

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ТАБЛИЦА СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ *)

А. М. Шапиро

С 1949 по 1954 г. было открыто не менее девяти различных K -мезонов¹ или схем распада этих частиц и не менее четырех различных гиперонов (Y -частицы). Хотя за последний год новых гиперонов или мезонов обнаружено не было, однако удалось установить многие свойства уже известных частиц. Таблица свойств K -мезонов и гиперонов необходима как специалистам в области «элементарных частиц», так и неспециалистам.

Настоящая таблица сделана возможно более полной и современной, однако при ее составлении не пытались произвести подробный анализ каждого опыта². Таблица предназначена для использования в лаборатории или при преподавании; недостаток времени препятствовал детальному пересмотру данных. Основные журналы в данной области были весьма тщательно просмотрены вплоть до февраля 1956 г., но, несмотря на это, приведено минимальное число ссылок. Приведенные числа часто представляют собой приблизительно взвешенные данные многих экспериментальных измерений; ссылки даны, однако, только на одну или две работы. Это не значит, что не отмеченные эксперименты сомнительны: приведенные ссылки относятся либо к наиболее недавним, либо к наиболее точным работам, либо к работам, содержащим полную сводку данных. Практически все ссылки на другие опыты могут быть найдены в приведенной литературе.

В статье нет подробного анализа экспериментальных данных и их взаимосвязи. Эти вопросы освещены в нескольких прекрасных обзорах и докладах, сделанных на конференциях³.

ПОЯСНЯЮЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

В разделах I и II таблицы приведены только такие частицы, которые тщательно исследованы более чем одной группой экспериментаторов. Раздел III включает не столь хорошо исследованные

*) Reviews of Modern Physics, т. 28, № 2, april 1956, перевод с английского.

частицы и частицы, существование которых ожидается на основании теоретических соображений.

Разумеется, что даже у частиц, существование которых надежно установлено, могут быть отдельные недостаточно исследованные свойства. Это отмечено в таблице скобками, поставленными в соответствующих местах. Для обозначения неопределенности данных иногда применяется знак вопроса. Например, известно, что существуют отрицательные K -мезоны, но нельзя определенно сказать, какие из перечисленных в разделе II K^+ -частиц (а быть может и все) имеют отрицательные анти-частицы $^+ *$). Эта неопределенность отмечена тем, что в каждом случае знак минус помещен в скобках.

Масса π -мезона имеет весьма важное значение для всей таблицы. Так, например, массы всех приведенных в таблице гиперонов получены прибавлением измеренных энергий распада (значения Q) к массам вторичных частиц, среди которых в каждом случае имеется π -мезон. В таблице для массы заряженного π -мезона используется значение $273,1 \pm 0,2 m_e$. Предполагается, что π^+ - и π^- -мезоны имеют равные массы. Это значение является средним взвешенным значений $273,4 \pm 0,2 m_e$ и $272,5 \pm 0,3 m_e$, полученных для π^+ - и π^- -мезонов соответственно Смитом, Бирнбаумом и Баркасом⁴. После составления таблицы было опубликовано сообщение Баркаса, Бирнбаума и Смита⁵, содержавшее значения $273,3 \pm 0,2 m_e$ и $272,8 \pm 0,3 m_e$ для положительно и отрицательно заряженных мезонов. Сюда следует также присоединить измерения Грове и Филлипса⁶, давшие для массы π -мезона значение $272,7 \pm 0,3 m_e$. Так как новое взвешенное значение мало отличается от значения $273,1 \pm 0,2 m_e$, это последнее осталось в таблице.

Многие экспериментаторы используют несколько отличные значения массы заряженных π -мезонов, и этим объясняется часть разброса полученных ими значений масс гиперонов и K -мезонов. Очевидно, было бы лучше, если бы все авторы использовали одно значение массы, и мы предлагаем в качестве такого значения $273,1 \pm 0,2 m_e$.

РАЗДЕЛ I

ЧАСТИЦЫ, СУЩЕСТВОВАНИЕ КОТОРЫХ НАДЕЖНО УСТАНОВЛЕНО

А. ГРУППИРОВКА ЧАСТИЦ

Восемнадцать элементарных частиц, приведенных в разделе I (считая отдельно положительно и отрицательно заряженные), разбиты на пять групп¹. В первую группу входят частицы, масса

* См. примечания при корректуре. Этот знак (+), используемый в дальнейшем, указывает на дополнительные сведения, содержащиеся в конце статьи в «примечаниях при корректуре».

покоя которых меньше или равна массе покоя электрона. Остальные группы определены следующим образом:

$$L\text{-мезоны: } m_e < m_{L\text{-мезон}} \leq m_{\pi^\pm}$$

$$K\text{-мезоны: } m_{\pi^\pm} < m_{K\text{-мезон}} < m_{\text{протон}}$$

Нуклоны: протон и нейтрон

$$\text{Гипероны: } m_{\text{нейтрон}} < m_{\text{гиперон}} < m_{\text{дейтрон}}$$

Шестая группа, состоящая из «неэлементарных» дейтрона, тритона и He^3 , включена для того, чтобы указать энергии связи и магнитные моменты небольших образований из нуклонов.

В. ОШИБКИ

Если связанные с данным числом положительные и отрицательные ошибки равны, они помещаются в скобках под теми значащими цифрами, которые являются неопределенными. Если ошибки неодинаковы, положительные ошибки помещены в скобках выше, а отрицательные ниже соответствующих значащих цифр. Например,

$-1,001146 \pm 0,000012$ обозначается $-1,001146$, а величина

$$\left(1,3 \begin{matrix} +0,4 \\ -0,3 \end{matrix}\right) \cdot 10^{-10} \text{ обозначается } 1,3 \cdot 10^{-10}.$$

(4)
(12)

(3)

Приводимые ошибки, к сожалению, являются смесью стандартных отклонений и вероятных ошибок. Так как большинство авторов не указывает, какая мера ошибки ими применяется, при оценке ошибок, приводимых в наиболее точных опытах, необходима сугубая осторожность.

