

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Л 942

1-87-642

УДК 539.172.128.17 +

ЛЮКОВ

+ 539.144

Владимир Владимирович

ПОИСК СУПЕРЯДЕР  
И ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГИПЕРЯДЕР  
ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРОТОНОВ С ЯДРАМИ  
В ФОТОЭМУЛЬСИИ ПРИ ЭНЕРГИЯХ 70 И 250 ГэВ

Специальность: 01.04.16 - физика атомного ядра  
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1987

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем  
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук

С.А.Бунятов

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

В.А.Царев

доктор физико-математических наук

М.И.Подгоренский

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва.

Защита диссертации состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1987 г.

в \_\_\_\_\_ часов на заседании специализированного Совета Д.047.01.03  
при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных  
исследований, г.Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1987 г.

Ученый секретарь специализированного Совета  
доктор физико-математических наук

Ю.А.Батусов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Диссертация посвящена поиску ядер нового типа – суперядер, представляющих собой связанные состояния нуклонов и легчайшего очарованного бариона  $\Lambda_c^+$ , а также исследованию образования гиперядер.

Явление образования суперядер экспериментально не установлено, хотя имеются теоретические основания ожидать, что такие ядра существуют. Изучение суперядер является, по-видимому, единственной возможностью получить данные о свойствах взаимодействий очарованных барионов (суперонов) с нуклонами, поскольку из-за малого времени жизни очарованных частиц ( $\tau_c \sim 10^{-12} - 10^{-13}$  с) и малого сечения их образования экспериментальное исследование рассеяния суперонов на нуклонах практически невозможно.

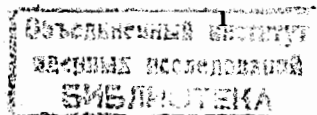
Процессы образования суперядер могут существенно отличаться от образования гиперядер и обычных фрагментов. Лучшие условия для рождения медленных  $\Lambda_c^+$ , необходимых для образования суперядер, реализуются во взаимодействиях очарованных D-мезонов с нуклонами



Однако создание пучков D-мезонов сталкивается с принципиальной трудностью, связанной с их малым временем жизни. Во взаимодействиях неочарованных частиц рождение медленных  $\Lambda_c^+$  кинематически подавлено ввиду большой массы  $\Lambda_c^+$ , и преимущественное образование суперядер может происходить на таких экзотических внутриядерных объектах, как кластеры, флутоны, кварковые мешки и т.п. Поэтому исследования образования суперядер могут использоваться для изучения свойств ядерного вещества на кварковом уровне.

Изучение гиперядер интересно прежде всего для понимания низкоэнергетического гиперон-нуклонного взаимодействия. Одной из наиболее важных величин, измеряемых на опыте, является энергия связи  $\Lambda$  в гиперядрах  $B_\Lambda$ , которая известна для  $\sim 20$  гиперизотопов. Поэтому поиск новых гиперизотопов и определение  $B_\Lambda$  в них представляет значительный интерес.

Наличие в гиперядрах  $\Lambda$ -гиперона делает их мечеными ядерными фрагментами. Поэтому изучение процессов гиперфрагментации полезно для лучшего понимания явления фрагментации ядер в целом. При этом важно, что в отличие от фрагментов различные гиперизотопы могут быть надежно идентифицированы индивидуально.



Цель работы – поиск явления образования суперядер и исследование образования гиперядер в протон-ядерных взаимодействиях в фотоэмульсии при энергиях 70 и 250 ГэВ.

Научная новизна. В диссертации приведены результаты первого в мировой практике эксперимента по поиску суперядер. Найдено три кандидата в суперядра. Определены верхние границы выхода суперядер во взаимодействиях протонов с ядрами в фотоэмульсии при энергиях 70, 100–150 и 250 ГэВ. Оценена верхняя граница вероятности захвата  $\Lambda_c^+$  ядрами Ag, Вг при энергии 250 ГэВ.

Впервые получены данные по образованию гиперядер во взаимодействиях протонов с ядрами в фотоэмульсии при энергиях 70, 100–150 и 250 ГэВ: определена частота наблюдения мезонных распадов гиперядер, сделаны оценки выхода гиперядер, изучены различные их характеристики. Ранее образование гиперядер исследовалось только в области энергий до 25 ГэВ. Впервые однозначно идентифицирован гиперизотоп  ${}_{\Lambda}^{12}\text{C}$ .

Практическая ценность. Результаты диссертации на практике подтверждают возможность применения ядерной фотоэмульсии в качестве детектора распадов суперядер и могут быть использованы при постановке в будущем экспериментов по поиску и исследованию суперядер с использованием дополнительных (внешних) детекторов, позволяющих получить более полную информацию о продуктах распада суперядер и провести их поиск с большей скоростью и на большей статистике. Описанный в диссертации метод поиска "двойных звезд" позволяет одновременно с поиском суперядер эффективно проводить исследование других явлений, таких, как образование гиперядер и фрагментов, поиск новых гиперизотопов, поиск сверхплотных ядер и др.

Автор защищает:

1. Результаты поиска суперядер в протон-ядерных взаимодействиях в фотоэмульсии при энергиях 70 и 250 ГэВ, в частности, обнаружение трех кандидатов в суперядра и определение верхней границы выхода суперядер.

2. Результаты исследования образования гиперядер во взаимодействиях протонов с ядрами в фотоэмульсии при энергиях 70 и 250 ГэВ, в частности, обнаружение гиперизотопа  ${}_{\Lambda}^{12}\text{C}$ , определение частоты наблюдения мезонных распадов гиперядер и оценку их выхода.

Апробация результатов и публикации. Результаты, приведенные в диссертации, докладывались на XIII Международной конференции по физике высоких энергий (Тбилиси, 1976 г.), IX Европейском симпозиуме по физике космических лучей (Кошице, 1984 г.), Рабочем совещании по образованию гиперядер и поиску суперядер (Дубна, 1984 г.), сессиях Отделения ядерной физики АН СССР, заседаниях фотоэмульсионного комитета ОИЯИ и научных семинарах ЛЯИ ОИЯИ.

По материалам диссертации опубликовано 8 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из Введения, трех глав, Заключения и Приложения. Содержит 152 страницы машинописного текста, включая 33 рисунка, 17 таблиц и список цитируемой литературы из 132 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении описана структура диссертации.

Первая глава посвящена описанию эксперимента по поиску суперядер в фотоэмульсии и его результатам. Работы были начаты еще до экспериментального обнаружения очарованных частиц сразу после предсказания возможности образования суперядер (Тяпкин А.А. – ЯФ, 1975, т.22, с.181). При постановке эксперимента были учтены ожидаемые свойства суперядер, следующие из основных свойств очарованных частиц:

- большое энергвыделение при распаде суперядер из-за большой массы  $\Lambda_c^+$  ( $M_{\Lambda_c^+} = 2,28$  ГэВ)  $Q_{\text{SR}} = M_{\Lambda_c^+} - M_N \sim 1,34$  ГэВ;
- малые пробеги до распада ( $R \approx 10-20$  мкм) из-за малого времени жизни  $\Lambda_c^+$  ( $\tau_{\Lambda_c^+} \sim 2 \cdot 10^{-13}$  с);
- большая вероятность распада суперядер с испусканием странных частиц ( $\sim 95\%$ ) и лептонов ( $\sim 10\%$ );
- образование суперядра должно сопровождаться испусканием еще одной очарованной ( $C = -1$ ) частицы в силу сохранения квантового числа очарования в сильных взаимодействиях.

