

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

Д1-88-368

**НАБЛЮДЕНИЕ УЗКИХ БАРИОНИЕВ  
В ЭКСПЕРИМЕНТЕ БИС-2**

**Странные барионы**

**Сотрудничество БИС-2: Дубна – Алма-Ата –  
Будапешт – Бухарест –  
Москва – Пловдив –  
Прага – София – Тбилиси**

Направлено в Оргкомитет XXIV Международной конференции по физике высоких энергий, ФРГ, август 1988 г. и в Оргкомитет Международной конференции "Кварки-88", Тбилиси, май 1988 г.

**1988**

А.Н.Алеев, В.А.Арефьев, В.П.Баландин, В.К.Бердышев,  
В.К.Бирулев, Т.С.Григалашвили, Б.Н.Гуськов, А.И.Зинченко,  
И.И.Евсиков, И.М.Иванченко, М.Н.Капишин, Н.Н.Карпенко,  
Д.А.Кириллов, И.Г.Косарев, В.Р.Крастев, Н.А.Кузьмин,  
М.Ф.Лихачев, А.Л.Любимов, А.Н.Максимов, А.Н.Морозов,  
В.В.Пальчик, А.В.Позе, А.Прокеш, В.В.Рыбаков, В.Е.Симонов,  
Л.А.Слепец, М.Смижанска, А.С.Чвыров  
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

А.Ф.Камбурян, А.А.Локтионов, Ю.К.Потребеников, И.Я.Часников  
Институт физики высоких энергий АН КазССР, Алма-Ата

И.Вереш, П.Залан, Я.Пазони  
Центральный институт физических исследований ВАН, Будапешт

О.Балеа, Т.Понта  
Центральный институт физики, Бухарест

А.С.Белоусов, Я.А.Ваздик, Е.Г.Девицин, М.В.Завертняев,  
В.А.Козлов, Е.И.Малиновский, С.Ю.Поташов, С.В.Русаков,  
П.А.Смирнов, Ю.В.Соловьев, А.Р.Теркулов, А.М.Фоменко,  
Л.Н.Штарков  
Физический институт им.П.Н.Лебедева АН СССР, Москва

Т.Б.Прогулова, Е.А.Чудаков  
Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва

В.Д.Чолаков  
Пловдивский университет им.П.Хилендарски, Пловдив

М.Вецко, Я.Гладки, М.Новак  
Физический институт ЧСАН, Прага

В.Й.Заячки  
Высший химико-технологический институт, София

П.Т.Тодоров  
Институт ядерных исследований и ядерной энергетики БАН, София

Л.Н.Абесалашвили, Н.С.Амагпобели, В.П.Джорджадзе,  
Н.О.Кадагидзе, Р.А.Кватадзе, В.Д.Кекелидзе, Н.Л.Ломидзе,  
Г.В.Мелитаури, Г.И.Никобадзе, Т.Г.Пицхелаури, Г.Т.Татишвили,  
М.С.Чаргеишвили, Р.Г.Шанидзе  
Научно-исследовательский институт физики высоких энергий ТГУ,  
Тбилиси

В эксперименте WA-62, проведенном на СПС в ЦЕРНе, обнаружены три зарядовых состояния узкого бариония с отрицательной странностью  $U^0$ ,  $U^+$  и  $U^-$  с массой около  $3100 \text{ МэВ}/c^2$ , распадающегося на  $\Lambda, \bar{p}$  и заряженные пионы  $^{1,2/}$ . В эксперименте БИС-2 на серпуховском ускорителе при анализе  $\sim 1,2 \cdot 10^7$  нейтрон-ядерных взаимодействий также наблюдаются разные зарядовые состояния узкого бариония с отрицательной странностью с массой  $\sim 3060 \text{ МэВ}/c^2$   $^{2,3/}$ . С учетом возможных систематических ошибок в абсолютной нормировке массы, можно, по-видимому, утверждать, что в обоих экспериментах наблюдался один и тот же резонанс. При этом в эксперименте БИС-2 обнаружены и другие каналы распада, а также получено указание на существование этого резонанса с двойным отрицательным зарядом. Совокупность основных характеристик этого резонанса позволяет считать его кандидатом в странный барионий - экзотическое многокварковое состояние. В соответствии с  $^{4/*}$  его следует обозначать через  $M_\nu$ , где индекс  $\nu$  указывает на наличие странности. Однако, с учетом уже использованного в  $^{1,2/}$ , обозначим его как  $U/M_\nu$ . В первой части настоящей работы приведены новые результаты по поиску бариония с отрицательной  $U/M_\nu$  и положительной  $U/M_\nu$  странностями.

