

П И С Ь М А
В ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

ОСНОВАН В 1965 ГОДУ
 ВЫХОДИТ 24 РАЗА В ГОД

ТОМ 61, ВЫПУСК 11
 10 ИЮНЯ, 1995

Письма в ЖЭТФ, том 61, вып.11, стр.865 - 868

© 1995г. 10 июня

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ π^+ - И K^+ -МЕЗОНОВ

*В.П.Коптев¹⁾, С.М.Микиртычьянц, Г.В.Щербаков, Н.К.Абросимов,
 В.А.Волченков, С.Г.Барсов, А.Л.Геталов, В.А.Елисеев, Е.М.Иванов,
 С.П.Круглов, Ю.А.Малов, Е.М.Орицин, Г.А.Рябов, Л.Н.Уваров,
 Л.Ф.Шевель*

*Санкт-Петербургский институт ядерной физики им.Б.П.Константинова РАН
 188350, Гатчина, Ленинградской обл., Россия*

Поступила в редакцию 19 апреля 1995 г.

С помощью нового метода, основанного на использовании периодичности временной микроструктуры пучка протонов, взаимодействующих с мишенью, и на детектировании положительных мезонов из распадов π^+ - и K^+ -мезонов, рожденных и остановившихся в этой мишени, проведены прецизионные измерения времени жизни π^+ - и K^+ -мезонов. Полученные значения равны $\tau_{\pi^+} = 26,0361 \pm 0,0052$ нс и $\tau_{K^+} = 12,415 \pm 0,024$ нс.

В данной работе для точного измерения времени жизни π^+ - и K^+ -мезонов использованы принцип получения пучка положительных мезонов (μ^+) из распадов остановившихся в мезонообразующей мишени π^+ -мезонов [1] и периодичность временной микроструктуры протонного пучка синхроциклотрона ПИЯФ РАН. Временная микроструктура выведенного из ускорителя протонного пучка представляет собой последовательность микробанчей с шириной на полувысоте 5нс и периодом следования $T_0 = 75$ нс. Вероятность появления протонов во временных интервалах $\Delta t = 40$ нс и 35нс между микробанчами не превышала соответственно $5 \cdot 10^{-6}$ и 10^{-6} . Следовательно, протоны, попадая в мишень, в преобладающем числе случаев рожают π^+ - или K^+ -мезоны в течение длительности протонных микробанчей. Мгновенно после образования часть π^+ - или K^+ -мезонов останавливается в той же мишени и затем, во временных промежутках между микробанчами, экспоненциально распадается на нейтрино и μ^+ с импульсами 29,8 МэВ/с (π^+ -распад) или 236 МэВ/с (K^+ -распад). Вылетающая из глубины мишени, μ^+ теряют за счет ионизационных потерь импульс и приобретают импульсный разброс, который в условиях проведенных экспериментов был равен 0–29,8 МэВ/с или 215–236 МэВ/с. Часть этих μ^+ вылетает

¹⁾e-mail: koptev@lnpi.spb.su

под углом $60^\circ \pm 5^\circ$ к направлению протонного пучка и отбирается состоящим из двух магнитов и семи квадрупольных линз магнитным спектрометром с импульсным разрешением 5% [2]. Средний импульс, на который настроен спектрометр, выбирался равным 28,5 МэВ/с или 230 МэВ/с. Спектрометр захватывает и фоновые μ^+ , которые образуются от π^+ -мезонов, вылетевших из мишени в направлении спектрометра и распавшихся в головной его части. Однако, практически все фоновые μ^+ образуются в течение 5 нс после момента взаимодействия протонов с мишенью и не попадают во временной интервал Δt , используемый для измерения времени жизни.

Мишень помещена в вакуумную камеру спектрометра, за тонким (0,1 мм майлара) выходным окном которой на расстоянии 8 м от мишени расположен детектор. Детектор μ^+ с импульсом 230 МэВ/с, состоящий из сцинтилляционных счетчиков, описан в работе [2]. Детектор μ^+ с импульсом 28,5 МэВ/с [3] состоял из четырех счетчиков с пластическими сцинтилляторами размером $\varnothing 65 \times 0,1$ мм и двух счетчиков антисовпадений с пластическими сцинтилляторами размером $\varnothing 65 \times 0,3$ мм. Использование $\Delta E/\Delta X$ критериев и быстрой логики отбора (мертвое время 15 нс) обеспечило низкую ($< 10^{-5}$) эффективность регистрации захватываемых магнитным спектрометром позитронов и π^+ -мезонов при близкой к 100% эффективности регистрации положительных мюонов. Среднее число μ^+ , зарегистрированных детектором в периоде T_0 , не превышало $8 \cdot 10^{-4}$.

Сигналы от детектора поступали на измеритель временных интервалов (ИВИ) после отбора только тех событий, до и после которых во временных интервалах T_0 не было других событий. Среднее значение цены канала ИВИ ($(391764 \pm 8) \cdot 10^{-7}$ нс/канал) во временном интервале $\Delta t = 40$ нс и интегральная ($3 \cdot 10^{-4}$) и дифференциальная (10^{-3}) нелинейности ИВИ измерялись во время экспериментов в промежутках между циклами вывода протонного пучка. Это выполнялось с помощью импульсов от кварцевого генератора и случайных сигналов от сцинтилляционного счетчика, облучаемого радиоактивным источником Sr^{90} .