С. ССЫЛКИ

В разделе I таблицы ссылки указаны малыми буквами латинского алфавита, помещенными справа от соответствующей табличной величины, рядом с ней или ниже. Буква ссылки обычно помещается рядом с величиной; в тех случаях, когда величина содержит десять в некоторой степени, буква ссылки опускается ниже, чтобы ее нельзя было спутать с показателем степени.

Для краткости, чтобы не загромождать текст таблицы, в столбцах 6, 12, 13 и 14 таблицы ссылки не приводятся, а в столбцах 9 и 11 приведено лишь по одной ссылке. Источники данных, приведенных в этих столбцах, могут быть найдены в работах, указанных в³. Установление схем распада и их проверка, а также определение квантовых свойств частиц являются наиболее важной частью исследований в этой области.

В случае нестабильных частиц либо измеряется масса первичной частицы и величина Q для распада определяется по известным мас-

сам вторичных частиц, либо измеряется величина Q и масса первичной частицы получается из величины Q плюс известные массы вторичных частиц, возникающих при распаде. Во всех случаях буква ссылки всегда помещается рядом с измеряемой величиной. Отсутствие ссылки у остальных величин указывает на то, что они не измерены, а вычислены.

Д. СОДЕРЖАНИЕ СТОЛБЦОВ И ЗАМЕЧАНИЯ

Столбец 1

В этом столбце приведены обычно употребляемые обозначения частиц и их заряды. Заряд указан в верхнем правом углу каждого обозначения. Обозначения частиц, определенно не являющихся элементарными, заключены в скобках.

Столбцы 2, 3, 4 и 5

Эти столбцы содержат массы частиц в указанных единицах. В столбце 5, строго говоря, приведена энергия покоя, а не масса.

В нижней части столбца 2 таблицы приведены значения масс, вычисленные Вапстра⁷. По мнению специалистов, это наиболее точные и наилучшим образом согласованные данные из доступных в настоящее время. Заметим, что за исключением (H^1) приведенные значения представляют собой массы ядер, а не атомов.

Для дейтона, тритона и ядер He^3 соответствующие энергии связи, Э. С., приведены в столбцах 3, 4.

Столбец 6

Здесь приведены известные схемы распада частиц. Только в отношении двух частиц, π^0 и Σ^+ , с определенностью известно, что они имеют более чем один способ распада[†]. Принято также считать, что $K_{\pi 3}$ - или τ' -частица являются τ -мезоном, распадающимся двумя различными способами.

π^0 . Кроме обычного распада на два фотона, известен распад нейтрального π^0 -мезона на фотон и электронно-позитронную пару. Такой распад происходит в одном случае из восьмидесяти. Поэтому следует ожидать, что на каждые $(160)^2$ распадов придется один распад π^0 непосредственно на две электронно-позитронные пары. Существует доказательство того, что такой распад действительно наблюдался в камере Вильсона Годсоном и др.¹⁰.

Показано, что существуют гипероны со следующими тремя схемами распада:

$$Y^+ \rightarrow p + \pi^0 + \sim 116 \text{ Мэв},$$

$$Y^+ \rightarrow n + \pi^+ + \sim 110 \text{ Мэв},$$

$$Y^- \rightarrow n + \pi^- + \sim 110 \text{ Мэв}.$$

Массы этих частиц близки, таким образом, к $2327 m_e$, и предварительно предполагают, что эти частицы, называемые Σ -гиперонами, являются положительными и отрицательными компонентами изотопического спинового триплета. Это еще нуждается в подтверждении (см. замечания к столбцу 8)[†]. Кроме известных схем распада, для некоторых частиц в скобках приведены также возможные или предполагаемые схемы.

Столбец 7

Величина Q в данной строке обозначает полную кинетическую энергию (измеренную в системе покоя первичной частицы) вторичных частиц, возникших при распаде и указанных в той же строке. Эта величина равна разности между энергией покоя первичной частицы и суммой энергий покоя вторичных частиц.

$\pi^\pm$. Значения Q для π^+ и π^- -мезонов приведены отдельно, хотя, нам кажется, что величина $34,0 \pm 0,2 \text{ Мэв}$ является, вероятно, единственным значением.

В тех случаях, когда энергии вторичных частиц, возникающих при распаде K -мезонов и гиперонов, определяются по их пробегам в ядерных эмульсиях или многопластинных камерах Вильсона, на это определение, кроме других экспериментальных ошибок, влияет неточность в соотношении пробег — энергия. В приведенные ошибки эта неточность не включена.

Столбец 8

В столбце 8 приведено среднее время жизни каждой частицы в секундах, если не указана другая единица.

θ^0 . Величина, приведенная для среднего времени жизни θ^0 , представляет собой среднее время жизни всех K -мезонов, наблюдавшихся в опытах, проанализированных Гайзером и Пэйджем¹². Предполагают, что наблюдавшиеся частицы являются главным образом θ^0 , но если имеется заметная доля K^0 -мезонов другого типа, время жизни θ^0 будет несколько другим[†].

