затем также распались.

Согласно предсказанному процессу рождения  $\Omega^-$ , ожидалось, что в результате взаимодействия протона с налетающими  $K^-$ -мезонами возникнут  $K^+$ - и  $K^0$ -мезоны вместе с  $\Omega^-$ . На фотографии видно, что трек  $K^+$ -мезона возникает в точке взаимодействия. Правда, не имелось никакого признака образования  $K^0$ , но это и неудивительно, так как незаряженная частица сама по себе не оставляет трека и может даже уйти за пределы пузырьковой камеры, прежде чем она распадется на другие частицы. Такая интерпретация фотографии опиралась только на визуальное наблюдение. Теперь ее нужно было проверить количественно. Для изучения такого случая в физике частиц необходимо произвести целый ряд проверок, тяжесть которых ложится на плечи экспериментатора. Он должен доказать с помощью точных измерений и вычисления плотностей, длин, углов и кривизны треков, что действительно частицы и реакции, попавшие на снимок, можно отождествить с предсказанными частицами.

Поэтому вся группа лихорадочно трудилась несколько дней над анализом фотоснимка.

Фотография этого случая и диаграмма, на которой изображены наиболее важные треки, приведены на рис. 2. Чтобы восстановить, что произошло, следует начать с тех распадов, которые были зарегистрированы

последними, и возвращаться назад к основному событию. Давайте начнем с события, имеющего вид разветвления (называемого вершиной) и обозначенного на диаграмме буквой  $A$ . Правосторонний трек, выходящий из этой вершины, явно массивнее, чем расположенные поблизости параллельные треки, соответствующие пересекающим камеру  $K^-$ -мезонам из пучка, проходящего через камеру. Измерения идентифицируют этот трек с треком протона. Аналогично левый трек, выходящий из той же самой вершины, идентифицирует соответствующую частицу с  $\pi^-$ -мезоном. Законы сохранения энергии и импульса с использованием масс и изме-

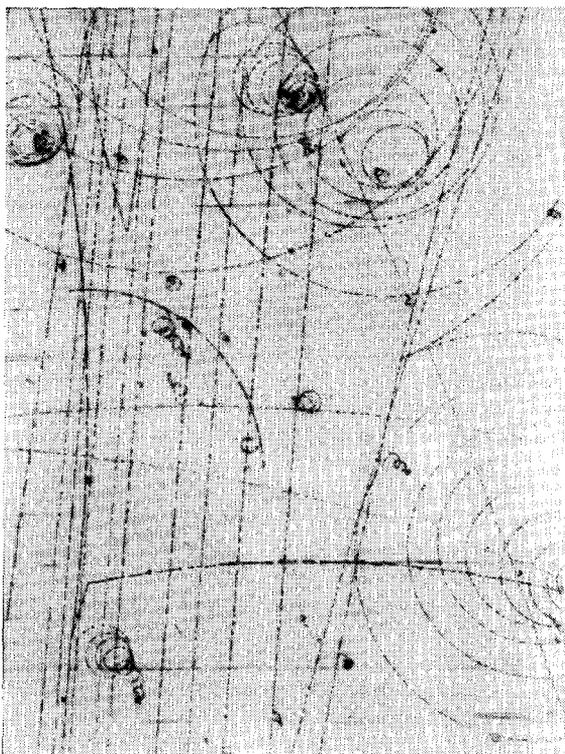
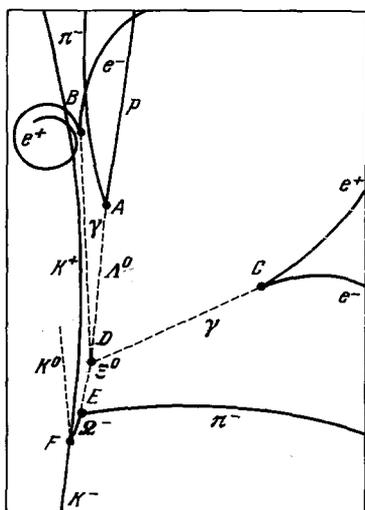


Рис. 2. Фотография, сделанная в пузырьковой камере, впервые доказала существование  $\Omega^-$ -частицы.

