

7  
Б-23

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

P-69

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Б.БАННИК, У.ГУЛЯМОВ, Д.КОПЫЛОВА,  
А.НОМОФИЛОВ, М.ПОДГОРЕЦКИЙ,  
Б.РАХИМБАЕВ, М.УСМАНОВА.

ГИПЕРФРАГМЕНТЫ В ЯДЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЯХ

ЖСЭТФ, 1958, т 34, в 2, с 286-297.

1957 г.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Б. БАННИК, У. ГУЛЯМОВ, Д. КОПЫЛОВА,  
А. НОМОФИЛОВ, М. ПОДГОРЕЦКИЙ,  
Б. РАХИМБАЕВ, М. УСМАНОВА.

ГИПЕРФРАГМЕНТЫ В ЯДЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЯХ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

1957 г.

Работа проводилась в двух эмульсионных камерах, облученных космическими лучами в стратосфере. Одна из камер, составленная из эмульсионных слоев типа  $\text{Kodak D}$  толщиной  $600 \mu$ , облучалась во время международной экспедиции в долине реки По; вторая была собрана из слоев НИКФИ типа Р толщиной  $400 \mu$  и облучалась в Советском Союзе. При просмотре фиксировались все звезды с числом лучей  $n_1 \approx 8-10$  либо  $n_2 \approx 2-3$ , а также  $5$  - звезды и все двойные звезды безотносительно к числу лучей. Основной просмотр велся по площади с увеличением  $10 \times 10 \times 1,5$ . В некоторой небольшой части случаев все черные лучи звезд продолжались до выхода<sup>a</sup> из слоя, а иногда даже и до их окончания в других слоях. Однако, как правило, фиксировались только те двойные звезды, которые были расположены в одном поле зрения объектива.

Цель работы состояла в изучении свойств и относительной частоты генерации гиперфрагментов; попутно отмечались также явления, связанные с тяжелыми нестабильными частицами других типов. Всего было найдено  $6$  - мезонов,  $1$  - мезон,  $1\Lambda$  - частица,  $4K$  - мезона,  $1Z$  - гиперон и  $10$  гиперфрагментов, из которых  $5$  распались с испусканием  $4$  - мезона. Не было найдено ни одного случая распада  $\Lambda$  гиперона или  $K^+$  - мезона, поскольку сама система поиска почти исключала возможность обнаружения этих частиц. Во всех первичных звездах, связанных с тяжелыми нестабильными частицами, были прослежены все черные и серые лучи вплоть до их остановки или до выхода из нашей части эмульсионной камеры<sup>x)</sup> камеры. При этом на  $14$

x) В некоторых случаях следы интересующих нас частиц были прослежены в других частях эмульсионной камеры, находящихся в лабораториях Будапешта, Еревана и Ленинграда. Авторы благодарят сотрудников, указанных лабораторий за оказанную ими помощь.

первичных звезд не было найдено ни одного случая парной генерации.

Из 6-ти  $\tau^+$ -мезонов 5 были найдены при просмотре <sup>но</sup> площади, а 1 - при продолжении назад следов остановившихся  $\pi^-$ -мезонов. Во всех случаях наблюдалась компланарность следов вторичных  $\pi^-$ -мезонов в пределах 2-3 градусов. Родительские расщепления были зарегистрированы только в двух случаях ( $I_0+O_n$  и  $II+3n$ ).

$\tau'$ -мезон<sup>xx</sup>) [<sup>1</sup>] образовался в звезде  $3 + 0n$  с очень малым видимым энерговыделением. Оба черных следа родительской звезды (кроме  $\tau'$ -мезона) принадлежат стабильным частицам. Пройдя 17 мм,  $\tau'$ -мезон остановился внутри эмульсии и распался.

Микропроекция случая изображена на рис. I. Масса частицы (I) определялась по плотности длины разрывов и остаточному пробегу и оказалась равной  $(860 \pm 50)m_e$ . От точки остановки В отходит след вторичного  $\pi^+$ -мезона, испытывающего затем  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$ -распад<sup>xx</sup>). Длина следа  $\pi^+$ -мезона составляет 1930  $\mu$ .

На микропроекции видны следы двух релятивистских частиц (5) и (6), отходящих от точки остановки  $\tau'$ -мезона. Угол между ними равен  $1 \pm 2^\circ$ . Измерения многократного рассеяния дают для следа (6)  $p_{\text{рвс}} = (66 \pm 10) \text{ МэВ}$ , откуда следует, что рассматриваемая частица является электроном.

След частицы (5) исчезает внутри эмульсии после пробега  $\sim 250 \mu$ , что естественно интерпретировать как аннигиляцию позитрона на-лету. Т.о. описанный случай соответствует, по-видимому,

---

х) Случай найден Л.У.Банник  
xx)  $\pi^+$ -мезон останавливается и распадается в точке С.

Кажущееся понижение ионизации в точке Е связано с переходом следа из одного фотослоя в другой.