$\Sigma^\pm$. Еще не выяснено, имеют ли Σ^+ - и Σ^- -гипероны одинаковые средние времена жизни (и одинаковые массы). Согласно схеме Геллмана и Пайса для K -мезонов и гиперонов Σ^- не является античастицей Σ^+ . Поэтому не следует ожидать, что времена жизни (или массы) этих частиц обязательно окажутся одинаковыми. Существуют некоторые доказательства того, что среднее время жизни Σ^- может быть больше, чем $3,4 \cdot 10^{-11} \text{ сек.}$

Столбцы 9, 11, 12 и 13

Эти столбцы содержат данные о спине, четности, полном изотопическом спине T и его третьей, z -компоненте T_z соответственно. Обсуждение этих свойств и соответствующие экспериментальные

доказательства, можно найти в статьях, указанных в³, а также в текущей литературе.

Заметим, что в столбце 9 обозначения $\bar{C}$ и $\frac{1}{2} \bar{C}$ соответствуют целому и полуцелому спину. Известно, что все частицы с целым спином подчиняются статистике Бозе — Эйнштейна, а все частицы с полуцелым спином — статистике Ферми — Дирака.

Столбец 10

В этом столбце приведены измеренные магнитные моменты частиц. Заметим, что в верхней части таблицы в качестве единицы используется борковский магнетон, а в нижней — ядерный магнетон.

Так как магнитные моменты нейтрона, дейтрона, тритона и ядра He^3 измерены по отношению к протону, то ошибки в значениях этих моментов удобно выразить в предположении, что ошибка в определении магнитного момента протона равна нулю. Так и сделано в этой таблице. Для получения абсолютных ошибок приведенные для этих четырех частиц ошибки должны быть соответствующим образом объединены с ошибкой измерения магнитного момента протона.

Столбец 14

В этом столбце, озаглавленном для краткости «геллмановское S », помещены значения нового квантового числа, которое, возможно, является внутренним свойством каждого типа частиц. Это число часто называют «странностью» частицы и обозначают S . Использование понятия «странности» (и соответствующих ему правил отбора) объясняется тем, что благодаря этому новому квантовому числу удалось качественно согласовать основные известные характеристики образования, взаимодействия и распада K -частиц и гиперонов и успешно предсказать новые свойства. Аналогичные идеи были высказаны другими авторами¹⁷, и ссылки¹³ и¹⁷ содержат неполный перечень работ в этой области. См. также обсуждение понятия «странности» в работах, указанных в ссылке³.

РАЗДЕЛ II

ЧАСТИЦЫ, СВОЙСТВА КОТОРЫХ НЕ УСТАНОВЛЕНЫ ОКОНЧАТЕЛЬНО

Все частицы из этого раздела изучены в большей или меньшей степени тщательно, и их существование вполне надежно доказано. Отрицательный протон или антипротон помещен в этом разделе из-за того, что он недавно открыт и многие из его свойств еще

должны быть изучены[†]. K -частицы находятся в этом разделе потому, что еще неясно, какие из распадов этих частиц представляют собой конкурирующий распад некоторых основных K -мезонов. В настоящее время представляется, что существует не более двух основных K -мезонов, τ и ϑ , но это еще нуждается в доказательстве.

Ссылки на литературу указаны двумя малыми буквами латинского алфавита.

А. ОБОЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ K -ЧАСТИЦ

K -частицы раздела II обозначаются прежде всего буквой K , за которой следуют буквенные или числовые индексы. Все эти частицы распадаются на одну заряженную и одну или большее число нейтральных частиц. Индекс 2 указывает, что распад происходит на две частицы, т. е. что, кроме одной заряженной, образуется только одна нейтральная, индекс 3 указывает на то, что испускается не меньше двух нейтральных частиц.

В. СОДЕРЖАНИЕ СТОЛБЦОВ И ЗАМЕЧАНИЯ

Столбцы 1 и 2

Справа от обозначений $K_{\pi 2}$, $K_{\pi 3}$ и $K_{\mu 3}$ приведены греческие буквы (χ , τ' , κ соответственно), с помощью которых часто обозначаются данные схемы распада. По соглашению¹ греческие буквы не должны быть использованы исключительно для обозначения способов распада; они должны быть оставлены для «истинных» частиц.

Второй столбец содержит вероятные схемы распада. Первые три из них установлены весьма надежно, тогда как схемы распада последних двух частиц еще не вполне ясны. Ниже в скобках указаны возможные конкурирующие схемы распада.

Столбец 3

Вследствие разброса измеренных значений масс K -частиц для каждой частицы приведены несколько значений масс, полученных в наиболее поздних и точных опытах. Для возможности сравнения приведенные ошибки во всех случаях означают стандартные отклонения. Эти ошибки связаны главным образом со статистическими неточностями. Справа от ошибок помещены индексы, указывающие на метод определения массы. Под соответствующими значениями масс, приведенными для каждой данной K -частицы, приведены взвешенное среднее (по всем доступным измерениям) и его стандартное отклонение (за которым стоит обозначение «Ср»).

Столбец 4

Здесь перечислены средние времена жизни частиц. Приведенные ошибки означают стандартные отклонения.

Столбцы 5, 6, 7, 8 и 9

Эти столбцы содержат величину Q распада, кинетическую энергию E , импульс P , произведение импульса на $\beta = v/c$ и пробег R заряженной вторичной частицы, вычисленные в предположении, что масса K -частицы равна $966 m_e$ и что частица распадается после остановки на вторичные частицы, перечисленные в столбце 2. Это — вычисленные, а не измеренные значения.

Столбец 10

В различных опытах, где исследовались свойства K -частиц, было показано, что независимо от способа образования частиц и от условий опыта относительная доля частиц, распадающихся по различным схемам, остается приблизительно одной и той же. Это соотношение между интенсивностями различных ветвей распада может оказаться характерным свойством K -частиц. Оно приведено в столбце 10.