Эксперимент проведен на серпуховском ускорителе в пучке нейтронов со средней энергией  $\sim 40 \text{ ГэВ}$ . Схема спектрометра БИС-2 $^{5/}$  показана на рис.1. Для запуска спектрометра требовалось прохождение через него не менее четырех заряженных частиц. Результаты данной работы основаны на анализе  $\sim 1,0 \cdot 10^7$  нейтрон-протонных и  $\sim 2,4 \cdot 10^7$  нейтрон-ядерных взаимодействий. В качестве ядерных мишеней использовались углерод, алюминий и медь, которые чередовались через каждые  $\sim 5 \cdot 10^4$  зарегистрированных взаимодействий. Жидководородная мишень имела толщину  $2,1 \text{ г}/\text{см}^2$  по пучку, а ядерные  $\sim 3,4 \text{ А}^{1/3} \text{ г}/\text{см}^2$ , где  $\text{А}$  - атомный вес ядер мишени.

Было отобрано  $\sim 2,2 \cdot 10^6$  и  $\sim 2,7 \cdot 10^4$  событий, содержащих  $\Lambda$  и  $\bar{\Lambda}$  соответственно.  $\Lambda$  и  $\bar{\Lambda}$  идентифицировались по распадам:

\*Предложено обозначать узкие барионии через  $M$  от термина "Mock-barionium".

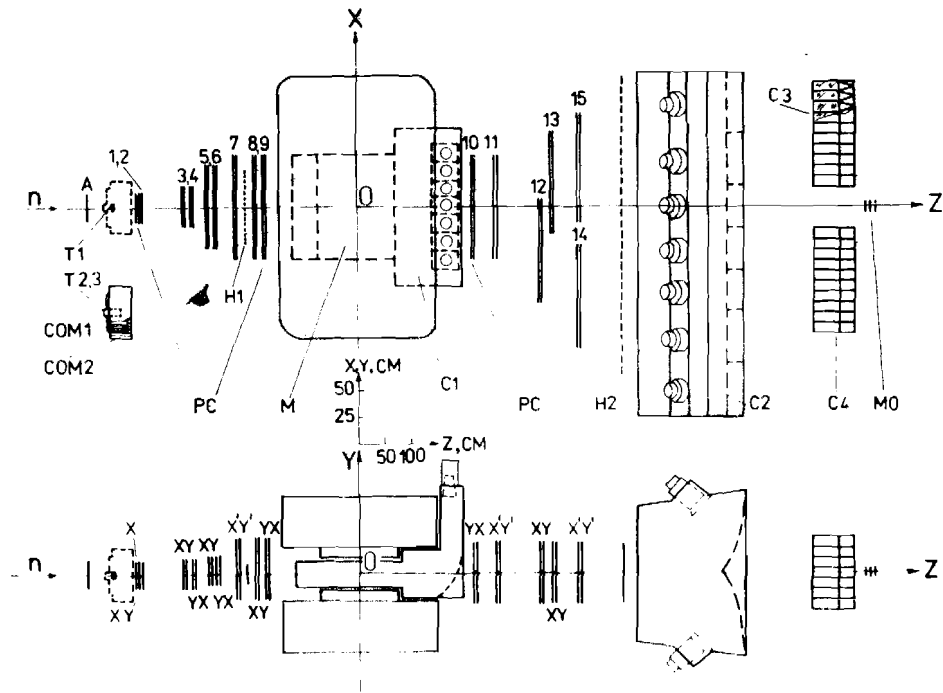


Рис. 1. Схема расположения основных элементов спектрометра БИС-2: Т1/Т2,3 - мишени; СОМ1/2 - счетчики окружения мишени; РС 1-15 - двухкоординатные пропорциональные камеры; С1/2 - многоканальные пороговые газовые черенковские счетчики (МПЧС1/2); С3/4 - черенковские счетчики полного поглощения; МО - нейтронный монитор; М - спектрометрический магнит.

