

Применение β - спектрометра типа мини-апельсин для спектрометрических исследований

Ж. Сэрээтэр

1. Введение

Бета-спектрометры типа "мини-апельсин" получили широкое применение в "on-line" экспериментах по ядерной спектроскопии и ядерной реакции на ускорителях. Магнитные β -спектрометры типа "мини-апельсин" могут быть использованы в "off-line" экспериментах для измерения спектров конверсионных электронов а также спектров β - γ и β - x -совпадений.

При изучении спектров электронов внутренней конверсии (ЭВК) нейтрондефицитных изотопов, применение спектрометра с мини-апельсином позволяет освободить спектры ЭВК от непрерывного позитронного излучения и существенно улучшить отношение эффекта и фона.

В настоящей работе описывается β -спектрометр с мини-апельсином для измерения спектров ЭВК и β - γ совпадений и его применение для спектрометрических исследований

2. β -спектрометр "мини-апельсин"

Магнитный бета-спектрометр типа "мини-апельсин" (в дальнейшем будем называть мини-апельсином) включает в себя постоянные магниты в форме клина, создающие тороидальное магнитное поле, Si(Li)-детектор и поглотитель для γ -лучей [1,2]. Постоянные магниты (магнитные фильтры) изготавливаются из SmCO_2 и имеют типичное магнитное поле; 1,4 кГс для магнитов типа 6В и 2,8-3,0 кГс для магнитов типа 6А. Постоянные магниты прикрепляются с помощью алюминиевых держателей к цилиндру из дюрала, на оси которого находится поглотитель с размером $\phi 12$ мм и $l=24$ мм. Поглотитель для γ -лучей изготавливается обычно из свинца или вольфрама в виде цилиндра. Между детектором и магнитом находится конусообразный защитный экран из алюминия. Путем различной комбинации магнитных фильтров и изменения расстояния между магнитом и источником можно регистрировать электроны с энергией от 50 кэВ до 3,5 МэВ. Верхний предел регистрации высоко энергетических электронов для β -спектрометрии обычно определяется толщиной Si(Li)-детектора. В конструкции мини-апельсина [3] предусмотрена возможность изменения расстояний между источником излучений и магнитом (f) и между магнитом и детектором (g). Минимальное расстояние между источником и магнитом обычно равно 15 мм. Максимально возможное расстояние между источником и детектором составляет 100 мм. Минимально возможные расстояния между детектором и центром магнита равна 25 мм.

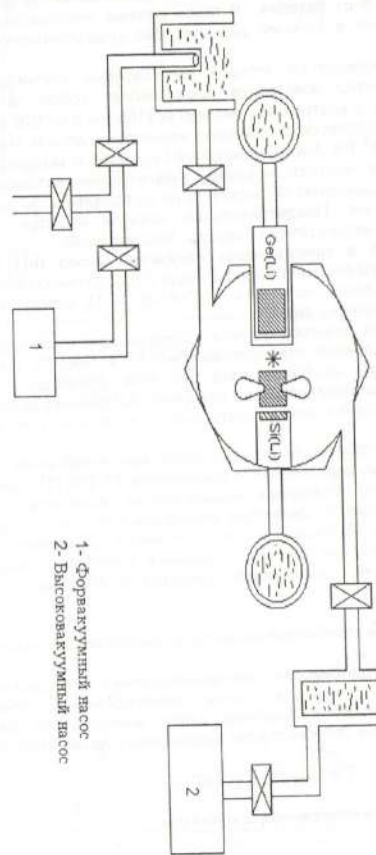


Рис. 1

В данной установке [4] спектр ЭВК изучается с помощью Si(Li)-детектора (100 мм² · 3 мм) с разрешением 2,2 кэВ на линии K1063 ²⁰⁷Bi. Si(Li)-детектор держится открыто в вакуумной камере и во время экспериментов охлаждается через хладопровод, который погружается в сосуд дьюара с жидким азотом а нерабочее время детектор держался под напряжением -2,5 В от батареи. В таком режиме эксплуатации детектор нормально работает в течении двух лет без существенного ухудшения разрешения.