Последовательность событий, имевших место при обнаружении этой частицы, указана на помещенной слева диаграмме. Внизу фотографии виден след  $K^-$ -мезона, который сталкивается с протоном в вершине  $F$ , рождая  $K^0$ -мезон,  $K^+$ -мезон и  $\Omega^-$ -частицу.  $K^+$  оставляет идентифицируемый трек.  $\Omega^-$  в вершине  $E$  распадается на  $\pi^-$  и  $\Xi^0$ -частицы,  $\Xi^0$  идентифицируется по его продуктам распада, которые видны выходящими из вершины  $D$ : два  $\gamma$ -луча, которые дают начало электрон-позитронным парам ( $e^-$  и  $e^+$ ) в  $C$  и  $B$ , и  $\Lambda^0$ , которая в вершине  $A$  распадается на  $\pi^-$  и протон ( $p$ ). Знание масс и импульсов заряженных частиц, на которые распались нейтральные частицы, не оставляющие треков (пунктирные линии), достаточно физикам, чтобы их идентифицировать. В частности, отсюда известно, что третьей частицей, вышедшей из вершины  $F$ , был  $K^0$ -мезон.

ренных импульсов упомянутых выше частиц указывают, что протон и  $\pi^-$ -мезон возникли из распада  $\Lambda^0$ -частицы, имеющей массу  $1115 M_{\text{эв}}$ .  $\Lambda^0$ -частица, не имеющая электрического заряда, не оставила трека в камере, но направление, по которому она двигалась (это направление на диаграмме изображено пунктиром), может быть вычислено при использовании характеристик двух треков, выходящих из вершины  $A$ . Это направление должно привести к месту рождения  $\Lambda$ -частицы. Однако на фотографии не было видно треков, указывающих местонахождение такой вершины, но зато имелись два события, несомненно, связанные с ней. Эти события — рождение электрон-позитронных пар в точках, обозначенных на диаграмме буквами  $B$  и  $C$ . Такие две пары античастиц должны быть рождены высоко-

энергичными  $\gamma$ -лучами. Хотя  $\gamma$ -лучи не оставили трека в камере, их путь и точку пересечения можно найти, измерив импульсы (и, конечно, направления) электрон-позитронных пар. Оказывается, что такая точка ( $D$ ) лежит одновременно на ранее вычисленном направлении полета  $\Lambda^0$ -частицы. Отсюда ясно, что  $\Lambda^0$ -частица и два  $\gamma$ -луча были рождены при распаде в точке  $D$  некоей частицы; вычисления показали, что этой частицей был  $\Xi^0$ -барион с массой  $1316 Mэв$ , причем этот барион распался на  $\Lambda^0$ -частицу и  $\pi^0$ -мезон, который в свою очередь быстро распался на два  $\gamma$ -луча, перешедших затем в электрон-позитронные пары.

$\Xi^0$ -частица подобно  $\Lambda^0$  не оставила трека, но ее направление, как и раньше, можно было вычислить. Двигаясь назад по этому направлению, мы приходим наконец в вершину, обозначенную буквой  $E$ , в которой возник  $\Xi^0$ ; трек, круто заворачивающий вправо, соответствует одновременно родившемуся  $\pi^-$ -мезону.

Складывая импульсы  $\Xi^0$ - и  $\pi^-$ -мезона, мы получим импульсы родительской частицы, т. е. частицы, из распада которой они возникли. Вычисления показали, что ее масса должна лежать между  $1668$  и  $1686 Mэв$  (принимая в расчет неточность измерений). Это точно совпадает с предсказанным значением массы  $\Omega^-$ -частицы  $1676 Mэв$ .

Если в точке  $E$  действительно произошел распад  $\Omega^-$ -частицы (на  $\Xi^0$ - и  $\pi^-$ -частицы), то на диаграмме между  $E$  и  $F$  расположен трек самой  $\Omega^-$ , т. е. эта частица была рождена в  $F$ . В самом деле, в точке  $E$  мы имеем вершину с ясно различимым треком  $\Omega^-$ , проходящим справа, и треком, идентифицированным с треком  $K^+$ -мезона, отклоняющимся налево. Взаимодействию, которое породило эти наблюдаемые частицы, не хватает около  $498 Mэв$ ; эта недостача соответствует  $K^0$ -частице, которая не оставила трека.

Теперь давайте восстановим события с начала вместо того, чтобы анализировать их с конца. Высокоэнергичный  $K$ -мезон в точке  $F$  столкнулся с протоном, что привело к образованию  $\Omega^-$ -частицы,  $K^+$ - и  $K^0$ -мезонов;  $\Omega^-$  двигался до  $E$ , где распался на  $\pi^-$ - и  $\Xi^0$ -частицы;  $\Xi^0$  в точке  $D$  распалась на два  $\gamma$ -луча (которые реализовались электрон-позитронными парами в  $B$  и  $C$ ) и  $\Lambda^0$ -частицу, которая в свою очередь в точке  $A$  распалась на протон и  $\pi$ -мезон.

