

## ПОДПороГОВОЕ РОЖДЕНИЕ $K^+$ -МЕЗОНОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 1 ГэВ С ЯДРАМИ Be, C, Al, Cu, Sn, Pb.

*Н.К.Абросимов, В.А.Волченков, В.А.Гордеев, В.А.Елисеев,  
Е.М.Иванов, В.П.Коптев, С.П.Круглов, Ю.А.Малов,  
С.М.Микиртычьяни, Г.А.Рябов, Г.В.Щербаков*

Описан новый метод исследования „подпорогового” рождения  $K^+$ -мезонов, основанный на детектировании  $\mu^+$ -мезонов от остановившихся в мишени  $K^+$ -мезонов и использовании микроструктуры протонного пучка. Измерены полные сечения рождения  $K^+$ -мезонов при взаимодействии протонов с энергией 1 ГэВ с ядрами Be, C, Al, Cu, Sn, Pb.

В последние годы в физике высоких и средних энергий появился повышенный интерес к исследованиям кумулятивных процессов в нуклон-ядерных взаимодействиях, которые могут дать информацию о многонуклонных корреляциях в ядрах. Особенный интерес, в этой связи, представляют реакции „подпорогового” рождения частиц, одним из примеров которых являются реакции с образованием  $K^+$ -мезонов в нуклон-ядерных взаимодействиях (пороговая энергия 1582 МэВ). Однако, в связи с очень большими экспериментальными трудностями, обусловленными низкими сечениями рождения и малым временем жизни  $K^+$ -мезонов, данные по „подпороговому” рождению  $K^+$ -мезонов до настоящего времени полностью отсутствовали.

Целью настоящей работы явилась разработка новой методики и получение первых экспериментальных данных по полным сечениям образования  $K^+$ -мезонов в протон-ядерном взаимодействии при энергии налетающих протонов 1 ГэВ<sup>1,2</sup>.

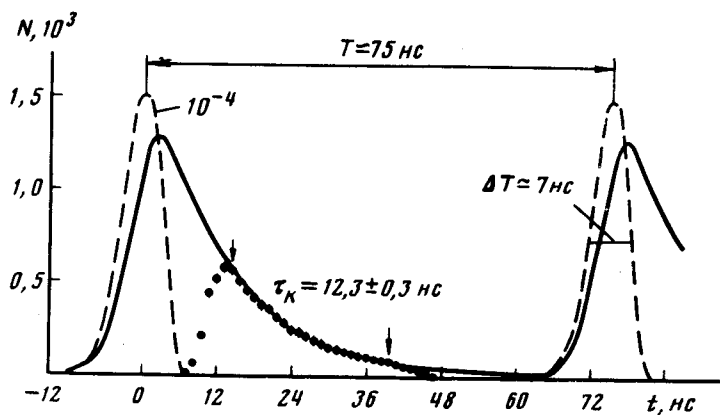


Рис. 1. Временное распределение  $\mu^+$ -мезонов на выходе спектрометра: пунктирная кривая —  $\mu^+$ -мезоны от распада движущихся  $\pi^+$ -мезонов;  $\Delta T$  — длительность микробанча;  $T$  — период высокой частоты ускорителя; сплошная кривая — результат расчета временного распределения  $\mu^+$ -мезонов от  $K^+$ -распада; (•) — экспериментальные точки, измеренные во временном окне 40 нс; параметр  $\tau_K$  определялся МНК по экспериментальным точкам в интервале между стрелками

Трудности измерения полных сечений рождения  $K^+$ -мезонов в значительной степени удалось преодолеть применив новый метод исследования подпорогового рождения  $K^+$ -мезонов.  $K^+$  мезоны идентифицировались по моноэнергетическим  $\mu^+$ -мезонам от двухчастичного распада  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$  остановившихся в мишени  $K^+$ -мезонов.  $\mu$ -мезоны с импульсом  $P_\mu = 236$  МэВ/c., соответствующим распаду покоящегося  $K^+$ -мезона, выделялись с помощью магнитного спектрометра.

