Доклады Академии наук СССР
1955. Том 104, № 3

ФИЗИКА

А. В. ХРИМЯН

О СУЩЕСТВОВАНИИ ПРОНИКАЮЩИХ ПАР

(Представлено академиком А. И. Алихановым 19 IV 1955)

В 1953 г. при изучении продуктов ядерных расщеплений, вызванных нейтральной компонентой космического изучения, нами были получены данные, указывающие на существование пар разноименных заряженных частиц, по крайней мере одна компонента которых ядерно-неактивна (1). В настоящей работе приведены новые данные, подтверждающие существование вышеуказанных пар.

Работа выполнена при помощи масс-спектрометра Алиханяна и Алиханова на высоте 3250 м над уровнем моря (г. Алагез) (рис. 1). Более подробные данные о приборе (поле 6850 эрст.), а также о методике изучения звезд можно найти в работе (2).

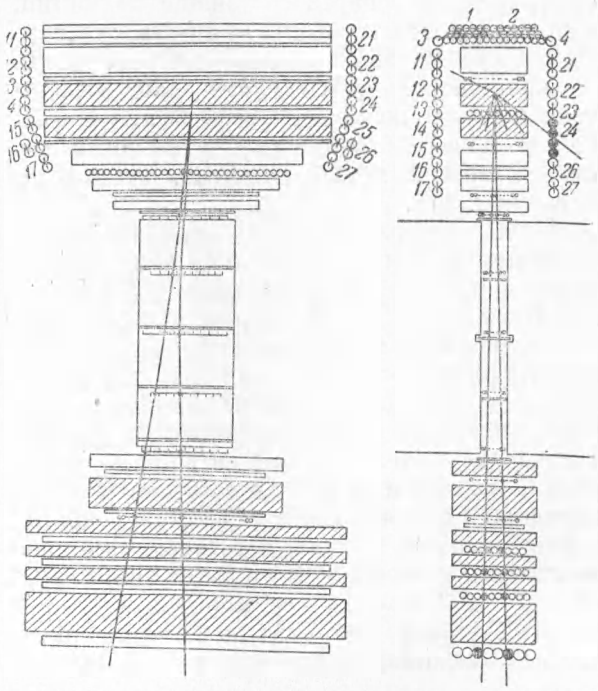


Рис. 1

Условия отбора. Нами были отобраны все случаи прохождения через масс-спектометр двух генетически связанных частиц, рожденных в ядерных расщеплениях, вызванных нейтральным излучением в свинцовых генераторах. Необходимым условием отбора служила возможность однозначно определить импульсы и пространственную картину прохождения частиц через прибор. Были исключены все случаи, когда одна или обе исследуемые частицы явно зародились в генераторах при вторичных ядерных расщеплениях, вызванных ливневыми частицами первичной звезды. Все отобранные случаи (пары), наблюденные за 2500 час. измерений, приведены в табл. 1 (N). Большинство из этих пар зарождено в многолучевых звездах, две компоненты которых проходят через прибор. В звездах такого типа, особенно когда ливневые частицы распределены в узком конусе, через прибор могут пройти любые две из многих зарожденных в звезде ливневых ядерно-активных частиц.

Для наблюдения проникающих пар необходимы условия отбора, обеспечивающие резкое уменьшение фона ядерно-активных и электронных

пар. Такими условиями отбора являются требования, чтобы: *а*) пары до входа в спектрометр проходили достаточно толстый генератор (в данном случае не меньше 5 см Pb), *b*) все сопровождающие пару компоненты звезды поглотились бы в генераторах. Такой отбор уменьшает фон ядерно-активных и электронных пар и способствует выделению преимущественно таких звезд, которые содержат проникающие пары, если такие существуют (см. табл. 1).

Таблица 1

Тип пар	Все пары	Число пар, удовлетворяющих условиям							N—abc		c—a^bc	
		a	b	c	ab	ac	cb	abc	набл.	расч.	набл.	расч.
+, +	17	3	1	6	—	2	—	—	17	22	6	5
−, −	2	2	1	—	1	—	—	—	2	2	—	1
+, −	26	10	10	11	7	8	6	6	20	15	5	4
+, ? −, ?	7	3	2	8	1	1	1	1	5		2	

Отметим, что отбор согласно условиям *а* и *b* осуществляется исключительно по характеру прохождения пары и сопровождающих ее частиц через генераторы, расположенные в годоскопическом устройстве, установленном над магнитом, т. е. до входа в спектрометр.

Определим критерии ядерной активности частиц. Ясно, что о ядерной активности частицы можно судить только тогда, когда исключена возможность ионизационной остановки данной частицы в фильтрах установки. Поэтому рассмотрим только пары, состоящие из частиц, импульсы которых удовлетворяют условию $P(-) \geqslant 61 \cdot 0^8$ эв/c, $P\ (+) \geqslant 10^9$ эв/c, что исключит ионизационные остановки в фильтрах прибора положительных частиц с массой меньшей 2000 m_e и отрицательных частиц с массой меньше 1000 m_e (условие *с* (см. табл. 1)).