Вакуумная камера, в которой расположены магниты, источник излучений и детектор электронов представляет собой шестигранный цилиндр из дюрала с внутренним размером φ165 мм и h=165 мм. Высокий вакуум в камере создается с помощью магниторазрядным насосом типа "норд-100" до ~2·10⁻⁴ Па. Между вакуумной камерой и магниторазрядным насосом находится азотная ловушка, назначением которой является предотвращение насаждения титановой пыли на поверхность детектора во время его охлаждения. Предварительная откачка камеры проводится масляным насосом через азотную ловушку. Исследуемый источник излучений вводится в камеру через вакуумный шлюз без нарушения высокого вакуума, что особенно важно, когда Si(Li)-детектор охлаждается. Для установки и замены источника требуется 10-15 минут. Блок-схема установки представлена на рис.1.

Для измерения спектров γ-лучей, совпадающих с конверсионными электронами используются стандартные Ge(Li) и Ge(HP) детекторы с разрешением 2,5 кэВ на линии 1332 кэВ ⁶⁰Co. Детектор γ-излучений помещается в дюралевом стакане, вакуумно разделенном от камеры. Минимальное расстояние между детектором и источником излучений составляет 10 мм.

Накопление информации от детекторов излучений и их обработка проводится с помощью персонального компьютера AT-386 [5], программное обеспечение которого позволяет одновременно измерять 3 спектра излучений. Информации от детектора излучении могут накапливаться в нескольких (до 16) буферах и по истечению заданного времени записывались на жестком диске. Программа обработки информации позволяет по канално суммировать записанные спектры и находить площади пиков.

3. Методика калибровки мини-апельсина по эффективности

Эффективность (трансмиссия) экспериментально определяется как отношение скорости счета в линии конверсионных электронов, измеренного с магнитом к скорости счета измеренного без него, умноженное на величину телесного угла, выдаваемого детектором [6].

$$T = N_{\text{мг}} \cdot S / N_0 \cdot 4\pi d^2$$

где N_{мг} - интенсивность измеренная с магнитом

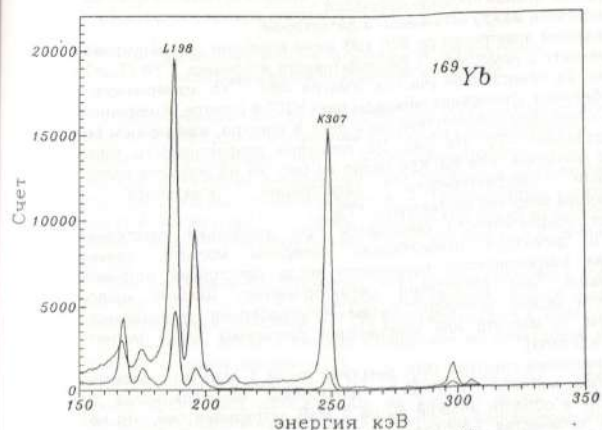


Рис.2а Спектры конверсионных электронов ¹⁶⁹Yb, измеренные с помощью мини-апельсина с магнитом (вверху) и без него (внизу).

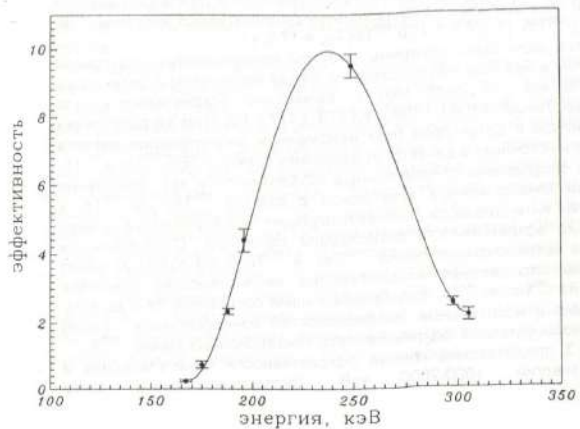


Рис.2б Относительная эффективность мини-апельсина в процентах. Расстояние между источником и детектором равно 40 мм.

