

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ



Ван Ган-чан, Ван Цу-цзен, Н.М.Вирысов, Дин Да-цао,
Ким Хи Ин, Е.Н.Кладническая, А.А.Кузнецов, А.Михул,
Нгуен Дин Ты, А.В.Никитин, М.И.Соловьев

Д-607

РОЖДЕНИЕ Ξ^- -ГИПЕРОНОВ Π^- -МЕЗОНАМИ
С ИМПУЛЬСОМ 7 И 8 БЭВ/С

ЖЭТФ, 1961, т 40, в. 3, с. 734.

Ван Ган-чан, Ван Цу-цзен, Н.М.Вирысов, Дин Да-цао,
Ким Хи Ин, Е.Н.Кладницкая, А.А.Кузнецов, А.Михул,
Нгуен Дин Ты, А.В.Никитин, М.И.Соловьев

Д-607

РОЖДЕНИЕ Ξ^- -ГИПЕРОНОВ Π^- -МЕЗОНАМИ
С ИМПУЛЬСОМ 7 И 8 БЭВ/С

Направлено в ЖЭТФ

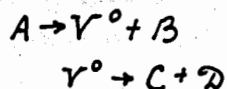
902/9 178

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Впервые каскадные гипероны получены в экспериментах с космическими лучами. Краткий обзор по $16 \Xi^-$, генерированным космическими лучами, дается в работе ^{1/}. Позднее Ξ^- были получены на ускорителях:

2 Ξ^- образованы π^- -мезонами с импульсом 5,5 Бэв/с ^{2/} и
 16 Ξ^- - образованы K^- -мезонами с импульсом 1,15 Бэв/с ^{3/}.

В нашем эксперименте применялась 24-х литровая пузырьковая пропановая камера, помещенная в постоянное магнитное поле 13700 эрстед. Камера облучалась пучками π^- -мезонов с импульсами ~ 7 Бэв/с и ~ 8 Бэв/с. Постановка эксперимента описана в работе ^{4/}. Было просмотрено 27000 фотографий с импульсом первичных π^- -мезонов $6,8 \pm 0,6$ Бэв/с и 75000 фотографий с импульсом $\pi^- \sim 8$ Бэв/с. Фотографии просматривались на стереолупах и репроекторах 2 раза, а часть из них - 3 раза. При просмотре отбирались все события, которые визуально могли быть отнесены к распадам каскадных частиц по схеме



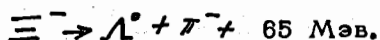
/см. рис. 1 и 2/.

Для исследования фона распадов каскадных частиц отбирались также все вторичные однолучевые звезды, из вершины которых вылетают V^0 -частицы. Таким образом было отобрано 90 случаев. Измерения проводились на микроскопах УИМ-21 методом измерения координат соответствующих точек на 2-х стереокадрах. Результаты измерений поступали на электронно-счетную машину "Урал", которая выдавала координаты точек, импульсы и углы. В ошибках импульсов частиц учтены неточности измерений координат на микроскопе, ошибки в кривизне треков из-за многократного рассеяния в пропане и неоднородность магнитного поля по объему камеры.

Для идентификации Ξ^- -гиперонов использовались следующие критерии:

- 1/ V^0 должна согласоваться с кинематикой распада Λ^0 на протон и π^- -мезон;
- 2/ Λ^0 должна "смотреть" в излом, т.е. точка излома должна лежать в плоскости распада Λ^0 и при этом поперечные импульсы π^- и p от распада Λ^0 должны быть сбалансированы относительно направления полета Λ^0 ;
- 3/ точка распада Λ^0 должна лежать в плоскости, образованной следами частиц A и B;
- 4/ должен быть баланс поперечных импульсов частиц Λ^0 и B в точке излома;

5/ случай должен удовлетворять кинематике распада Ξ^- гиперона:



Кроме того, когда было возможно, использовался критерий ионизации. После обработки 47 случаев были отброшены, т.к. в них V^0 оказались несвязанными с изломом. 14 случаев удовлетворяли критерию /2/, но были идентифицированы как K^0 . Из 49-29 случаев, удовлетворяющих критериям /1/ и /2/, только 15 удовлетворяют критерию /3/, /их мы будем называть "компланарные случаи"/. Из них 4 случая не удовлетворяют критериям /4/ и /5/. Среди оставшихся 11 случаев, удовлетворяющих всем 5 критериям, имеются три, в которых V^0 в пределах ошибок согласуются и с распадом Λ^0 и с распадом K^0 . Измерения ионизации не позволяют сделать выбор между Λ^0 и K^0 из-за больших импульсов положительных частиц от распада. Учитывая, однако, что эти 3 случая хорошо согласуются с кинематикой Ξ^- распада, мы отнесли их к Ξ^- гиперонам. Один из Ξ^- получен в пучке π^- -мезонов с импульсом 6,8Бэв/с, а 10 в пучке π^- с импульсом ~ 8 Бэв/с.