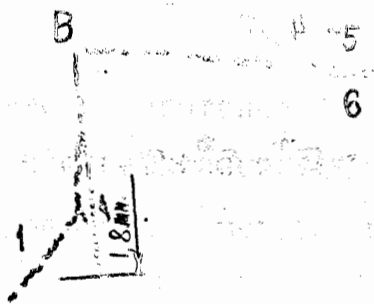


Рис. 1

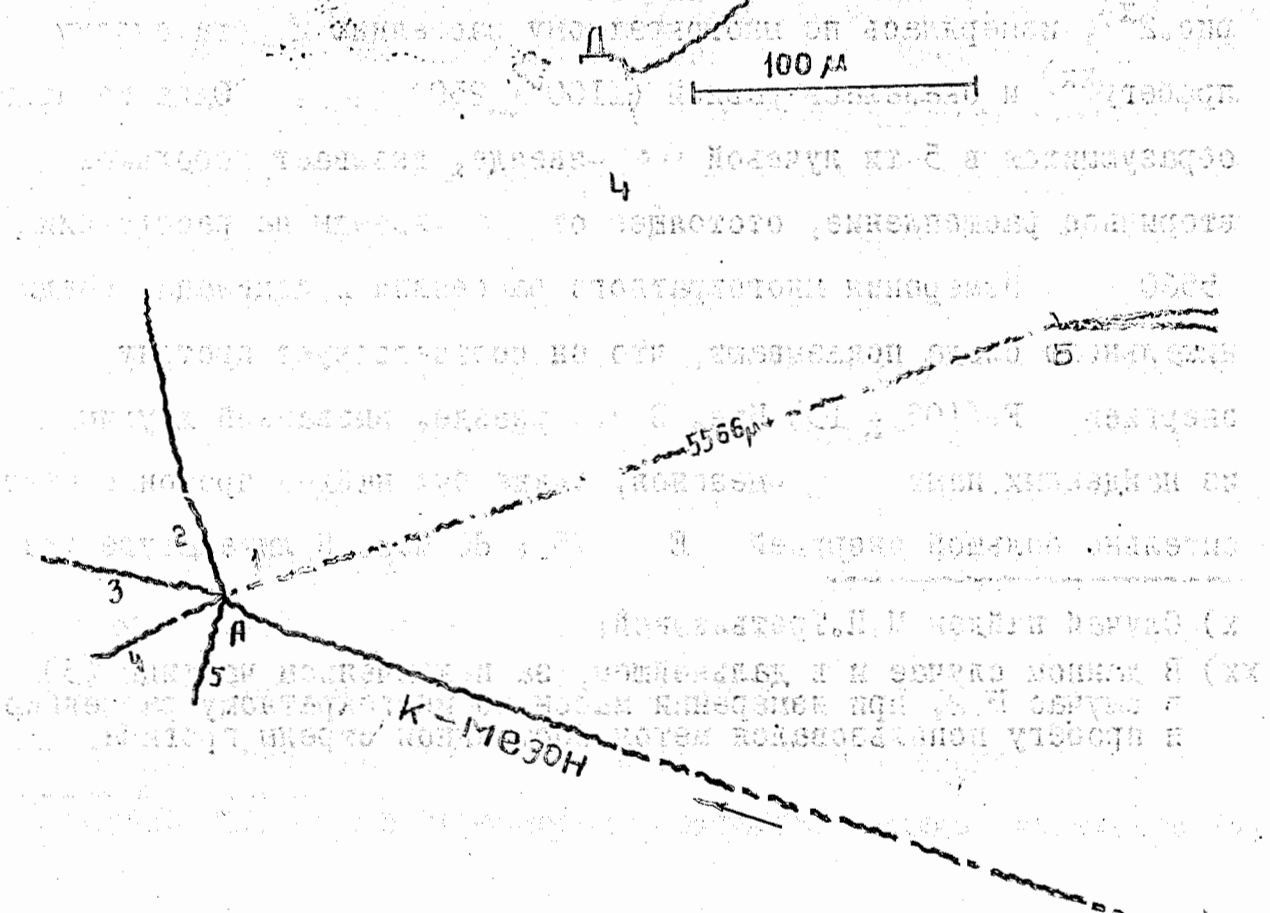
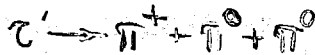
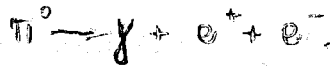


Рис. 2

распаду



с последующим распадом



Если указанная интерпретация верна, то в настоящее время среди  $K^+$ -мезонов, распадающихся с образованием  $\pi^0$ -мезонов, случаи возникновения пары  $e^+e^-$  не обнаружены только для распадов типа  $K_{e3}$ .

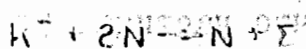
Из 4-х найденных нами  $K^-$ -мезонов 3 были обнаружены при систематическом просмотре и последующем анализе  $\Theta$ -звезд, обладающих большим числом лучей или каким-либо другими аномальными признаками. Родительское расщепление было зарегистрировано только в одном случае ( $II + 4n$  или  $II + 3P$ ).

Масса  $K^-$ -мезона, микропроекция которого изображена на рис. 2<sup>х)</sup>, измерялась по многократному рассеянию и остаточному пробегу<sup>хх)</sup> и оказалась равной  $(1100 \pm 250)m_e$ . Одна из частиц, образующихся в 5-ти лучевой  $\Theta$ -звезде, вызывает небольшое вторичное расщепление, отстоящее от  $\Theta$ -звезды на расстоянии  $\sim 5560 \mu$ . Измерения многократного рассеяния и ионизации соединительного следа показывают, что он соответствует протону с энергией  $E = (103 \pm 13)$  Мэв. В  $\Theta$ -звезде, вызванной другим из найденных нами  $K^-$ -мезонов, также был найден протон с относительно большой энергией  $E \sim 75 \pm 80$  Мэв. В литературе уже

х) Случай найден М.И.Третьяковой.

хх) В данном случае и в дальнейшем, за исключением частицы (3) в случае № 2, при измерении массы по многократному рассеянию и пробегу использовался метод постоянной стрелы прогиба.

отмечалось, что появление протонов большой энергии может рассматриваться в качестве косвенного аргумента в пользу захвата остановившегося  $K^-$ -мезона по схеме



По этому поводу, см. например, [2].

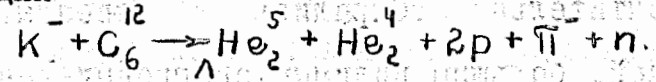
Кинематический анализ  $\sigma$ -звезды, изображенной на рис. 2, показал, что при всевозможных предполагаемых вариантах ядерного захвата полное энерговыделение оказывается значительно превосходящим  $m_{\pi} c^2$ . То же самое можно сказать и о двух из трех оставшихся  $\sigma_k$ -звезд. Одна из этих двух  $\sigma_k$ -звезд имеет 4 вторичных луча, вторая - 5. Третья  $\sigma_k$ -звезда также имеет 5 лучей. По-видимому, все найденные нами  $\sigma_k$ -звезды образовались при захвате  $K^-$ -мезонов в легких ядрах эмульсии, что вполне понятно с точки зрения принятой использованной системы поиска, при которой предпочтительно отбирались  $\sigma$ -звезды, обладающие большим числом лучей, большим видимым энерговыделением, либо другими заметными признаками. Из этого следует, что истинное число  $K^-$ -мезонов в несколько раз больше числа фактически найденных, т.е. примерно таково же, как и число  $\pi^+$ -мезонов или даже несколько больше. Такой результат вполне согласуется с известными экспериментальными данными по соотношению между числом  $K^+$  и  $K^-$ -мезонов, генерируемых в столкновениях, вызванных частицами космических лучей (см., например, [3]).

Среди остальных  $K^-$ -мезонов один следует отметить специально. Соответствующие данные приведены в таблице № I, микропроекция изображена на рис. 3х). Частица (5) является остановившимся  $K^-$ -мезоном, (7) - протоном, (6)  $\pi^-$ -мезоном. На концах

х) Случай найден Н.В. Кирсановой. Подробный анализ приведен в [4].

следов (4), (8) и (F) нет никаких признаков сужения, откуда следует, что заряд каждой из этих частиц  $\leq 2$ . Из анализа явлений в точке В следует, что частица (F) является гиперфрагментом  ${}_{\Lambda}^5\text{He}_2$  (см. ниже случай № I). Если бы частица (8) была бы протоном или  $\alpha$ -частицей, то ее энергия соответственно равнялась бы 1,2 Мэв или 4,6 Мэв, что значительно ниже кулоновского потенциального барьера в тяжелых ядрах эмульсии. Можно поэтому считать, что захват  $K^-$ -мезона произошел в ядре  $C^{12}$ ,  $N^{14}$  или  $O^{16}$ .

В соответствии с этим были рассмотрены все мыслимые варианты реакций на  $C^{12}$ ,  $N^{14}$  и  $O^{16}$  для всех возможных значений масс и зарядов частиц (4), (6), (7) и (8). Оказалось, что законы сохранения энергии и импульса удовлетворятся только в случае реакции



При этом масса  $K^-$ -мезона равна

$$m_{K^-} = (494,3 \pm 6,8) \text{ Мэв},$$

что хорошо согласуется с данными других работ<sup>x)</sup>.