$\Delta E, E$  анализ позволил отделить  $\mu^+$ -мезоны от  $\pi^+$  и  $e^+$ . Время-пролетный анализ, основанный на прерывистой временной структуре протонного пучка синхроциклотрона, позволил отделить  $\mu^+$ -мезоны с импульсом  $P_\mu = 236$  МэВ/с из распада остановившихся в мишени  $K^+$ -мезонов от  $\mu^+$ -мезонов из распада движущихся  $\pi^+$ -мезонов.  $\mu^+$ -мезоны от  $K^+$ -распада распределены по характерному экспоненциальному закону в промежутках между микробанчами  $\mu^+$ -мезонов от распада движущихся  $\pi^+$ -мезонов (см. рис. 1). Чистота выделения полезных событий зависит от величины фона выведенных протонов в промежутках между микробанчами, который на синхроциклотроне ЛИЯФ во временном интервале 40 нс не превышает  $10^{-6}$  от потока протонов основного пучка, что позволяет выделить  $\mu^+$ -мезоны от  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$  распада с ошибкой 3%. На рис. 2 представлены импульсные спектры  $\mu^+$ -мезонов, измеренные  $\pi$ -мезонными каналами синхроциклотрона ЛИЯФ для углов вылета  $60^\circ$  и  $0^\circ$ <sup>3,4</sup>. Положение и ширина пиков определяются кинематикой  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$  распада, импульсным разрешением спект-

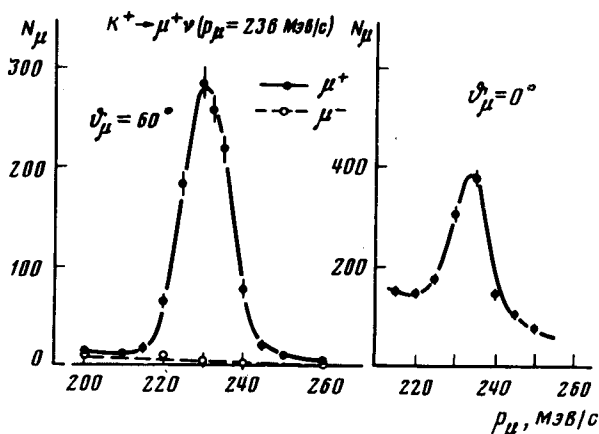


Рис. 1

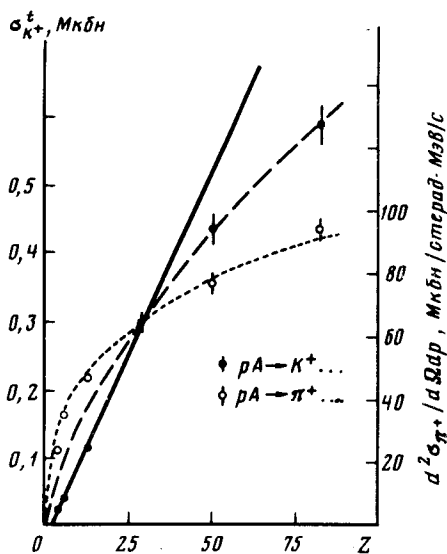


Рис. 2

Рис. 2. Импульсные спектры  $\mu^+$ -мезонов во временном окне 40 нс для углов вылета  $60^\circ$  и  $0^\circ$  из углеродной мишени размером  $\phi 60 \times 30$  мм<sup>2</sup>

Рис. 3. Полные сечения образования  $K^+$ -мезонов ( $\bullet$ ) и дважды дифференциальные сечения рождения  $\pi^+$ -мезонов ( $\circ$ ) с импульсом 230 МэВ/с под углом  $60^\circ$  из Ве, С, Al, Cu, Sn, Pb. Сплошная кривая  $\sigma \sim z^{-2}$  — 2) штриховая кривая  $\sigma \sim z^2/z^3$ , пунктирная кривая  $\sigma \sim z^{1/3}$ . Кривые нормированы на экспериментальные данные для ядра с зарядом  $z = 29$  (Cu).

рометров и энергетическими потерями  $\mu^+$ -мезонов в мишени. Отсутствие аналогичного пика в спектре  $\mu^-$ -мезонов (угол  $60^\circ$ ) объясняется существенно большим энергетическим порогом образования  $K^-$ -мезонов и захватом  $K^-$ -мезонов ядрами. Дополнительное подтверждение факта рождения подпороговых  $K^+$ -мезонов дает наблюдение временного распределения  $\mu^+$ -мезонов, измеренных во временном окне 40 нсек (рис. 1). Было показано, что эти  $\mu^+$ -мезоны распределены по экспоненциальному закону с постоянной 12,3 нс, которая совпадает с табличным значением времени жизни  $K$ -мезонов.

