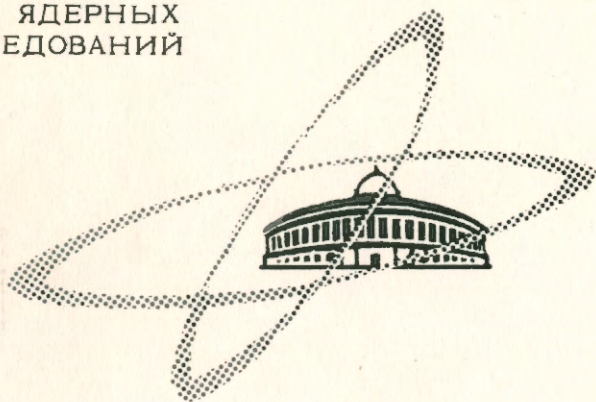


ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P - 2534



А.Ф. Дунайцев, Р.Н. Пихтелев,
Ю.Д. Прокошкин, Ю.Н. Симонов

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ π^+ -МЕЗОНА

1965

P - 2534

А.Ф. Дунайцев, Р.Н. Пихтелев,
Ю.Д. Прокошкин, Ю.Н. Симонов

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ π^+ -МЕЗОНА

Направлено в „Ядерную физику“

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

1. Введение

Среднее время жизни является одной из основных величин, характеризующих нестабильные элементарные частицы. В рамках современной теории слабых взаимодействий удается в одних случаях получить весьма точное выражение для среднего времени жизни частиц (μ^\pm -мезоны), в других - пока лишь приближенные оценки (π^\pm -мезоны и другие сильно взаимодействующие частицы). Знание средних времен жизни частиц, безусловно, будет необходимо при построении более совершенной теории, описывающей распад частиц. Однако и безотносительно к сегодняшнему состоянию теории возможно более точное измерение средних времен жизни частиц представляет большой интерес как определение одной из важных констант физики элементарных частиц.

Определению среднего времени жизни π^+ -мезона был посвящен ряд работ /2-10/. Достигнутая при этом точность сравнительно невелика (1%). Причины этого кроются как в небольшой статистической точности, так и в погрешностях, связанных с наличием естественного фона - распада $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu}$, сопровождающего распад π^+ -мезона $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$ и частично имитирующего его в условиях указанных экспериментов. Ниже описываются измерения среднего времени жизни π^+ -мезона, выполненные методом, позволившим существенно снизить указанные выше систематические погрешности /11/.

2. Постановка эксперимента

Эксперименты были выполнены на пучке π^+ -мезонов с энергией 75 Мэв, выведенном из синхротронного ускорителя Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ (рис. 1). Пучок формировался системой диафрагм и магнитных линз, проходил через замедлитель, и π^+ -мезоны останавливались в тонком сцинтилляторе счетчика C_3 - детектора $\pi^+ \rightarrow \mu^+$ -распада. Толщина сцинтиллятора счетчика C_3 (3 мм) была выбрана близкой к ионизационному пробегу μ^+ -мезонов, образующихся при $\pi^+ \rightarrow \mu^+$ -распаде (1 мм), с тем, чтобы μ^+ -мезоны эффективно останавливались в C_3 , а позитроны от последующего $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распада, имеющие значительно больший пробег, покидали счетчик C_3 без заметных потерь энергии. Счетчик C_3 был окружен счетчиками C_2 и C_4 , которые служили "ловушкой" для этих позитронов. В толстых сцинтилляторах счетчиков C_2 и C_4 (110 x 110 x 55 мм³) позитроны оставляли значительную долю своей энергии.

Остановки π^+ -мезонов в счетчике C_3 выделялись наносекундной схемой совпадений $(C_1 + C_3 - C_4)^{12/}$. Импульсы от всех счетчиков фотографировались на экране скоростного пятилучевого осциллографа $^{13/}$. На основании временного и амплитудного анализа этих фотографий были отобраны события $\pi^+ \rightarrow \mu^+$ -распада и определено среднее время жизни π^+ -мезона.