Следует указать, что законы сохранения энергии и импульса не удовлетворяются, если предположить, что частица (F) является гиперфрагментом, отличным от  ${}_{\Lambda}^5\text{He}_2$ . Т.о. мы сталкиваемся здесь с редким случаем, когда возможна двойная идентификация гиперфрагмента - не только по явлениям при его распаде, но и исходя из

---

x) См. например, работу [5], где приведено значение  $m_{K^+} = (493,66 \pm 0,36) \text{ Мэв}$ . Масса  $K^-$ -мезонов известна с меньшей точностью. Естественно, однако, считать, что  $m_{K^-} = m_{K^+}$ .



Т а б л и ц а I

С л е л	4	5	6	7	8	с
Длина пробега в м х)	54,7	> 27300	> 27500 не остан.	4880	18	161
Ошибка измерения пробега в %	I,7	-	-	0,1	5,1	0,4
Разброс пробегов в %	I,8	-	-	I,4	2	I,2
Угол в горизонтальной плоскости <sup>xx)</sup>	+16,0	-	+7,9	-19,8	+15,8	0
Ошибка измерения угла в градусах	2	-	0,3	I	7	-
Азимутальный угол в градусах <sup>xxx)</sup>	44,5	-	126,6	167,8	269,8	0

х) Все данные приведены к необработанной эмульсии.

xx) Для следов, направленных к поверхности, берется со знаком <sup>м)</sup> +, для следов, направленных к стеклу, берется со знаком <sup>н)</sup> -.

xxx) Отсчитывается против часовой стрелки по отношению к произвольно выбранному направлению, одинаковому для всех следов звезды и следа гиперядра.

С л е д	4	5	6	7	8	F
Ошибка измерения угла $\varphi$ в градусах	0,7	-	0,7	0,7	1,7	0,7
Число $\delta$ -электронов с длиной пробега $\geq 4$ зерен <b>xxxx</b>	0	-	-	-	-	0
Заряд $Z$	$\leq 2$	-I	+I	+I	$\leq 2$	$\leq 2$
Метод измерения массы и ее величина в $10^9$	-	914+170 3-в 658+55	343+62 94	250+340 2700+300	-	-
Идентификация частицы	P	K	$\pi$	P	He <sup>4</sup>	He <sup>5</sup>
Энергия частицы в Мэв	2,47+0,04	-	66,3+6,5	35,3+0,3	4,60+2	21,3+0,3