N_0 - интенсивность измеренная без магнита
 S - чувствительная площадь детектора
 d - расстояние между источником и детектором.

В области энергий электронов до 500 кэВ мини-апельсин градуирован по эффективности с помощью с радиоактивного источника ^{169}Yb ($T_{1/2}=30$ дн.) На рис. 2а представлен участок спектра ЭВК ^{169}Yb , измеренного с магнитом и без него. Отношение площади пика К307 в спектре, измеренном с магнитом к площади соответствующего пика в спектре, измеренном без магнита составляет ~20. На рис. 2а показана эффективность мини-апельсина с магнитом типа 6В. Как видно из рис. 2б на вершине кривой эффективности эффективность регистрации электронов с соответствующей энергией составляет ~10%.

Кривая эффективности смещается при изменении расстояний источника и детектора относительно середины магнита, причем максимальная эффективность получается когда расстояние источник-магнит меньше, чем расстояние детектор-магнит. Ширину кривой эффективности можно увеличить путем использования уменьшенного числа (4 или 3) магнита или комбинации различных типов магнита (например А и В типа).

Для измерения спектров ЭВК энергией выше 1 МэВ использованы более толстые магниты типа 6А. Калибровка мини-апельсина по эффективности в области энергий выше 1 МэВ затруднена тем, что нет достаточного количества необходимых калибровочных источников для электронов [7]. В работе [8] мини-апельсин был прокалиброван в диапазоне энергий от 500 до 1800 кэВ с помощью ЭВК ^{207}Bi и непрерывного β -спектра ^{90}Sr . Однако процедура калибровки по этому методу достаточно сложна.

Калибровка мини-апельсина по эффективности в диапазоне энергий 1-2 МэВ нами проводилась с использованием радиоактивных изотопов ^{207}Bi ($T_{1/2} = 31.8$ ч), ^{166}Tm ($T_{1/2} = 7.7$ ч) и ^{152}Tb ($T_{1/2} = 17.5$ ч).

Для этой цели были измерены спектры конверсионных электронов ^{207}Bi с магнитом и без него при расстоянии между источником и детектором 80 мм. ($f=35$ мм и $g=45$ мм) и вычислена эффективность для конверсионных линий K1063, L1063, K1770, L1770. На этом же расстоянии между источником и детектором (при неизменном расположении магнита относительно и источнику и детектору) измерены спектры ЭВК ^{166}Tm и ^{152}Tb с магнитом и определены относительные эффективности как отношения площади пика конверсионных электронов в спектре ^{166}Tm и ^{152}Tb , к относительной интенсивности соответствующих конверсионных линий умноженной на эффективность регистрации детектора. Относительные интенсивности конверсионных линий ^{166}Tm и ^{152}Tb были взяты из работ [9,10]. Ошибка определения относительных интенсивностей наиболее сильных линий ^{166}Tm и ^{152}Tb , подобранных нами составляла от 5 до 10%. Затем значения относительных интенсивностей конверсионных линий ^{166}Tm и ^{152}Tb нормируются к эффективности конверсионных линий ^{207}Bi .

На рис.3 представлена кривая эффективности мини-апельсина в диапазоне энергий 1000-2000 кэВ. Экспериментальные точки

аппроксимировались полиномом четвертой степени. Непрерывная линия на рис.3 представляет кривую аппроксимации.

4 Применение мини-апельсина для определения коэффициентов внутренней конверсии

Коэффициентом внутренней конверсии (КВК) называют отношение интенсивности электронов внутренней конверсии к интенсивности γ -излучений, возникающих при β -распаде атомных ядер. КВК в зависимости от энергии γ -излучений для различных мультипольностей теоретически хорошо рассчитываются и табулированы (например в таблице И.М. Банда и др). Таким образом КВК через мультипольность излучений позволяет определить характеристики ядерных уровней (спин и четность).