В качестве детектора распадов суперядер была выбрана ядерная фотоэмульсия, обладающая лучшим пространственным разрешением ( $\sim 1$  мкм) из всех существующих в настоящее время трековых детекторов. Достоинством фотоэмульсии является также возможность точного определения энергии, типа и знака заряда (даже при отсутствии магнитного поля) пионов, каонов, протонов и  $\Sigma$ -гиперонов в случае их остановки в фотоэмульсии по измерениям пробегов, ионизации и многократного рассеяния, а также по характеру остановки. Идентификация природы частиц (без определения знака заряда) возможна и в случае их вылета из фотоэмульсии по измерениям ионизации и многократного рассеяния, если их импульсы не превосходят  $\sim 1-2$  ГэВ/с. При этом возможно отделение каонов от пионов и протонов, что имеет большое значение при поиске суперядер, поскольку импульсы каонов от распада  $\Lambda_c^+ \rightarrow K^+ + X$  не превосходят 0,82 ГэВ/с.

С другой стороны, фотоэмульсия является удобным прибором для исследования гиперядер, что позволило при поиске суперядер параллельно получить данные по образованию гиперфрагментов.

С целью поиска суперядер две фотоэмульсионные камеры, собранные из 90 слоев фотоэмульсии НИКФИ-БР-2 размером  $200 \times 100 \times 0,6$  мм<sup>3</sup> (т.е. объем каждой камеры  $\sim 1$  л), были облучены протонами с энергией 70 ГэВ на

ускорителе ИФВЭ (Серпухов). Аналогичная камера объемом  $\sim 2$  л была облучена протонами с энергией 250 ГэВ на ускорителе ФНАЛ (Батавия).

Всего в камерах, облученных протонами с энергией 70 ГэВ, при просмотре по площади было зарегистрировано  $1,25 \cdot 10^5$ , а в камере, облученной протонами с энергией 250 ГэВ, —  $1,15 \cdot 10^6$  звезд. Из общего количества взаимодействия первичных протонов с  $E_p = 70$  ГэВ являются  $5,34 \cdot 10^4$ , с  $E_p = 250$  ГэВ —  $5,27 \cdot 10^5$  звезд, а остальные звезды — это взаимодействия вторичных заряженных и нейтральных частиц. Среди вторичных взаимодействий в камере, облученной протонами с  $E_p = 250$  ГэВ, около  $4,25 \cdot 10^4$  звезд образованы лидирующими протонами с энергией  $\sim 100$ – $150$  ГэВ.

Для ускорения поиска суперядер был применен специальный метод просмотра — метод "двойных звезд". Этот метод заключается в регистрации при просмотре по площади событий, связанных черным следом, без прослеживания всех следов из найденного взаимодействия и без детальной зарисовки события. В диссертации показано, что такой просмотр позволяет значительно увеличить скорость поиска взаимодействий и не приводит к понижению эффективности регистрации событий типа распадов гиперядер. Метод поиска "двойных звезд" дает возможность исследовать любые квазистабильные явления, например, сверхплотные ядра, радиоактивность нового типа и др. в области времен жизни до  $10^{-13}$ – $10^{-14}$  с и имеет хорошие перспективы (см. Бунятов С.А. — ЭЧАЯ, 1979, т.10, с.658).

В результате просмотра среди вторичных звезд, связанных с родительским взаимодействием черным следом длиной до 1,5 мм, было зарегистрировано 92 мезонных распада гиперядер и три события с видимым энерговыделением  $E_{\text{вид}} > 0,3$  ГэВ, которые могут быть интерпретированы как распады суперядер.

Микрофотографии и схемы этих событий показаны на рис.1–3. Кроме anomalно большого видимого энерговыделения эти события обладают следующими особенностями (см. таблицу 1):

- малые расстояния между центрами "двойных звезд"  $R \sim 2$ – $4$  мкм;
- большая величина недостающего поперечного импульса  $P_T \sim 0,5$ – $0,6$  ГэВ/с;
- в первых двух событиях большая величина  $E_{\text{вид}}$  (1,0 и 0,6 ГэВ) сочетается с относительно малой величиной продольного импульса  $P_L^C \sim 0,2$  ГэВ/с, а в третьем событии  $E_{\text{вид}}$ ,  $P_T^C$  и  $P_L^C$  практически одинаковы — 0,45 ГэВ, 0,62 и 0,59 ГэВ/с соответственно;
- углы вылета фрагментов значительно больше угла разлета основной части ливневых следов и быстрых ядерных фрагментов —  $\psi \geq 60^\circ$ .

Анализ фоновых процессов, имитирующих распады суперядер (изложенный в Приложении), показал, что наиболее серьезными источниками фона являются аннигиляция медленных антипротонов ( $T_p \leq 50$  МэВ) и неупругие взаимодействия ливневых частиц в непосредственной близости (до 10 мкм)

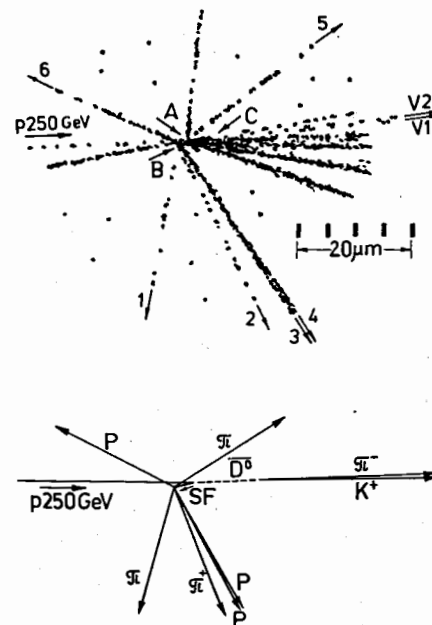


Рис.1. Микрофотография и схема события 1.

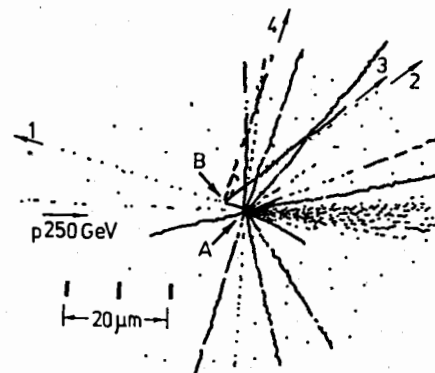


Рис.2. Микрофотография и схема события 2.

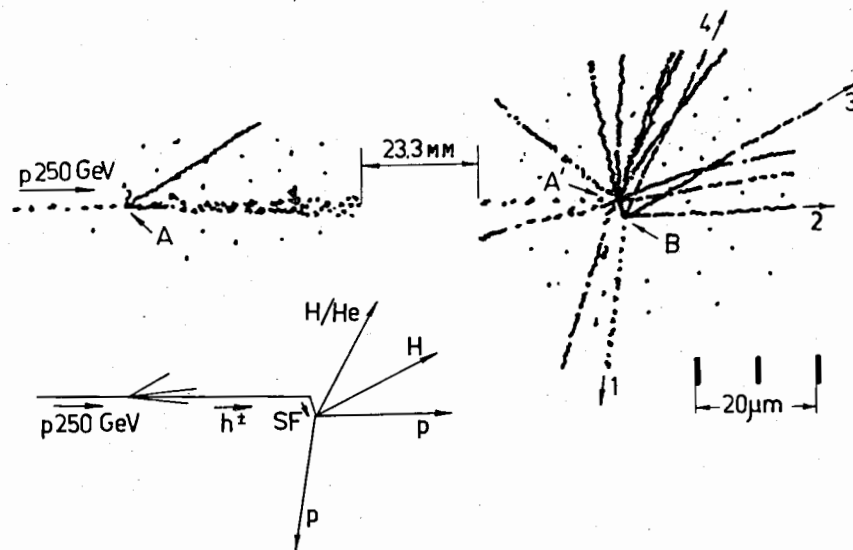


Рис.3. Микрофотография и схема события 3.