**xxxx**) I зерно на следе, 3 - вне следа.

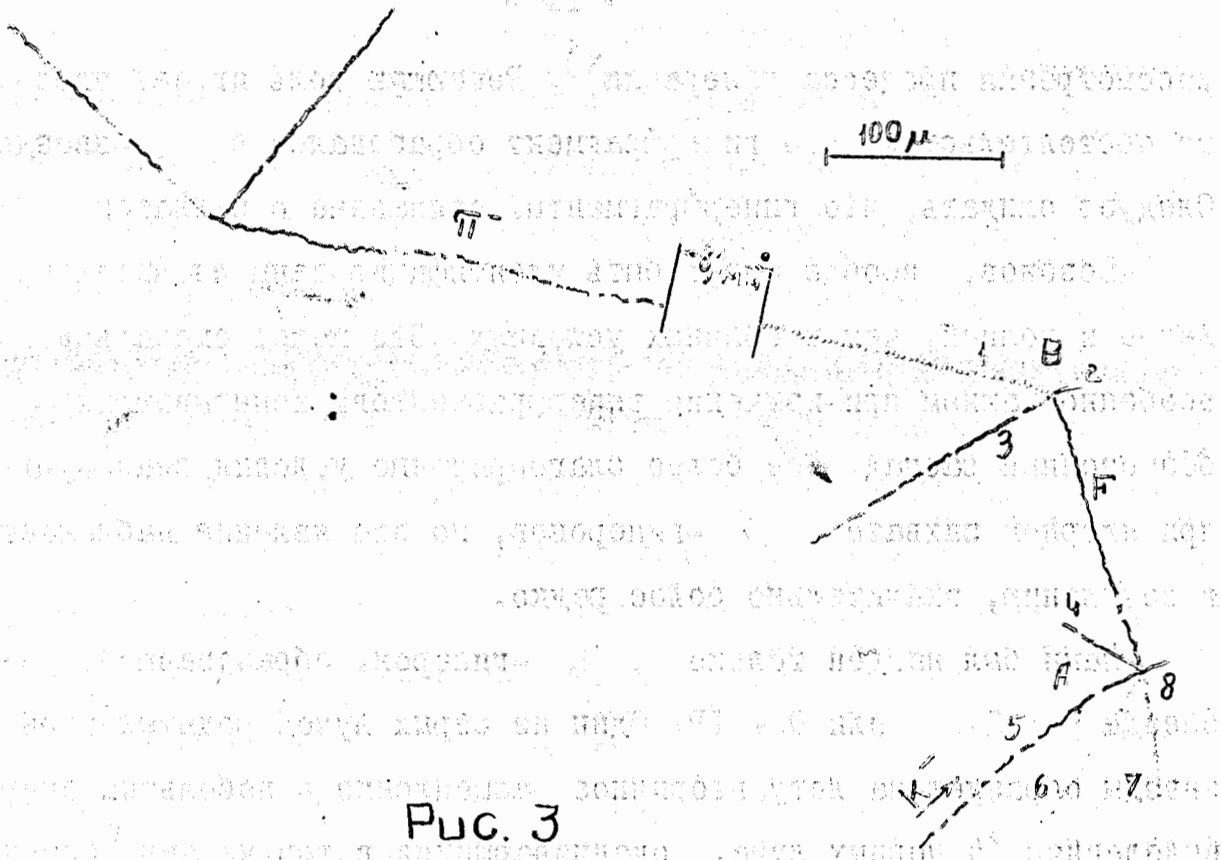


Рис. 3

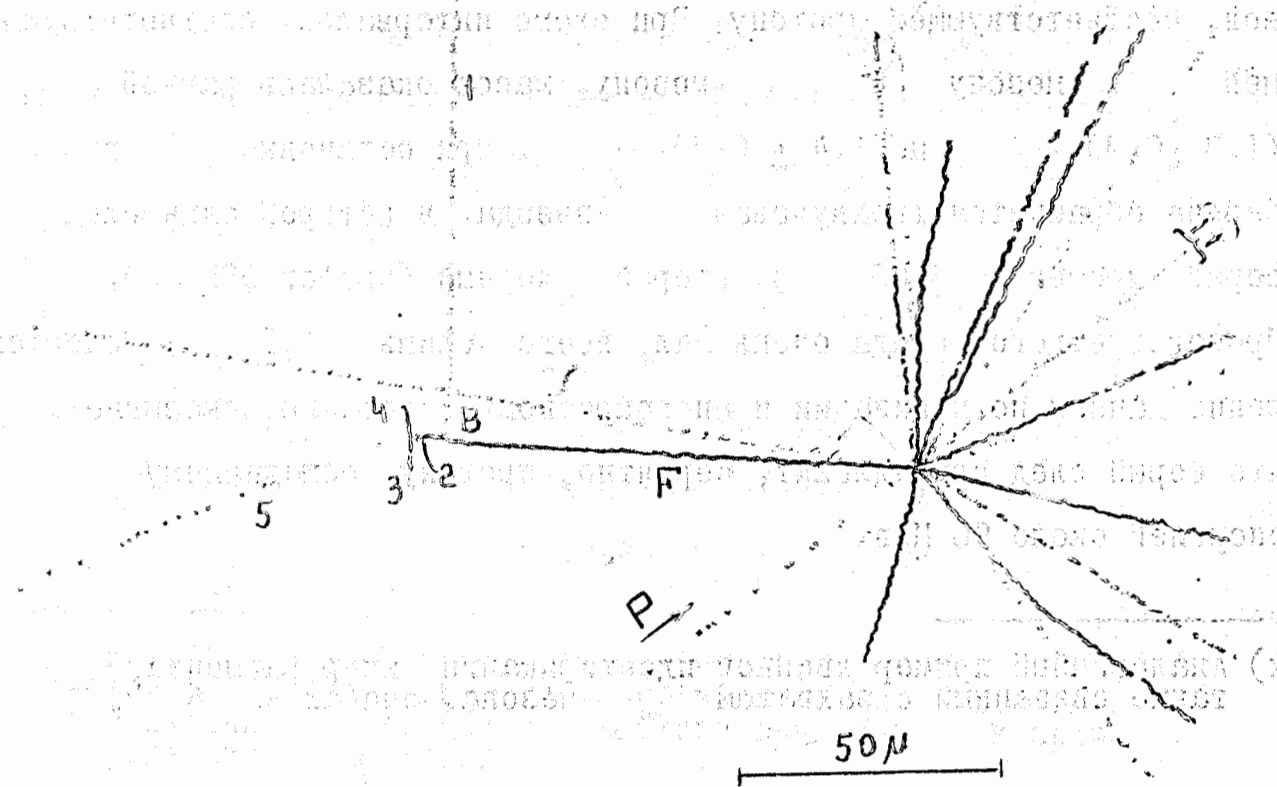


Рис. 4

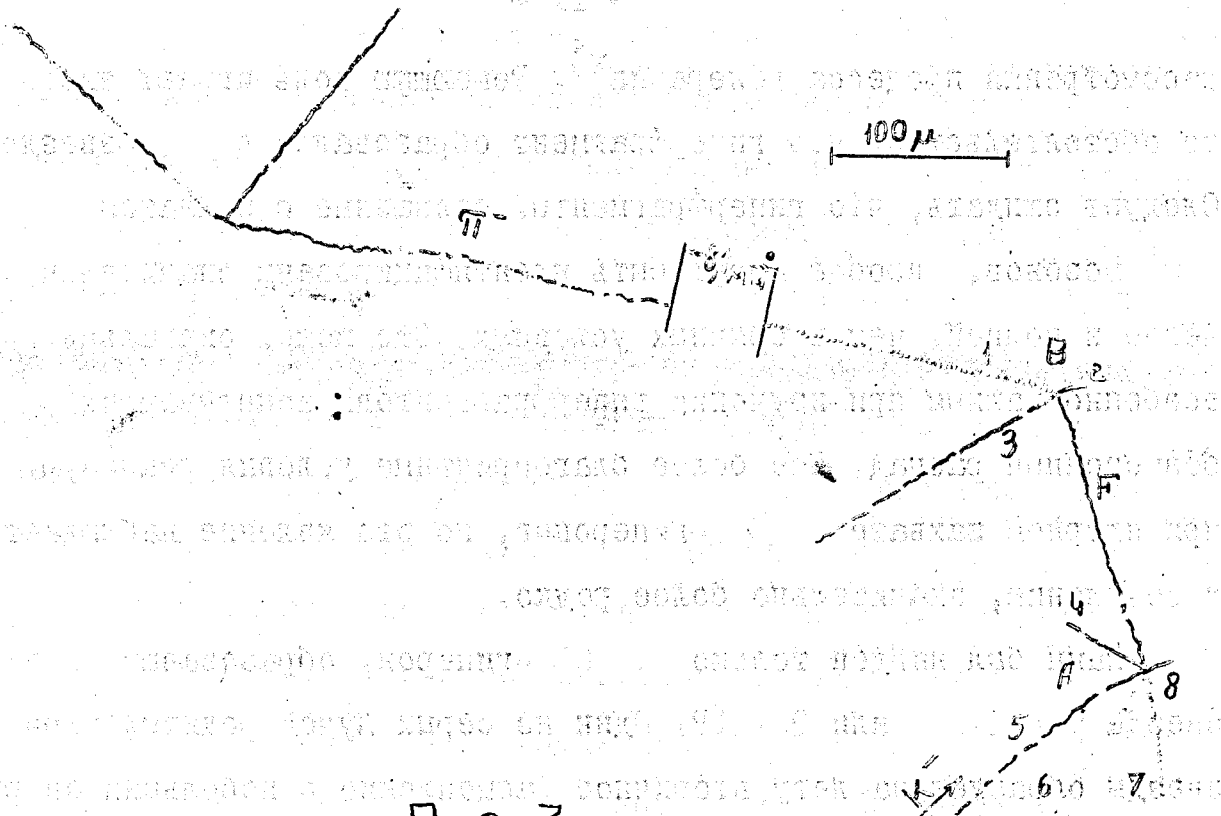


Рис. 3

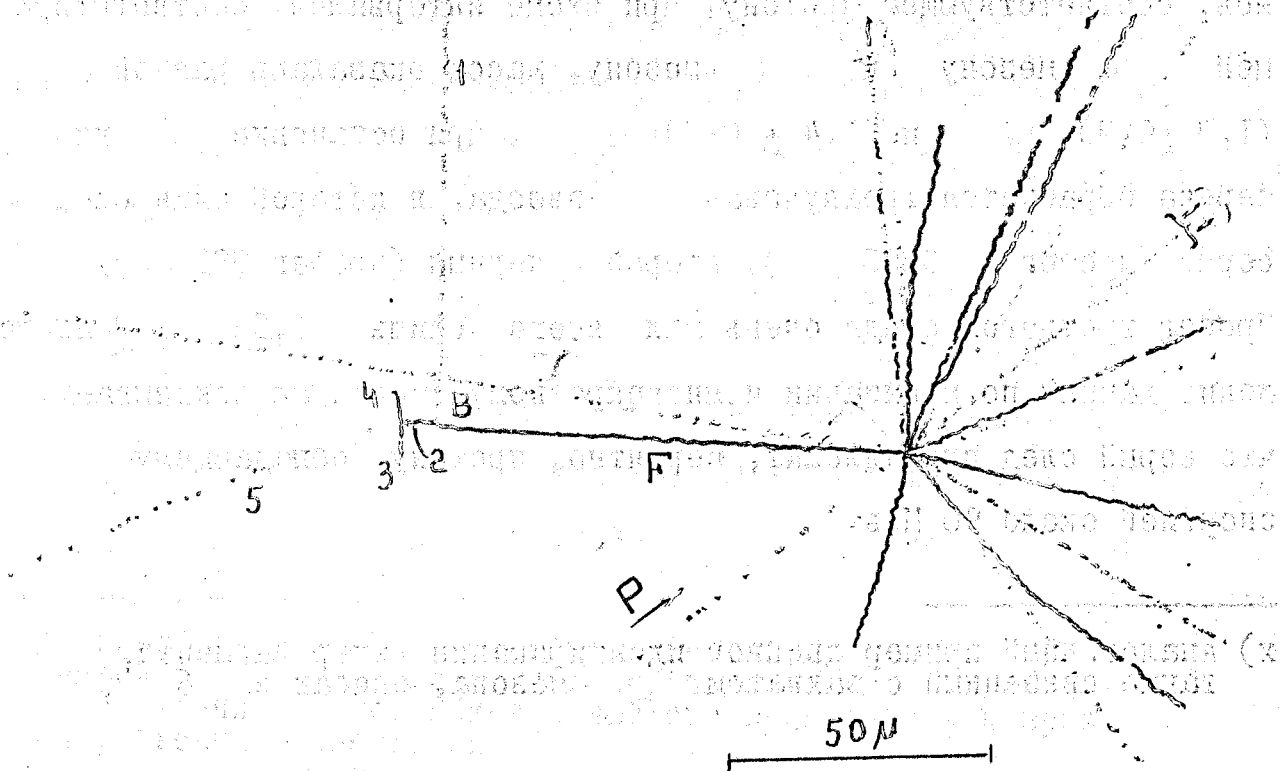


Рис. 4

рассмотрения процесса генерации<sup>х)</sup>. Решающую роль играет здесь то обстоятельство, что гиперфрагмент образовался в  $\Theta_K$ -звезде. Следует ожидать, что гиперфрагменты, связанные с захватом

$K^-$ -мезонов, вообще могут быть идентифицированы значительно легче и полней, чем в обычных условиях. Это может оказаться особенно важным при изучении гиперфрагментов испытывающих безмезонный распад. Еще более благоприятные условия реализуются при ядерном захвате  $\Sigma^-$ -гиперонов, но это явление наблюдается, к сожалению, значительно более редко.

Нами был найден только  $\Lambda^-$ -гиперон, образовавшийся в звезде  $9 + 2n$  или  $9 + p$ . Один из серых лучей родительской звезды образует на-лету вторичное расщепление с небольшим энерговыделением (4 черных луча, оканчивающихся в том же эмульсионном слое). Длина следа  $\Sigma^-$ -гиперона составляет  $715 \mu$ . Масса определялась по многократному рассеянию и остаточному пробегу и оказалась равной  $M = (1.0 \pm 0.4) m_p$  при схеме интервалов, соответствующей протону. При схеме интервалов, соответствующей  $\tau$ -мезону и  $\pi$ -мезону, масса оказалась равной  $(1,3 \pm 0,3) m_p$  и  $(1,4 \pm 0,3) m_p$ . При остановке  $\Sigma^-$ -гиперона образуется трехлучевая  $\Theta$ -звезда, в которой один след серый (пробег  $> 3800 \mu$ ), второй - черный (пробег  $385 \mu$ ). Пробег третьего следа очень мал, всего - лишь  $\sim 1,5 \mu$ . Сопоставление данных по ионизации и многократному рассеянию показывает, что серый след принадлежит, вероятно, протону, обладающему энергией около 90 Мэв.

---

х) Аналогичный пример двойной идентификации гиперфрагмента, также связанный с захватом  $K^-$ -мезона, описан в [6].

Несмотря на то, что к настоящему времени опубликовано много интересных работ, посвященных исследованию гиперфрагментов, все еще нет надежных и достаточно полных данных по частоте их генерации и по зависимости этой величины от природы и энергии гипериррующих частиц. Такое положение связано с трудностью достоверной идентификации гиперфрагментов, особенно в случаях безмезонных распадов. Поэтому, в разных работах используются совершенно различные очень трудно сопоставимые между собой критерии отбора, вследствие чего крайне затрудняется сравнение различных данных по частоте генерации гиперфрагментов. Для унификации материала важно было бы, договориться об использовании единообразных критериев отбора, причем вполне подходящими, как нам кажется, являются правила, предложенные в обзоре [7]. Согласно этим правилам требуется надежное доказательство того, что обсуждаемое явление не является  $\beta$ -звездой и что кинетическая энергия предполагаемого гиперфрагмента настолько мала, что заведомо исключается возможность расщепления какого-либо ядра за счет удара. Особенно надежными являются данные, относящиеся к гиперфрагментам, испытывающим мезонный распад, и нам кажется, что именно из этих данных следует исходить при проведении различных количественных сопоставлений.