РАЗДЕЛ III

ЧАСТИЦЫ, СУЩЕСТВОВАНИЕ КОТОРЫХ УСТАНОВЛЕНО
МЕНЕЕ НАДЕЖНО1. τ^0 И ДРУГИЕ K^0 -ЧАСТИЦЫ

Следует ожидать, что наряду с заряженными τ -мезонами существуют и нейтральные τ -мезоны. (Существование τ^0 -мезонов предсказано геллмановской схемой «странностей».) Этот мезон может иметь одну из следующих или обе схемы распада:

$$\begin{aligned}\tau^0 &\rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0, \\ \tau^0 &\rightarrow \pi^0 + \pi^0 + \pi^0.\end{aligned}$$

Часто указывалось на то, что некоторые (но не все) из так называемых аномальных V^0 -распадов могут быть примерами распада по первой из этих схем. Однако пока еще нет достаточных доказательств в пользу существования τ^0 -мезона. Он может, вообще говоря, иметь и другие схемы распада.

Кроме η^0 и τ^0 , могут существовать и другие K^0 -мезоны. В настоящее время принято, однако, считать, что других нейтральных K -частиц нет, но могут существовать другие схемы распада этих двух частиц. Эти другие схемы, возможно, могут объяснить неко-

торые из остальных аномальных V^0 -распадов. Большинство таких распадов может быть объяснено следующими схемами:

$$\begin{aligned} K^0 &\rightarrow \pi^+ + \pi^- + \gamma, \\ K^0 &\rightarrow \mu^\pm + \pi^\mp + \nu, \\ K^0 &\rightarrow e^\pm + \pi^\mp + \nu^\dagger. \end{aligned}$$

2. Σ^0 и Ξ^0

Кроме $\Sigma^\pm$, может существовать также Σ^0 -гиперон. Он предсказан теми схемами «странности»^{13, 17}, в которых Σ -гиперонам приписан изотопический спин 1, и они образуют тем самым триплет. Прямых доказательств существования этой частицы нет, но в пользу такого предположения свидетельствуют некоторые наблюдения в камере Вильсона^{20, 21}, из которых следует, что, кроме процесса образования,

$$\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + \vartheta^0$$

возможно существование процесса

$$\pi^- + p \rightarrow \Sigma^0 + \vartheta^0,$$

причем Σ^0 быстро распадается (среднее время $\ll 10^{-10}$ сек) на Λ^0 и фотон.

Экспериментальные доказательства существования Ξ^0 -гиперона отсутствуют, но его существование также следует из схем «странности»^{13, 17}.

3. АНТИНЕЙТРОН И ДРУГИЕ АНТИЧАСТИЦЫ

Из образования антипротонов в Беркли²² следует, что возможно также образование антинейтронов. Если теория Дирака применима всегда, то можно ожидать, что каждая частица должна иметь соответствующую античастицу. Античастицы должны иметь те же свойства, что и частицы, за исключением того, что знак у следующих свойств должен быть заменен противоположным: заряд, магнитный момент, z -компонента изотопического спина, величина S и барионное число M^*).

*) Например, интенсивное образование тяжелых нестабильных частиц (K -мезонов и гиперонов) разрешается сохранением полного значения S для системы (это имеет место при парном образовании). Медленный распад этих частиц является результатом того, что при распаде величина S должна измениться на ± 1 .

Соотношение между величиной заряда частицы ($q/|e|$) и z -компонентой ее изотопического спина дается выражением

$$\left(\frac{q}{|e|}\right) = T_z + \frac{M}{2} + \frac{S}{2},$$

где S — число, характеризующее «странность» частицы, а M — барионное число ($M = +1$ для нуклонов и гиперонов, 0 — для всех легких частиц и -1 для антинуклонов и антигиперонов).

ТАБЛИЦА СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ (апрель 1956 г.)

I. Частицы, существование которых надежно установлено

Частица. Обозначение и заряд	Масса				Вторичные частицы	Q (Мэв)	Среднее время жизни, (сек)	Спин $(\hbar)$	Магнитный момент $(\mu_0 = \frac{e\hbar}{2m_e c})$	Четность	Изотопический спин		Геллмановское S
	$(\frac{1}{16} O^{16})^a$	$(z)^a$	(m_e)	$\cdot (Mэв)$							T	T_z	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
γ^0	0	0	0	0	Стабилен	0	∞	1					
ν^0					Стабилен	0	∞	$(\frac{1}{2})$	$< 10^{-7} c$				
e^-	0,000548763 (6)	$9,1083 \cdot 10^{-28}$ (3)	1	$< 0,0005$ $< 250 \text{ эв}$ 0,510976a (7)	Стабилен	0	∞	$\frac{1}{2}$	-1,0011146d (12)				
e^+	Та же масса, что у электрона с точностью 0,0071% e				$e^+ + e^- \rightarrow n\gamma$ $n = 2, 3, \dots$		Позитроний 3S : $1,5 \cdot 10^{-7} \text{ ф}$ (15)	$\frac{1}{2}$	(+1,001146) (12)				
L-мезоны	$\mu^\pm$			206,7 g (2)	105,6 (1)	$e^\pm + \nu + \bar{\nu}$	105,1 (1)	$2,22 \cdot 10^{-6} \text{ н}$ (2)	$(\frac{1}{2})$				
	π^+	{ Среднее $m_{\pi^\pm} = 273,1 m_e$ (2) Среднее $m_{\pi^\pm} c^2 = 139,55 \text{ Мэв}$ (1)	{ 273,3 g (2) 272,8 g (3)	{ 139,7 (1) 139,1 (15)	$\mu^+ + \nu$ $\mu^- + \bar{\nu}$	{ 34,1 (15) 33,8 (2)	{ 2,53 · 10 ⁻⁸ i (10) 2,55 · 10 ⁻⁸ j (19)	0 0 0	-	1	+1	(0)	(0)
	π^-												
	π^0												
		$m_{\pi^+} - m_{\pi^0} = 8,8 m_e k$ (6)	264,3 (7)	135,0 (3)	$\gamma + \gamma$ $(\frac{1}{80})$ $\gamma + e^+ + e^-$ $(\frac{1}{160})$ $2e^+ + 2e^-$	135,0 (3)	$(1-5) \cdot 10^{-15} \text{ л}$	0		1	0	(0)	