Таблица I

Характеристики событий - кандидатов в суперядра

Событие	Тип родительской звезды	СВЯЗУЩИЙ СЛЕД		Угол погружения $\theta$	Видимое энергo-выделение $E_{вид}, \Gamma\text{эВ}$	ВТОРИЧНАЯ ЗВЕЗДА	
		Пробег $R$ , мкм	Азимутальный угол $\phi$			Суммарный продольный импульс заряженных частиц $P_L, \Gamma\text{эВ}/c$	Суммарный поперечный импульс заряженных частиц $P_T, \Gamma\text{эВ}/c$
1	$I_{2a} + 3g + 3b$	$1,8 \pm 0,5$	$168 \pm 8,9$	$0 \pm 18,0$	$1,00 \pm 0,02$	$0,19 \pm 0,12$	$0,53 \pm 0,04$
2	$I_{5a} + 6g + I_{5b}$	$3,1 \pm 0,5$	$160 \pm 5,5$	$0 \pm 10,1$	$0,58 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,02$	$0,59 \pm 0,01$
3*	$A: 6a + 0g + I_{5b}$ $A': 2a + 8g + I_{2b}$	$3,7 \pm 0,5$	$58 \pm 4,8$	$-18,8 \pm 8,2$	$0,45 \pm 0,01$	$0,59 \pm 0,08$	$0,62 \pm 0,10$

\* Одна из вторичных релятивистских частиц (измеренное значение  $\beta\beta = 13,3 \pm 2,2 \Gamma\text{эВ}/c$ ) из первичного взаимодействия  $A$  образовала на расстоянии  $23,3$  мкм вторичную звезду  $A'$ , в которой найден кандидат в суперядро.

от родительских взаимодействий с кажущимся черным связующим следом из-за наложения на него других следов. Однако фоновые события от неупругих взаимодействий ливневых частиц сконцентрированы в пределах узкого телесного угла (с углами вылета до  $10^0$ ) и не представляют опасности из-за того, что в качестве кандидатов в суперядра отбирались события с углом между связующим и первичным следами больше  $20^0$ . Кроме того, образование найденных событий неупругими взаимодействиями ливневых частиц или быстрых ядерных фрагментов трудно объяснить ввиду соотношения  $E_{вид} P_T^C$  и  $P_L^C$ . Если эти события являются звездами от аннигиляции медленных  $P$ , то непонятны их концентрация в непосредственной близости от родительских взаимодействий и отсутствие аннигиляционных звезд с черным связующим следом на расстояниях от  $4$  мкм до  $1,5$  мм.

В случае образования суперядер, напротив, должны наблюдаться именно такие особенности. Поэтому эти события были проанализированы как распады суперядер. При этом предполагалось, что недостающий поперечный импульс уносится нейтральной странной частицей ( $K^0$  или  $\Lambda$ ) -  $\vec{P}_T^N = -\vec{P}_T^C$ .

При кинематическом анализе варьировался продольный импульс нейтральной странной частицы  $P_L^N$  (или импульс суперядра  $P_{SF} = P_L^C + P_L^N$ ). Для каждого значения  $P_{SF}$  определялись инвариантная масса продуктов распада  $M_{SF}$  с учетом нейтральной частицы, величина энергии связи  $\Lambda_C^+$

$$B_C = M_{\text{яо}} + M_{\Lambda_C^+} - M_{SF}, \quad (2)$$

где  $M_{\text{яо}}$  - масса ядра-остова, а также время пролета до распада  $t_{SF}$ . Стабильные суперядра могут существовать при условии  $B_C > 0$ . Наиболее реалистичные оценки (Starkov N.I., Tsarev V.A. - Nucl.Phys., 1986, v.4450, p.507) показывают, что даже в самых сильносвязанных суперядрах  $B_C$  вряд ли может быть более  $10$  МэВ. Поэтому область допустимых значений  $B_C$  была принята равной  $0-10$  МэВ. Пример зависимости  $B_C$  от  $P_{SF}$  приведен на рис.4.

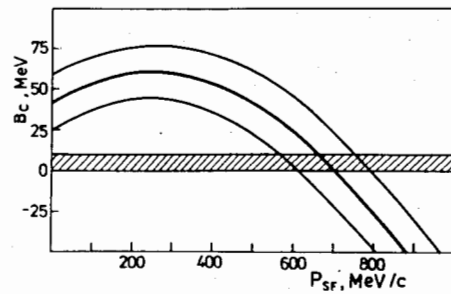


Рис.4. Зависимость энергии связи  $B_C$  от импульса суперядра  $P_{SF}$  для распада  ${}^4_6\text{Be} \rightarrow \Lambda p^+ p^+ p^- p^-$  в событии I.

В таблице 2 представлены результаты анализа (схемы распада, значения импульсов суперядер  $P_{SF}$ , нейтральной частицы  $P_0$  и время пролета до распада  $t_{SF}$ , при которых  $B_C = 0-10$  МэВ), показывающие, что все три события могут быть интерпретированы как распады суперядер. При этом нужно отметить, что импульсы суперядер, при которых  $B_C = 0-10$  МэВ, имеют значения, характерные для ядерных фрагментов и гиперядер. Импульсы нейтральных страных частиц также не противо-

Таблица 2

Возможная интерпретация кандидатов в суперядра

Событие	Схема распада	$P_{SF}$ , ГэВ/с	$P_0$ , ГэВ/с	$t_{SF}$ , $10^{-13}$ с
1	${}^c_{Be}/{}^c_{He}/c \rightarrow \Lambda^0 \pi^+ \pi^+ \pi^+ p \text{ I-}^2\text{H} + \kappa n$ ( $\kappa \geq 0$ )	0,40-0,88	0,64-0,87	0,22-0,79
2 *	${}^c_{He}/{}^c_{Be} \rightarrow \bar{K}^0 \pi^+ \pi^+ p \text{ I-}^3\text{H} + \kappa n$ $\rightarrow \Lambda^0 \pi^+ \pi^+ p \text{ I-}^3\text{H} + \kappa n + m\pi^0$ ( $\kappa \geq 0, 0 \leq m \leq 3$ )	$\leq 0,16$ 1,22-1,60	0,60-0,61 1,42-1,69	$\geq 1,84$ 0,21-0,32
3 +	${}^c_{Be}/{}^c_{B} \rightarrow \bar{K}^0 p \text{ I-}^2\text{H I-}^3\text{H}/^3,^4\text{He} + \kappa n + m\pi^0$ ( $\kappa \geq 0, m = 0, 1$ )	$\leq 0,21$ 1,12-1,43	0,69-0,82 0,78-1,05	$\geq 2,16$ 0,28-0,97

\* Первый ряд значений  $P_{SF}$ ,  $P_0$  и  $t_{SF}$  соответствует распаду на  $\bar{K}^0$ , второй - на  $\Lambda$ .+ В этом событии имеется два решения - при малых  $P_{SF}$  и  $P_0$  (верхняя строка) и при больших (нижняя).