В таблице 1 приведены данные для идентифицированных Ξ^- гиперонов. Все данные получены при усреднении результатов 2-х ÷ 4-х независимых измерений на микроскопе.

В таблице 1 приведены также энергия распада Q и времена жизни до распада для найденных Ξ^- -гиперонов в их собственной системе координат.

Среднее значение Q для 11 случаев распада Ξ^- -гиперонов равно $61,9 \pm 2,2$ Мэв, т.е. $M_{\Xi^-} = 1317,0 \pm 2,2$ Мэв. Время жизни Ξ^- -гиперонов было рассчитано по методу максимального правдоподобия и оказалось равным $\tau_0 = 3,5^{+8,4}_{-1,2} / 10^{-10}$ сек.

После идентификации Ξ^- -гиперонов были проанализированы первичные звезды, в которых они рождаются. Кроме 2-х случаев /8-230 и 370-252/ все Ξ^- имеют точку рождения в камере. Следы первичных звезд были измерены дважды и рассчитаны балансы импульсов и энергии для каждой звезды. Результаты приведены в таблице 11. Шесть Ξ^- родилось в звездах с четным числом

лучей и суммарным зарядом равным 0. Однако, только 5 из них не противоречат π^+p -взаимодействиям /случай 171-218 не м.б. π^+p -взаимодействием, т.к. при этом $\Delta p > \Delta E$ /. Полагая для $\Xi^- S = -2$, следует ожидать, что вместе с каскадным гипероном рождаются 2K-мезона с $S = +1/K^0, K^+$ /. Только в 3-х случаях можно было идентифицировать K-мезоны по кинематике распада. В случае 91-145 4 протона идентифицируются по остановке, π^\pm хорошо идентифицируются по импульсу и ионизации, K^+ по кинематике распада, седьмая положительная частица не м.б. π^+ по импульсу и ионизации, это или K^+ или протон. В случае 19-179 в предположении π^+p -взаимодействия нейтральной частицей м.б. только \bar{p}^0 , тогда K^+ -мезоном д.б. положительная частица, которую нельзя идентифицировать по импульсу и ионизации. Таким образом не было ни одного случая совместного рождения Ξ^- -гиперона с двумя хорошо идентифицированными K^+, K^0 -мезонами, но и нет ни одного случая, который бы противоречил такой схеме совместного рождения.

В таблице 111 приведены импульс P^* , поперечный импульс P^\perp и угол вылета θ^* Ξ^- -гиперонов в системе центра масс π^+N в предположении, что Ξ^- рождаются при столкновении первичных π^- -мезонов со свободными нуклонами.

Как видно из таблицы 111 средний поперечный импульс равен 318 ± 35 Мэв/с. Интересно отметить, что это значение $P_{\Xi^-}^\perp$ - близко к значению поперечного импульса для протонов /5/ и Λ -гиперонов /6/.

Ξ^- -гипероны летят в основном назад, аналогично протонам, Λ и Σ^\pm -гиперонам из \bar{p}^0 -взаимодействий при 6,8 Бэв/с /8/. Надо отметить, что оба Ξ^- из /2/ вылетели назад в с.ц.м.

В таблице 111 приведены также следующие угловые характеристики:

θ_Λ^* - угол вылета Λ от распада Ξ^- в системе покоя Ξ^- .

θ_p^* - угол вылета протона от распада Λ^0 в системе покоя Λ^0 .

$\omega_{\Xi^-\Lambda^0}$ - угол между плоскостями распада Ξ^- и Λ^0 .

Асимметрии в распределении θ_Λ^* и $\omega_{\Xi^-\Lambda^0}$ не наблюдается.