Пары, удовлетворяющие одновременно условиям *а, b* и *с* (пары *abc*) приведены в табл. 1 и 2. Из 14 компонент отобранных пар 3 вылетают из геометрии прибора. Общая длина пути остальных 11 частиц в фильтрах прибора составляет $\sim$16 ядерных единиц, при этом наблюдено не больше 2 случаев ядерного взаимодействия. Удобно сначала на основе экспериментального материала, полученного непосредственно и одновременно на этой же установке, определить сечение ядерного взаимодействия быстрых протонов и π-мезонов и результат принять за основу для определения сечения ядерного взаимодействия других, неизвестных групп частиц, как например, частиц, входящих в пары *abc*.

Таблица 2

Пары *abc*	Знак	Импульс в 10^9 эв/c	Угол между компонентами пары в град.	Акты взаимодействия в фильтрах
55—16	+	20	9	нет
	—	9,5		—*
61—7	+	47	5	нет
	(—)?	>50		—*
134—17	+	11,7	3	нет
	—	17,5		»
187—5	+	45	7	»
(рис. 1)	—	20		»
191—17	+	10	8	—*
	—	17,5		нет
482—18	+	45	7	?
	—	20		?
643—29	+	23,3	8	нет
(рис. 2)	—	9,5		»

* Вылет из прибора.

Ядерное взаимодействие. Одновременно с наблюдением пар в тех же сериях измерений были наблюдены ливневые частицы, зарожденные под действием нейтронов, импульсные спектры которых приведены в работе [3]*. Для определения сечения ядерного взаимодействия ливневых частиц был изучен характер прохождения этих частиц через фильтры установки. Из данных, приведенных в табл. 3, следует, что для ядерно-активных частиц с $P(+) \geqslant 10^9$ эв/c и $P(-) \geqslant 6 \cdot 10^8$ эв/c (группы I, II) вероятность прохождения через фильтры прибора без взаимо-

* В [3] приведены результаты, полученные за 800 час. измерений.

действия $w = 0{,}26$. Мы будем пользоваться значением $w = 0{,}3$ (по данным групп III и IV), во-первых, как максимальным значением w, во-вторых, как наиболее подходящим для оценки ядерного взаимодействия частиц с импульсами, близкими к средним значениям импульсов компонент пар abc. Группы V — VII приведены для полноты картины. Отметим, что значению $w = 0{,}3$ соответствует эффективное сечение взаимодействия $\sigma = 0{,}8\ \sigma_{\text{ядерн}}$*.

Ниже для оценки ядерного взаимодействия группы из n неизвестных частиц, из которых m прошли через все фильтры без взаимодействия, будем пользоваться значением $w = 0{,}3$ и следующими формулами теории вероятностей: вероятностью наблюдать данное событие $Q_{m,n}$ и значением $\psi(\alpha)$, которое определяет вероятность того, что при наблюдении частиц частота m/n прохождения через фильтры будет лежать вне интервала $w - \alpha\rho/n$ и $w + \alpha\rho/n$, где $\rho = \sqrt{nw(1-w)}$. При этом для анализа ядерного взаимодействия какой-либо группы частиц мы заранее будем предполагать, что все частицы данной группы ядерно-активны. Далее, в зависимости от вычисленных для этой группы значений $Q_{m,n}$ и $\psi(\alpha)$ подтвердим или исключим сделанное предположение.

Таблица 3

Группа	Тип частиц	Интервалы импульсов в 10^9 эв/c	Общее число частиц	Взаимодействие: остановка	Взаимодействие: звезда	Взаимодействие: рассеяние $>10°$	w	$Q_{m,n}$	$\psi(\alpha)$
I	+	10—63	175	65	28	34	0,26		
II	—	6—63	40	13	16	4			
III	+	15—63	80	16	20	18	0,3		
IV	—	10—63	25	8	11	1			
V	+	30—63	18	2	7	5	0,2		
VI	—	20—63	12	2	8	—			
VII	?	>63	13	1	6	2	0,31		
VIII	+,—	$P(+)\geqslant 10$, $P(-)\geqslant 6$	124	39	28	21	—	0,05*	0,31
IX	+,—	$P(+)\geqslant 15$, $P(-)\geqslant 10$	65	11	21	12	—	0,10*	0,69
X	+,—	$P(+)\geqslant 10$, $P(-)\geqslant 6$	23	6	7	6	—	0,1	0,19
XI	пары c—abc	$P(+)\geqslant 10$, $P(-)\geqslant 6$	25	4	6	5	—	0,1*	0,28

* По формуле Стерлинга.

Принимая вышесказанное за основу, оценим ядерное взаимодействие частиц следующих групп (см. табл. 3); 1) ливневые частицы, прошедшие в генераторах >5 см Pb до входа в масс-спектрометр (гр. VIII — IX); 2) частицы, входящие в те пары, которые не удовлетворяют условию c, но одна из компонент имеет импульс $P(+) \geqslant 10^9$ эв/c или $P(-) \geqslant 6 \cdot 10^8$ эв/c, (гр. X); 3) пары, не удовлетворяющие условиям abc, но удовлетворяющие условию c (т. е. пары $c - abc$). Таких пар всего 13 ($5^{+,-}$, $6^{+,+}$, $2^{?,+}$). Из 25 компонент этих пар 10 ($1^{+,+}$, $1^{?,+}$, $1^{+,-}$, 3^{+}, $1^{?}$) прошли все фильтры без взаимодействия (гр. XI).