речат возможности распада  $\Lambda_c^+$  внутри суперядер на  $\bar{K}^0 p$  + пионы или на  $\Lambda \pi^+$  + пионы, т.к. максимально возможные импульсы  $\bar{K}^0$  и  $\Lambda$  от распада  $\Lambda_c^+$  в покое составляют 0,87 и 0,86 ГэВ/с соответственно. Большой импульс  $\Lambda$  во втором событии заметно уменьшится, если среди продуктов распада имеется хотя бы один нейтрон или  $\pi^0$ -мезон.

Наибольший интерес представляет первое событие, в котором наряду с кандидатом в суперядро обнаружена вилка (следы V1 и V2 на рис.1), геометрически восстановленная вершина которой находится на расстоянии 6,3±2,8 мкм от вершины первичного взаимодействия. Согласно измерениям ионизации и многократного рассеяния ( $I/I_0 = 0,94 \pm 0,02$ ,  $p\beta = 0,84 \pm 0,07$  ГэВ/с), наиболее вероятная идентификация частицы V1 есть K-мезон. Поэтому вилка может быть интерпретирована как распад  $\bar{D}^0$ -мезона на  $K^+ \pi^-$  ( $M_{K\pi} = 1,62^{+0,13}_{-0,12}$  ГэВ), за время  $0,36 \cdot 10^{-14}$  с или на  $K^+ \pi^0$  за время  $(0,28-0,41) \cdot 10^{-14}$  с.

Количество фоновых событий, имитирующих одновременно распад суперядра и нейтральной очарованной частицы в просмотренном объеме фотоэмulsion не превышает  $7 \cdot 10^{-4}$ . Для двух других кандидатов количество фоновых событий равно 0,2 и  $10^{-5}$  (в третьем событии кандидат в суперядро найден во взаимодействии вторичной частицы с импульсом  $\sim 13$  ГэВ/с, фон для таких взаимодействий ниже из-за меньшего сечения рождения  $\bar{p}$ ). Однако ненаблюдение нейтральных странных частиц, а также ассоциативных партнеров  $\Lambda_c^+$  в двух событиях и незнание знака заряда K-мезона в первом событии, хотя и не противоречат интерпретации найденных событий как распадов суперядер, тем не менее не позволяют однозначно утверждать о наблюдении суперядер.

Верхняя граница выхода суперядер в протон-ядерных взаимодействиях в фотоэмulsion на 90% уровне достоверности равна

$$\begin{aligned} f_{SF} &\leq 3,1 \cdot 10^{-5} && \text{при } E_p = 70 \text{ ГэВ,} \\ f_{SF} &\leq 3,8 \cdot 10^{-5} && \text{при } E_p = 100-150 \text{ ГэВ,} \\ f_{SF} &\leq 3,1 \cdot 10^{-6} && \text{при } E_p = 250 \text{ ГэВ} \end{aligned}$$

на одно неупругое взаимодействие. Эта величина на 2-3 порядка ниже, чем выход гиперядер при тех же энергиях.

В предположении, что сечение рождения  $\Lambda_c^+$  в pp-взаимодействиях при  $E_p = 250$  ГэВ равно 8 мкбн, сделана оценка верхней границы доли  $\Lambda_c^+$ , образующих суперядро во взаимодействиях протонов с ядрами Ag, Br при энергии 250 ГэВ. На 90% уровне достоверности эта величина равна

$$\begin{aligned} \sigma_{\Lambda_c^+} &\leq 4,0 \cdot 10^{-3}, && \text{если } \sigma(pA \rightarrow \Lambda_c^+) \sim A^1, \\ \sigma_{\Lambda_c^+} &\leq 8,7 \cdot 10^{-3}, && \text{если } \sigma(pA \rightarrow \Lambda_c^+) \sim A^{2/3}. \end{aligned}$$

† Знак заряда каона неизвестен; предположение, что он положителен, основано на гипотезе об образовании суперядра и  $\bar{D}^0$ -мезона.

Во второй главе рассмотрены современное состояние и перспективы физики суперядер. Имеющиеся данные о массах очарованных барионов (Aguilar-Benitez M. et al. (Particle Data Group) - Phys.Lett., 1986, v.170B, p.1) позволяют сделать вывод о том, что только  $\Lambda_c^+$  может образовывать стабильные относительно сильных распадов суперядра. (Интересные возможности могут иметь место в случае  $\Xi_c$ -барионов, содержащих как очарованный с-кварк, так и странный s-кварк, ввиду близости суммы масс  $\Xi_c$  и нуклона и суммы масс  $\Lambda_c^+$  и  $\Lambda$ .) Однако существование стабильных  $\Lambda_c^+$ -суперядер зависит от свойств потенциала  $\Lambda_c^+N$ -взаимодействий, которые в ряде важных отношений отличаются от  $\Lambda N$ -взаимодействий (Starkov N.I., Tsarev V.A. In: Proc. of 1986 INS Int. Symposium on Hypernuclear Physics, Tokyo, 1986, p.247 и ссылки в этой работе):

- $\Lambda_c^+N$ -потенциал ослаблен на  $\sim 20\%$  по сравнению с  $\Lambda N$ -потенциалом из-за отсутствия обмена странными K- и  $K^{\bar{}}$ -мезонами и уменьшения констант связи  $\Lambda_c^+$  с мезонами вследствие большей массы  $\Lambda_c^+$ ;
- кулоновское отталкивание из-за наличия положительного заряда у  $\Lambda_c^+$  играет важную роль, особенно в легких и тяжелых суперядрах.

Результаты различных теоретических работ показывают, что существование стабильных суперядер весьма вероятно. Однако имеющийся произвол в выборе тех или иных параметров приводит к сильным различиям в оценках величины энергии связи  $\Lambda_c^+$  в суперядрах и даже к неопределенностям в вопросе о существовании тех или иных суперизотопов, особенно в области малых и больших A. Поэтому доказательство существования суперядер и определение энергии связи хотя бы одного суперизотопа представляется исключительно важным для развития физики суперядер.

Изучение с помощью суперядер взаимодействий очарованных барионов с нуклонами может оказаться более информативным для построения единой теории барион-барионных взаимодействий по сравнению с  $\Lambda N$ -взаимодействиями, так как изучение с помощью последних таких эффектов, как влияние масс барионов на величины констант связи или радиусов кора не представляется возможным ввиду малого отличия масс  $\Lambda$ -гиперонов и нуклонов.

Другой важной проблемой в настоящее время является образование и наблюдение суперядер. Ввиду отсутствия пучков D-мезонов поиск суперядер в ближайшем обозримом будущем возможен только во взаимодействиях неочарованных частиц. Однако из-за большой массы  $\Lambda_c^+$  рождение медленных  $\Lambda_c^+$  (т.е. с импульсами, меньшими или сравнимыми с ферми-импульсом нуклонов в ядре  $k_F \sim 1,35 \text{ fm}^{-1} = 0,27 \text{ ГэВ/с}$ ) кинематически подавлено: даже с учетом ферми-движения нуклонов в ядре минимальный импульс  $\Lambda_c^+$  составляет  $\sim 2 \text{ ГэВ/с}$ , поэтому вероятность их захвата ядром мала. Как было показано в работах (Старков Н.И., Царев В.А. - Краткие сообщения по физике, 1984, № 12, с.24; Starkov N.I., Tsarev V.A. - Nucl.Phys., 1986, v.A450, p.507), наиболее выгодным оказывается образование суперядер во взаимо-

действиях налетающих частиц с многоклонными внутриядерными ассоциациями типа флутонов, адронных капель, многокварковых мешков и т.п. Вероятность образования суперядер в таких взаимодействиях составляет  $\sim 10^{-5}-10^{-6}$  от всех неупругих взаимодействий. Поэтому исследование образования суперядер может быть использовано для получения дополнительной информации о структуре ядра и кварковых степенях свободы в ядрах.