В распределении протонов от распада Λ^0 вперед-назад $|\theta_p^*|$ и вверх-вниз наблюдается некоторая асимметрия /7-вперед, 3 назад, 1 ~ 90°; 8 вниз,

3 вверх/. Заметим, что протоны от распада Λ^0 в /2/ направлены вперед в системе покоя Λ^0 . Асимметрия в указанных угловых распределениях характеризует поляризацию Λ^0 от распада Ξ^- . Продольная поляризация Λ^0 -гиперонов от распада Ξ^- , если она существует, свидетельствует о несохранении четности при распаде Ξ^- .

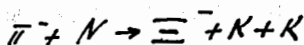
Для определения сечения рождения Ξ^- -гиперонов было сосчитано число пучковых π^- -мезонов и определена эффективная длина камеры для регистрации Ξ^- -гиперонов /она равна 30 ± 5 см./, а также учтены поправки на 1/ примесь μ^- -мезонов $5 \pm 2\%$, 2/ потерю части первичных π^- -мезонов из-за взаимодействия в камере ^{x/}, 3/ эффективность нахождения Ξ^- гиперонов при просмотре $80 \div 90\%$, 4/ на геометрию камеры $2,0 \pm 0,3$, 5/ на нейтральную моду распада Λ^0 -гиперонов от распада Ξ^- .

При этом был найден средний свободный пробег π^- -мезонов для рождения Ξ^- -гиперонов в пропане: $l = 2,02 \begin{smallmatrix} +2,86 \\ -0,84 \end{smallmatrix} / 10^6$ см. при импульсе π^- -мезонов 6,8 Бэв/с, $l = 10,68 \begin{smallmatrix} +0,29 \\ -0,20 \end{smallmatrix} / 10^6$ см при ~ 8 Бэв/с. Если принять сечение рождения на ядре углерода $\sim A^{2/3}$, то для сечения рождения Ξ^- гиперонов будем иметь:

$$\text{при } 6,8 \text{ Бэв/с} \quad \sigma = 13,6 \begin{smallmatrix} +2,5 \\ -2,1 \end{smallmatrix} / \mu^2/N$$

$$\text{при } 8 \text{ Бэв/с} \quad \sigma = 10,6 \begin{smallmatrix} +4,4 \\ -3,2 \end{smallmatrix} / \mu^2/N$$

В работе /2/ получено сечение рождения Ξ^- π^- -мезонами с импульсом 5,5 Бэв/с: $12,3 \begin{smallmatrix} +3,1 \\ -1,6 \end{smallmatrix} / \mu^2/N$. На рис. 3 изображен ход сечения рождения Ξ^- гиперонов в зависимости от энергии падающих π^- -мезонов. Напомним, что порог рождения Ξ^- гиперонов π^- -мезонами по реакции



с учетом движения нуклонов в ядре равен $2,19 \begin{smallmatrix} +0,61 \\ -0,43 \end{smallmatrix} / \text{Бэв}^{1/3}$. И наконец, в таблице 1У приведены фоновые случаи, среди которых имеется 4 компланарных и 14 некомпланарных. Компланарные случаи хорошо объясняются реакциями,

x/ Средний свободный пробег до взаимодействия для π^- -мезонов с импульсом $6-8/\text{Бэв/с}$ в пропане равен $219 \pm 5/\text{см}$.

указанными в таблице 1У. Т.к. реакция $\bar{p} + n \rightarrow \Lambda^0 + K^-$ запрещена законом сохранения странности, а вторичных K^- меньше, чем \bar{p}^+ , то большая часть компланарных случаев вызвана \bar{p}^+ -мезонами. Некомпланарные случаи м.б. вызваны как \bar{p}^+ , так и \bar{p}, K^- -мезонами. Имеется 7 взаимодействий, вызванных \bar{p}^+ -мезонами и 7-отрицательными частицами. Взаимодействия 150-286, 99-68, 144-219 м.б. вызваны только K^- , т.к. энергия \bar{p}^- в этих случаях ниже порога для рождения Λ^0 .

В заключение авторы выражают благодарность В.И.Векслеру и И.В.Чувилу за обсуждение результатов, Л.П.Зиновьеву, Н.И.Павлову, К.В.Чехлову, Л.Н.Беляеву, группе инженеров и техников, обслуживающих ускоритель, и группе техников и лаборантов, обслуживающих камеру, за помощь в проведении эксперимента, группе лаборантов за проведение измерений и группе обслуживания электронно-счетной машины за проведение вычислений.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 сентября 1960 года.