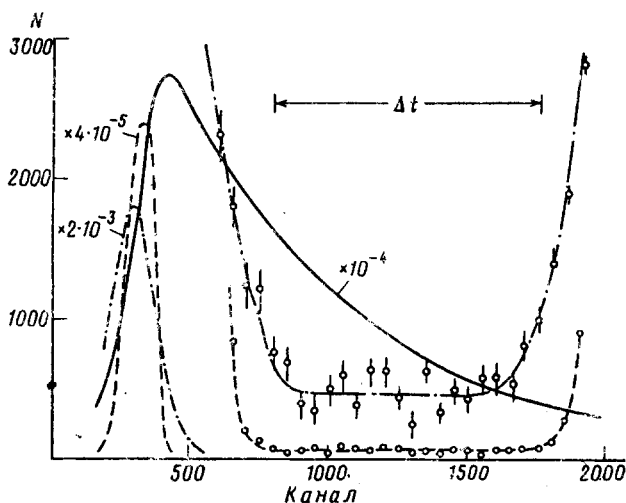


Рис.1. Временные распределения μ^+ с импульсом 28,5 МэВ/с (—), π^+ -мезонов с импульсом 600 МэВ/с (· · · · ·), фоновых μ^+ с импульсом 28,5 МэВ/с (o, - - - -). Сплошная кривая и узкие пики, отмеченные пунктирной и штрих-пунктирной кривыми, проведены по экспериментальным точкам (экспериментальные точки не приведены) и умножены на коэффициенты 10^{-4} , $4 \cdot 10^{-5}$ и $2 \cdot 10^{-3}$, соответственно. Выполнено суммирование по 50 каналам, но начальная нумерация каналов ИВИ сохранена. 1000 каналов ИВИ соответствуют $(39,1764 \pm 0,0008)$ нс

С помощью ИВИ измерялись временные распределения положительных мюонов относительно реперных сигналов, связанных с определенной фазой высокочастотной синусоиды генератора В.Ч. ускорителя и определяющих моменты прохождения протонов через мишень (рис.1 и 2). Временные распределе-

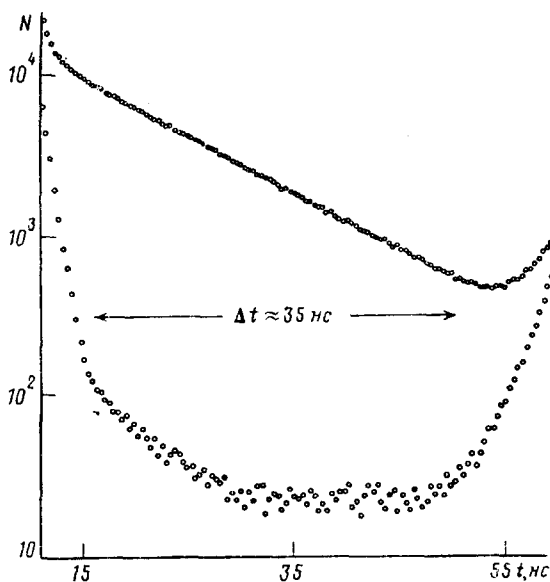


Рис.2. Часть временного распределения (за пределами переходной области) μ^+ с импульсом 230 МэВ/с (верхняя кривая) и суммарный, фоновый спектр μ^+ с импульсами 210 МэВ/с и 260 МэВ/с

ния положительных мюонов из распадов остановившихся в мишени π^+ или K^+ -мезонов имеют вид, аналогичный сплошной кривой на рис.1. Плавный спадающий правый склон такой кривой в интервале Δt подчиняется закону: $N(t) = N_0 \exp(-t/\tau)$, где t - время жизни π^+ - или K^+ -мезонов. Ее крутой подъем слева характеризует переходную область, протяженность которой определяется длительностью протонного микробанча, телесным углом, импульсным разрешением и длиной спектрометра. В течение переходной области происходит накопление останавливающихся в мишени π^+ - или K^+ -мезонов а также образование фоновых μ^+ (узкий штрих-пунктирный пик на рис.1).

Чтобы определить временной интервал Δt , в течение которого вклад фоновых процессов минимален, были выполнены фоновые измерения для μ^+ с импульсами 210 МэВ/с и 260 МэВ/с (K^+ -распад) и μ^+ и μ^- с импульсами 28,5 МэВ/с (π^+ -распад). Для μ^+ с импульсом 28,5 МэВ/с фоновый временной спектр был измерен после майларового фильтра толщиной 0,4 мм, помещенного в вакуумную камеру спектрометра на расстоянии 20 см от мишени и поглощающего все положительные мюоны от остановившихся в мишени π^+ -мезонов. После вычитания небольшой доли положительных мюонов от распада π^+ -мезонов, остановившихся в фильтре, был получен временной спектр фоновых μ^+ , идентичный временному распределению μ^- с импульсом 28,5 МэВ/с, измеренному без фильтра и после переполюсовки всех магнитных элементов спектрометра. Необходимое для вычитания фоновых спектров мониторингирование протонного пучка, а также верхняя оценка доли его интенсивности в интервале Δt между микробанчами осуществлялись с помощью π^- -мезонов с импульсом 600 МэВ/с, вылетающих из мишени под углом 0° .

