

**ЭМИССИЯ
СМЕЩЕННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ПРИ ОБРАЗОВАНИИ МЮОННЫХ АТОМОВ УРАНА**

*Р. Арльт¹⁾, Ж. Ганзориг, Т. Крогульски, Х.-Г. Орлепп,
С. М. Поликанов, Б. М. Сабилов, В. Д. Фромм, У. Шмидт,
Г. Шнефли²⁾, Р. Энзфер³⁾.*

Обнаружен эффект эмиссии смещенного рентгеновского
электронного излучения при образовании мюонных атомов урана.

На мюонном тракте синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований был исследован спектр γ -лучей в диапазоне энергии от 14 до 500 кэв, испускаемых при взаимодействии отрицательных мюонов с металлическим ^{238}U .

Измерения проводились с помощью Ge(Li) -детекторов объемом 2,4 и 3 см³ при энергетическом разрешении лучше 1 кэв для γ -квантов с энергией 100 кэв. Остановки мюонов в урановой мишени регистрировались телескопом из четырех сцинтилляционных счетчиков, работающим в обычно используемом режиме совпадений 1234.

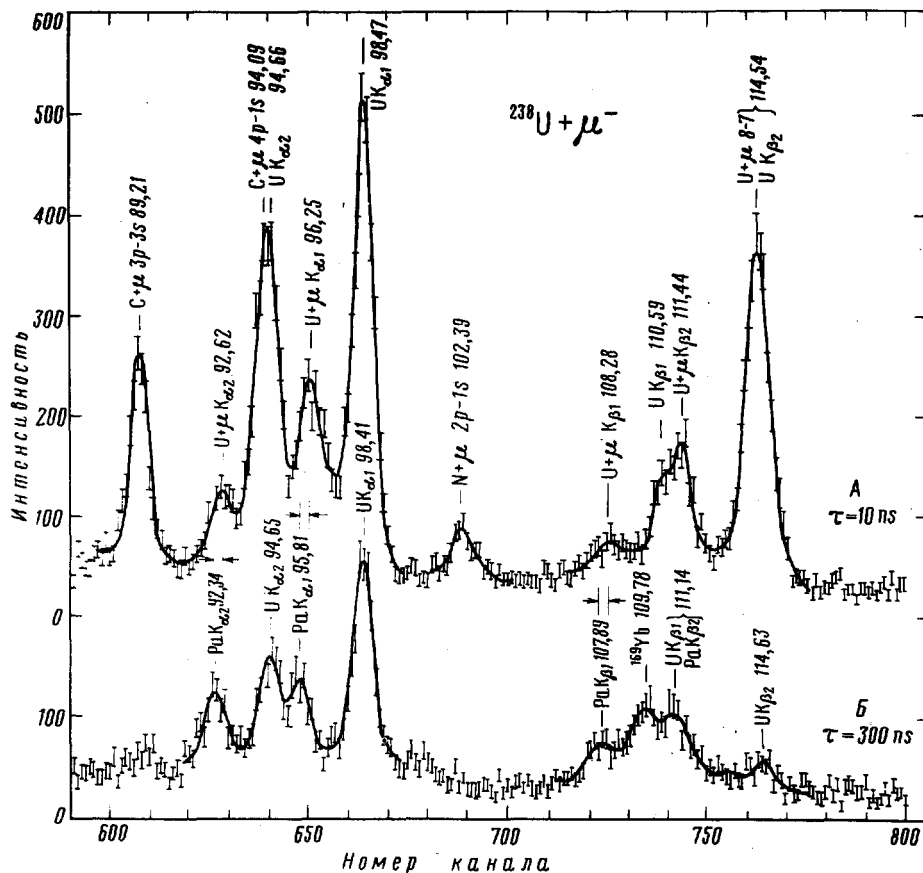
¹⁾ ГДР, Дрезден, технический университет.

²⁾ Швейцария, университет г. Фрибург.

³⁾ Швейцария, Цюрих, Высшая техническая школа, Лаборатория физики высоких энергий.

Временное распределение импульсов от Ge(Li)-детектора измерялось время-амплитудным конвертором. При помощи цифровых дискриминаторов в режиме он-лайн с ЭВМ HP 2116С, проводились измерения энергетических спектров в различных временных диапазонах относительно остановки мюонов в мишени.

Для энергетической калибровки детектора использовались стандартные радиоактивные препараты [1] (^{169}Yb , ^{241}Am , ^{57}Co), а также наблюдаемые в спектрах линии мезонорентгеновских переходов в легких элементах [2] (C, N, O), энергия которых определена с хорошей точностью.



