

## ИЗМЕРЕНИЕ ВЫХОДА АНТИПРОТОНОВ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ ЯДЕР УГЛЕРОДА С ЯДРАМИ МЕДИ ПРИ ЭНЕРГИИ 3,65 ГэВ / нуклон

*А.А. Балдин, А.И. Берлёв, Ю.К. Гаврилов, Ф.Ф. Губер,  
В.А. Краснов, А.Б. Курепин, В.С. Пантуев, М.А. Прохвятилов,  
В.И. Разин, А.И. Решетин, С.Н. Филиппов*

Впервые измерен выход антипротонов при столкновении релятивистских ядер. Обнаружено значительное увеличение отношения выходов антипротонов к отрицательным пионам с импульсом 0,8 ГэВ/с и углом рождения  $24^\circ$  в лабораторной системе при столкновении ядер углерода с ядрами меди по сравнению с рождением в протон-ядерном столкновении при одинаковой энергии на нуклон пучка.

Для поиска новых явлений при столкновении релятивистских ядер в последнее время предпринимаются попытки измерения выхода редких частиц. Ранее были проведены измерения выхода  $K^+$  и  $K^-$ -мезонов<sup>1</sup>. Измерения выходов антипротонов до настоящего времени выполнены лишь для протон-ядерных взаимодействий<sup>2,3</sup>. В ядро-ядерном столкновении при энергии 2,1 ГэВ/нуклон получен лишь верхний предел рождения антипротонов<sup>4</sup>. Можно предположить, что сечение рождения антипротонов при энергиях ниже порога рождения в нуклон-нуклонном взаимодействии окажется чувствительным к коллективным и многокварковым эффектам при столкновении ядер. Поэтому цель настоящего эксперимента состояла в проведении измерения выхода антипротонов при кинематических условиях близких к имевшимся в работах по протон-ядерным столкновениям.

В настоящей работе приведены результаты измерения выхода антипротонов с импульсом 0,8 ГэВ/с под углом  $24^\circ$  в лабораторной системе при столкновении ядер углерода с энергией 3,65 ГэВ/нуклон с ядрами меди.

Измерения выполнены на магнитном канале установки "КАСПИЙ", состоящем из двух дипольных и четырех квадрупольных магнитов, расположенном на выведенном пучке релятивистских ядер лаборатории высоких энергий ОИЯИ<sup>5</sup>. Использовалась времяпролетная методика на базе 7 м. Для подавления пионов, мюонов и электронов проводился  $\Delta E$ -анализ в трех сцинтилляционных счетчиках, а также отбор с помощью двух черенковских счетчиков из плексигласа, работающих в режиме полного внутреннего отражения света от быстрых частиц. Калибровки всех счетчиков были проведены на протонах и  $\pi^+$ -мезонах. Фактор подавления пионов в каждом из  $\Delta E$ -каналов - примерно 8, суммарное подавление быстрых частиц черенковскими счетчиками около 800. Полная эффективность регистрации протонов составляла 93%.

Измерения проведены на мишени из меди толщиной 20 г при интенсивности первичного пучка  $5 \cdot 10^6$  ядер углерода за цикл. При оценке сечения введены поправки на распад мезонов, поглощение и аннигиляцию в мишени и веществе детекторов, а также на многократное рассеяние по всему тракту канала. Сечения аннигиляции антипротонов взяты из<sup>6</sup>, полная поправка на аннигиляцию составила 2,75.

Для оценки вероятности пропускания протонов через каждый из магнитных диполей канала проводился разбаланс I и II части канала по знаку формируемых частиц. Оказалось, что при настройке на антипротоны первый магнит пропускает протоны на уровне  $2 \cdot 10^4$ , второй -  $1,3 \cdot 10^5$  от числа протонов при положительной полярности включения всего кана-

ла. Таким образом, величина фона протонов составляет около  $3 \cdot 10^9$ , что на три порядка меньше измеряемого эффекта.