Нами выполнены исследования спектра конверсионных электронов при распаде ^{147}Tb ($T_{1/2} = 1.7$ ч) с целью определения спинов и четностей высоковозбужденных состояний, в ^{147}Gd возбуждающихся в этом распаде.

Для изучения области спектра конверсионных электронов выше 1,0 МэВ применялся мини-апельсин [11];

Информация накапливалась по 15 минут в каждом буфере и по истечению одного часа записывалась на жестком диске. Общее время измерений составляло 4 часа. Участок спектра конверсионных электронов от источника ^{147}Tb измеренного с помощью мини-апельсина изображен на рис.4. Для сравнения на этом рисунке сверху показан спектр того же источника измеренный Si(Li)-детектором без магнита на том же расстоянии. Из рисунка видно, что в результате устранения фона от позитронного излучения и увеличения эффективности регистрации электронов появляются слабоинтенсивные пики конверсионных электронов.

Коэффициенты внутренней конверсии для γ -переходов определялись следующим образом. Площадь пиков конверсионных электронов на К-оболочке делили на соответствующие относительные эффективности мини-апельсина и получали относительные интенсивности ЭВК(I_e). Относительные интенсивности γ -квантов (I_γ) взяты из нашей предыдущей работы [12]. Коэффициенты внутренней конверсии ($\alpha_e = I_e/I_\gamma$) γ -квантов, возникающих при распаде ^{147}Tb определялись относительно КВК интенсивного E2 перехода в ^{147}Gd с энергией 1152 кэВ. Теоретические значения КВК вычислялись из табулированных значений КВК [13, 14] с помощью приведенной в работе [15] программы, написанная на языке Basic. Для чистого E2 перехода с энергией 1152 кэВ α_e принят равным 0,00183. Определенные таким образом КВК γ -переходов в ^{147}Gd сравнивались с теоретическими значениями для E1, M1, E2, M2, E3 и подбирались наиболее близкие значения мультипольностей. Определены мультипольности 22 γ -переходов в ^{147}Gd до энергий 2 МэВ.

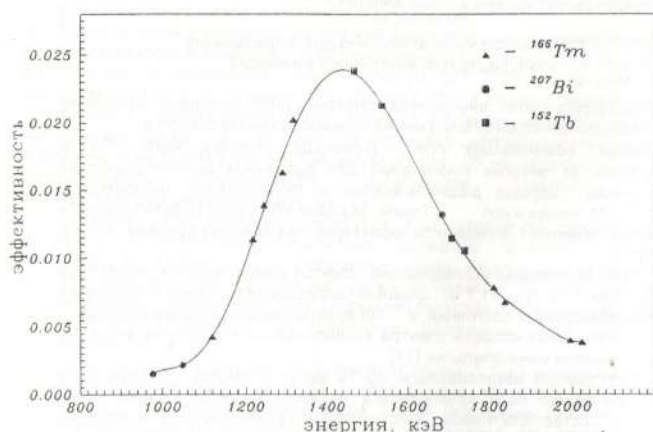


Рис.3 Относительная эффективность мини-апельсина в области энергий электронов 1–2 МэВ (магнит типа 6А, расстояние источник–детектор равно 80мм).