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
K-мезоны	τ^+			966,1 (2)	493,7 (1)	$\pi^+ + \pi^+ + \pi^-$ ($\pi^+ + \pi^0 + \pi^0$)	75,0 ^m (8)	(12) 1,27·10 ⁻⁸ п (2)	(0) ^m		(-) ^m		(+ $\frac{1}{2}$)	(+1)
	τ^-			(966,1) (2)	(493,7) (1)	$\pi^- + \pi^+ + \pi^-$ ($\pi^- + \pi^0 + \pi^0$)	(75,0) (8)	(12) (1,27·10 ⁻⁸) (2)	(0)		(-)		(- $\frac{1}{2}$)	(-1)
	η^0			965 (10)	493 (5)	$\pi^+ + \pi^-$ ($\pi^0 + \pi^0$)	214° (5)	(4) 1,3·10 ⁻¹⁰ p (3)	$I \neq 1$		(+?)		(- $\frac{1}{2}$)	(+1)
Частица. Обозначение и заряд	Масса				Вторичные частицы	Q (Мэв)	Среднее время жизни, (сек)	Спин $(\hbar)$	Магнитный момент ($\mu_0 = \frac{e\hbar}{2Mpc}$)	Четность	Изотопический спин		Геллмановское S	
	($\frac{1}{16}O^{16}$) ^q	(2) ^a	(m_e)	(Мэв)							T	T _z		
Нуклоны	Атомные единицы массы	1,0000000			931,141 ^a (10)									
	p ⁺	1,0075964 (15)	1,67239·10 ⁻²⁴ (4)	1836,12 (2)	938,214 (10)	Стабилен	∞	$\frac{1}{2}$	+2,792743 г (3)		$\frac{1}{2}$	+ $\frac{1}{2}$	(0)	
	n ⁰	1,0089861 (15)	1,67470·10 ⁻²⁴ (4)	1838,65 (2)	939,508 (10)	p ⁺ + e ⁻ + ν	0,7830 г (9)	$\frac{1}{2}$	-1,913138 г (44)		$\frac{1}{2}$	- $\frac{1}{2}$	(0)	
	(H ⁺)	1,0081452 (15)					1,11·10 ³ с (22) T _{1/2} =12,8 мин							

Частица. Обозначение и заряд	Масса				Вторичные частицы	Q (Мэв)	Среднее время жизни, сек	Спин $(\hbar)$	Магнитный момент $(\mu_0 = \frac{e\hbar}{2M_p c})$	Четность	Изотопический спин		Геллмановское S
	$(\frac{1}{16}O^{16})^a$	$(z)^a$	(m_e)	(Мэв)							T	T_z	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Гипероны	Λ^0		2181,5 (2)	1114,7 (1)	$p^+ + \pi^-$ ($n^0 + \pi^0$)	36,9 ^t (1)	(6) $3,7 \cdot 10^{-10}$ н (5)	$\frac{1}{2}$ II				(0)	(-1)
	Σ^+		2326,9 (3)	1189,0 (1,5)	$p^+ + \pi^0$ $n^0 + \pi^+$	115,8 v, w (1)	(1,4) $(\sim) 3,4 \cdot 10^{-11}$ w, x (8)	$\frac{1}{2}$ II				(+1)	(-1)
	Σ^-		(2326,9) (3)	1189,0 (1,5)	$n^0 + \pi^-$	(109,9) (1)	(1,4) $(\geq) 3,4 \cdot 10^{-11}$ (8)	$\frac{1}{2}$ II				(-1)	(-1)
	Ξ^-		2586 (7)	1321 (3,5)	$\Lambda^0 + \pi^-$	67 y (3)	$\sim 1 \cdot 10^{-10}$ x	$\frac{1}{2}$ II				$(-\frac{1}{2})$	(-2)
	$(H^2)^+$	2,0141915 (28)	Э.С.=-2,2264 (18)	1875,496 (14)	Стабилен			1	+0,8574073 r (2)	+	0	0	
	$(H^3)^+$	3,016456 (5)	Э.С.=-8,458 (4)	2808,746 (17)	$He^3 + + +$ $+ e^- + \nu$	0,0181 q (2)	17,690 (6) часов	$\frac{1}{2}$	+2,97884 r (1)		$\frac{1}{2}$	- $\frac{1}{2}$	
	$(He^3)^{++}$	3,015888 (5)	Э.С.=-7,720 (4)	2808,217 (17)	Стабилен			$\frac{1}{2}$	-2,127544 r (7)		$\frac{1}{2}$	+ $\frac{1}{2}$	