После установления факта рождения подпороговых  $K^+$ -мезонов представляло интерес определить канал реакции.  $K^+$ -мезоны в нашем случае могли рождаться в нуклон-ядерных столкновениях (1) или в результате двухступенчатого процесса, состоящего из рождения  $\pi^+$ -мезонов с энергией, большей 530 МэВ с последующим рождением ими  $K^+$ -мезонов (2).



Для определения основного канала было сделано два эксперимента. В первом из них было проведено сравнение выходов  $\mu^+$ -мезонов от  $K^+$ -распада из эквивалентных по содержанию углерода  $\text{CH}_2$  и  $\text{C}$  мишенях. Отношение  $N_\mu(\text{CH}_2) / N_\mu(\text{C})$  оказалось равным единице ( $0,98 \pm 0,05$ ), что указывает на то, что  $K^+$ -мезоны образуются только на углероде. В этом же эксперименте для  $\pi$ -мезонов получено  $N_\pi(\text{CH}_2) / N_\pi(\text{C}) = 1,69 \pm 0,03$ . Во втором эксперименте были измерены выходы  $\pi$ - и  $\mu$ -мезонов для различных длин углеродной мишени. При рождении  $K^+$ -мезонов по каналу (1) выход  $\mu^+$  должен быть пропорционален длине, а при рождении по каналу (2) — выход должен меняться квадратично от длины мишени. В результате проведенного эксперимента оказалось, что выход  $\mu^+$ -мезонов изменяется пропорционально длине. Таким образом, оба эксперимента позволяют утверждать, что  $K^+$ -мезоны рождаются в результате прямых нуклон-ядерных взаимодействий по реакции (1).

Для оценки границы энергетического спектра рождающихся  $K^+$ -мезонов измерялся выход запаздывающих  $\mu^+$ -мезонов в зависимости от толщины останавливающего  $K^+$ -мезоны углеродного поглотителя. Поглотитель располагался вне зоны действия протонного пучка. При толщине поглотителя 2 см ( $3,2 \text{ г} / \text{см}^2$ ) наступило насыщение выхода, что соответствовало остановкам в мишени ( $1,6 \text{ г} / \text{см}^2$ ) и поглотителе большей части  $K^+$ -мезонов. Отсюда можно сделать вывод, что максимальная энергия  $K^+$ -мезонов, вносящая существенный вклад в полные сечения реакции (1), не превышает 60 МэВ.

Полные сечения рождения  $K^+$ -мезонов на ядрах, полученные в настоящей работе, показаны на рис. 3. Согласно приведенным данным сечения подпорогового рождения  $K^+$ -мезонов на энергии протонов 1 ГэВ имеют сравнительно большие величины в диапазоне от  $2 \cdot 10^{-32}$  до  $6 \cdot 10^{-31} \text{ см}^2$ . Относительная точность результатов определяется в основном их статистическими ошибками ( $\pm 3\%$ ). Абсолютная величина сечений установлена с точностью 30%. Здесь интересно отметить, что энергия 1 ГэВ является пороговой для образования  $K^+$ -мезонов на свободной трехнуклонной системе ( $^3\text{H}$ ,  $^3\text{He}$ ). Для рождения  $K^+$ -мезонов в нуклон-нуклонных соударениях необходимо, чтобы ядерный нуклон имел импульс больше 375 МэВ/с навстречу налетающему протону. Рождение  $K^+$ -мезонов в  $Pd$  соударениях при  $T_p = 1 \text{ ГэВ}$  возможно лишь в том случае, если пара ядерных нуклонов имеет импульс, больший 150 МэВ/с.

Полученная зависимость сечения рождения  $K^+$ -мезонов от атомного номера ядра и ее сравнение с аналогичной зависимостью для  $\pi^+$ -мезонов дает указание на тот факт, что глубокоподпороговое рождение  $K^+$ -мезонов, по-видимому, связано с коллективными состояниями нуклонов в ядерной материи. Для выяснения механизма образования  $K^+$ -мезонов в настоящее время проводятся измерения при  $T_p < 1 \text{ ГэВ}$ .

#### Литература

1. *Abrosimov N.K. et al.* 9 ICONEPANS, Versailles, France, 209, 1981.
2. *Абросимов Н.К. и др.* Препринт ЛИЯФ-704, 1981.
3. *Волченков В.А. и др.* Препринт ЛИЯФ-612, 1980.
4. *Гордеев В.А. и др.* ПТЭ, №2, 25, 1976.
5. *Bolstrerli M.* Los Alamos Preprint MP-DO / Feb-1, 1966.