Спектр электронных x -лучей, наблюдаемых при взаимодействии отрицательных мюонов с ураном. Временной интервал между мгновенными событиями (спектр А) и началом регистрации задержанных (спектр В) равен 20 нсек. Цифры рядом с символами линий указывают их энергию в кэВ . μZ — мюонный атом элемента Z

Линии γ -лучей от стандартных радиоактивных препаратов регистрировались Ge(Li)-детектором в течение всего эксперимента благодаря случайным совпадениям с сигналами остановки мюонов 1234 (разрешающее время совпадений равно 1,5 мксек). Анализ измеренных

спектров проводился с помощью программы GAMMA, предназначенной для обработки спектров γ -лучей на ЭВМ CDC 6200. Форма линий в спектрах аппроксимировалась гауссовским распределением. Для фона предполагалась линейная зависимость в случае одиночных пиков и квадратичная – в случае сложных пиков.

Нелинейность аппаратуры описывалась полиномом третьей степени.

На рисунке представлены спектры γ -лучей для мгновенных и задержанных по отношению к остановкам мюонов событий.

В спектре мгновенных совпадений видны мезорентгеновские переходы урана и легких элементов, а также электронное рентгеновское излучение урана, вызванное торможением мюонов в мишени. В спектре задержанных совпадений наблюдается рентгеновское электронное излучение протактиния при ядерном захвате мюонов и урана в результате воздействия на него вторичных частиц, испускаемых при ядерном захвате мюона.

Электронное рентгеновское излучение протактиния и урана исчезает со временем жизни $\tau \sim 80$ нсек, характерным для времени жизни мюона на орбите $1s$ в тяжелых элементах.

Измеренная нами энергия рентгеновского излучения урана и протактиния с достаточной точностью совпадает с литературными данными (таблица).

Электронное рентгеновское излучение	Pa, кэв (1)	Pa ¹), кэв (эксп)	μ U, кэв (эксп.)	μ U–Pa, эв
$K_{\alpha 2}$	92,287	92,341 \pm 0,056	92,616 \pm 0,076	329 \pm 76
$K_{\alpha 1}$	95,868	95,807, \pm 0,055	96,250 \pm 0,051	382 \pm 51

(1) – ссылка [3]

В то же время обращает на себя внимание присутствие в спектре мгновенных событий двух линий, своим положением и интенсивностью напоминающих характерное рентгеновское излучение протактиния ($Z = 91$), но сдвинутое в область большей энергии не меньше чем на два канала. Величина этих сдвигов в энергетической шкале указана в таблице.

Следует отметить, что в спектре отсутствуют неидентифицированные линии.

Перечисленные факты позволяют интерпретировать наблюдаемые сдвинутые линии как электронное рентгеновское излучение мезоатомов урана.

Вакансии в K -оболочке, заполнение которых связано с появлением смещенного рентгеновского излучения, образуются в результате оже-процесса.

Обнаруженный в описанных опытах сдвиг по отношению к рентгеновскому излучению протактиния можно попытаться объяснить в соответствии с работой [4] неполной экранировкой единичного атомного заряда мюоном, находящимся на достаточно высокой орбите.

Надо также иметь в виду, что наблюдаемый сдвиг частично может быть объяснен появлением дополнительных вакансий в L -оболочке во время атомных KX -переходов.

Подобная ситуация наблюдается при изучении рентгеновского излучения в соударениях тяжелых ионов [5].

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность за постоянный интерес и поддержку в работе В.П.Джелепову, Л.И.Липидусу и К.Я.Громову.

Соавторы благодарны Б.П.Осипенко, под руководством которого был изготовлен один из детекторов, К.Андерту, Ф.Гибриэлю, А.И.Калинину за помощь в наладке электроники, а также С.С.Герштейну и Л.И.Пономареву за интересные дискуссии.

Один из нас (Г.Ш.) благодарит ЦЕРН, предоставивший возможность поездки в Дубну, а ОИЯИ за гостепреимство.

Объединенный институт
ядерных исследований

Поступила в редакцию
29 июля 1974 г.

После переработки
3 октября 1974 г.

Литература

- [1] N.Lavi. Nucl. Instr. Meth., 107, 197, 1973; R.C.Greenwood et al. Nucl. Instr. Meth., 77, 144, 1970.
 - [2] T.Dubler et al. Nucl. Phys., A219, 29, 1974.
 - [3] E.Storm, H.I.Israel. Nucl. Data Tables, A7, 641, 1970.
 - [4] P.Vogel. Phys. Rev., A7, 63, 1973.
 - [5] D.Burch, R.Patrick. Phys. Rev. Lett., 25, 938, 1970.
-