- $\Lambda \rightarrow p\pi^-$  /1а/
- $\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p}\pi^+$  /1б/

которым соответствовали топологии нейтральной вершины ( $V^0$ ) и сигналы в соответствующих спектрах инвариантных масс. При их выделении требовалось, чтобы минимальное расстояние ( $r$ ) между траекториями частиц, образующих  $V^0$  не превышало  $4 \cdot \sigma$ , где  $\sigma = 0,1 \div 0,2$  см - разрешающая способность спектрометра по параметру  $r$  в различных экспозициях, а вершина  $V^0$  находилась на расстоянии не ближе 10 см по лучу от края ядерной и 0 см от края жидководородной мишеней. За  $\Lambda$  или  $\bar{\Lambda}$  принималась  $V^0$ ,

если ее инвариантная масса не отличалась от табличного значения массы  $\Lambda$  более, чем на 7 МэВ/с<sup>2</sup> или 10 МэВ/с<sup>2</sup> соответственно.

$U/M_B$  и  $\bar{U}/M_B$  искались среди событий, содержащих  $\Lambda$  или  $\bar{\Lambda}$  и не менее двух заряженных адронов  $h^+$  и  $h^-$ , образующих общую вершину взаимодействия. За вершину взаимодействия принималась точка, соответствующая минимальному среднеквадратичному расстоянию  $R$  от траектории этих частиц, не превышающему  $4 \cdot \sigma$ , где  $\sigma = 0,2 \div 0,5$  см - разрешающая способность спектрометра по параметру  $R$  в различных экспозициях. Требовалось также, чтобы вершина взаимодействия находилась в области мишени. С учетом этих условий было отобрано 62345 и 8241 событий, содержащих соответственно  $\Lambda$  и  $\bar{\Lambda}$ .

Поиск бариония проведен в спектрах инвариантных масс конечных состояний с отрицательной странностью:

- $\Lambda \bar{p} \pi^+$  /2а/
- $\Lambda \bar{p} \pi^+ \pi^+$  /2б/
- $\Lambda \bar{p} \pi^+ \pi^-$  /2в/
- $\Lambda \bar{p} \pi^-$  /2г/

и с положительной странностью:

- $\bar{\Lambda} p \pi^-$  /3а/
- $\bar{\Lambda} p \pi^- \pi^-$  /3б/
- $\bar{\Lambda} p \pi^- \pi^+$  /3в/
- $\bar{\Lambda} p \pi^+$  /3г/

При вычислении инвариантных масс в качестве кандидатов в конечные состояния /2а/-/3г/ рассматривались все допустимые комбинации частиц  $V^0$  и  $h^{+/-}$  в событии. В этих спектрах статистически значимых пиков не наблюдалось. Для исключения части фоновых комбинаций, не содержащих реальные  $p/\bar{p}$ , использовалась информация от многоканальных пороговых газовых черенковских счетчиков (МПЧС-1/2) /6/. Заряженные частицы  $h^{+/-}$  в комбинациях имели импульсы в основном меньше 11 ГэВ/с, что ниже порогов черенковского излучения в МПЧС-1/2 даже для каонов. Поэтому из двух одноименно заряженных частиц в рассматриваемой комбинации за  $p/\bar{p}$  принималась частица с наибольшим

значением импульса, если с помощью МПГЧС-1/2 она не идентифицировалась как пион. Достоверность идентификации пиона зависит как от импульса частицы, так и от общего числа зарегистрированных в событии частиц. В соответствии с этим критерии идентификации пионов при анализе  $(h+/-)$ -кандидатов в  $p/\bar{p}$  в различных конечных состояниях несколько различались\*. Часть комбинаций, в которых кандидаты в  $p/\bar{p}$  идентифицировались как пионы, была исключена из дальнейшего анализа. Спектры инвариантных масс для оставшихся комбинаций показаны на рис.2 и 3.