В настоящей работе было найдено 10 гиперфрагментов, удовлетворяющих критериям, предложенным в [7]. Пять из них испытывали безмезонный распад, остальные - мезонный<sup>х)</sup>. Родительские расщепления были типа  $I_9+3n$  (или  $I_9+2P$ )  $I_7+4n$  (или  $I_7+3P$ ),  $4I+7n$  (или  $4I+6P$ ),  $I_5+2n$ ,  $I_2+0n$ ,  $I_7+4n$ ,  $5+0n$ ,  $27+13n$ ,  $I_4+5p$ .

---

х) Из гиперфрагментов, испытывающих мезонный распад, один обозначался в  $\beta$ -звезде и, поэтому, исключен из дальнейших сопоставлений, относящихся к частоте генерации и к природе родительских расщеплений.

Обращает на себя внимание как правило очень большое число  $N_h$  серых и черных лучей в родительских расщеплениях, значительно большее, чем скажем в звездах, содержащих  $\tau$ -мезоны. Для среднего числа серых и черных лучей имеем:

$$\bar{N}_h = 18,7 + 3,7,$$

что хорошо согласуется с данными других работ (см., например, [8] )

Нам кажется, что было бы очень интересно получить соответствующие данные для различных типов "странных" частиц в условиях, когда точно известны природа и энергия генерирующих частиц.

Вместе с указанными гиперфрагментами было найдено ~ 37000 звезд, обладающих либо  $N_h \gg 8 + 10$ , либо  $n_s \gg 2 + 3$ , что соответствует примерно  $10^5$  космических звезд всех типов. Т.о. в космических лучах один мезонный распад гиперфрагмента приходится примерно на  $2,5 \cdot 10^4$  ядерных расщеплений всех типов.

Полученное соотношение в общем согласуется с результатами других работ. Соответствующие данные приведены в таблице № 2.

Т а б л и ц а № 2

№ работы	Тип первичных частиц	Число расщеплений	Число мезонных распадов
[9]	Космические лучи	24000	2
[10]	"-	27000	2
[11] [12]	"-	119000	5
[11]	Протоны с $E_p = 6$ БэВ	10000	0
[11] [12]	$\pi^-$ -мезоны с $E_\pi = 3$ БэВ	80000	3
[13]	$\pi^-$ -мезоны с $E_\pi = 4,7$ БэВ	150000	30
Настоящая работа	космические лучи	100000	4

Из таблицы следует, что в космических лучах на 270000 звезд приходится 13 мезонных распадов, т.е. один распад примерно на 20000 звезд. Вместе с тем, при облучении  $\pi^-$ -мезонами с энергией 4,7 Бэв, один мезонный распад приходится всего лишь на 5000 расщеплений<sup>x)</sup>. Прямое сопоставление этих цифр не является однако законным, так как в космических лучах большая доля расщеплений создается частицами сравнительно малой энергии. Здесь требуется дальнейшая работа на ускорителях, создающих частицы различных типов с энергией несколько миллиардов электронвольт.