Кроме описываемого в диссертации эксперимента, являвшегося по сути единственным целенаправленным опытом по поиску суперядер, только в двух экспериментальных работах, посвященных поиску очарованных частиц, обсуждалась возможность регистрации связанных состояний очарованных барионов с ядрами.

В работе Coremans-Bertrand G. et al. - Phys.Lett., 1976, v.65B, p.480 среди 62302 взаимодействий протонов с энергией 300 ГэВ с ядрами в фотоэмульсии было зарегистрировано 140 распадов гиперядер, однако ни одного события с большим энерговыделением или со странными частицами среди продуктов распада в этих событиях не было обнаружено.

В работе Bozzoli W. et al. - Lett.Nuovo Cim., 1977, v.19, p.32 среди 16098 звезд, зарегистрированных в фотоэмульсиях, облученных протонами с энергиями 300 и 400 ГэВ, не было найдено ни одного кандидата в суперядро, в качестве которых рассматривались "гиперядра" с пробегом  $R \leq 30 \text{ мкм}$  и большим энерговыделением при распаде.

Суммарная статистика этих двух экспериментов находится на уровне наших данных при энергиях 70 и 100-150 ГэВ и почти на порядок ниже, чем при энергии 250 ГэВ. Если выход суперядер при этих энергиях слабо зависит от импульса налетающей частицы, то можно сделать суммарную оценку верхней границы выхода суперядер во взаимодействиях протонов с ядрами в фотоэмульсии при энергиях 70-400 ГэВ:

$$f_{SF} \leq 2,3 \cdot 10^{-6}$$

на одно неупругое взаимодействие на 90% уровне достоверности. Эта оценка практически не отличается от нашего наиболее значимого результата, полученного при  $E_p = 250 \text{ ГэВ}$  ( $f_{SF} \leq 3,1 \cdot 10^{-6}$ ).

Полученные в диссертации значения выхода суперядер находятся на уровне теоретических оценок, сделанных в предположении образования  $\Lambda_c^+$  на флутонах, однако для доказательства существования суперядер необходимо проведение эксперимента с накоплением по крайней мере на порядок большей статистики.

Опыт проведения эксперимента по поиску суперядер позволил сделать следующие выводы:

- ввиду наилучшего пространственного разрешения оптимальным детектором распадов суперядер является ядерная фотоэмульсия;
- для ускорения поиска суперядер необходимо иметь систему автоматизации просмотра фотоэмульсий и внешний детектор, способный ор-

ганизовать триггер для отбора событий с характерными признаками образования очарованных частиц, обеспечивающий высокую точность предсказания местонахождения вершин таких событий в фотомульсии, а также позволяющий регистрировать частицы от распада суперядер, в том числе нейтральные, под большими углами, определять знаки зарядов и измерять импульсы заряженных и энергию нейтральных частиц;

- поскольку с ростом энергии налетающих частиц возрастает множественность ливневых частиц и антипротонов, что ухудшает фоновые условия, особенно в области малых углов вылета суперядер, то их поиск следует проводить в области энергии налетающих частиц, для которой максимально отношение выхода суперядер<sup>\*</sup> к фону от ливневых частиц и аннигиляционных звезд; представляет интерес поиск суперядер во взаимодействиях релятивистских ядер с ядрами, в которых можно ожидать более яркого проявления коллективных степеней свободы.

Третья глава посвящена исследованию образования гиперядер во взаимодействиях протонов с ядрами в фотомульсии при энергиях 70 и 250 ГэВ. Ранее образование гиперядер изучалось только в области энергий налетающих частиц до 25 ГэВ. Имеющиеся данные по образованию гиперядер во взаимодействиях нестранных адронов ( $\pi^-$ ,  $p$ ,  $\bar{p}$ ) с ядрами немногочисленны и не согласуются друг с другом. Поэтому представляет интерес исследование образования гиперядер при больших энергиях, где могут проявиться новые механизмы образования гиперядер, а также поиск новых гиперизотопов. Решение этих задач оказалось возможным в описываемом эксперименте, поскольку при поиске суперядер методом "двойных звезд" было зарегистрировано 92 мезонных распада гиперядер (МНФ).

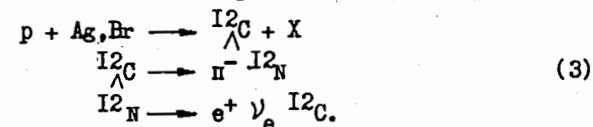
Исследование гиперядер было ограничено только мезонными распадами в связи с тем, что такие распады могут быть индивидуально идентифицированы и при этом с достаточно хорошей точностью (порядка десятых долей МэВ) определяется энергия связи  $\Lambda$  в гиперядре  $B_\Lambda$ . Идентификация безмезонных распадов (НМНФ) практически невозможна из-за испускания одного или нескольких нейтронов. Кроме того, отделение НМНФ от фоновых процессов (ядерных захватов  $\pi^-$ ,  $K^-$  и  $\Sigma^-$ , неупругих взаимодействий и упругого рассеяния ядерных фрагментов), особенно на малых ( $R \leq 20-30$  мкм) расстояниях от родительских взаимодействий, невозможно, и для оценки количества НМНФ необходимо использовать статистические методы выделения безмезонных распадов от фоновых процессов.

В результате кинематического анализа распадов гиперядер было однозначно идентифицировано 52 МНФ; в 28 случаях однозначно определен заряд

\* До настоящего времени вопрос об энергетической зависимости выхода суперядер не исследовался.

гиперядра. Только для трех событий не было получено ни одного решения с уровнем достоверности по  $\chi^2$ -критерию более 1%.

Наибольший интерес представляет событие, показанное на рис.5, являющееся первым прямым наблюдением образования и распада гиперядра  $^{12}_\Lambda C$ :



На рис.5 видны только следы пиона и позитрона, так как массы ядер  $^{12}_N$  и  $^{12}_C$  велики, и их импульсов не хватает для образования видимых следов. Решающими факторами при идентификации этого события оказались большой пробег гиперядра ( $R = 171$  мкм), что позволило определить его заряд по измерению зависимости ширины трека от остаточного пробега, и большая энергия  $\beta$ -частицы от  $\beta$ -распада ядра отдачи  $^{12}_N$ , что позволило определить массовое число гиперядра. Энергия связи  $\Lambda$  в основном состоянии гиперизотопа  $^{12}_\Lambda C$  оказалась равной  $11,14 \pm 0,57$  МэВ.