Основным отличием описываемого метода регистрации $\pi^+ \rightarrow \mu^+$ -распада от применявшихся ранее осциллографических методов является использование ловушки для позитронов, возникающих при $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распаде. Это позволяет отделить истинные события $\pi^+ \rightarrow \mu^+$ -распада от имитирующих их случаев $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$ -распада, когда импульсы от π^+ - и μ^+ -мезонов разделены столь малым временем (≤ 6 нсек), что они сливаются в один импульс на экране осциллографа. Кроме того, вследствие малой толщины счетчика C_3 импульсы от позитронов в этом счетчике существенно меньше по амплитуде, чем от μ^+ -мезонов. Это дает возможность подавить вероятность ошибочной регистрации $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распада как $\pi^+ \rightarrow \mu^+$ -распада еще в несколько раз. Расчеты, выполненные при проектировании описываемой установки, показали, что в принятой постановке опыта следует ожидать подавления фона от $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распада более чем на два порядка величины, т.е. до уровня ниже 10^{-5} .

3. Измерения

Целью проведенных экспериментов являлось как определение среднего времени жизни π^+ -мезона, так и изучение возможностей метода. Поэтому в процессе измерений режим работы аппаратуры широко варьировался. Было произведено фотографирование осциллограмм при различной интенсивности пучка π^+ -мезонов (от 2 до 20 остановок в сек.) и при различных скоростях развертки осциллографа (от 30 до 100 нсек/см). Для определения среднего времени жизни было использовано 17 тыс. фотографий, полученных при скоростях развертки 30 и 40 нсек/см.

Временная калибровка осциллографа производилась непрерывно в процессе измерений путем регистрации на одном из лучей синусоидального сигнала от стабилизированного кварцевого генератора с частотой 100 Мгц. Эта частота поддерживалась стабильной с точностью 10^{-5} . Наряду с указанной калибровкой периодически производилась калибровка всех лучей осциллографа путем подачи на них того же синусоидального сигнала.

Просмотр полученных фотографий показал, что в 50% случаев на них видны импульсы от счетчика антисовпадений C_4 (эти события не были отброшены схемой совпадений вследствие неэффективности схемы для небольших импульсов счетчика C_4). В 25% оставшихся случаев отсутствовал видимый импульс от μ^+ -мезона. Последнее соответствует ожидаемому числу событий $\pi^+ \rightarrow \mu^+$ -распада, в которых импульсы от

π^+ - и μ^+ -мезонов разделены столь малым интервалом времени, что они сливаются в один импульс на экране осциллографа. Указанные выше события были исключены из дальнейшей обработки. Оставшиеся 8,7 тыс. случаев были классифицированы по 4 типам осциллограмм (рис. 2). На всех этих осциллограммах имеются одновременные импульсы от π^+ -мезона в счетчиках C_1, C_2, C_3 и отсутствует одновременный импульс в счетчике C_4 , что свидетельствует об остановке π^+ -мезона в счетчике C_3 .

Тип "а" (рис. 2а) - в счетчике C_3 зарегистрированы три последовательно расположенных импульса, интерпретируемые как $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$ -распад, причем одновременно с третьим импульсом (позитрон от $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распада) появляется импульс и в одном из счетчиков ловушки (C_2 или C_4).

Тип "б" (рис. 2б) - в счетчике C_3 видны два импульса, а в счетчиках ловушки импульсов нет. Этот случай соответствует $\pi^+ \rightarrow \mu^+$ -распаду, когда $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распад происходит в интервале времени, превышающем длительность развертки осциллографа, и импульс от позитрона не виден на осциллограмме.

Тип "в" (рис. 2в) - в счетчике C_3 видны два импульса, последний из которых сопровождается одновременным импульсом в счетчиках ловушки. Такие случаи интерпретируются, в основном, как $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$ -распад, когда импульсы от π^+ - и μ^+ -мезонов сливаются в один (см. выше), а второй видимый импульс счетчика C_3 вызван позитроном от $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распада. Сюда же относятся и редкие случаи $\pi^+ \rightarrow \mu^+$ -распада, когда π^+ -мезон останавливается на границе счетчика C_3 и μ^+ -мезон дает заметный сигнал как в счетчике C_3 , так и в ловушке.

Тип "г" (рис. 2г) - отличается от типа "а" только тем, что на 4-м луче отсутствует третий импульс от счетчика C_3 . Эти случаи соответствуют $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$ -распаду, когда импульс от электрона распада в счетчике C_3 настолько мал, что он не виден на осциллограмме.

Распределение отобранных событий по перечисленным выше типам приведено в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Т и п	а	б	в	г
Кол-во случаев	298	5878	200	304

Для всех отобранных событий был проведен временной и амплитудный анализ импульсов. В качестве калибровочных распределений были использованы распределения, найденные для событий типа "а". Амплитудные спектры импульсов от μ^+ -мезонов и позитронов в счетчике C_3 оказались перекрывающимися. Сравнение их со спектрами,

измеренными для событий типа "в", показало, что случаи "в" соответствуют в основном регистрации $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распада, а не $\pi^+ \rightarrow \mu^+$ -распада. В случаях "б" и "г" спектры импульсов совпали с калибровочными. Для определения среднего времени жизни были использованы события типа "а", "б" и "г". Распределение событий по временам распада приведено на рис. 3.