Литература

1. C. Franzinetti and G. Morpurgo. Suppl. Nuovo Cim. 6, 565 (1957).
2. W. B. Fowler et al. Nuovo Cim. 11, n.3 (1959).
3. L. Alvarez. Доклад на IX Международной конференции по физике частиц высокой энергии, Киев, 1958г.
4. Ван Ган-чан и др. ЖЭТФ, 38, 426 /1960/.
5. Н. Г. Биргер, Ван Ган-чан и др. /будет опубликовано/.
6. Ван Ган-чан и др. ЖЭТФ /в печати/.
7. Марков "Гипероны и К-мезоны" Госфизматиздат, Москва, 1958.
8. Соловьев М. И. Доклад на X Международной конференции по физике частиц высокой энергии, Рочестер, 1960.

ТАБЛИЦА I

данные идентифицированных Ξ^- -гиперонов

P_T - (Бэв/с)	Ясучая	P_{Ξ^-} (Мэв/с)	P_{Λ} (Мэв/с)	P_{Σ^-} (Мэв/с)	$\theta_{\Xi^- \Lambda}$	$\theta_{\Xi^- \Sigma^-}$	ΔP (Мэв/с)	Угол некампла-нарный γ (xxx)	Q_{Ξ^-} (Мэв)	τ (10^{-10} сек.)
7	182-42	3517+420	3166+415	374+67	2°54'+30'	18°30'+30'	41+42	9'	63, 4+14, 4	1, 13+0, 11
8	91-145	1894+150	1507+150	406+48	4°7'+40'	15°25'+40'	1+25	14'	55, 7+13, 7	2, 53+0, 11
8	196-160	1247+185	963+180	317+44	6°45'+30'	23°11'+30'	12+28	18'	69, 1+18, 5	3, 37+0, 27
8	19-179	2811+490	2407+490	445+64	4°9'+30'	18°43'+30'	31+46	20'	73, 2+16, 5	0, 93+0, 11
8	171-218	1398+235	1181+230	263+29	6°22'+1°20'	31°36'+30'	8+38	47'	64, 4+11, 0	3, 29+0, 37
8	6-230	2008+190	1583+185	438+39	2°58'+1°0'	13°2'+50'	17+29	1°4'	52, 5+11, 5	>1, 9
8	370-252	878+155	753+151	197+39	10°1'+40'	46°20'+30'	11+39	2'	67, 5+20, 3	>6, 4
8	114-290	751+93	625+94	196+19	13°1'+27'	43°27'+27'	6+30	3°0'xxx	63, 4+9, 5	2, 79+0, 41
8	355-298	1812+227	1593+223	253+44	4°58'+1°30'	27°25'+30'	21+51	58'	53, 2+17, 3	0, 61+0, 09
8	150-307	2440+307	2098+305	372+45	5°1'+1°0'	19°42'+40'	58+48	1°26'	56, 2+15, 3	0, 46+0, 07
8	186-336	982+115	702+106	315+51	8°35'+30'	24°4'+30'	23+27	24'	86 +26	0, 77+0, 14
Средние значения			1794						61, 9+2, 2	2, 20

x) Из-за того, что часть следов были короткие, не все P_{Ξ^-} могли быть получены непосредственно из измерений. Приведенные P_{Ξ^-} сосчитаны по формуле $P_{\Xi^-} = P_{\Lambda} \cos \theta_{\Xi^- \Lambda} + P_T \cos \theta_{\Xi^- T}$

xxx) $\Delta P^2 = P_{\Lambda}^2 \sin^2 \theta_{\Xi^- \Lambda} + P_T^2 \sin^2 \theta_{\Xi^- T}$

xxxx) / угол между первичной частицей однолучевой звезды и плоскостью, образованной Λ и вторичной частицей, ошибка в определении угла $\theta = 1^\circ 30'$.

Большая ошибка из-за трудностей измерения.