II. Частицы, свойства которых установлены не окончательно

Частица, обозначение и заряд	Вероятные вторичные частицы	Измеренная масса (m_e)	Среднее время жизни (сек)	Если масса равна 966 m_e					Наблюдаемая доля K^+ -распадов
				Q (Мэв)	$E_{\text{заряж.}}$ вторичной (Мэв)	$P_{\text{заряж.}}$ вторичной (Мэв/с)	$P^3_{\text{заряж.}}$ вторичн. (Мэв/с)	$R_{\text{заряж.}}$ вторичн. (г/см ² Рб)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
$K_{\pi 2}^{(\pm)} \equiv \gamma^{(\pm)} \equiv (\theta^{(\pm)})?$	$\pi^{(\pm)} + \pi^0$	$\left\{ \begin{array}{l} 964 \pm 4^* \text{ aa} \\ 967 \pm 2^+ \text{ bb} \\ 968 \pm 3^* \text{ cc} \\ 964 \pm 2^* \text{ bb} \\ \hline 966 \pm 2 \text{ Ср} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 12,1^{+1,1}_{-1,0} \times 10^{-9} \text{ ff} \\ \sim 10 \cdot 10^{-9} \text{ aa} \end{array} \right.$	219,1	108,5	205,1	169,6	60	$\sim 0,27$
$K_{\pi 3}^{(\pm)} \equiv \tau^{(\pm)} \equiv (\tau^{(\pm)})?$	$\pi^{(\pm)} + \pi^0 + \pi^0$	$\left\{ \begin{array}{l} 968 \pm 6^+ \text{ aa} \\ 952 \pm 16^+ \text{ dd} \\ \hline 965 \pm 7 \text{ Ср} \end{array} \right.$	$\sim 10 \cdot 10^{-9} \text{ aa}$	84,1	$\leq 53,1$	$\leq 132,9$	$\leq 91,6$	$\leq 21,2$	$\sim 0,02$
$K_{\mu 2}^{(\pm)}$	$\mu^{(\pm)} + \nu$	$\left\{ \begin{array}{l} 964 \pm 6^* \text{ aa} \\ 976 \pm 7^* \text{ cc} \\ 965 \pm 3^* \text{ bb} \\ 968 \pm 2^+ \text{ bb} \\ \hline 966 \pm 2 \text{ Ср} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 11,7^{+0,8}_{-0,7} \times 10^{-9} \text{ ff} \\ \sim 10 \cdot 10^{-9} \text{ aa} \end{array} \right.$	388,0	152,5	235,5	214,9	106	$\sim 0,57$
$K_{\mu 3}^{(\pm)} \equiv \kappa^{(\pm)}$	$\mu^{(\pm)} + \pi^0 + \nu$ $(\mu^{(\pm)} + \gamma + \nu)$	$\left\{ \begin{array}{l} 956 \pm 5^+ \text{ aa} \\ 951 \pm 15^+ \text{ dd} \\ \hline 967 \pm 6^+ \text{ bb} \\ \hline 964 \pm 5 \text{ Ср} \end{array} \right.$	$\sim 10 \cdot 10^{-9} \text{ aa}$	253,0	$\leq 134,0$	$\leq 215,1$	$\leq 193,1$	≤ 91	$\sim 0,04$
$K_{e3}^{(\pm)}$	$e^{(\pm)} + ? + ?$ $(e^{(\pm)} + \pi^0 + \nu)$ $(e^{(\pm)} + \gamma + \nu)$	$\left\{ \begin{array}{l} 984225^+ \text{ aa} \\ 988 \pm 40 \text{ ee} \\ 963 \pm 10^+ \text{ bb} \\ \hline 967 \pm 9 \text{ Ср} \end{array} \right.$	$\sim 10 \cdot 10^{-9} \text{ aa}$						$\sim 0,04$ Остальная часть распа- дов, $\sim 0,06$, принадлежит τ -мезонам
p^-	Та же масса, что у p^+ с точностью $\pm 5\%$ gg								

4. БОЛЕЕ ТЯЖЕЛЫЕ ГИПЕРОНЫ

Возможно, что существуют гипероны более тяжелые, чем Ξ^- . Айзенберг наблюдал случай, который может быть интерпретирован как довод в пользу существования таких частиц. Для наблюдаемого случая предполагаемая схема распада имеет вид

$$Y^- \rightarrow K^- + (n \text{ или } \Lambda^0) + (Q = 5 \text{ Мэв}).$$

Знак этой частицы получен на том основании, что остановившийся K -мезон поглощается ядром эмульсии и образует большую звезду.

Фрай, Шнепс и Свами²⁴ также обнаружили случай, который говорит о существовании более тяжелых гиперонов.

5. ДРУГИЕ «АНОМАЛЬНЫЕ» ЧАСТИЦЫ ИЛИ СХЕМЫ РАСПАДА

Были обнаружены другие случаи, которые не укладываются в приведенные в таблице и в тексте данные. Перечислить их невозможно, и мы упомянем наиболее важные. Таковыми является кажущееся существование группы отрицательно заряженных частиц, по-видимому, K -частиц, которые имеют значительно меньшее время жизни, чем «нормальные» K -частицы²⁵.

Примечания при корректуре. Приведенные примечания являются следствием информации, полученной на Шестой годичной рочестерской конференции (апрель 1956 г.). Полное обсуждение этих данных может быть найдено в трудах конференции, которые будут опубликованы. См. также Washington Meeting Bulletin of the American Physical Society (сер. II, т. 1, April 1956).

1. Имеются некоторые доказательства существования среди отрицательных K -мезонов $K_{\pi 2}^-$, $K_{e 3}^-$ и, возможно, $K_{\pi 3}^-$ и $K_{\mu 2}^-$ -частиц.

2. В добавление к π^0 -, Σ^+ - и τ -частицам, теперь кажется необходимым, чтобы θ^0 - и Λ^0 -частицы имели дополнительные схемы распада, при которых возникают только нейтральные вторичные частицы. Это необходимо, если все «странные» частицы (т. е. частицы с $S \neq 0$) образуются в парном рождении и если нет новых странных частиц.