Как видно из этого рисунка, фон, связанный с $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распадами, в нашем случае оказался намного меньшим, чем в предыдущих работах. Анализ всех 17,5 тыс. фотографий показал также, что фон от $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$ -распада π^+ -мезонов, оставшихся в счетчике C_3 ранее, чем пришел регистрируемый π^+ -мезон, является пренебрежимо малым: не было зарегистрировано ни одного подобного случая в интервале $(-120 \div 0)$ нсек.

4. Результаты измерений

Для определения среднего времени жизни π^+ -мезона τ_{π^+} гистограмма, приведенная на рис. 3, аппроксимировалась экспоненциальной зависимостью χ^2 -методом. Как видно из рис. 3, в области малых времен жизни число случаев $\pi^+ \rightarrow \mu^+$ -распада быстро уменьшается. Причина этого заключается в том, что при малых временных интервалах между импульсами от π^+ - и μ^+ -мезонов эти импульсы сливаются в один импульс на осциллограмме. Расчеты, выполненные при различных временных отсечках t_0 (т.е. для $t > t_0$), показали, что систематические погрешности в определении τ_{π^+} , связанные с указанным эффектом, исчезают при $t_0 > 15$ нсек.

При вычислениях τ_{π^+} варьировался также шаг гистограммы (3 и 6 нсек). Результаты при этом оказались одинаковыми. Найденное среднее время жизни π^+ -мезона равно

$$\tau_{\pi^+} = (25,85 \pm 0,35).$$

Чтобы оценить влияние на полученный результат фона, связанного с событиями типа "в", отброшенными нами ранее, но являющимися основным источником фона в предыдущих исследованиях, величина τ_{π^+} была определена с использованием всех событий (типы "а" - "г"). При этом в аппроксимирующую зависимость был введен второй экспоненциальный член, учитывающий $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распад. Погрешность найденного таким методом времени жизни π^+ -мезона значительно возросла:

$$\tau_{\pi^+} = (28,35 \pm 0,55) \text{ нсек.}$$

Сравнение полученных нами данных с результатами предыдущих исследований проведено в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Данные о величине τ_{π^+} , полученные к концу 1964 г.

Работа	τ_{π^+} , нсек	Метод
Martinelli, Panofsky ^{/2/}	19,7 \pm 1,4 - 1,7	Фотопластинки
Kraushaar, Thomas, Henry ^{/3/}	16,5 \pm 3,3	Осциллограф
Chamberlain, Mozley, Steinberger, Wiegand ^{/4/}	26,5 \pm 1,2	- " -
Козодаев, Марков, Тяпкин ^{/5/}	29 \pm 7	Электроника
Jakobson, Shultz, Steinberger ^{/6/}	25,4 \pm 1,1	- " -
Wiegand ^{/7/}	26,0 \pm 1,3	Осциллограф
Kraushaar ^{/8/}	25,3 \pm 3,3	- " -
Durbin, Loar, Havens ^{/9/}	24,4 \pm 1,8	Электроника
Ashkin, Fazzini, Fidecaro, Goldschmidt-Clermont, Lipman, Merrison, Paul ^{/10/}	25,46 \pm 0,32	Осциллограф
Настоящая работа	25,85 \pm 0,35	- " -

В начале 1965 г. нами были проведены измерения τ_{π^+} усовершенствованным методом: в осциллограф были дополнительно введены медленные развертки, позволившие регистрировать цепочку $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$ -распада с эффективностью, близкой к единице. В настоящее время ведется обработка около 1 млн. осциллограмм.