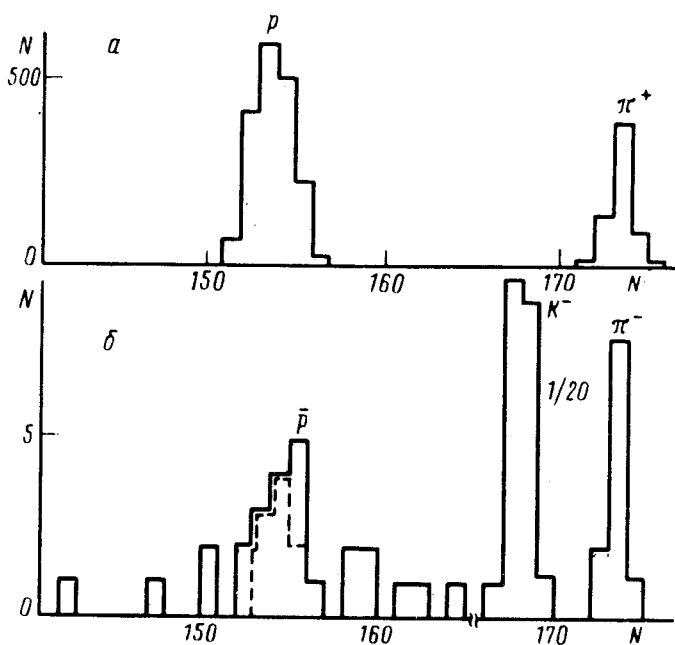


Рис. 1. Времяпролетные спектры частиц: *a* – положительные пионы, каоны и протоны без режекции; *б* – отрицательные пионы, каоны и антипротоны, сплошная гистограмма – режекция черенковскими счетчиками и двумя  $\Delta E$ -счетчиками, пунктирная – дополнительная режекция в третьем  $\Delta E$ -счетчике

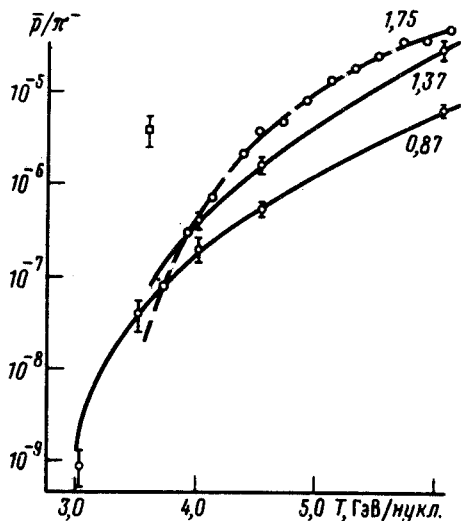


Рис. 2. Зависимость отношения выходов антипротонов и отрицательных пионов от кинетической энергии на нуклон первичного пучка. Кривые проведены по данным работ <sup>2, 3</sup> для протонного пучка при различных импульсах антипротонов и пионов, указанных цифрами у кривых в ГэВ/с. Точка  $\square$  – результат настоящей работы для пучка ядер углерода. Материал мишени – медь

На рис. 1 показаны времяпролетные спектры частиц при положительной и отрицательной полярности канала. Сплошная гистограмма на рис. 1б соответствует режекции пионов и каонов черенковскими счетчиками и  $\Delta E$ -анализом в двух сцинтилляторах, пунктирная при дополнительном анализе по  $\Delta E$  в третьем сцинтилляторе. Таким образом, зарегистрировано 9 событий; соответствующих прохождению антипротонов. Измеренная величина отношения  $N_{\bar{p}}/N_{\pi^-} = (1,35 \pm 0,45) \cdot 10^6$ . После введения поправок, отношение двойных дифференциальных сечений равно  $(4 \pm 1,5) \cdot 10^6$ . Используя данные для сечения рождения пионов <sup>1</sup>,

получим инвариантное сечение рождения антипротонов:

$$\sigma_{inv} = 6,3 \pm 2 \text{ мкб} \cdot \text{ГэВ}^2 \text{ ср}^{-1} \cdot \text{с}^3.$$

На рис. 2 приведено сравнение измеренного отношения выходов  $\bar{p}/\pi^-$  с данными по рождению антипротонов при столкновении протонов с ядрами меди <sup>2,3</sup> для близких кинематических условий в зависимости от энергии на нуклон первичного пучка. Видно, что отношение выходов  $\bar{p}/\pi^-$  возрастает примерно в 60 раз для случая ядро-ядерных столкновений. Проведенные оценки показали, что такое увеличение нельзя объяснить влиянием фермиевского движения нуклонов в налетающем ядре углерода даже при учете вклада рождения через промежуточный пион при максимальном значении импульса Ферми 0,27 ГэВ/с.