Несколько ранее в электронных экспериментах на пучках каонов были получены указания на существование стабильного относительно сильных распадов основного состояния гиперядра  $^{12}_\Lambda C$  и оценена величина  $B : 11 \pm 1$  МэВ (Faessler M.A. et al. - Phys.Lett., 1973, v.46B, p.468) и  $9 \pm 2$  МэВ (Bo-nazzola G.C. et al. - Phys.Lett., 1974, v.53B, p.297). Одновременно и

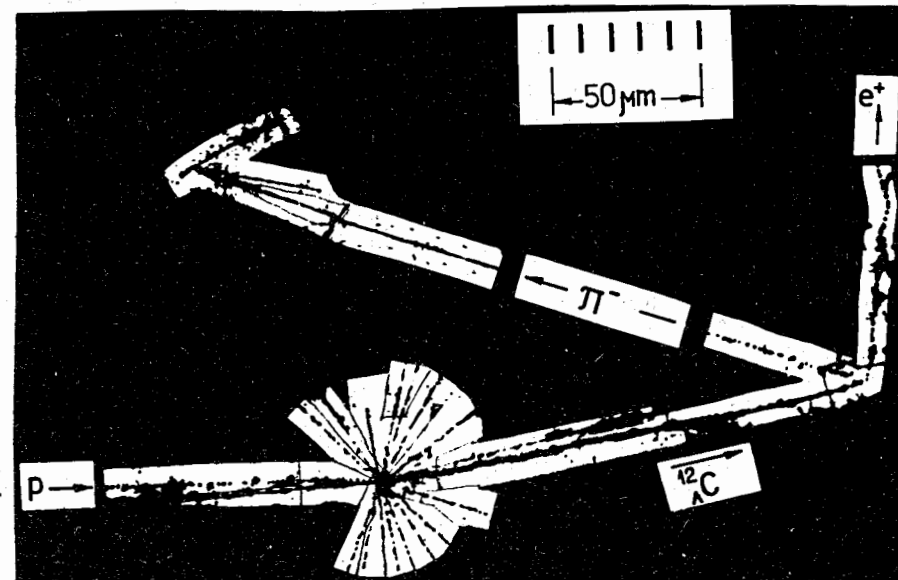


Рис.5. Микрофотография образования и распада гиперядра  $^{12}_\Lambda C$ .



независимо от обнаружения события, показанного на рис.5, было доложено (Pilewski J., Ziemińska D. - *Nukleonika*, 1978, v.23, p.797) о наблюдении в фотомульсии 5 распадов  ${}^{12}_{\Lambda}C$  ( $B_{\Lambda} = 10,76 \pm 0,19$  МэВ). Позже энергия связи  ${}^{12}_{\Lambda}C$  ( $B_{\Lambda} = 10,79 \pm 0,11$  МэВ) была измерена в электронном эксперименте на пучке каонов (Chrien R.E. et al. - *Phys.Lett.*, 1979, v.89B, p.31). Значения  $B_{\Lambda}({}^{12}_{\Lambda}C)$  в этих работах и наш результат согласуются друг с другом.

Сравнение средних множественностей ливневых  $n_g$ , серых  $n_g$ , черных  $n_b$  и сильноионизирующих  $N_h = n_g + n_b$  частиц в звездах с гиперфрагментами, распределений МНФ по пробегам, кинетической энергии (рис.6), углам вылета (рис.7) с данными при меньших энергиях, а также с данными по образованию фрагментов  ${}^8_{\Lambda}Li$  \* указывает на общность механизмов образования гиперфрагментов и обычных ядерных фрагментов.

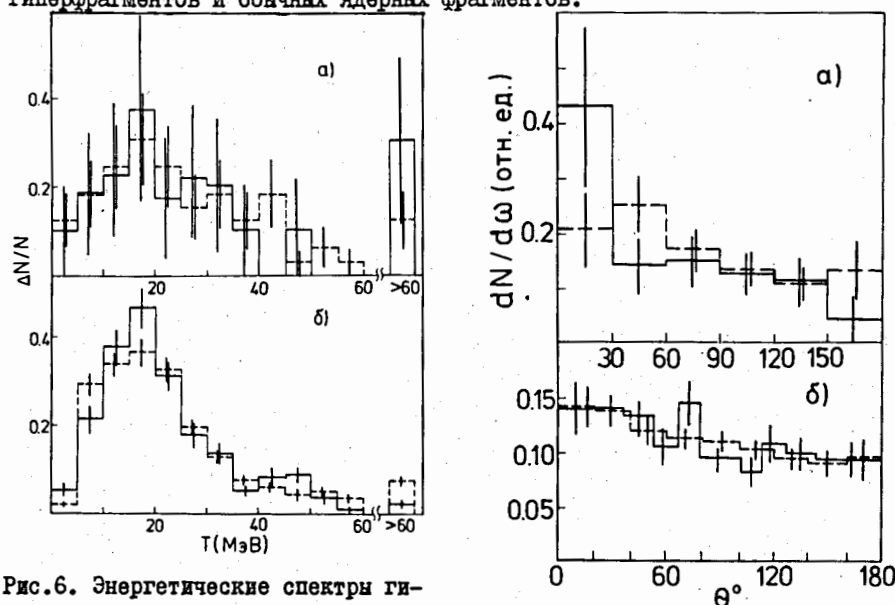


Рис.6. Энергетические спектры гиперядер  ${}^7_{\Lambda}Li, {}^9_{\Lambda}Be$  (а) и фрагментов  ${}^8_{\Lambda}Li$  (б), образовавшихся в рА-взаимодействиях при 250 ГэВ (сплошные гистограммы) и 25 ГэВ (пунктир).

\* На рис.6-9 и далее в тексте данные по образованию гиперядер  $\pi^-$ -мезонами при 4,5 ГэВ взяты из работ: Slater W.E. - *Suppl.Nuovo Cim.*, 1958, v.10, p.1; Silverstein E.M. - *ibid.*, p.41;  $\pi^-$ -мезонами при 17,2 ГэВ/с, МНФ и  ${}^8_{\Lambda}Li$  протонами при 25 ГэВ из: Baumann G. - *Ann.Phys.*, 1964, v.9, p.471;  ${}^8_{\Lambda}Li$  протонами при 250 ГэВ из: Иванова М.П., Курбатов В.С., Сидоров В.М. - *ЯФ*, 1979, т.29, с.1234.

Такие особенности процесса гиперфрагментации естественным образом объясняются в модели Б.Д.Джоунса и др. (Jones B.D. et al. *Phys.Rev.*, 1962, v.127, p.236), рассматривающей образование гиперфрагментов в две стадии. На первом этапе родившийся в первичном взаимодействии или рассеявшийся внутри ядра медленный  $\Lambda$ -гиперон захватывается возбужденным после прохождения внутриядерного каскада ядром. На втором этапе этот  $\Lambda$  либо остается в составе тяжелого остаточного ядра, либо испускается как отдельная частица, либо вылетает из ядра в составе ядерного фрагмента, образуя тем самым видимый гиперфрагмент. Очевидно, что в такой модели многие характеристики гиперфрагментов должны совпадать с характеристиками ядерных фрагментов. Отличия проявляются в тех характеристиках гиперядер, которые связаны с наличием  $\Lambda$ -гиперона. Например, различие зарядовых распределений гиперядер и фрагментов обусловлено различной вероятностью захвата  $\Lambda$  фрагментами с разными  $A$  и, как следствие,  $Z$ . Если вероятность вылета фрагментов убывает с ростом  $Z$ , то распределение гиперядер по заряду имеет максимум в области  $Z = 3-4$  \*. Это связано с тем, что вероятность вылета гиперфрагментов можно представить в виде произведения вероятности образования фрагмента, являющегося ядром-остатком в гиперядре, на вероятность захвата  $\Lambda$  этим фрагментом, которая увеличивается с ростом массового числа и, следовательно,  $Z$ .