Длина трека, оставленного  $\Omega^-$ -частицей в пузырьковой камере (один дюйм,) показывает, что ее время жизни равно примерно одной десятиллиардной доле секунды, что является обычным временем жизни странных частиц. Распад странной частицы является слабым взаимодействием, в котором странность не сохраняется, а меняется на единицу. Это правило отбора подтверждает, что сфотографированной частицей оказалась предсказанная  $\Omega^-$ -частица. Теоретически этой частице приписывалась странность  $-3$ , ее распад поэтому должен был произойти на частицы с суммарным странным квантовым числом  $-2$ . Это соответствует наблюдавшемуся результату: странность  $\Xi^0$ -частицы равна  $-2$ , а странность  $\pi^-$ -мезона равна нулю.

Спустя несколько недель после обнаружения первой омега-минус-частицы в пузырьковой камере была получена вторая такая же частица. На этот раз она распалась на  $\Lambda^0$ -частицу и  $K^-$ -мезон, в соответствии с одним из предсказанных способов распада  $\Omega^-$ . У родившейся при этом  $K^-$ -частицы имел место мало вероятный распад на три  $\pi^-$ -мезона — два отрицательных и один положительный.

Фотография указывала также на совместное рождение  $\Omega^-$ - и  $K^0$ -мезона, который сигнализировал о себе, быстро распавшись на  $\pi^-$ - и  $\pi^+$ -мезоны. Суммарная странность продуктов распада  $\Omega^-$ , как и раньше, равнялась минус двум. Кроме того, масса  $\Omega^-$ -частицы снова совпала

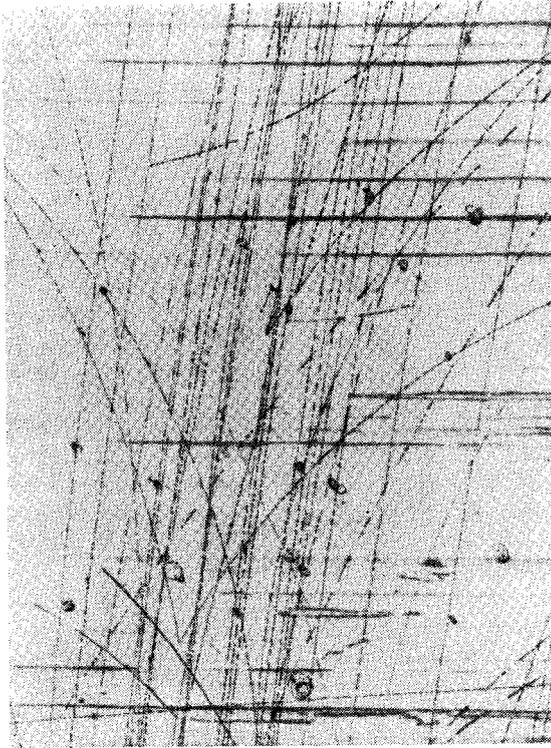
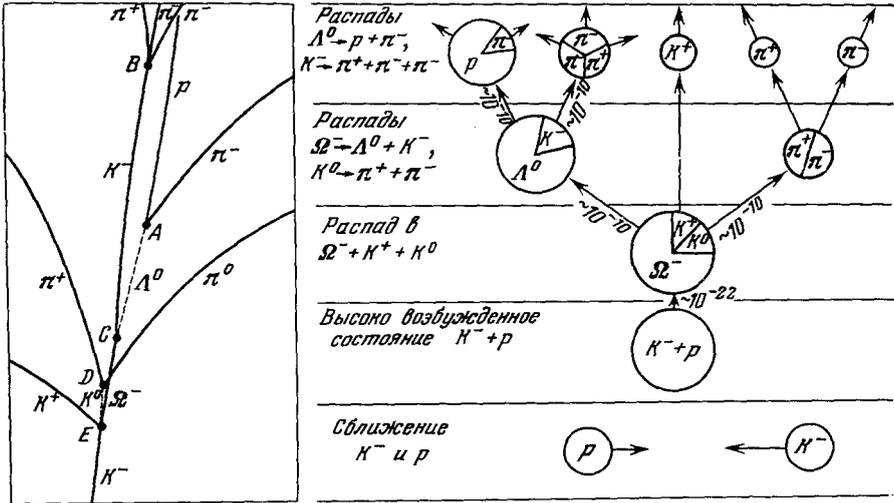


Рис. 3. Вторая фотография в пузырьковой камере, на которой обнаружена  $\Omega^-$ -частица, помогла доказать ее существование.