3. Некоторые опыты указывают на то, что Σ^- -гиперон приблизительно на 14—16 электронных масс тяжелее, чем Σ^+ , и что среднее время жизни $\Sigma^- \sim 1,4 \cdot 10^{-10}$ сек, что значительно больше, чем у Σ^+ . Это не мешает обоим гиперонам принадлежать к одному изотопическому триплету.

4. Некоторые недавние опыты дают для среднего времени жизни θ^0 -мезона значение, меньшее приведенного в таблице. Новое среднее значение приблизительно равно $1,0 \cdot 10^{-10}$ сек.

5. Равенство масс протона и антипротона установлено теперь с точностью $\sim 2\%$.

6. Наблюдено несколько случаев, указывающих на вероятное существование следующей схемы распада:

$$K^0 \rightarrow e^\pm + \pi^\mp + (\text{легкая нейтральная частица}).$$

7. Получены дополнительные доказательства существования Σ^0 -гиперона. Кажется весьма вероятным, что эта частица существует и что ее свойства укладываются в схему странности.

8. В настоящее время предполагают, что группа отрицательно заряженных частиц со средним временем жизни порядка 10^{-10} сек состоит скорее из Σ^- -гиперонов, чем из K^- -мезонов.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Amaldi, Anderson, Blackett, Fretter, LePrince—Ringuet, Peters, Powell, Rochester, Rossi and Thompson, *Nature* **173**, 123 (1954); *Nuovo cimento* **11**, 213 (1954).
2. В последнее время было опубликовано много хороших таблиц. Основное построение этой таблицы аналогично принятому в более ранней таблице, составленной проф. Б. Росси. *Примечание в корректуре*. Таблица мезонов и гиперонов была недавно опубликована М. М. Shapiro [*Am. J. Phys.* **24**, 196 (1956)]. Эта работа содержит полную библиографию литературы вплоть до середины 1955 г.
3. См., например, сводки, сделанные независимо Р. Е. Маршаком и Р. В. Томпсоном на Интернациональной конференции 1955 г. в Пизе (не опубликовано); *Mibeographed Proceedings of the International Conference on Elementary Particles, Pisa, June, 1955* [*Nuovo cimento* (to be published)]; Part I, Session 3 of the *Varenna Lectures, Nuovo cimento, Suppl. No 1, 2, 163—274* (1955); *Proceedings of the Fifth Annual Rochester Conference, 1955* (Interscience Publishers, Inc., New York, 1955); *Proceedings of the 1954 Glasgow Conference on Nuclear and Meson Physics* (Pergamon Press, London and New York, 1955); различные обзоры, помещенные в томах *The Annual Review of Nuclear Science, Progress in Cosmic Ray Physics, and the Reports on Progress in Physics*.
4. Smith, Birnbaum and Barkas, *Phys. Rev.* **91**, 765 (1955).
5. Barkas, Birnbaum and Smith, *Phys. Rev.* **101**, 778 (1956).
6. K. M. Crowe and R. H. Phillips, *Phys. Rev.* **96**, 470 (1954).
7. A. H. Wapstra, *Physica* **21**, 367 (1955).
8. Lindenfeld, Sachs and Steinberger, *Phys. Rev.* **89**, 521 (1953).
9. R. H. Dalitz, *Proc. Phys. Soc. (London)* **A64**, 667 (1955).
10. Hodson, Ballam, Arnold, Harris, Rau, Reynolds and Treiman, *Phys. Rev.* **96**, 1089 (1954).
11. D. B. Gayther, *Phil. Mag.* **45**, 570 (1954); **46**, 1362 (1955).
12. D. I. Page, *Phil. Mag.* **46**, 103 (1955).
13. M. Gell-Mann and A. Pais, *Proceedings of the 1954 Glasgow Conference on Nuclear and Meson Physics* (Pergamon Press, London, 1955).
14. Schneps, Swami, Fry and Snow, *Bull. Am. Phys. Soc. Ser. 11*, **1**, 64 (1956).
- 15, 16. M. Gell-Mann, *Lectures at Massachusetts Institute of Technology and Harvard, 1955* (не опубликовано).
17. A. Pais, *Physica* **19**, 869 (1953); M. Gell-Mann, *Phys. Rev.* **92**, 833 (1953); *Nuovo cimento* (to be published); T. Nakano and K. Nishi-

- jima, Progr. Theoret. Phys. (Japan) **10**, 581 (1953); M. Goldhaber, Phys. Rev. **92**, 1297 (1953); **101**, 433 (1956); D. C. Peaslee, Nuovo cimento **12**, 943 (1954); J. Rayski, Nuovo cimento **12**, 945 (1954); R. G. Sachs, Phys. Rev. **99**, 1573 (1955).
18. См., например, обзор Томпсона Р. В. на Пизанской конференции 1955 г.: R. W. Thompson, Progress in Cosmic Ray Physics, edited by J. G. Wilson (to be published), vol. 3 и другие работы, приведенные в ссылке 3.
 19. См., например, Ballam, Grisaru and Treiman, Phys. Rev. **101**, 1438 (1956).
 20. Fowler, Shutt, Thorndike and Whittemore, Phys. Rev. **98**, 121 (1955).
 21. W. D. Walker, Phys. Rev. **98**, 1407 (1955).
 22. Chamberlain, Segre, Wiegand and Ypsilantis, Phys. Rev. **100**, 947 (1955).
 23. Y. Eisenberg, Phys. Rev. **96**, 541 (1954); Mimeographed Proceedings of the International Conference on Elementary Particles, Pisa, June, 1955 [Nuovo cimento (to be published)].
 24. Fry, Schneps and Swami, Phys. Rev. **97**, 1189 (1955); Nuovo cimento **2**, 346 (1955).
 25. См., например, ссылку 3 и G. H. Trilling and R. B. Leighton, Phys. Rev. **100**, 1468 (1955).