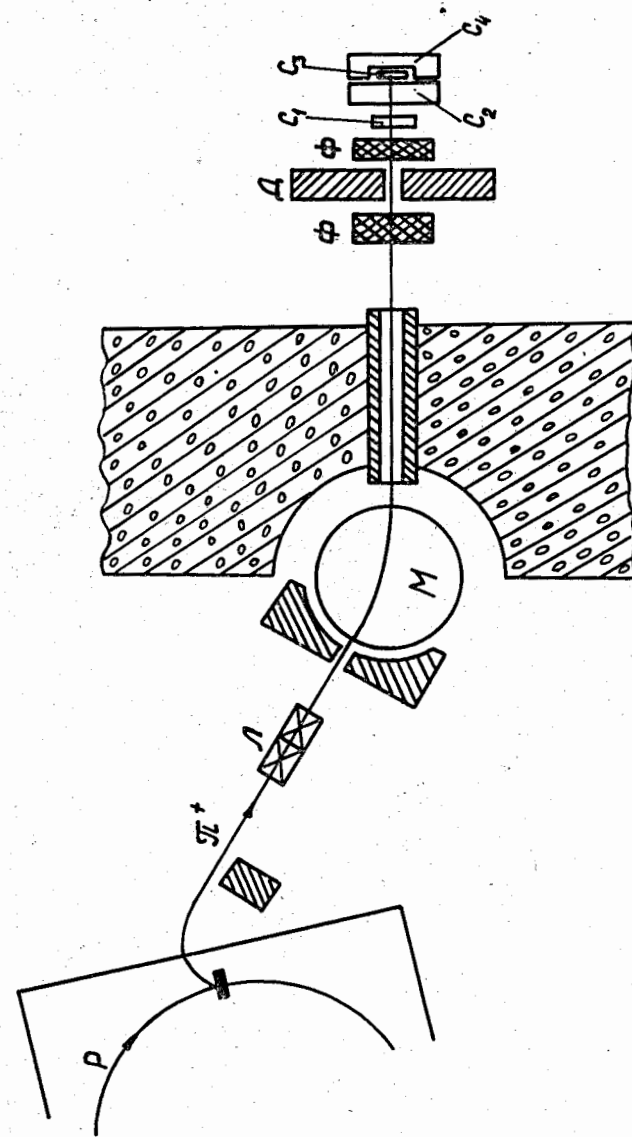
В заключение пользуемся случаем поблагодарить В.М. Кутына, Л.И. Полубояринову и М. Сгонову за помощь в работе.

Л и т е р а т у р а

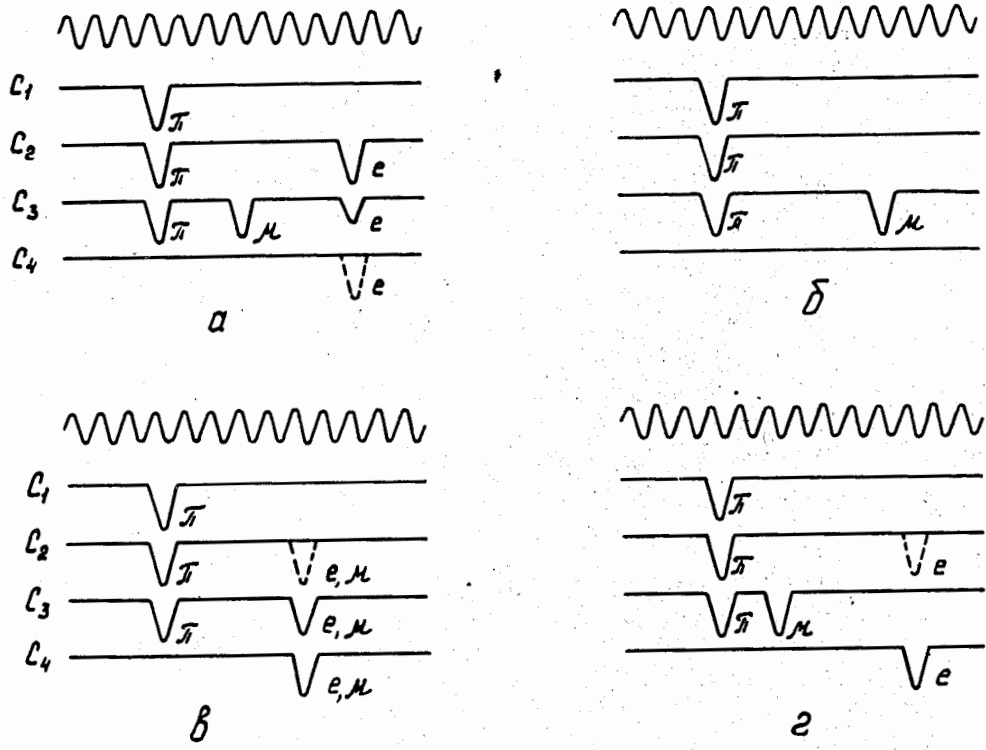
1. R.P.Feynman, M.Gell-Mann, Phys.Rev., 109, 193 (1958); M.Gell-Mann, M.Lévy, Nuovo Cim., 16, 705 (1960).
2. E.A.Martinelli and W.K.H.Panofsky. Phys.Rev., 77, 465 (1950).
3. W.L.Kraushaar, J.E.Thomas, Jr. and V.P.Henry. Phys.Rev., 78, 486 (1950).
4. O.Chamberlain, R.F.Mozley, J.Steinberger and C.Wiegand. Phys.Rev., 79, 394 (1950).
5. М.С. Козодаев, А.А. Марков, А.А. Тяпкин. Изв. АН СССР, т. 19, № 6, 715 (1955).