В работе [7] высказаны соображения в пользу того, что среди двойных звезд с очень коротким соединительным следом содержится большая доля гиперфрагментов. В настоящей работе было обнаружено 7 двойных звезд, у которых длина соединительного следа не превосходила  $10 \mu$ . Среди них только в одном случае с помощью подробного кинематического анализа оказалось возможным доказать, что вторичное расщепление не могло быть вызвано остановившимся  $\pi^-$ -мезоном. В рассматриваемом случае вторичная звезда имела 5 лучей, из которых один является протоном с пробегом  $11300 \mu$  ( $E_p \approx 56$  Мэв). В одном из остальных шести случаев вторичная звезда также содержит протон, сравнительно большей энергии — 50 Мэв. В третьем случае вторичное расщепление снова имеет 5 лучей, но суммарное энерговыделение невелико. Во всех найденных случаях первичные звезды содержат довольно много черных и серых лучей<sup>xx)</sup>. Для среднего их числа имеет место  $N_h = 14 \pm 2,7$ . Следует, однако, иметь в виду, что такое повышение  $N_h$  по сравнению с нормальным уровнем должно было бы иметь место и с точки зрения обычных механизмов возникновения рассматриваемых двойных звезд.

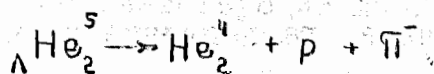
x) Обращает на себя внимание быстрый рост частоты генерации гиперфрагментов с энергией  $\pi^-$ -мезонов.  
 xx) Родительские звезды относятся к типу  $I2+In$  (или  $I2+Op$ ),  $9+In$  (или  $9+Op$ ),  $I7+2n$  (или  $I7+Ip$ ),  $30+7n$  (или  $30+6p$ ),  $I4+2p$ ,  $9+2n$  (или  $9+Ip$ ),  $7+In$  (или  $7+Op$ ).



Ниже приведены индивидуальные характеристики найденных гиперфрагментов. Сводка данных помещена в таблице № 3.

С л у ч а й № 1.

Микрофотография изображена на рис.3. Частица (1) является  $\pi^-$ -мезоном, образующим после остановки  $\sigma^-$ -звезду. Измерение ширины следов (2), (3) и (F) показали, что у каждой из этих частиц, заряд  $Z \leq 2$ . Следы частиц (1), (2) и (3) компланарны с точностью до  $3^\circ$ . Это свидетельствует в пользу того, что звезда В образовалась при распаде остановившегося гиперфрагмента на три заряженные частицы. Кинематический анализ звезды В проводился для всех возможных значений масс частиц (2) и (3), считая, что их заряд равен 1 или 2. При этом оказалось, что для всех предполагаемых схем распада, кроме одной, сумма импульсов заведомо отлична от нуля. Суммарный импульс равен нулю только для схемы



При этом сумма кинетических энергий всех частиц

$$Q = (34,2 \pm 0,4) \text{ МэВ},$$

а энергия связи  $\Lambda^0$ -частицы  $B_{\Lambda} = (2,7 \pm 0,4) \text{ МэВ}$ , что находится в хорошем согласии с опубликованными данными (см. например, [7]). Угол, образуемый нормалью к плоскости распада и направлением вылета гиперфрагмента, равен  $82^\circ$ .

С л у ч а й № 2

Масса частицы (F<sup>x</sup>) определялась по многократному рассеянию и пробегу, причем использовались схемы ячеек для  $H^1$ ,  $He_2^5$ ,  $Li_3^6$ .

x) Буква F всюду обозначает гиперфрагмент.

№ гиперфрагментов	I				№
	F	I	2	3	
С л е д					
Длина пробега в $\mu$	161	8481	19,3	401	83
Ошибка измерения пробега в %	0,4	0,1	4,2	0,5	
Разброс пробегов в %	1,2	3,0	2,0	1,6	
Угол $\beta$ с горизонтальной плоскостью в градусах $\times\times$ )	0	29,0	+12,4	-18,5	-3
Ошибка измерения угла $\beta$ в градусах		4	7	2	0,5
Азимутальный угол $\varphi$ в градусах $\times\times$ )	0	232,3	79,5	278,2	0
Ошибка измерения угла $\varphi$ в градусах	0,7	0,7	1,7	0,7	
Число $\delta$ -электронов с длиной пробега $\geq 4$ зерен	0	-	0	0	1,2
З а р я д $\bar{z}$	$\leq 2$	-1	$\leq 2$	$\leq 2$	2
Метод измерения массы и ее величина в $m_e$					$\langle \alpha \rangle - R: 11000 \pm 3700$
Идентификация частицы	$\wedge He_2^5$	$\Pi^-$	$He_2^4$	p	$\wedge He_2^5$
Энергия частицы в Мэв	$21,3 \pm 0,3$	$21,0 \pm 0,4$	$4,8 \pm 0,2$	$8,4 \pm 0,1$	
Родительская звезда			$\sigma_k$		

\*) См. примечания к табл. 1.

xx) При вычислении угла след гиперфрагмента условно считается исходящим от центра торчатной звезды.

Таблица № 3<sup>х)</sup> 15.

	2			3		
	I	2	3	F	I	2
83	1,6	244	13535	88	>12350	8,8
		1,5	0,3			~15
		1,6	1,2			
→ 3	-3	+8	+9	-I	-34	+30
0,5	2	0,5	0,5		I	7
0	100	233	37	10	219	45
	7			I	I	3
1,2	-					
2			-I	2		
$\langle \alpha \rangle - R$ 11000 $\pm$ 3700			$\langle \alpha \rangle - R$ 290 $\pm$ 90		$\langle \alpha \rangle - \gamma$ 235 $\pm$ 30	
$\Lambda$ He <sup>5</sup> <sub>2</sub>	He <sup>4</sup> <sub>2</sub>	P	$\pi^-$	$\Lambda$ H <sup>4</sup> <sub>1</sub>	$\pi$	He <sup>4</sup> <sub>2</sub>
I	0,2 $\pm$ 0,1	6,2 $\pm$ 0,2	27,4 $\pm$ 0,3		51,7 $\pm$ 5,5	2,5 $\pm$ 0,4
	13+4π				5+0π	

В результате измерений оказалось, что  $M_{\Gamma} = (6 \pm 2) m_p$ .  
Вдоль следа частицы  $\Gamma$  было обнаружено 12  $\delta$ -электронов.

Так как вдоль следа протона такого же пробега ожидается  $\sim 5,5$

$\delta$ -электронов, то заряд частицы  $\Gamma$  превосходит, по-видимому, единицу. С другой стороны, при остановке на следе  $\Gamma$  не наблюдается никаких признаков сужения, которое всегда бывает заметно на следах  $\alpha$ . Измерения толщины <sup>следа</sup>  $d$  производились через каждые

$2,5 \mu$ . При этом было получено  $\bar{d}_{\Gamma} = (0,615 \pm 0,011) \mu$ .

Аналогичные измерения на следах нескольких протонов и  $\alpha$ -частиц дали

$$\bar{d}_p = (0,493 \pm 0,007) \mu, \quad \bar{d}_{\alpha} = (0,610 \pm 0,005) \mu$$

В качестве совокупного результата всех измерений можно считать, что заряд частицы  $\Gamma$  равен 2.