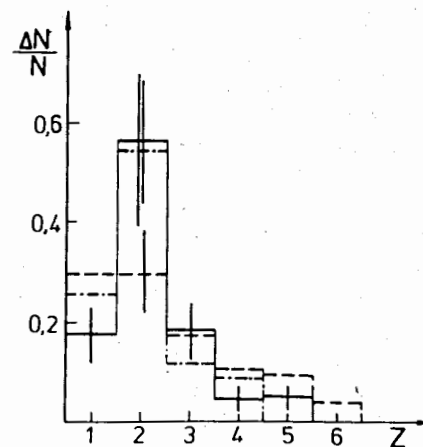


Рис.8. Распределение МНФ по заряду. —: p, 70 и 250 ГэВ; ---:  $\pi^-$ , 17,2 ГэВ/с и p, 25 ГэВ; .....:  $\pi^-$ , 4,5 ГэВ.

\* См., например, работу: Baumann G. - *Ann.Phys.*, 1964, v.9, p.471.

Распределение по заряду МНФ (т.е. гиперядер, распадающихся с испусканием  $\pi^-$ -мезона) имеет максимум при  $Z = 2$  (см. рис.8) и отличается от зарядового распределения всех гиперфрагментов из-за того, что с ростом  $Z$  возрастает доля безмезонных распадов. Из рис.8 следует, что величина энергии налетающих адронов не влияет на распределение МНФ по заряду. Отсюда следует, что доля МНФ среди всех распадов гиперядер при энергии протонов 70-250 ГэВ такая же, как и при меньших энергиях, и составляет ~15%.

Особенности процесса образования гиперядер могут проявиться также в энергетической зависимости выхода гиперядер, поскольку с изменением энергии налетающих частиц ме-

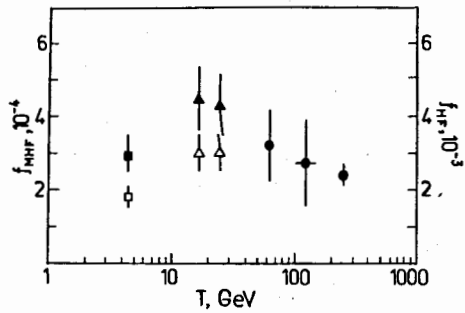


Рис.9. Частота наблюдения мезонных распадов гиперядер  $f_{MNF}$  (темные точки) и выход гиперядер  $f_{HF}$  (светлые точки) во взаимодействиях  $\pi^-$  и  $p$  с ядрами в фотомульсии.

● :  $p$ , 70, 100-150 и 250 ГэВ;  
 ▲, △ :  $\pi^-$ , 17,2 ГэВ/с и  $p$ , 25 ГэВ;  
 ■, □ :  $\pi^-$ , 4,5 ГэВ.

няются сечение рождения  $\Lambda$ , минимальный импульс и доля медленных  $\Lambda$ , что приводит к изменению вероятности захвата  $\Lambda$  ядрами.

С учетом поправок на конечную толщину фотомульсионных слоев и эффективность регистрации были получены следующие значения частоты наблюдения мезонных распадов гиперядер в  $pA$ -взаимодействиях в фотомульсии при энергиях 70, 100-150 и 250 ГэВ соответственно:

$$f_{MNF} = (3,2 \pm 1,0) \cdot 10^{-4},$$

$$f_{MNF} = (2,7 \pm 1,2) \cdot 10^{-4},$$

$$f_{MNF} = (2,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-4}$$

на одно неупругое взаимодействие. На рис.9 показано сравнение полученных результатов с данными по образованию гиперядер  $\pi^-$ -мезонами при 4,5 ГэВ, 17,2 ГэВ/с и протонами при 25 ГэВ, которые, в отличие от остальных имеющихся данных, получены с учетом необходимых поправок. Видно, что частота наблюдения мезонных распадов слабо зависит от энергии и в пределах экспериментальной точности остается постоянной в интервале энергии налетающих частиц от 5 до 250 ГэВ -  $f_{MNF} \sim (2,5-4,5) \cdot 10^{-4}$ .

Поскольку доля мезонных распадов составляет  $\sim 15\%$ , то можно оценить выход гиперядер при энергиях 70, 100-150 и 250 ГэВ -

$$f_{HF} = (2,1 \pm 0,8) \cdot 10^{-3},$$

$$f_{HF} = (1,8 \pm 0,9) \cdot 10^{-3},$$

$$f_{HF} = (1,6 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$$

на одно неупругое взаимодействие соответственно\*. Следовательно, выход гиперядер также слабо зависит от энергии в интервале 5-250 ГэВ и составляет  $\sim (1,5-3) \cdot 10^{-3}$ .

Для оценки влияния кинематических факторов на величину выхода гиперядер была посчитана зависимость от импульса налетающей частицы  $P_0$  величины

$$Y_h = n_\Lambda \int \left( \frac{d^3\sigma}{d\vec{p}_\Lambda} \right)_h F(P_\Lambda) d\vec{p}_\Lambda / \int \left( \frac{d^3\sigma}{d\vec{p}_\Lambda} \right)_h d\vec{p}_\Lambda, \quad (4)$$

\* Сечение образования гиперядер на ядрах  $Ag, Br$  составляет  $(2,8 \pm 1,1)$ ,  $(2,4 \pm 1,2)$  и  $(2,2 \pm 0,4)$  мбарн соответственно при этих энергиях.

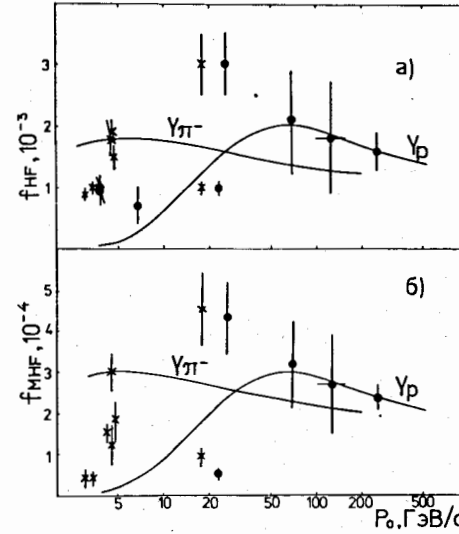


Рис.10. Зависимость  $Y_p$  и  $Y_\pi$  от импульса налетающей частицы  $P_0$ . а) - выход гиперядер  $f_{HF}$ , б) - частота наблюдения мезонных распадов гиперядер  $f_{MNF}$ . ● -  $pA$ -взаимодействия, × -  $\pi A$ -взаимодействия.

- в рассматриваемом интервале  $P_0$  множественность  $\Lambda$   $n_\Lambda$  в  $pp$ -взаимодействиях возрастает более, чем на порядок, а в  $\pi p$ -взаимодействиях - примерно в 3 раза (см. Vercauven S. JINR Communication E1-8559, Dubna, 1975);
- минимальный импульс  $\Lambda$  в  $\pi p$ -взаимодействиях становится порядка  $k_F$  уже при  $P_\pi \sim 2$  ГэВ/с и затем почти не меняется, а в  $pp$ -взаимодействиях это выполняется только при  $P_p \geq 10$  ГэВ;
- если в  $\pi p$ -взаимодействиях  $\Lambda$  рождается в основном в области фрагментации протона, т.е. при отрицательных  $x_F$  ( $x_F = p_L^{CM} / p_{max}^{CM}$ ), то в  $pp$ -взаимодействиях распределение  $\Lambda$  по  $x_F$  симметрично относительно  $x_F = 0$ , поэтому в  $\pi A$ -взаимодействиях большая по сравнению с  $pA$ -взаимодействиями часть  $\Lambda$ -гиперонов имеет малые в лабораторной системе импульсы (отвечающие значениям  $x_F$ , близким к -1) и происходящее при увеличении  $P_0$  (при больших  $P_0$ ) уменьшение доли медленных  $\Lambda$  более заметно в случае  $pA$ -взаимодействий.