ТАБЛИЦА II

данные о первичных звездах с рождением Ξ^-

№ (Бэв/с) случая	Первичная звезда	Другие идентифицированные странные случаи	$\sqrt{(AE)^2 - (\Delta P)^2}$ (Мэв)	Возможная реакция
7	182-42 (1+, 1-)	2-х луч, (1+, 1-)	1826+210	$\bar{p} + p \rightarrow \Xi^- + \pi^+ + (K^0 + K^+ \dots)$ ^{xx)}
8	91-145	10-и луч, (7+, 2-и1?)	394 +150 -270	$\bar{p} + c \rightarrow \Xi^- + K^+ + K^+ + \pi^+ + \pi^- + 4p + \dots$
8	196-160	2-х луч, (1+, 1-)	1880+180	$\bar{p} + p \rightarrow \Xi^- + \bar{p}^+ + (K^0 + K^+ \dots)$
8	19-179	6-и луч, (3+, 3-)	185 +100 -140	$\bar{p} + p \rightarrow \Xi^- + K^+ + K^+ + \pi^+ + \pi^- + \pi^0$
8	171-218	4-х луч, (2+, 2-)	$\Delta P > \Delta E$	$\pi^+ + c \rightarrow \Xi^- + \text{ДРУГИЕ ЧАСТИЦЫ}$
8	114-290	5-и луч, (4+, 1-)	$\Delta P > \Delta E$	$\bar{p} + c \rightarrow \Xi^- + \pi^+ + \pi^+ + (K^0 + K^+ \dots) + 2p$
8	355-298	3-х луч, (1+, 2-)	$\Delta P > \Delta E$	$\bar{p} + n \rightarrow \Xi^- + \bar{p} + \pi^+ + (K^0 + K^+ \dots)$
8	150-307	2-х луч, (1+, 1-)	2100	$\bar{p} + p \rightarrow \Xi^- + \pi^+ + (K^0 + K^+ \dots)$
8	186-336	2-х луч, (1+, 1-)	1520	$\bar{p} + p \rightarrow \Xi^- + \pi^+ + (K^0 + K^+ \dots)$

x) ΔE было рассчитано при предположении, что имеет место взаимодействие \bar{p}^- -мезона со свободным нуклоном.

xx) В скобках указаны предполагаемые частицы.

ТАБЛИЦА III

ρ_{Σ}^- (БэВ/с)	№ случай	ρ_{Σ}^- (в.с.ц.м., ГМ) (Мев/с)	θ_{Σ}^+ (в.с.ц.м., ГМ) ($^{\circ}$)	θ_{Σ}^+ (в.с.ц.м.) ($^{\circ}$)	θ_{Σ}^+ (в.с.ц.м.) ($^{\circ}$)	угол между плоск. распа- да Σ^- и Λ $\omega_{\Sigma}^{\Lambda}$	направление вылета ρ относительно плоск. распада Σ^-
7	182-42	558 $\bar{+}$ 62	42 0 $\bar{+}$ 11 0	71 $\bar{+}$ 5	92 $\bar{+}$ 5	146 $\bar{+}$ 5	вниз
8	91-145	414 $\bar{+}$ 47	159 $\bar{+}$ 4 0	122 $\bar{+}$ 5	42 $\bar{+}$ 5	131 $\bar{+}$ 4	вверх
8	196-160	1001 $\bar{+}$ 99	162 0 $\bar{+}$ 3	123 $\bar{+}$ 5	67 $\bar{+}$ 6	52 $\bar{+}$ 3	вниз
8	19-179	294 $\bar{+}$ 41	94 0 $\bar{+}$ 11	88 $\bar{+}$ 10	73 $\bar{+}$ 5	161 $\bar{+}$ 5	вниз
8	171-218	977 $\bar{+}$ 107	155 $\bar{+}$ 4	94 $\bar{+}$ 5	50 $\bar{+}$ 7	87 $\bar{+}$ 4	вниз
8	6-230			132 $\bar{+}$ 8	75 $\bar{+}$ 5	100 $\bar{+}$ 6	вверх
8	370-252			91 $\bar{+}$ 10	130 $\bar{+}$ 5	23 $\bar{+}$ 5	вверх
8	114-290	1538 $\bar{+}$ 110	170 $\bar{+}$ 3	102 $\bar{+}$ 5	105 $\bar{+}$ 5	168 $\bar{+}$ 6	вниз
8	355-298	1070 $\bar{+}$ 102	137 $\bar{+}$ 6	73 $\bar{+}$ 5	35 $\bar{+}$ 10	82 $\bar{+}$ 4	вниз
8	150-307	140 $\bar{+}$ 145 $\bar{+}$ 64	149 $\bar{+}$ 22 $\bar{+}$ 86	75 $\bar{+}$ 15	70 $\bar{+}$ 15	88 $\bar{+}$ 8	вниз
8	186-336	1248 $\bar{+}$ 10	167 $\bar{+}$ 4	126 $\bar{+}$ 4	102 $\bar{+}$ 5	66 $\bar{+}$ 4	вниз
средние значения		804					