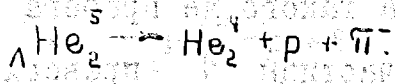
След частицы (3) по своему характеру соответствует легкому мезону. Его масса, определенная по многократному рассеянию и пробегу, оказалась равной  $(230 \pm 90) m_e$ . На этом основании частица (3) была идентифицирована, как  $\pi^-$ -мезон, при остановке которого образовалось ядерное расщепление, сопровождаемое вылетом одних только нейтральных частиц. Следы частиц (1), (2) и (3)

в пределах ошибок измерения лежат в одной плоскости. Ошибки довольно велики, поскольку длина следа (1) составляет всего лишь  $1,6 \mu$ . Суммарный импульс частиц (1), (2) и (3) близок к нулю только в том случае, если частица (2) является протоном. При этом заряд частицы (1) должен равняться двум. Если предположить, что рассматриваемый случай соответствует схеме распада

$\Lambda \rightarrow \text{He}^4 + \text{He}^3 + \text{p} + \text{n}$ , то для энергии связи  $\Lambda$  получается величина

$$B_{\Lambda} = (3,1 \pm 0,4) \text{ МэВ}$$

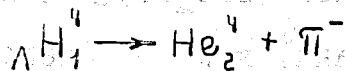
сильно отличающаяся от известных данных других работ. Наиболее вероятная интерпретация соответствует, по-видимому, распаду



При этом энергия распада оказывается равной  $B_{\Lambda^0} = (3,0 \pm 0,4) \text{ Мэв}$ . Угол между нормалью плоскости распада и направлением вылета гиперфрагмента равен  $56^\circ$ .

С л у ч а й № 3

Из измерений толщины следа частицы F вытекает, что ее заряд не превосходит двух. Следы частиц (1) и (2) в пределах ошибок измерений коллинеарны, из чего следует, что распад частицы (1) произошел после остановки. Масса частицы (1) измерялась по многократному рассеянию и ионизации и оказалось равной  $(235 \pm 30) m_e$ , вследствие чего частицу (1) можно считать  $\pi^-$ -мезоном. Величина  $p\beta c$ , равная  $(89,5 \pm 8) \text{ Мэв}$ , вполне соответствует схеме распада



Пробег следа (2)  $\approx 8,8 \mu$  также хорошо согласуется с такой схемой (см. например, [14]). Угол между направлением вылета гиперфрагмента и направлением вылета вторичного  $\pi^-$ -мезона равен  $64^\circ$ .

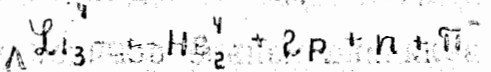
С л у ч а й № 4

Заряд частицы F измерялся по счету  $\delta$ -электронов и по сужению следа вблизи остановки. Первым методом было получено  $Z > 2$ , вторым  $Z = 3 \pm 4$  (длина сужения  $\Phi 0 \pm 20 \mu$ ). Масса частицы F измерялась по многократному рассеянию и пробегу и оказалась равной  $(8, \pm 2) m_p$ . След № 2 заканчивается после остановки  $\sigma$ -звездой и принадлежит, поэтому,  $\pi^-$ -мезону. Предположение о распаде частицы F на три заряженные частицы приводит к существенному отличию суммарного импульса от нуля.

при любых допущениях о природе частиц (1) и (3). Следует поэтому заключить, что мы имеем дело с распадом одного из изотопов  ${}^4_{13}\text{Li}$  или  ${}^4_{14}\text{Li}$ , причем распад сопровождается испусканием одной или нескольких нейтральных частиц. Более подробный анализ не проводился из-за большой неточности в определении импульса частицы (1) и связанной с этим неточности в определении импульса нейтронов.

С л у ч а й № 5

На следе частицы  $\Gamma$  наблюдается сужение, начинающееся на расстоянии  $10 \pm 15 \mu$  от конца следа. Это свидетельствует о том, что распад гиперфрагмента произошел после остановки и что заряд его равен 3. Последний вывод согласуется также с результатами измерения толщины следа  $\Gamma$  в области, расположенной перед началом сужения. След (4) принадлежит  $\pi^-$ -мезону, дающему после остановки  $\pi^-$ -звезду. При любых предположениях о природе частиц (1), (2) и (3), совместных с законом сохранения заряда, суммарный импульс всех заряженных вторичных частиц отличен от нуля. Результат не изменяется, если даже считать, что заряд гиперфрагмента может быть равен 4. Следует, поэтому, допустить, что испускаются также и нейтральные частицы. При этом оказывается, что для всех возможных схем распада, кроме одной, величина энергии связи  $B_\Delta$  принимает большие по модулю отрицательные значения. Исключение составляет распад по схеме



для которой  $B_\Delta = (I_{1,9} \pm I_{1,2})$  Мэв. Эту интерпретацию следует считать наиболее вероятной.

С л у ч а й № 6

На следе  $F$  наблюдается сужение длиной  $20 \pm 25 \mu$ , что свидетельствует об остановке гиперфрагмента и соответствует  $Z = 4 \pm 5$ . Распад произошел на 5 заряженных частиц, ни одна из которых не является  $\pi$ -мезоном. По-видимому, частица  $F$  является гиперфрагментом  $\Lambda^0_{B5}$ , испытывающим безмезонный распад, сопровождающийся вылетом нейтронов.

С л у ч а й № 7

На следе частицы  $F$  наблюдается сужение длиной  $10 \pm 15 \mu$  что соответствует  $Z \approx 3$ . Измерения толщины следа на больших расстояниях от места остановки приводят к такой же оценке. След (3) выходит из нашей части эмульсионной камеры, пройдя в ней расстояние  $\sim 19000 \mu$ . Если бы этот след принадлежал  $\pi$ -мезону, то его ионизация могла бы превышать минимальную менее, чем в 1,6 раза. Фактически же ионизация следа (3) близка к трехкратной, что соответствует протону, энергия которого близка к  $63 \pm 14$  Мэв. Весь случай в целом является, по-видимому, безмезонным распадом гиперфрагмента  $\Lambda^0_{Li3}$ , при котором испускаются также и нейтральные частицы.

С л у ч а й № 8

Из измерений толщины следа частицы  $F$  следует, что ее заряд  $Z \geq 2$ . У самого конца следа наблюдается сужение, длина которого  $\sim 5 \mu$ . Эта величина меньше обычной длины сужения для лития ( $\sim 12 \mu$ ). Вместе с тем на следах  $\alpha$ -частиц, как правило, сужений нет. Т.о. и с этой точки зрения следует заключить, что  $Z \geq 2$ . Если гиперфрагмент является изотопом лития, то не исключена возможность распада на-лету незадолго до полной остановки, чем и объясняется малая длина сужения. Однако такую интерпретацию нельзя, конечно, считать обязательной. Частицу (2)

следует считать протоном, так как ее масса, измеренная по многократному рассеянию и остаточному пробегу, оказалась равной  $(1,1 \pm 0,2) m_p$ . Природа частицы (3) сомнительна. Не исключено, что имеет место просто случайное скопление зерен. Весь случай в целом следует, по-видимому, рассматривать как распад одного из изотопов  $\Delta \text{Li}_3$  либо  $\Delta \text{He}_2$ .

