

НОВОЕ ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ π^- -МЕЗОНА

В.И.Марушенко, А.Ф.Мезенцев, А.А.Петрунин,

С.Г.Скорняков, А.И.Смирнов

Измерены энергии π -мезоатомных $4f - 3d$ переходов в Ti и Ca, соответственно равные $87649,2 \pm 1,9$ эв и $72347,0 \pm 1,1$ эв. В качестве нормали взята энергия $K_{\alpha 1} W$ из β -распада ^{182}Ta : $59318,77 \pm 0,21$ эв. Используя приведенные в [1] переводные множители, определена масса покоя π^- -мезона: $M_{\pi^-} c^2 = 139565,7 \pm 1,7$ кэв.

Наиболее точное значение массы π -мезона было получено в работах [1 – 3]. Результаты [1, 2] получены на кристалл-дифракционном спектрометре в геометрии Дю-Монда, а данные [3] на полупроводниковом

спектрометре. Ограничения по точности в случае полупроводникового спектрометра связаны с чисто метрологическими трудностями. Кристалл-дифракционные спектрометры позволяют проводить измерения с относительной точностью до 10^{-6} [4]. Однако, из-за их малой светосилы, для реализации этой возможности необходимо, чтобы исследуемое излучение было достаточно интенсивным. Обычно мишень помещалась на выведенном пучке медленных π -мезонов [2, 3] интенсивностью до 10^6 сек^{-1} , скорость счета на максимуме дифракционной мезорентгеновской линии при этом составляла $\approx 3 \text{ час}^{-1}$ [2]. Прогресс в этой области связывают с созданием сильноточных ускорителей ("мезонных фабрик").

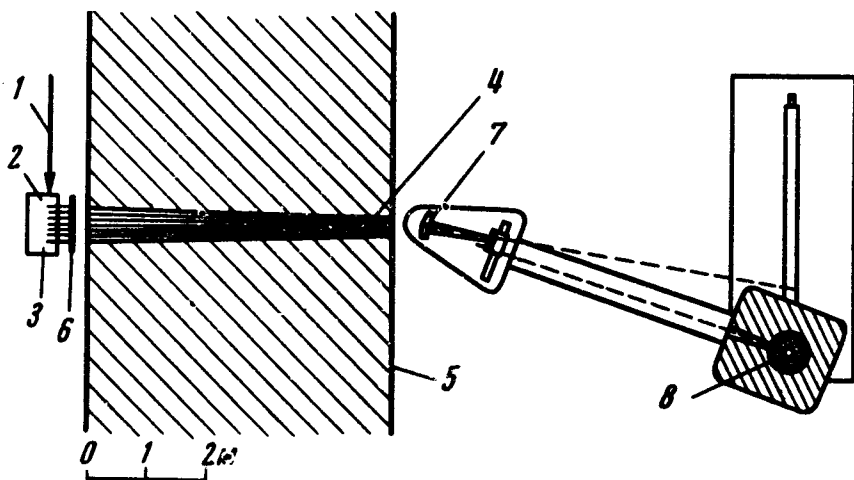


Рис. 1. Схема установки

В данной работе показано, что и на ускорителе обычного типа (интенсивность пучка протонов $\approx 10^{12} \text{ сек}^{-1}$, энергия 1 ГэВ) удастся повысить по крайней мере на два порядка величины скорость счета за счет более эффективного использования кристалл-дифракционного спектрометра. Нами построен 5-метровый дифракционный спектрометр с изогнутым кристаллом по Кошуа. Устройство прибора схематично показано на рис. 1. Протонный пучок (1) падает на мезонную мишень (2), представляющую набор из 25 медных дисков толщиной 2 мм и диаметром 20 мм, расположенных в тени пластины многоселевого коллиматора (4), помещенного в защитной стене (5). Мезонная мишень (3) окружена мишенью из исследуемого вещества — рентгеновской мишенью (8). Мезоны, рожденные в мезонной мишени, образуют мезоатомы в рентгеновской мишени¹⁾. Основное отличие нашей установки от установок [2, 3] заключается в том, что рентгеновская мишень установлена в непосредственной близости от мишени, рождающей π -мезоны. Плотность числа остановок π -мезонов на единицу веса мишени в этом варианте повышается по меньшей мере на два порядка величины. Основ-

¹⁾ Измерения могут проводиться в режиме, когда мезонная мишень является одновременно и рентгеновской.

ной проблемой в данном случае является высокий фон, из-за практической невозможности зарегистрировать факт остановки π -мезона в рентгеновской мишени. Кристалл-дифракционный спектрометр по Кошуа, оказывается в этих условиях заметно предпочтительнее варианта ДюМонда, как показано в работе [5]. Мезорентгеновское излучение проходит через многоселевой коллиматор и падает на изогнутый кристалл кварца (7) толщиной 4,7 мм (отражающая плоскость 1340). Рабочая апертура кристалла 80×90 мм, полуширина квазимозаики [6] ≈ 17 угловых секунд, ширина линии на полувьсоте ≈ 20 секунд. Угол дифракции измерялся с помощью отсчетного устройства, описанного в [7].