Наиболее важные события изображены на схеме сверху слева, а их временная последовательность представлена справа. Столкновение лучка  $K^-$ -мезонов и протона при скорости, близкой к скорости света, приводит к рождению  $K^+$ -мезона, испущенного влево,  $K^0$ -мезона, распадающегося за время порядка  $10^{-10}$  сек на положительный и отрицательный  $\pi$ -мезоны ( $\pi^+$  и  $\pi^-$ ) и  $\Omega^-$ , которая вскоре распадается на  $\Lambda^0$  и  $K^-$ . Последний (вверху) распадается на три  $\pi$ -мезона.  $\Lambda^0$ -частица дает начало  $\pi^-$  и  $p$ , причем протон является единственной стабильной частицей в исходной реакции.  $K^-$  и шесть  $\pi$ -мезонов распадаются за время, примерно в 100 раз большее (время измеряется в секундах), чем частицы, распады которых изображены на диаграмме справа вверху.

с предсказанной; на этот раз измерения и вычисления привели к величине между 1671 и 1677  $Mэв$ . Из изучения следов обеих частиц в пузырьковой камере наиболее вероятное значение, полученное для их масс, равнялось 1675  $Mэв$ , в удивительно хорошем согласии с величиной 1676  $Mэв$ , предсказанной восьмеричным путем. Последовательность событий при этой второй материализации  $\Omega^-$ -частицы, с учетом времен реакции, изображена на рис. 3.  $K^-$ -мезон с энергией 5  $Гэв$ , движущийся со скоростью, близкой к скорости света, сталкивается в пузырьковой камере с протоном. Эти две частицы образуют очень «горячее», или высоко возбужденное, состояние ядерной материи, которое немедленно распадается на  $\Omega^-$ -частицу,  $K^0$ - и  $K^+$ -мезоны, причем  $\Omega^-$  уносит наибольшую массу.  $\Omega^-$  распадается на  $\Lambda^0$ -частицу и  $K^-$ -мезон, каждый из которых далее распадается: лямбда-ноль — на протон и  $\pi^-$ -мезон,  $K^-$  — на три  $\pi$ -мезона. Тем временем  $K^0$ -мезон распался на два  $\pi$ -мезона. Таким образом, из первоначального протона возникли протон, шесть  $\pi$ -мезонов и  $K^+$ -мезон. Из этих частиц стабильным является только протон; все мезоны затем окончательно распадутся. Чтобы проверить предсказания восьмеричного пути и надежно идентифицировать  $\Omega^-$ -частицу, нехватает еще трех фактов. На двух снимках были сфотографированы два различных способа распада  $\Omega^-$ ; мы хотели бы увидеть третий, который считается наиболее вероятным, а именно, распад  $\Omega^-$  на  $\Xi^-$ -частицу и  $\pi^0$ -мезон. Кроме того, необходимо определить спин и четность предполагаемой  $\Omega^-$ -частицы. С помощью двух фотографий масса и странность этой частицы установлены вполне удовлетворительно, но для вычисления спина и четности нам нужно во много раз больше фотоснимков событий, так как эти свойства могут быть выведены только из статистического распределения углов, связанных с различными распадами.

Ко времени написания этой статьи в Брукхейвене были получены сотни тысяч фотографий и в тысячи раз больше фотографий сделано Европейской организацией ядерных исследований (CERN) в Женеве, которая начала аналогичные интенсивные поиски  $\Omega^-$  на своем синхротроне со знакопеременным градиентом магнитного поля. Хотя было обнаружено много сотен событий, которые можно интерпретировать как рождение  $\Omega^-$ -частицы, до сих пор имеются только две фотографии (см. прим. при корр. — *Перев.*), которые дают недвусмысленные доказательства существования этой частицы. Это — фотографии, описанные в настоящей статье.

Обнаружение двух таких событий, в течение месяца каждое, является необычайно счастливым совпадением: теперь вычислено, что поперечное сечение рождения  $\Omega^-$ -частицы при столкновении  $K$ -мезона с энергией 5  $Гэв$  и протона должно равняться всего нескольким микробарнам ( $1 \text{ мкбарн} = 10^{-30} \text{ см}^2$ ).

Изданные говорить, что обнаружение  $\Omega^-$ -частицы сильно увеличило интерес к восьмеричному пути, или  $SU_3$ -симметрии, как к орудью, с помощью которого можно понять взаимосвязь ядерных частиц и их поведение в качестве носителей ядерных сил. Теперь важной задачей теоретических работ является исследование возможности существования относительно малочисленных, но наиболее фундаментальных семейств, состоящих не из 8 или 10, а всего из трех частиц.

И точно так же, как экспериментальное обнаружение  $\Omega^-$  ускорило развитие теории, весьма вероятно, что дальнейшее совершенствование теории приведет к постановке новых экспериментов, требующих более мощных ускорителей частиц, более сложного построения пучков и более крупных пузырьковых камер.