Из приведенных в табл. 3 данных для $Q_{m,n}$ и $\psi(\alpha)$ видно, что в группах VIII — XI подавляющее большинство — ядерно-активные частицы.

Оценим ядерное взаимодействие компонент пар abc (табл. 2). Характер прохождения компонент пары № 482—18 через фильтры установки однозначно расшифровать невозможно, так как, кроме счетчиков, ле-

* Насколько $\sigma = 0{,}8\,\sigma_{\text{ядерн}}$ соответствует истинному сечению протонов и π-мезонов с $P > 10^9$ эв/c, для результатов работы не имеет значения, так как все измерения проведены на одной и той же установке.

жащих на пути частиц, сработали и некоторые другие счетчики. Наблюденную картину скорее всего можно объяснить δ-электронным ливнем или ливнем, вызванным одной из компонент пары. Мы для осторожности будем считать, что обе компоненты пары № 482—18 испытали ядерное взаимодействие. Все 9 компонент остальных 6 пар проходят все фильтры установки без взаимодействия. Таким образом, из 11 компонент пар *abc* не более чем 2 (пара № 482—18) взаимодействовали в фильтрах установки. В этом случае $Q_{9,11} = 5{,}3 \cdot 10^{-4}$, а вероятность наблюдения 9 или больше прохождений без взаимодействия из 11 ядерно-активных частиц $\sum_{m \geqslant 9}^{11} Q_{m,11} < 6 \cdot 10^{-4}$. Таким образом, в данном случае ничтожна вероятность того, что все компоненты пар *abc* — ядерно-активные частицы *.

Распределение знаков заряда. Предположим, что все наблюденные пары зарождены в многолучевых звездах, из многих компонент которых случайные две прошли через прибор. На основе спектра ливневых частиц ([3]) вычислим вероятность наблюдения пар с заданным сочетанием знаков компонент, импульсы которых $P(+) \geqslant P_1$, $P(-) \geqslant P_2$, где P_1 и P_2 — заданные значения импульсов.

Из 7 пар *abc* — 6 разноименные (табл. 1 и 2)**. Вероятность наблюдения только разноименных пар, состоящих из ливневых частиц $\psi \approx Q_{6,6} = 4 \cdot 10^{-3}$***. Данные о парах, не удовлетворивших условию *abc*, т. е. состоящих из π-мезонов и протонов, приведены в табл. 1 (N — *abc*, c — *abc*). Как видно, в этих случаях опытные данные хорошо согласуются с ожидаемым результатом, вычисленным на основе данных ([3]).

Таким образом, анализ знаков показывает, что компоненты в парах *abc* связаны более тесно, чем обычные ливневые частицы, зарожденные в одной звезде.

Таким образом компоненты пар *abc* или являются продуктами распада какой-то нейтральной частицы, схема распада которой отличается от установленных схем ($\Lambda^0 \to p + \pi^-$, $0^0 \to \pi^- + \pi^+$) ([4,5]), или зарождаются только вместе при ядерных расщеплениях.

Из приведенных данных следует:

1. Под действием нейтрального излучения зарождаются пары разноименных заряженных частиц, по крайней мере одна компонента которых не может быть ни π-мезоном, ни протоном.

2. Сечение ядерного взаимодействия по крайней мере одной компоненты вышеуказанных пар значительно меньше сечения ядерного взаимодействия π-мезонов и протонов.

3. Наблюденные пары не могут быть продуктами распада нейтральных частиц, распадающихся только на ядерно-активные частицы.

В заключение приношу глубокую благодарность А. И. Алиханяну за поддержку в проведении работы и обсуждение результатов, А. И. Алиханову за интерес к работе и за ценные замечания, а также Т. Л. Асатиани, Г. В. Хримян, В. Ш. Камаляну и А. М. Гальперу за помощь в работе.

Физический институт
Академии наук АрмССР

Поступило
16 IV 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. В. Хримян, ДАН, 94, 853 (1954). [2] А. В. Хримян, ДАН, 96, 1155 (1954). [3] А. В. Хримян, ДАН, 103, № 2 (1955). [4] Congrès International sur le Rayonnement Cosmique, Bagnères de Bigorre, Juillet, 1953. [5] Suppl. Nuovo Cim., 12, No. 2 (Congresso Internazionale, Padova, aprile 1954).

* Если компоненты пар тождественные частицы, то $\sigma_{комп} \leqslant 0{,}2\,\sigma(\pi, p)$; если одна из компонент ядерно-неактивна, то $Q \sim 0{,}01$.

** О паре № 61—7 ничего определенного сказать нельзя.

*** Если компоненты пар *abc* зарождаются в звездах иного типа, где частота зарождения положительных и отрицательных частиц одинакова, то $Q_{6,6} = 1/64$.