В спектры инвариантных масс конечных состояний /2/ /рис.2а-г/ вошло соответственно 7387, 1548, 2480 и 1322 комбинации. Шаг гистограмм, 20 МэВ/с<sup>2</sup>, выбран равным приблизительно двукратной величине экспериментального разрешения. Спектры аппроксимировались гладкой функцией. Во всех спектрах около массы 3050 МэВ/с<sup>2</sup> видны статистически значимые узкие пики. В интервалах масс, соответствующих пикам, отношение числа комбинаций к числу событий не превышает 1,1. Наличие статистически значимых узких пиков во всех четырех спектрах около одного и того же значения массы позволяет считать их физическими сигналами. Характеристики этих сигналов приведены в табл.1.

Таблица 1

Конечное состояние	Интервал масс сигнала, МэВ/с <sup>2</sup>	Число комбинаций, сигнал/фон
$\Lambda\bar{p}\pi^+$	3020: 3080	120/318
$\Lambda\bar{p}\pi^-$	3040: 3080	34/33
$\Lambda\bar{p}\pi^+\pi^-$	3020: 3080	83/159
$\Lambda\bar{p}\pi^+\pi^+$	3020: 3060	24/45

Спектры инвариантных масс конечных состояний /3/ /рис.3а-г/ содержат соответственно 2453, 1899, 1009 и /20 комбинаций. В трех спектрах около массы 3040 МэВ/с<sup>2</sup> видны узкие пики, средние значения масс которых находятся в хорошем согласии друг с другом. Статистическая значимость этих пиков и незначительный комбинаторный фон /отношение числа комбинаций к числу событий не превышает 1,1/ позволяют считать их физическими сигналами. Характеристики сигналов приведены в табл.2. Не

\*Более подробно процедура идентификации зарегистрированных адронов с помощью МПГЧС-1/2 и применяемые при этом критерии описаны в /6/.

большое различие между центральными значениями масс для пиков на рис.2 и 3 находится в пределах допустимой систематической ошибки /~30 МэВ/с<sup>2</sup>/, определяющей точность привязки шкалы масс.

Узость всех пиков и их присутствие в семи различных спектрах инвариантных масс исключает их интерпретацию как кинематическое отражение каких-либо резонансов. Поэтому можно считать,