6. M. Jakobson, A. Shultz and J. Steinberger. Phys. Rev., 81, 894 (1951).
7. C. E. Wiegand. Phys. Rev., 83, 1085 (1951).
8. W. L. Kraushaar. Phys. Rev., 86, 513 (1952).
9. R. P. Durbin, H. H. Loar and W. W. Havens, Jr. Phys. Rev., 88, 179 (1952).
10. J. Ashkin, T. Fazzini, G. Fidicaro, Y. Goldschmidt-Clermont, N. H. Lipman, A. W. Merrison and H. Paul. Nuovo Cim., 16, 1514 (1960).
11. Р. Н. Пихтелев. ОИЯИ, Дипломная работа, 1964.
12. А. Ф. Дунайцев. ПТЭ, 6, 77 (1964).
13. А. Ф. Дунайцев, В. И. Петрухин, Ю. Д. Прокошкин, В. И. Рыкалин. ПТЭ, 2, 114 (1964).

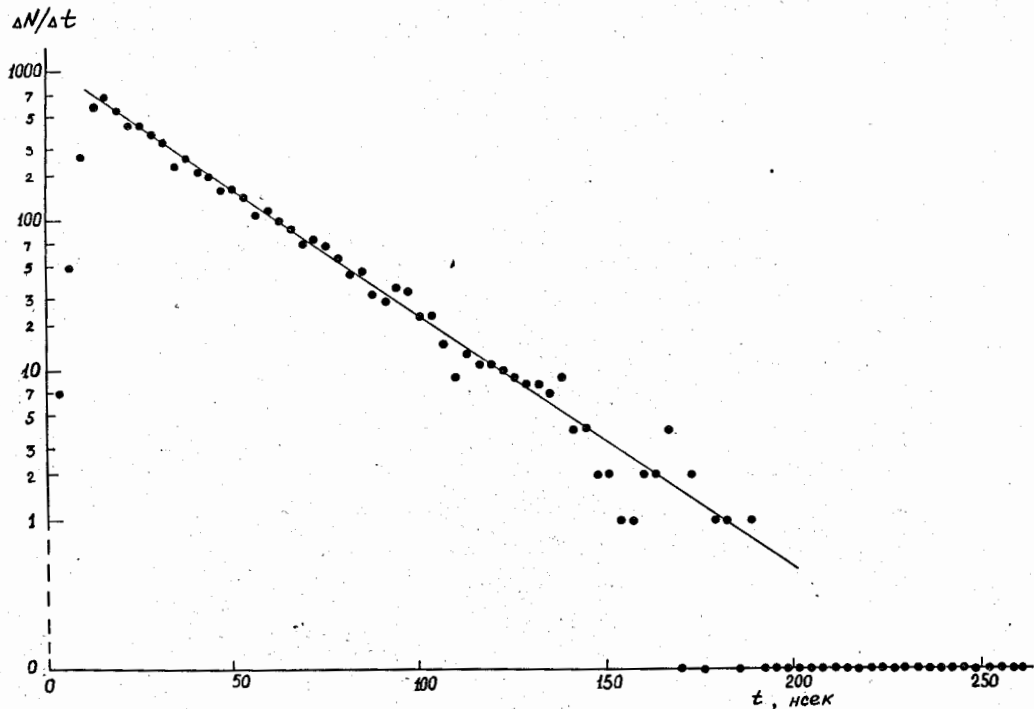
Рукопись поступила в издательский отдел
31 декабря 1965 г.



Р и с. 1. Схема эксперимента. Р - протонный лучок синхротрона, π^+ - лучок π^+ - мезонов, Л - магнитные линзы, М - магнит, Д - свинцовая диафрагма, Ф - полиэтиленовые фильтры, С₁ - С₄ - кремниевые счетчики.



Р и с. 2. Типичные осциллограммы зарегистрированных событий.



Р и с. 3. Временное распределение событий $\pi^+ \rightarrow \mu^+$ -распада. Прямая соответствует $\tau_{\pi^+} = 25,85$ мсек.