ТАБЛИЦА IV

фоновые случаи (V^0 -частицы были идентифицированы как Λ^0 - частицы)

№п/п	№случая	знак	угол не- компланар- ности η	Δp^{\perp} (Мэв/с)	ОДНО ИЗ ВОЗМОЖНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
I	344-314	+	1'	225	$\pi^+ + n \rightarrow \Lambda^0 + K^+$
2	250-35	+	16'	200	$\pi^+ + n \rightarrow \Lambda^0 + K^+$
3	267-233	+	1°19'	48	$\pi^+ + n \rightarrow \Lambda^0 + K^+$
4	150-286	-	22'	126	$K^- + n \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$
5	502-12	+	2°39'	56	$\pi^+ + n \rightarrow \Lambda^0 + K^+$
6	185-91	+	4°56'	58	$\pi^+ + n \rightarrow \Lambda^0 + \pi^+ + (K^0)$
7	52-246	+	4°57'	16	$\pi^+ + n \rightarrow \Lambda^0 + K^+$
8	189-275	+	5°54'	17	$\pi^+ + n \rightarrow \Lambda^0 + K^+$
9	33-221	+	8°53'	497	$\pi^+ + c \rightarrow \Lambda^0 + p + (K^0) + \dots$
10	273-125	+	10°10'	827	$\pi^+ + n \rightarrow \Lambda^0 + (+?) + \dots$
11	140-45	+	22°42'	244	$\pi^+ + n \rightarrow \Lambda^0 + \pi^+ + (K^0) + \dots$ xx)
12	99-68	-	3°36'	86	$K^- + n \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$
13	179-221	-	4°27'	125	$\pi^- + n \rightarrow \Lambda^0 + \pi^- + \dots$ x)
14	144-219	-	7°4'	106	$K^- + n \rightarrow \Lambda^0 + \pi^- + \dots$
15	152-188	-	16°40'	59	$\pi^- + n \rightarrow \Lambda^0 + \pi^- + \dots$ x)
16	64-69	-	17°30'	70	$\pi^- + n \rightarrow \Lambda^0 + \pi^- + \dots$ x)
17	61-174	-	30°		$\pi^- + n \rightarrow \Lambda^0 + \pi^- + (K^0)$
18	288-193	-	40°	50	$\pi^- + n \rightarrow \Lambda^0 + \pi^- + \dots$ x)

x) Возможно (K^-n) - взаимодействие.

xx) В этом случае возможна и другая реакция с рождением Λ^0 , мы указали более вероятную.