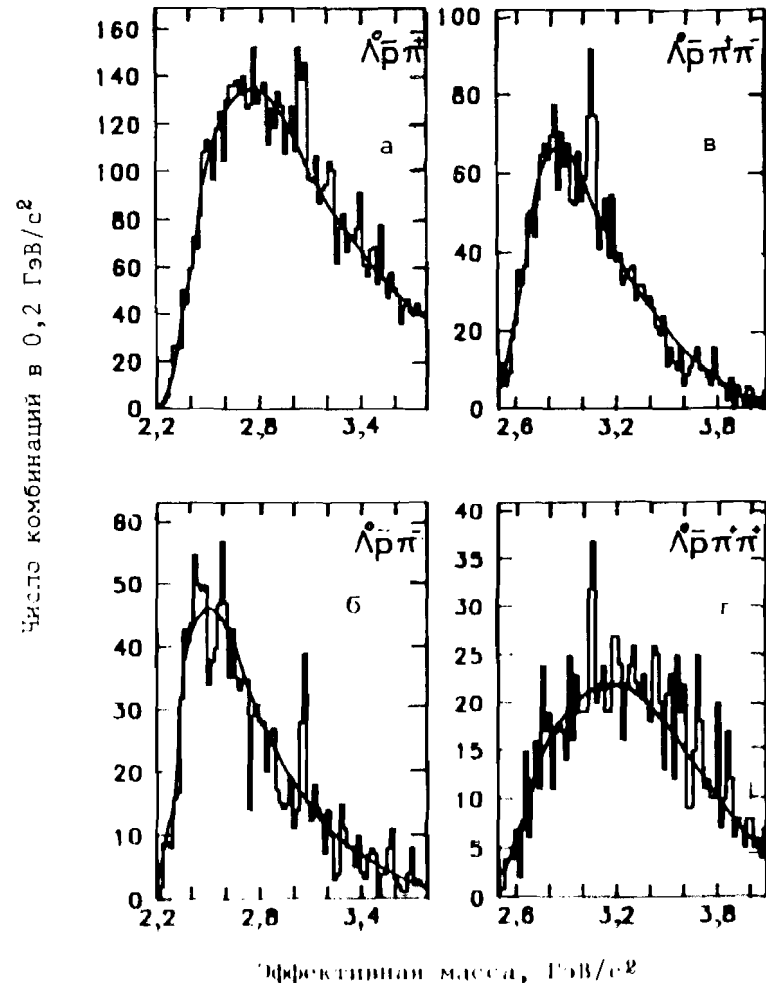


Рис.2. Спектры инвариантных масс  $\Lambda\bar{p}\pi^+$  /а/,  $\Lambda\bar{p}\pi^-$  /б/,  $\Lambda\bar{p}\pi^+\pi^-$  /в/,  $\Lambda\bar{p}\pi^+\pi^+$  /г/.

Таблица 2

Конечное состояние	Интервал масс сигнала, МэВ/с <sup>2</sup>	Число комбинаций, сигнал/фон
$\bar{\Lambda} p \pi^-$	3000±3040	25/45
$\bar{\Lambda} p \pi^+$	3020±3060	37/43
$\bar{\Lambda} p \pi^+ \pi^-$	3020±3060	22/39
$\bar{\Lambda} p \pi^- \pi^-$	3020±3040	4/17

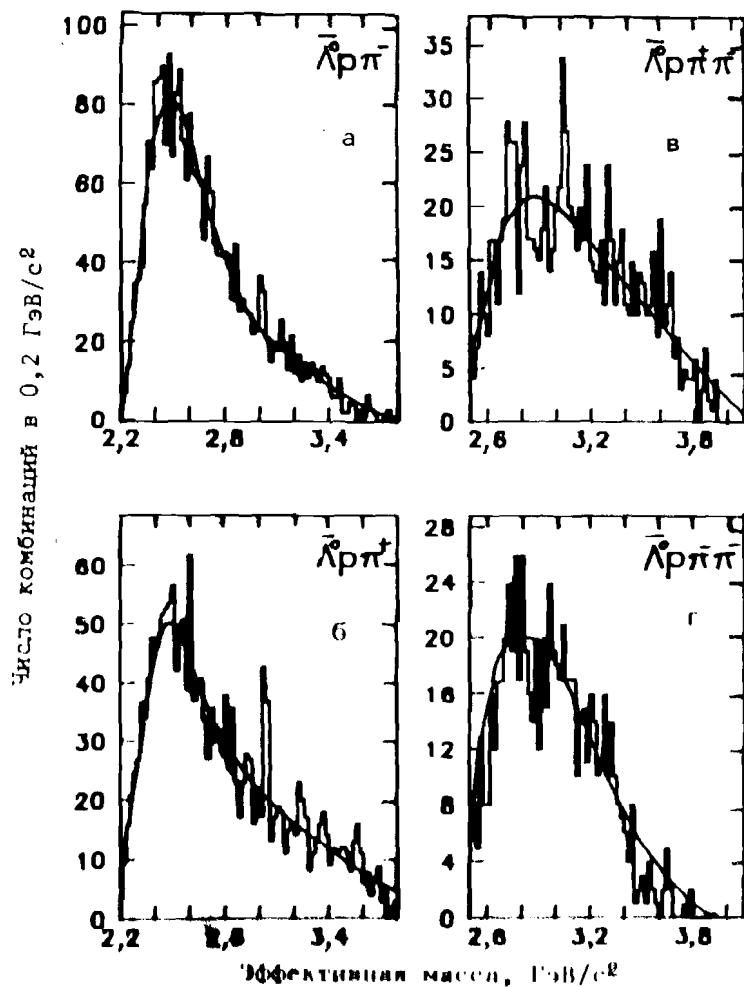


Рис. 3. Спектры инвариантных масс  $\bar{\Lambda} p \pi^- / n$ ,  $\bar{\Lambda} p \pi^+ / n$ ,  $\bar{\Lambda} p \pi^+ \pi^- / n$ ,  $\bar{\Lambda} p \pi^- \pi^- / n$ .

что все сигналы обусловлены распадами зарядово-сопряженных состояний узких резонансов  $U/M_s$  и  $\bar{U}/M_s$ .