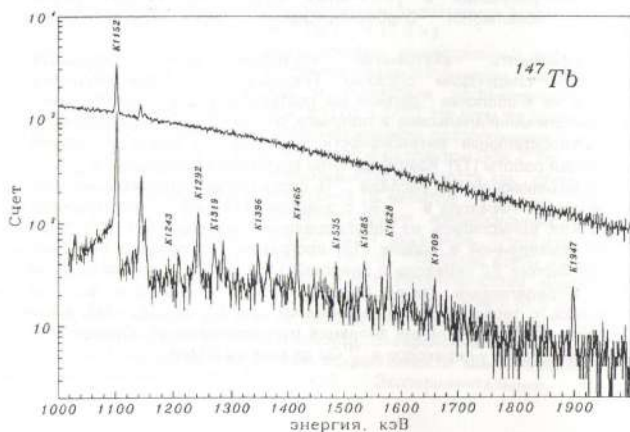


Рис.4 Спектры от источника ^{147}Tb ($T_{1/2}=1.7$ часа), измеренные с помощью $\text{Si}(\text{Li})$ -детектора с магнитом (внизу) и без него (вверху).

Подтверждены известные ранее мультипольности γ -переходов в области до 1 МэВ и установлены впервые мультипольности 12 γ -переходов.

Определение мультипольностей γ -переходов позволило приписывать спины и четности к 10 высоковозбужденным состояниям в ^{147}Gd [16].

Применение мини-апельсина для измерения спектров долгоживущих изотопов позволяло нам выявить слабоинтенсивные переходы и дополнить схему распада нейтронодефицитных изотопов [17].

Настоящая установка была использована для β - x совпадений при изучении α -распада ^{225}Ac ($T_{1/2}=10$ дн.) и для измерения КВК для переходов 1579 и 2165 кэВ в ^{146}Tb ($T_{1/2}=23$ сек и 8 сек) с целью отработки методики "on-line" эксперимента [18] а также в экспериментах [19] по наблюдению высокоспинового (37/2) изомера ^{177}Hf , возникающего в реакции $^{176}\text{Hf}(\gamma, n)^{177}\text{Hf}$ ($T_{1/2}=51$ мин).

5. Краткое заключение

Магнитный β -спектрометр типа мини-апельсин может быть успешно применен для измерения интенсивностей слабых линий ЭВК изотопов, испытывающих позитронный распад, для изучения спектров совпадений с линиями ЭВК, а также для поиска и изучения ЕО-переходов и возможно для поиска моноэнергетических позитронов.

Abstract

J. Sereeter

Application of a mini-orange β -spectrometry for spectroscopy's measurements

The mini-orange magnetic spectrometry system for the measurement of conversion electron spectra and $e\gamma$ -coincidences has been described. Mini-orange spectrometer efficiency for two types of magnets determined at distances 40 and 80 mm between the source and detector. The efficiency increase and the effect elimination of the continuous background which connected with the positron radiation have been demonstrated using the mini-orange on the ^{147}Tb ($T_{1/2}=1.7\text{h}$) conversion electron spectrum in the energy range 1-2 MeV. The possible other applications of the mini-orange spectrometry system are discussed.