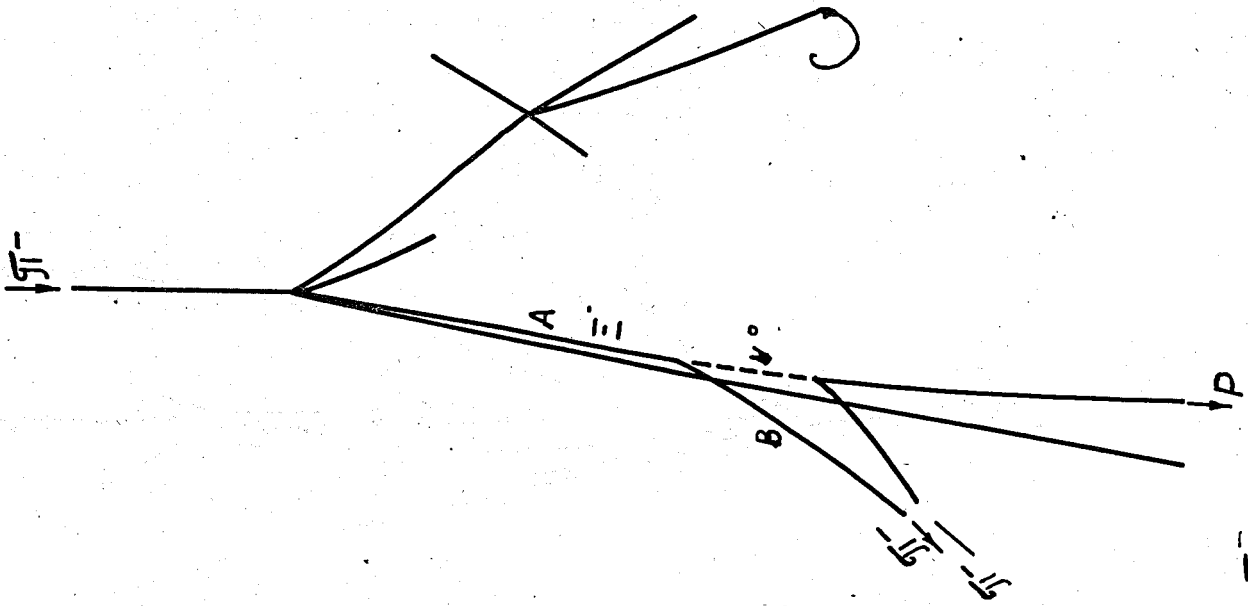


Рис.1. Случай 17.218 Распад Ξ^- -гиперона.

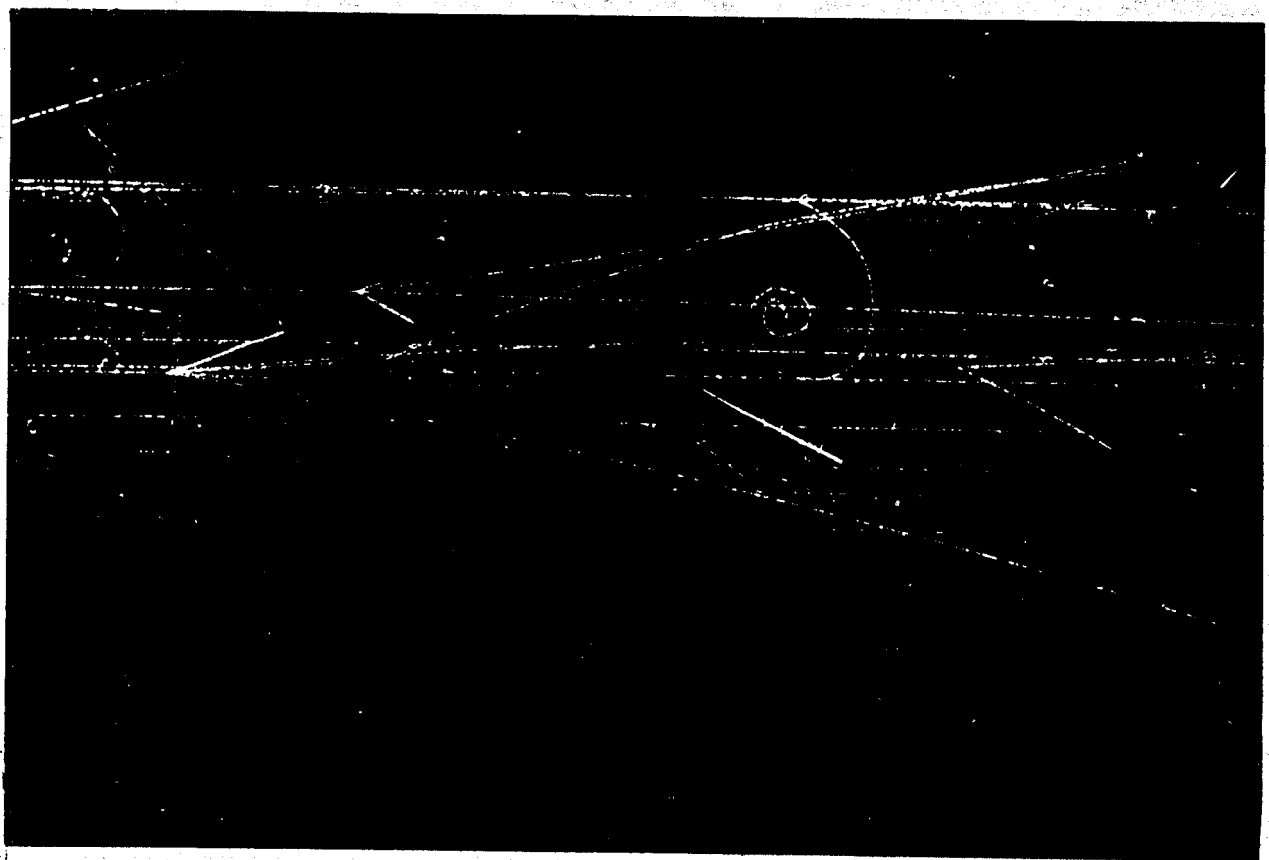
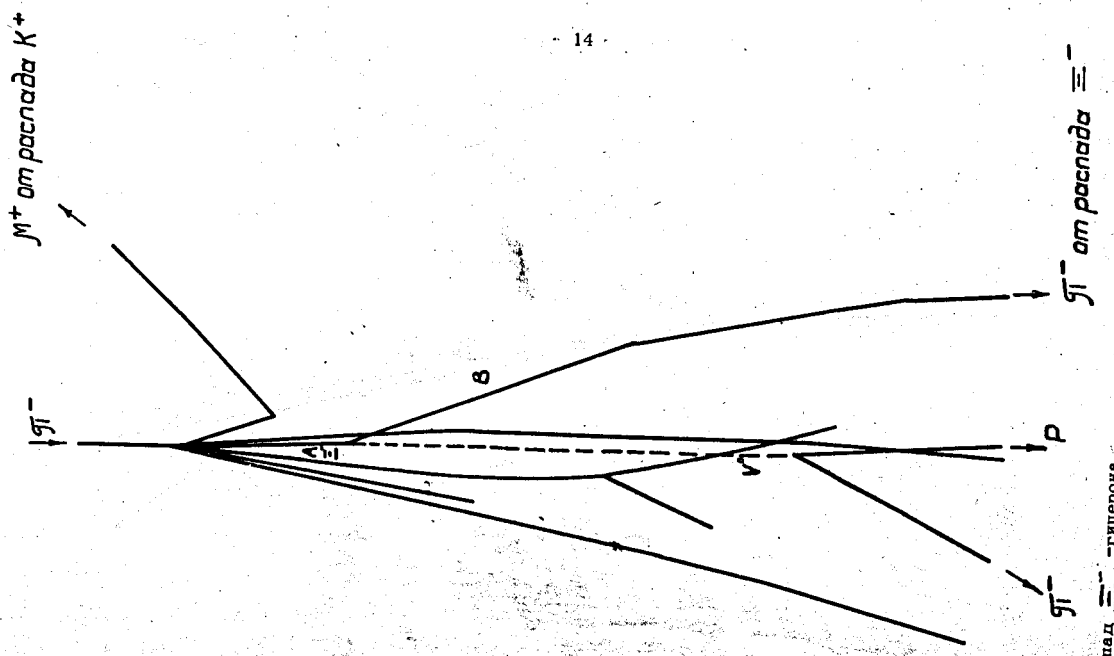