ЛИТЕРАТУРА К ТАБЛИЦАМ

- a) Cohen, DuMond, Layton, and Rollett, Revs. Modern Phys. **27**, 363 (1955).
- b) L. M. Langer and R. J. D. Moffat, Phys. Rev. **88**, 689 (1952).
- c) Cowan, Reines and Harrison, Phys. Rev. **96**, 1294 (1954).
- d) Koenig, Prodel and Kusch, Phys. Rev. **88**, 191 (1952).
- e) Page, Stehle and Gunst, Phys. Rev. **89**, 1273 (1953).
- f) M. Deutsch, Phys. Rev. **83**, 866 (1951).
- g) Smith, Birnbaum, and Barkas, Phys. Rev. **91**, 765 (1953); Barkas, Birnbaum, and Smith, Phys. Rev. **101**, 778 (1956).
- h) W. E. Bell and E. P. Hincks, Phys. Rev. **84**, 1243 (1951).
- i) Jakobson, Schultz and Steinberger, Phys. Rev. **81**, 894 (1951); W. L. Kraushaar, Phys. Rev. **86**, 513 (1952).
- j) Durbin, Loar and Havens, Phys. Rev. **88**, 179 (1952).
- k) W. Chinowsky and J. Steinberger, Phys. Rev. **93**, 586 (1954).
- l) D. H. Perkins, Phil. Mag. **46**, 1146 (1955); B. M. Anand, Proc. Roy. Soc. (London) A220, 183 (1953).
- m) E. Amaldi, Report on τ Mesons, Mimeographed Proceedings of the Pisa Conference on Elementary Particles, June, 1955, Nuovo cimento (to be published); H. H. Heckman, Nuovo cimento (to be published).
- n) L. Alvarez and S. Goldhaber, Nuovo cimento **2**, 344 (1955); Harris, Orear and Taylor, Phys. Rev. **100**, 932 (1955). V. Fitch, New York Meeting of the American Physical Society, February 1, 1956 (unpublished).
- o) Thompson, Burwell, Cohn, Huggett and Karzmark, Phys. Rev. **95**, 661 (1954).
- p) D. I. Page, Phil. Mag. **46**, 103 (1955); D. B. Gayther, Phil. Mag. **45**, 570 (1954); **46**, 1362 (1955).

- q) Li, Whaling, Fowler and Lauritsen, *Phys. Rev.* **83**, 512 (1951); K. T. Bainbridge, *Experimental Nuclear Physics*, edited by E. Segré (John Wiley and Sons, Inc., New York, 1953), vol. I; R. W. King, *Revs. Modern Phys.* **26**, 327 (1954); D. M. van Patter and W. Whaling, *Revs. Modern Phys.* **26**, 402 (1954); Duckworth, Hogg and Pennington, *Revs. Modern Phys.* **26**, 463 (1954); A. H. Wapstra, *Physica* **21**, 367 (1955).
- r) N. F. Ramsey, *Molecular Beams*, Oxford University Press, New York, 1956.
- s) J. M. Robson, *Phys. Rev.* **83**, 349 (1951).
- t) C. C. Butler, Report on Hyperons, Mimeographed Proceedings of the Pisa Conference on Elementary Particles, June, 1955.
- u) D. I. Page, *Phil. Mag.* **45**, 863 (1954).
- v) Friedlander, Keefe and Menon, *Nuovo cimento* **1**, 482 (1955); Baldo, Belliboni, Ceccarelli, Grille, Sechi, Vitale and Zorn, *Nuovo cimento* **1**, 1180 (1955).
- w) Schneps, Swami, Fry and Snow, *Bull. Am. Phys. Soc.*, Ser. II, **1**, 64 (1956).
- x) Davies, Evans, Fowler, Francois, Friedlander, Hiller, Iredale, Keefe, Menon, Perkins and Powell, Mimeographed Proceedings of the Pisa Conference on Elementary Particles, June, 1955; Dahanayake, Francois, Fujimoto, Iredale, Waddington and Yasin, *Nuovo cimento* **1**, 888 (1955).
- y) Castagnoli, Cortini and Manfredini, *Nuovo cimento* **2**, 565 (1955).
- z) W. M. Jones, *Phys. Rev.* **100**, 124 (1955).
- * Получено из измерения Q -распада.
- + Получено из сравнения пробега K -частиц с пробегом протонов, имеющих тот же импульс.
- † Получено из сравнения пробега K -частиц с пробегом τ -мезонов, имеющих тот же импульс, в предположении, что масса τ -мезона равна $966 m_e$.
- aa) Ritson, Pevsner, Fung, Widgoff, Zorn, Goldhaber and Goldhaber, *Phys. Rev.* **101**, 1085 (1956).
- bb) Whitehead, Stork, Peterson, Perkins and Birge, UCRL — 3295 (March, 1956) (unpublished).
- cc) G-Stack Collaboration, *Nuovo cimento* **2**, 1063 (1955).
- dd) Heckman, Smith and Barkas, UCRL — 3156 (October, 1955), (unpublished); *Nuovo cimento* **3**, 85 (1956).
- ee) H. H. Heckman, UCRL — 3003 (May, 1955) (unpublished).
- ff) V. Fitch and R. Motley, *Phys. Rev.* **101**, 496 (1956).
- gg) Chamberlain, Segré, Wiegand and Ypsilantis, *Phys. Rev.* **100**, 947 (1955).