Анализ продольных и поперечных составляющих импульсов  $U/M_s$  и  $\bar{U}/M_s$  показал, что они зарегистрированы в кинематической области  $x_F > 0,2$  и  $P_t < 1$  ГэВ/с. Оценки произведения поперечных сечений их рождения в этой области на вероятности наблюдаемых каналов распада составляют несколько мкб на нуклон. При пересчете сечений рождения на нуклон предполагалась зависимость  $\sim A^{2/3}$ , которая не противоречит полученным данным.

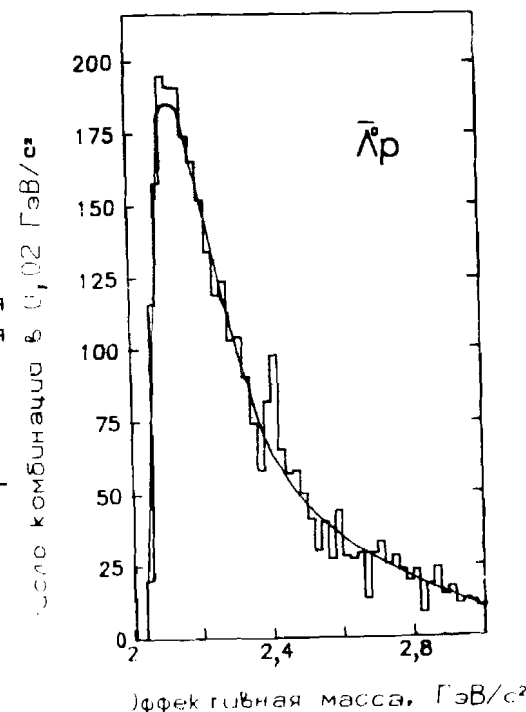


Рис. 4. Спектр инвариантных масс  $\bar{\Lambda} p$ .

При исследовании спектра инвариантных масс подсистемы  $\bar{\Lambda} p$  в комбинациях из области масс сигналов  $U/M_s$  получено указание на наличие узких выбросов около масс 2400 и 2800 МэВ/с<sup>2</sup>, число событий в которых не превышает 20% от числа событий в сигналах.

В спектре инвариантных масс  $\bar{\Lambda} p$ , для всех зарегистрированных в эксперименте таких комбинаций, около масс 2400 и 2800 МэВ/с<sup>2</sup> сигналов не наблюдается. Возможно, это является следствием большого комбинаторного фона. Однако в аналогичном спектре инвариантных масс системы  $\bar{\Lambda} p$  /рис. 4/ около массы 2400 МэВ/с<sup>2</sup> виден пик, ширина которого не превышает 30 МэВ/с<sup>2</sup>. В пике содержится 59 ± 7 комбинаций над гладкой кривой, аппроксимирующей спектр фоновых комбинаций.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В семи спектрах инвариантных масс различных конечных состояний около одного и того же значения массы наблюдаются узкие пики, что указывает на существование бариониев с отрицательной ( $U/M_s^+$ ,  $U/M_s^0$ ,  $U/M_s^-$  и  $U/M_s^{--}$ ) и положительной ( $\bar{U}/M_s^+$ ,  $\bar{U}/M_s^0$  и  $\bar{U}/M_s^-$ ) странности. Такие барионы распадаются на

$\Lambda/\bar{\Lambda}$ ,  $\bar{p}/p$  и заряженные пионы. Среднее значение их массы равно  $3050 \pm 10$  /стат./  $\pm 30$  /сист./ МэВ/с<sup>2</sup>. Ширина этих бариониев не превышает 30 МэВ/с<sup>2</sup>.

2. Наличие дважды заряженных состояний  $U/M_{\bar{u}}$  и  $\bar{U}/M_{u}$  показывает, что изотопический спин этих бариониев  $\geq 3/2$ . Это однозначно свидетельствует об их многокварковой структуре. Свойства  $U/M_{\bar{u}}$  согласуются с предсказаниями ряда теоретических моделей для четырехкварковых бариониев /4,7-11/.

3. Получено указание на существование узкого бариония в системе  $\Lambda p$  с массой около 2400 МэВ/с<sup>2</sup>.