Рис.2. Случай 19-179 Распад Λ^0 -гиперона.

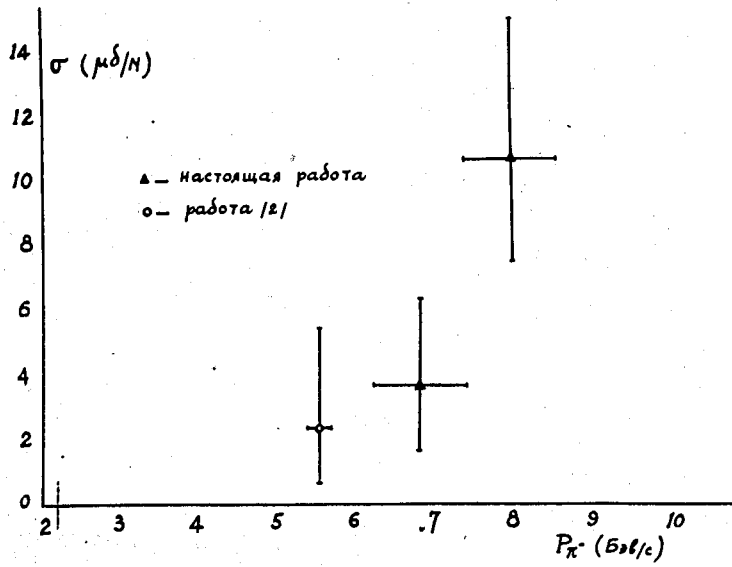


Рис.3. Зависимость сечения рождения Ξ^- -гиперонов от энергии падающих π^- -мезонов.