С л у ч а й № 9

След частицы F заметно сужается на последних 20 м, что свидетельствует об его остановке и дает значение заряда  $Z \sim 4$ . Масса частицы (1) измерялась по многократному рассеянию и остаточному пробегу. При разбиении интервалов по схемам, соответствующим p и d, она оказалась равной  $(1,1 \pm 0,3) m_p$  и  $(0,9 \pm 0,4) m_p$ . Т.о. частица (1) является протоном. Масса частицы (3) равна  $(1,1 \pm 0,2) m_p$  и  $(1,2 \pm 0,2) m_p$  при разбиении интервалов по схемам для протона и для  $\pi$ -мезона. Т.о. частица (3) также является протоном. Масса частицы (2) оказалась равной  $(1,2 \pm 0,4) m_p$ ,  $(1,9 \pm 0,4) m_p$  и  $(1,7 \pm 0,45) m_p$  при разбиениях интервалов согласно схемам для p, d и t. Естественно поэтому считать частицу (2) дейтоном. Измерения длины разрывов на следе частицы (2) хорошо согласуются с такой идентификацией, приводя к значению массы  $(1,1 \pm 0,06) m_d$ . Толщина следа частицы (4) свидетельствует о том, что частица является однозарядной. Суммарный импульс частиц (1), (2), (3) и (4) не равен нулю при различных возможных гипотезах о природе частицы (4). Поэтому, рассматриваемый случай следует считать безмезонным распадом изотопа  $\Delta \text{Be}_4$ , причем распад сопровождается вылетом также и нейтральных частиц.



С л у ч а й № 10

Микропроекция изображена на рис. 4<sup>х</sup>). Родительская звезда относится к типу I4 + 5p, либо I4+3p, так как две частицы, отмеченные стрелками, возможно образуют ( $e^+ e^-$ ) - пару за счет распада  $\mu^+ \rightarrow e^+ + e^- + \gamma$ . След (1) имеет на конце сужение  $\sim 20 \mu$ , откуда вытекает, что

$$3 < Z < 6$$

С другой стороны, из анализа природы вторичных частиц (1) и (2) следует, что  $Z_1 = 2, 4$  или 5. Сопоставление приводит к  $Z_1 = 4$ . След (2) заканчивается характерным "молотком", образованию которого предшествует  $\beta$ -распад. Поэтому частица (2) скорее всего является  $^{13}_{13}B$  (либо, с меньшей вероятностью)  $^{13}_{13}C$ ).

Частица (1) выходит за пределы эмульсионной камеры. Ее масса определялась по многократному рассеянию и ионизации, причем особое внимание было обращено на надежность измерений. Многократное рассеяние измерялось на участках следа, удаленных от края эмульсии больше, чем на 3,5 мм, при длине ячейки 112  $\mu$ . Влияние шумов на результаты измерений должно было быть ничтожно малым, что подтверждается также измерениями с интервалами удвоенной величины. Дисторсия специально измерялась и оказалась очень малой. Кроме того она исключалась по методу третьих разностей и различными другими способами. Результаты, полученные с исключением и без исключения влияния дисторсии очень хорошо согласуются между собой. Ширина кривой распределения модулей вторых разностей также совпадает с величиной, предсказываемой теорией многократного рассеяния. В результате измерений было получено:

$$PVC = (55 \pm 7) MzB$$

х) Случай был найден У.Г. Гуляимовым.

Измерения ионизации производились с помощью подсчета числа зерен, числа сгустков и средней длины разрывов. В первом случае число зерен  $\varphi$  на единице длины следа сопоставлялось с числом зерен  $\varphi_0$  на следах релятивистских частиц. Измерения производились двумя наблюдателями, результаты которых практически совпадали и привели к значению

$$m' = (725 \pm 170) m_e$$

Во втором и третьем случаях производилось сравнение соответствующей величины для следа (I) и для следов контрольных мезонов, обладающих примерно такими же скоростями и углами погружения. Предварительно было специально показано, что в центральных частях пластинки и в частях, расположенных вблизи рассматриваемого случая (т.е. ближе к краю) ионизационные характеристики частиц совпадают, если их скорости одинаковы. Измерение по второму методу привели к

$$m'' = (700 \pm 85) m_e$$

а по третьему -

$$m''' = (1380 \pm 150) m_e$$

Из приведенных результатов следует, что частицу (I) можно было бы считать  $K$ -мезоном. Тогда весь случай в целом был бы аналогичен, опубликованным в [15], [16] и [17]. Следует, однако, заметить, что из трех приведенных способов измерения ионизации наиболее надежным в методическом отношении является последний, приводящий к наибольшему значению массы. Поэтому, не исключено все же, что частица (I) может быть протоном, т.е. рассматриваемый гиперфрагмент соответствует безмезонному распаду  $\Delta Be_c$  сопровождаемому вылетом нейтронов.

Авторы благодарят старших лаборантов Головину З.П. и Филиппову М.И. за существенную помощь при проведении измерений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] А.А.Номофилов ДАН, в печати;
- [2] I. Hornbostel and E.O. Salant, Phys.Rev. 102, 502 (1956);
- [3] C. Dahanayake, P.E. Francois, Y. Fujimota, P. Iredale, C.I. Mad-  
dington, and M. Yasin, Nuovo Cim. 1, 888 (1955);
- [4] Б.П.Банник, Л.К.Копылова, А.А.Номофилов, ДАН, в печати;
- [5] R.W. Birge, D.H. Perkins, I.R. Peterson, D.H. Stork, and  
M.N. Whittenhead, Nuovo Cim. 4, 834 (1956);
- [6] F.C. Gilbert, C.E. Violet, and R.S. White, Phys. Rev. 108,  
248, (1956);
- [7] P. Ciok, M. Danysz, I. Gierula, E. Skrzypczak, and A. Wroblewski,  
Suppl. Nuovo Cim. 4, 619, (1956);
- [8] М.И.Подгорецкий, И.М.Граменицкий, ЖЭТФ, 28, 616 (1955);
- [9] C. Castagnoli, G. Cortini, and C. Franzinetti, Nuovo Cim.2,  
550 (1955);
- [10] M. Baldo, C. Belliboni, M. Ceccarelli, M. Grilli, B. Sechi,  
B. Vitale, and G. Zorn, Nuovo cim. 1, 1180, (1955);
- [11] W.F. Fry, I. Schneps, and M.S. Swami, Phys. Rev. 101, 1526,  
(1956);
- [12] W.F. Fry, I. Schneps, and M.S. Swami, - препринт
- [13] W. Slater, E. Silverstein, R. Levi-Setti, and V.D. Telegdi -
- [14] O. Hangerud and S.O. Sørensen, Phys. Rev. 99, 1046 (1955);
- [15] А.А.Варфоломеев, Р.И.Герасимова, Л.А.Карпова, ДАН, 110, 959 (56)
- [16] W.F. Fry, I. Schneps, and M.S. Swami, Phys. Rev. 97, 1189,  
(1955);
- [17] W.F. Fry, I. Schneps, and M.S. Swami, Nuovo Cim. 2, 346, (1955).