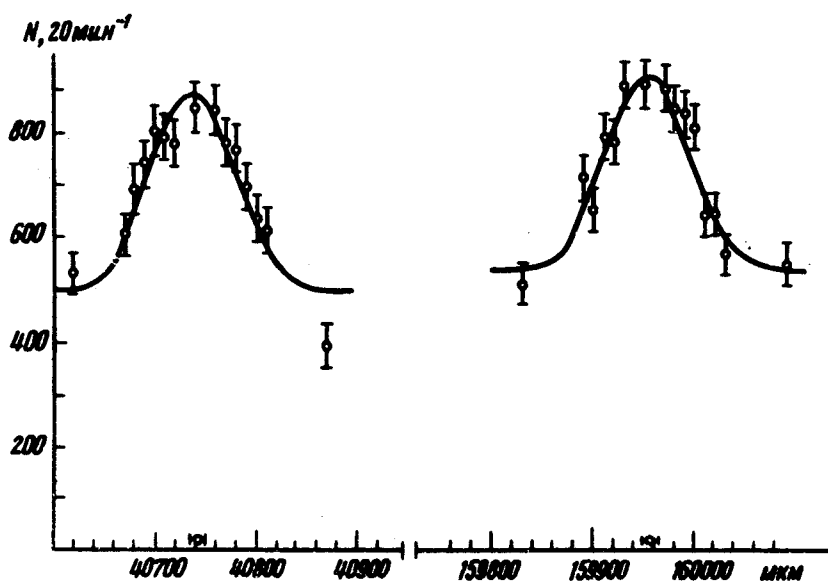


Рис. 2. Дифракционные $4f - 3d$ линии Ti в левом и правом положениях прибора. По оси абсцисс дано угловое положение кристалла в мм (1 мм соответствует 0,2 секунды), по оси ординат — числа счетов за 20 минут

Детектором служил Ge(Li) спектрометр (8) высотой ≈ 100 мм, а шириной и глубиной ≈ 5 мм, с разрешением $2,2$ кэв на γ -линии 100 кэв. Ширина приемной щели детектора была $\approx 0,5$ мм. Калибровка и проверка линейности прибора осуществлялась по K_{α_1} W и γ -линиям сопровождающим β -распад ^{182}Ta . В качестве нормалей использовались энергии K_{α_1} W $59318,77 \pm 0,21$ эв, а также γ -линий $67749,32 \pm 0,32$ эв и $100105,54 \pm 0,44$ эв. Эти энергии приведены в системе, где энергия K_{α_1} W вычислена как средневзвешенное значений [4] и [8], с учетом в последней данных [9, 10]. Во время калибровочных измерений источник ^{182}Ta (6) активностью ≈ 10 кюри помещался между многоселевым коллиматором и мишенями, а затем убирался из поля зрения прибора. Относительная точность прибора в диапазоне $50 \div 100$ кэв, определенная с помощью калибровочных γ -линий, не хуже

$5 \cdot 10^{-6}$. В качестве первых объектов исследования нами были выбраны $4f - 3d$ π -мезоатомные переходы в металлическом Ti и Ca естественного изотопного состава. На рис. 2 показаны дифракционные мезорентгеновские линии Ti в левом и правом положениях прибора для одной из серий измерений. Время набора статистики ≈ 10 часов. При интенсивности протонного пучка $\approx 8 \cdot 10^{11} \text{ сек}^{-1}$ число счетов на максимуме дифракционной линии Ti составляет $\approx 1200 \text{ час}^{-1}$ при фоне 1500 час^{-1} . Были проведены четыре серии измерений на Ti и три серии измерений на Ca. Они дали следующие значения энергий $4f - 3d$ переходов: $87649,2 \pm 1,9(1,0) \text{ эв}$ (Ti) и $72347,0 \pm 1,1(1,0) \text{ эв}$ (Ca). В приведенные ошибки включены ошибки калибровки и ошибки нормалей, в скобках даны внешние ошибки. Из этих значений, используя приведенные в [1] переводные множители, получены значения массы π^- -мезона: $139563,7 \pm 3,0 \text{ кэв}$ (Ti) и $139566,7 \pm 2,1 \text{ кэв}$ (Ca), средневзвешенное значение массы составляет $139565,7 \pm 1,7 \text{ кэв}$. Неопределенность расчета переводных множителей $\approx 10^{-5}$ не включена в приведенные ошибки. В системе, где для энергии $K_{\alpha 1} W$ принято значение $59319,18 \pm 0,36 \text{ эв}$ [8], масса π^- -мезона составляет $139566,7 \pm 1,7 \text{ кэв}$.

В заключение выражаем благодарность О.И.Сумбаеву за инициирование данной работы, Д.М.Каминкеру и А.А.Воробьеву за доброжелательный интерес и обсуждение, Б.В.Григорьеву, Б.В.Кокареву, Л.Н.Кондуровой, С.П.Круглову с сотрудниками, С.Р.Новикову, Л.Ф.Павловой, Л.Э.Самсонову и Г.А.Шишкиной за помощь в создании установки.

Институт ядерной физики
им. Б.П.Константинова
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
22 ноября 1975 г.

Литература

- [1] R.E.Shafer. Phys. Rev. D, **8**, 2313, 1973.
- [2] R.E.Shafer. Phys. Rev., **163**, 1451, 1967.
- [3] G.Ëackenstoss et al. Phys. Lett., **36B**, 403, 1971.
- [4] G.L.Borchert et al. Nucl. Instr. and Meth., **124**, 107, 1975.
- [5] O.I.Sumbaev, A.I.Smirnov. Nucl. Instr. and Meth., **22**, 125, 1963.
- [6] О.И.Сумбаев. ЖЭТФ, **54**, 1352, 1968.
- [7] A.I.Smirnov et al. Nucl. Instr. and Meth., **60**, 103, 1968.
- [8] B.N.Taylor et al. Rev. Mod. Phys., **41**, 477, 1969.
- [9] R.D.De'slattes, A.Hennis. Phys. Rev. Lett., **31**, 972, 1973.
- [10] I.A.Bearden et al. Phys. Rev., **135**, 898, 1964.