Качественно это утверждение также следует из рассмотрения величины порогов рождения антипротонов с учетом фермиевского движения нуклонов в ядрах. В то время, как порог рождения  $\bar{p}$  при столкновении свободных протонов равен 5,63 ГэВ, учет  $P_F = 0,27$  ГэВ/с в ядре мишени понижает порог только до 4,2 ГэВ, что, как видно из рис.2, не согласуется с экспериментом. Порог рождения антипротонов через промежуточный пион  $\pi N \rightarrow pNN$  на свободном нуклоне равен 3,7 ГэВ, но с учетом  $P_F$  опускается до 2,9 ГэВ в согласии с данными по рождению  $\bar{p}$  протонами на меди. Однако учет фермиевского движения в налетающем ядре весьма слабо изменяет порог до 2,7 ГэВ при указанном значении  $P_F$ .

В кварк-партонной картине взаимодействия <sup>7</sup> наблюдаемый эффект может быть обусловлен различием структурных функций налетающего нуклона и налетающего ядра при больших значениях скейлинговой переменной, соответствующих подпороговому рождению антипротонов. Для пионов при том же импульсе в лабораторной системе значения скейлинговой переменной малы и структурные функции практически совпадают.

В литературе имеются оценки отношения  $\bar{p}/\pi^-$  в термодинамических подходах. В модели файерболла <sup>8</sup> получено значение  $2 \cdot 10^6$  при температуре 100 МэВ. Модель файерстрика <sup>9</sup> дает значение  $(1 \div 2) \cdot 10^5$ . Однако предположение о термодинамическом равновесии, заложенное в этих моделях, требует дальнейшего обоснования.

Таким образом, в эксперименте наблюдается значительное увеличение отношения выхода антипротонов к выходу пионов в ядро-ядерных столкновениях по сравнению с протон-ядерными столкновениями. Очевидно, что рождение антипротонов в ядро-ядерных столкновениях представляет собой процесс, который позволяет исследовать термодинамические эффекты при столкновении, высокоимпульсную компоненту в ядрах или свойства ядер на малых расстояниях и кварковую структуру ядер.

Авторы выражают благодарность А.М. Балдину за полезные обсуждения, И.Н. Семенюшкину, В.А. Мончинскому и коллективу синхрофазотрона за обеспечение эксперимента интенсивным пучком релятивистских ионов углерода.

#### Литература

1. Курепин А.Б., Пантуев В.С., Филиппов С.Н. Письма в ЖЭТФ, 1988, 47, 16.
2. Dorfan D.E. et al. Phys.Rev.Lett., 1965, 14, 995.
3. Лепихин Ю.Б. и другие. Труды симпозиума. Нуклон-нуклонные и адрон-ядерные взаимодействия при промежуточных энергиях, Л.: ЛИЯФ, 1986, с.299.
4. Abachi S. et al. Phys.Rev., 1986, D33, 2733.

5. *Голубев С.Л., Курепин А.Б.* Труды Совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики, ОИЯИ, Д 2-82-568, Дубна, 1982, с. 67.
6. *Nakamura K. et al.* Phys.Rev.Lett., 1984, 52, 731.
7. *Baldin A.M.* Proc. 1981 CERN-JINR School of Physics, CERN 82-04, 1982.
8. *Olive K.A.* Phys.Lett., 1980, 95B, 355.
9. *Тонеев В.Д. и другие.* ЭЧАЯ, 1986, 17, 1093.

Институт ядерных исследований  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
29 июня 1988 г.

---