\* Функция  $F(P_\Lambda)$  получена Н.И. Старковым.

Тем не менее при  $P_p > 10$  ГэВ/с  $\gamma_p$  меняется не более, чем в 3 раза, что согласуется с утверждением о слабой (по сравнению с сечением рождения  $\Lambda$ ) энергетической зависимости выхода гиперядер в широком интервале энергий. Имеющиеся несоответствия между результатами различных работ (см. рис.10) могут быть объяснены различиями в критериях отбора безмезонных распадов гиперядер, учете вклада различных взаимодействий, а также тем, что не во всех работах учитывались необходимые поправки на эффективность просмотра и конечную толщину фотомульсионных слоев.

Не было обнаружено никаких указаний на наличие каких-либо новых механизмов образования гиперядер при переходе от энергий до 25 ГэВ к энергиям 70–250 ГэВ.

В Заключении представлены основные результаты, полученные в диссертации.

1. Впервые проведен поиск суперядер и показана принципиальная возможность и эффективность использования метода ядерных фотомульсий для поиска и исследования образования суперядер.

2. Зарегистрировано три первых кандидата в суперядра. Наибольшей достоверностью обладает событие, в котором обнаружена вилка от возможного распада ассоциативного партнера  $\Lambda_c^+ - \bar{D}^0$ -мезона. Фон для этого события  $\sim 7 \cdot 10^{-4}$  событий. Для двух других кандидатов фон составляет 0,2 и  $10^{-5}$  событий соответственно.

3. Определена верхняя граница выхода суперядер в протон-ядерных взаимодействиях в фотомульсии:

$$\begin{aligned} f_{SF} &\leq 3,1 \cdot 10^{-6} && \text{при энергии 250 ГэВ,} \\ f_{SF} &\leq 3,1 \cdot 10^{-5} && \text{при энергии 70 ГэВ,} \\ f_{SF} &\leq 3,8 \cdot 10^{-5} && \text{при энергиях 100–150 ГэВ} \end{aligned}$$

на одно неупругое взаимодействие на 90% уровне достоверности.

4. Оценена верхняя граница доли  $\Lambda_c^+$ , образующих суперядра во взаимодействиях протонов с энергией 250 ГэВ с ядрами Ag, Br. На 90% уровне достоверности эта величина равна

$$\begin{aligned} \delta_{\Lambda_c^+} &\leq 4,0 \cdot 10^{-3}, && \text{если } \sigma(pA \rightarrow \Lambda_c^+) \sim A^I \\ \delta_{\Lambda_c^+} &\leq 8,7 \cdot 10^{-3}, && \text{если } \sigma(pA \rightarrow \Lambda_c^+) \sim A^{2/3}. \end{aligned}$$

5. Определена частота наблюдения мезонных распадов гиперядер в протон-ядерных взаимодействиях в фотомульсии:

$$\begin{aligned} f_{MNF} &= (3,2 \pm 1,0) \cdot 10^{-4} && \text{при энергии 70 ГэВ,} \\ f_{MNF} &= (2,7 \pm 1,2) \cdot 10^{-4} && \text{при энергиях 100–150 ГэВ,} \\ f_{MNF} &= (2,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-4} && \text{при энергии 250 ГэВ} \end{aligned}$$

на одно неупругое взаимодействие.

6. Частота наблюдения MNF и полный выход гиперядер  $f_{HF}$  слабо зависят от энергии налетающих нестранных адронов. В интервале энергий от 5

до 250 ГэВ эти величины находятся в следующих пределах:

$$\begin{aligned} f_{MNF} &\sim (2,5-4,5) \cdot 10^{-4}, \\ f_{HF} &\sim (1,5-3) \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

на одно неупругое взаимодействие.

7. Впервые идентифицировано гиперядро  ${}^{12}_{\Lambda}C$ .

8. Показано, что ряд характеристик гиперядер (распределения по множественности следов различного типа в родительских взаимодействиях, распределения гиперядер по зарядам, углам вылета, энергии) не зависят от энергии налетающих нестранных адронов. Все эти распределения (кроме распределения по зарядам) аналогичны соответствующим распределениям обычных ядерных фрагментов.

9. Показано, что процесс образования гиперядер при энергиях  $E_p = 70-250$  ГэВ может быть объяснен в рамках модели, в которой образование гиперфрагментов разделяется на две стадии. На первом этапе рожденный в первичном соударении медленный  $\Lambda$  (или замедлившийся в результате внутриядерного рассеяния) застревает в возбужденном после прохождения внутриядерного каскада ядре. На следующем этапе  $\Lambda$  вылетает из ядра в составе ядерного фрагмента, образуя тем самым гиперфрагмент. Не обнаружено наличия каких-либо особенностей, свидетельствующих о других механизмах образования гиперядер при переходе к энергиям налетающих частиц 70–250 ГэВ, что на порядок больше энергий, которые исследовались ранее.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Batusov Yu.A., Bunyatov S.A., Lyukov V.V., Sidorov V.M., Tyapkin A.A., Yarba V.A. Search for Superfragments in Proton-Nuclear Interactions at 70 and 250 GeV. JINR Preprint E1-10069, Dubna, 1976; см. также Бунятов С.А. В сб.: Труды XVII Международной конференции по физике высоких энергий, Тбилиси, 1976, ОИЯИ Д1, 2-10400, Дубна, 1977, т.2, с.118.
2. Бунятов С.А., Ликов В.В., Сидоров В.М., Ямба В.А. Обнаружение гиперядра  ${}^{12}_{\Lambda}C$  при взаимодействии протонов с энергией 250 ГэВ с ядрами в фотомульсии. ЯФ, 1978, т.28, с.439.
3. Бунятов С.А., Курбатов В.С., Ликов В.В., Сидоров В.М., Ямба В.А. Образование гиперфрагментов в протон-ядерных взаимодействиях при энергиях 70 и 250 ГэВ. ЯФ, 1979, т.30, с.1054.
4. Ликов В.В. Источники фона при поиске суперфрагментов. Сообщение ОИЯИ Р1-12695, Дубна, 1979.
5. Батусов Ю.А., Бунятов С.А., Ликов В.В., Сидоров В.М., Тяпкин А.А., Ямба В.А. Возможный случай образования и распада суперядра. Письма в ЖЭТФ, 1981, т.33, с.56.
6. Batusov Yu.A., Bunyatov S.A., Kuznetsov O.M., Lyukov V.V., Tretyak V.I., Dzhagalania D.D., Kostanashvili N.I., Topor V., Naiduc M. Production of Hyperfragments in Proton-Nuclear Interactions

in Photoemulsion at 70 and 250 GeV. IX European Cosmic Ray Symposium, Kosice, 1984, List of Abstracts, Paper HE 6.

7. Батусов Д.А., Бободжанов И., Бунятов С.А., Джалагания Д.Д., Кузнецов О.М., Ликов В.В., Топор В., Третьяк В.И., Хайдук М. Образование гиперядер во взаимодействиях протонов с ядрами в фотоэмульсии при энергиях 250 и 70 ГэВ. ЯФ, 1985, т.42, с.1165.
8. Батусов Д.А., Бунятов С.А., Костанашвили Н.И., Кузнецов О.М., Ликов В.В., Топор В., Третьяк В.И., Хайдук М. Поиск суперядер во взаимодействиях протонов с ядрами в фотоэмульсии при энергиях 250 и 70 ГэВ. Сообщение ОИЯИ Р1-85-495, Дубна, 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 августа 1987 года.