Авторы признательны А.М.Балдину, Э.И.Мальцеву, А.А.Комару, И.А.Савину, А.Н.Сисакяну, Н.Е.Тюрину, А.Н.Тавхелидзе, П.А.Черенкову за поддержку этих исследований; С.Б.Герасимову, С.С.Герштейну, Х.-В.Зиберту, А.Б.Кайдалову, А.К.Лиходеду, Х.-М. Чану за полезные дискуссии; Г.Г.Султанову, К.Хиллеру за критические замечания, Д.Т.Бурилкову, Ю.Клабуну, Е.М.Лихачевой, П.К.Маркову, Х.Новак, Э.Новаку и Х.-Э.Рызеку; Л.В.Сильвестрову, Г.Г.Тахтамышеву и Р.К.Троянову за участие в эксперименте.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bourquin M. et al. - Phys.Lett., 1986, B172, p.113.
2. Cooper S. - In: Proceedings of the XXIII International Conference on High Energy Physics, Berkeley 1986, v.1, p.67; Siebert H.-W. - Ibid. v2, p.1015.
3. Алеев А.Н. и др. - В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №19-86, Дубна: ОИЯИ, 1986, с.16.
4. Chan H.-M., Hogaasen H. - Phys.Lett., 1977, 72B, p.121; Nucl.Phys., 1978, B136, p.401.
5. Айхнер Г. и др. ОИЯИ, 1-80-644, Дубна, 1980; Максимов А.Н. ОИЯИ, 1-81-574, Дубна, 1981.
6. Гуськов Б.Н. и др. ОИЯИ P1-86-248, Дубна, 1986.
7. Jaffe R.L. - Phys.Rev., 1977, D15, p.267.
8. Tsou S.T. - Nucl.Phys., 1978, B141, p.397.
9. Barnes K.J., Forgas P. and Vaughn M.T. - Phys.Lett., 1986, 182B, p.208.
10. Chan H.-M., Tsou S.T. RAL-87-005, 1987.
11. Ono S., Furui S. UT-501, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел  
26 мая 1988 года.

Алеев А.Н. и др.  
Наблюдение узких бариониев в эксперименте БИС-2.  
Странные барионии

Д1-88-368

В эксперименте, выполненном сотрудничеством БИС-2 на серпуховском ускорителе, осуществлен поиск бариониев, распадающихся на  $\Lambda, \bar{p}$  /или  $\Lambda, p$ / и пионы. В семи спектрах инвариантных масс различных конечных состояний около одного и того же значения массы - 3060 МэВ/с<sup>2</sup> наблюдаются узкие пики, что указывает на существование бариония с отрицательной и положительной странностями и зарядовыми состояниями: +2, +1, 0, -1 и -2. Среднее значение массы бариония равно  $3060 \pm 10$  /стат./  $\pm 30$  /сист./ МэВ/с<sup>2</sup>. Его ширина не превышает 30 МэВ/с<sup>2</sup>. Наличие дважды заряженных состояний бариония указывает на то, что изотопический спин резонанса  $\geq 3/2$ . Последнее свидетельствует о его мультикварковой структуре. Получено указание на существование узкого бариония в системе  $\Lambda p$  с массой около 2400 МэВ/с<sup>2</sup>.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Aleev A.N. et al.  
Observation of Narrow Baryoniums in the Experiment BIS-2.  
Strange Baryoniums

D1-88-368

The search has been performed for baryoniums decaying into the  $\Lambda, \bar{p}$  (or  $\Lambda, p$ ) and pions in the experiment carried out by the BIS-2 collaboration at the Serpukhov accelerator. In seven invariant mass spectra of the different final states near the same mass value of 3060 MeV/c<sup>2</sup>, narrow peaks are seen, which indicates the existence of baryoniums with negative and positive strangenesses and charged states: +2, +1, 0, -1 and -2. The mean mass value of the baryoniums equals:  $3060 \pm 10$  (stat.)  $\pm 30$  (syst.) MeV/c<sup>2</sup>. The width of the baryoniums does not exceed 30 MeV/c<sup>2</sup>. The presence of the double charged states of the baryoniums shows that their isotopical spin is  $\geq 3/2$ . This indicates to their multiquark structure. The indication to the existence of a narrow baryonium with the mass of 2400 MeV/c<sup>2</sup> in the  $\Lambda p$  system was obtained also.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, IHEP.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1988