В данных экспериментах фоновые условия были таковы, что доля фоновых процессов во временном интервале Δt не превышала $2 \cdot 10^{-4}$ (π^+ -распад) или $3 \cdot 10^{-3}$ (K^+ -распад), так что относительная систематическая ошибка результатов измерения, связанная с вычитанием фона, равна $\delta_f \approx 3 \cdot 10^{-5}$ для π^+ -распада и $2 \cdot 10^{-4}$ для K^+ -распада.

Относительная ошибка результатов измерений, связанная с неточностью учета калибровки ИВИ, его функции нелинейности и статистических искажений исходного временного распределения [4], не превышает $\delta_k \approx 3,5 \cdot 10^{-5}$.

Значение τ определялось путем обработки по методу наименьших квадратов скорректированных на фон и нелинейность временных спектров в интервале Δt , выбранном таким образом, чтобы значения τ для меньших интервалов, заключенных в границах области Δt , совпадали между собой в пределах ошибок измерений. Возможная относительная систематическая ошибка за счет произвола в выборе рабочего интервала Δt равна $\delta_{\Delta t} = 6 \cdot 10^{-5}$ (π^+ -распад) и $5 \cdot 10^{-4}$ (K^+ -распад).

Суммарная относительная систематическая ошибка $\delta_c = \sqrt{\delta_f^2 + \delta_k^2 + \delta_{\Delta t}^2}$ равнялась $7,5 \cdot 10^{-5}$ для π^+ -распада и $5,5 \cdot 10^{-4}$ для K^+ -распада и складывалась квадратично с полученной в результате обработки скорректированных на фон и нелинейность спектров относительной статистической ошибкой, которая в данных экспериментах была определяющей. Условия эксперимента были таковы, что результаты, получаемые без вычитания фона или без учета функции нелинейности, отличались от истинных не более чем на одну статистическую ошибку.

С целью исключения возможных неучтенных систематических ошибок, связанных с условиями эксперимента, измерения времени жизни π^+ -мезона были выполнены для мишеней из меди, углерода и кварца; это приводило к изменению потока фоновых позитронов (в 10 раз) и π^+ -мезонов (в 2 раза), а также загрузки детектора положительными мюонами в 2 раза. Измерения, выполненные на различных мишенях, дали согласующиеся в пределах ошибок значения: $\tau_{\pi^+}(C) = 26,0349 \pm 0,0078$ нс, $\tau_{\pi^+}(Cu) = 26,0329 \pm 0,0076$ нс и $t_{\pi^+}(SiO_2) = 26,0418 \pm 0,0096$ нс. Суммарный спектр от всех трех мишеней содержит $1,5 \cdot 10^8$ событий в $\Delta t = 38$ нс. Полученное из его обработки значение времени жизни π^+ -мезонов:

$$\tau_{\pi^+} = 26,0361 \pm 0,0052 \text{ нс}, \quad \chi^2 = 0,97 \text{ С.Л.} = 0,60$$

имеет точность, в 4 раза выше точности усредненных известных результатов [5].

Время жизни K^+ -мезонов было измерено для медной и урановой мишеней. Количество событий во временном интервале $\Delta t = 35$ нс равно соответственно $1,5 \cdot 10^5$ и $2,5 \cdot 10^5$. Полученные значения: $\tau_{K^+}(Cu) = 12,368 \pm 0,041$ нс ($\chi^2 = 1,06$ С.Л. = 0,66) и $\tau_{K^+}(U) = 12,451 \pm 0,030$ нс ($\chi^2 = 1,07$ С.Л. = 0,63) отличаются друг от друга на две стандартные ошибки. Средневзвешенное значение этих величин:

$$\tau_{K^+} = 12,415 \pm 0,024 \text{ нс}$$

подтверждает значение времени жизни K^+ -мезонов, ранее измеренное методом остановок [5].

Точность измерения времени жизни π^+ -мезонов может быть улучшена, если использовать данный метод на мезонных фабриках [6].

1. А.Е. Pifer, Т. Bowen, and К. R. Kendall, NIM 135, 39 (1976).
2. В.П. Коптев, С.М. Микиртычянц, С.М. Нестеров и др. ЖЭТФ 94, (11), 1 (1988).
3. Н.К. Абросимов и др. Препринт ЛИЯФ-1073, 1985; А.Л. Геталов и др. Препринт ЛИЯФ-1405, 1988.
4. Н.К. Абросимов и В.П. Коптев, Препринт ЛИЯФ-1119, 1985.
5. Review of particle properties, Phys. Rev. D50, 1446 1523 (1994).
6. D.A. Bryman et. al., Proposal TRIUMF-703.