Список литературы

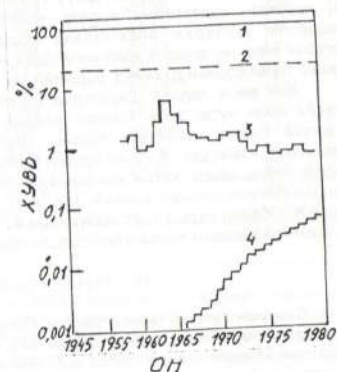
1. J. Van Klinken and K. Washak. Nucl. Instr. Meth., (1972), 1
2. J. Van Klinken, S. J. Feenstra and G. Dumont. Nucl. Instr. Meth., 151(1978), 433.
3. Я. Гуяш, Т. Фенеш и др. ПТЭ, 1984, N3, с. 53
4. Ж. Сэрээтэр и др. в кн: Ядерная спектроскопии и структура атомная ядра, Тезисы докладов, Санкт-Петербург 1994, с. 340
5. В. И. Фоминых и др. Препринт ОИЯИ, P13-94-394, Дубна, 1994
6. D. Dresel, Th. Welze and R. Peckhaus. Nucl. Instr. Meth., A275(1989), 201
7. W. H. Trzaska. Recommended data on selected γ -ray and conversion electron calibration sources. Nucl. Instr. Meth. A297(1990), 223
8. K. K. Farzin et al. Nucl. Instr. Meth., A240(1985), 329
9. И. Адам и др. Препринт ОИЯИ, P6-9316, Дубна, 1975
10. D. R. Zulnowski et al. Nucl. Phys., Meth., A177(1971), 513.
11. Ж. Сэрээтэр и др. Сообщение ОИЯИ. P13-94-264, Дубна, 1994
12. Я. Ваврышук и др. Сообщение ОИЯИ. P6-93-275, Дубна, 1993
13. F. Rosel et al. Atom data & Nucl. data Tables 21. (1978), 91
14. I. M. Band et al. Atom data & Nucl. data Tables 18. (1976), 433.
15. J. Kantele. Nucl. Instr. Meth., A275(1989), 149
16. J. Wawryszczuk et al. JINR Preprint E8-95-514, Дубна, 1995
17. П. Н. Усманов и др. Препринт ОИЯИ, P6-94-265, Дубна, 1994
18. К. Я. Громов и др. Сообщение ОИЯИ (в печать)
19. Ю. Ц. Оганесян и др. Избранные вопросы структуры ядра. 4-ая Международная конференция, Дубна, 1994 Сборник аннотаций, с. 80

МОНГОЛ УЛСЫН АЙМАГ, ХОТУУДЫН ХҮН АМЫН ЦАЦРАГИЙН ГАДААД ШАРАЛТЫН ТУН

Д. Шагжамба, Ж. Ганзориг, Б. Далхсүрэн

Олон Улсын Радиологийн хамгаалалтын Комисс (ОУРХК) ионжуулагч цацрагийн биологийн үйлчлэлийн үр дагавар илрэхэд цацрагийн тунгийн доод хязгаар байхгүй ба нөлөөлөл нь шингээгдсэн тунгаас шууд хамааралтай байна гэсэн шинэ номлолыг баримтлах болсноос [1] байгалийн цацрагийн үндсэн үүсгүүрүүдээс хүн амын авах шаралтыг судлах асуудалд дэлхий нийтээр ихээхэн анхаарал тавих болсон юм. Хүн амын хувьд цацрагийн шаралтын үндсэн эх үүсвэр нь байгалийн болоод эмнэлгийн үүсгүүрүүд байдаг. Бусад үүсгүүрийн хувьд нийлбэр тунд оруулах хувь нь мэдэгдэхүйц бага байдгийг дараах харьцуулсан зургаас харж болно [2]

Зураг 1 Байгалийн цацрагийн үүсгүүрийн шаралтын тунтай харьцангуйгаар бусад үүсгүүрүүдийн өгөх тунгийн хэмжээ
 1. Байгалийн үүсгүүрүүдээс (байгалийн үүсгүүрийн тунг 100% гэж авсан).
 2. Эмнэлгийн шаралтаас
 3. Цөмийн туршилтаар үүссэн цацраг идэвхт тунадаснаас
 4. Цөмийн төхөөрөмжүүдийн ажиллагаанаас



Үүнээс үзвэл хүн амын шаралтын тунгийн дийлэнх хувийг байгалийн үүсгүүрийн өгөх тун эзэлж байна. Байгалийн үүсгүүрийн гадаад шаралтаар бий болох шаралтын тунгийн хэмжээ нь тухайн орон нутгийн байрлах өндөр, орших газар зүйн өргөрөг хэрсэнд агуулагдсан байгалийн цацраг идэвхт элементүүд (БЦЭ)-ийн хэмжээ зэргээс хамаарахын зэрэгцээ хүн амын оршин суух орон сууц, ажлын байр, тэдгээрийг барьсан материал, хийц зохион байгуулалтаас хамаардаг. Ийм ч учраас энэ чиглэлээр хийгддэг судалгааны үндсэн зорилго бол энэхүү шаралтын хэмжээг зохистойгоор