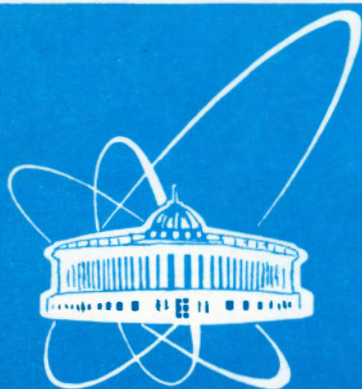


94-272



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P6-94-272

Г.В.Веселов¹, К.Я.Громов, А.Потемпа²,
Я.Потемпа³, В.А.Сергиенко¹,
В.И.Фоминых, М.Б.Юлдашев

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ РАСПАДА
КОРОТКОЖИВУЩИХ НУКЛИДОВ
В «ON-LINE» ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Направлено в «Известия РАН, сер. физическая»

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² ИЯФ, Краков

³ АГФ, Краков

1994

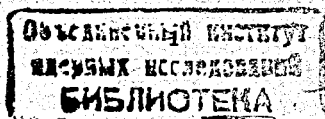
1. Введение

Цель данной работы состояла в том, чтобы выбрать и применить методику для определения энергии распада изотопов, удаленных от полосы бета-стабильности на экспериментальном комплексе ЯСНАПП-2 в ОИЯИ [1]. Изучение свойств нуклидов в этой области имеет свою специфику. Это большие энергии распада - до 10 МэВ, малые сечения образования их в реакциях и периоды полураспада меньше нескольких минут. Такие особенности требуют для их исследования соответствующей методики. Авторами была выбрана методика, основанная на использовании β -детектора из сверхчистого германия. Такой выбор был сделан по следующим причинам: Ge(Np)-детектор обладает высокой эффективностью регистрации β -частиц в широком диапазоне энергий и необходимым энергетическим разрешением. Чувствительность к γ -излучению дает возможность точной калибровки детектора по энергии. Кроме этого, такой спектрометр компактен, удобен в эксплуатации, и на его создание не требуется больших материальных затрат. Разработка этой методики была начата при участии авторов настоящей работы в СПб ИЯФ [2].

Функция отклика Ge(Np) - детектора

Функцией отклика детектора называем спектр, полученный при регистрации моноэнергетических позитронов с энергией E_0 . Строгий подход к вопросу восстановления первичной формы спектра требует определения функции отклика в измеряемом диапазоне энергий.

Определение функции отклика детектора является довольно сложной задачей, ввиду того, что необходим источник моноэнергетических β -частиц с энергией до 10 МэВ. Экспериментально функция отклика для такого типа детектора исследовалась на спектрометре конверсионных электронов в Гренобле, при энергии электронов $1.5 + 8$ МэВ [3]. Показано, что функция отклика для β -частиц с энергией E_0 состоит из основного пика А (рис.1), по форме близкого к гауссовой, и плоского хвоста В в области меньших энергий. Такое распределение вызвано боковым и обратным рассеянием частиц и пролетом их через детектор. Если энергия E_0 больше ~ 4 МэВ,



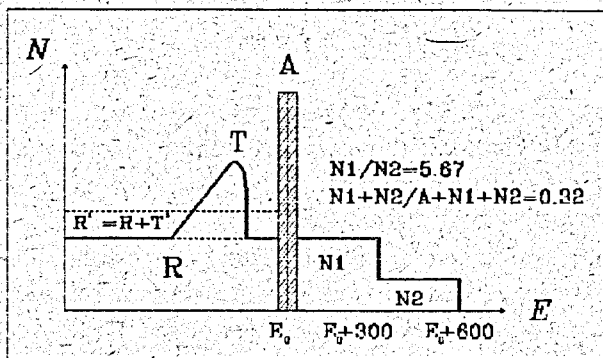


Рис 1. Вид функции отклика Ge(Np) - детектора для позитронов с энергией E_0 .

то заметная часть электронов начинает испускать тормозное излучение с энергией, достаточной для того, чтобы кванты могли вылететь из детектора. Это проявляется в функции отклика детектора в виде дополнительного пика Т, левее основного. Если измеряется позитронный спектр, то наблюдается дополнительный эффект: сложение в детекторе ионизационных потерь энергии позитрона и аннигиляционного излучения [4]. Это приводит к тому, что спектр позитронов сдвигается в более жесткую область, а функция отклика принимает следующий вид: справа от основного пика добавляются две ступеньки N_1 и N_2 . Следует заметить, что использование функции отклика сложного вида не дает заметного преимущества, так как эта функция применяется к большому числу каналов в спектре и происходит усреднение ее тонкой структуры. Поскольку при анализе β -спектров цена канала составляет 20-40 кэВ, что сравнимо с энергетическим разрешением детектора, то гауссовой формой основного пика можно пренебречь. Поэтому мы выбрали упрощенную форму функции отклика. Это позволило, при исправлении измеренного β -спектра, использовать простые математические методы и избежать решения уравнения Фредгольма 2-го рода, что в нашем случае является достаточно сложной задачей.

Программа обработки

Измеренный спектр включает в себя две составляющие: идеальный спектр (соответствующий части А функции отклика) и искаженный (связанный с частями N_1 , N_2 и R' функции отклика).

В нулевом приближении принимаем измеренный спектр как идеальный и, используя части N_1 , N_2 и R' функции отклика, формируем из него деформированную составляющую. После соответствующей нормировки, эту составляющую вычитаем из первоначального спектра и получаем его неискаженную составляющую.

Так как сама функция отклика не вполне корректна (не учитывает правильно энергетическое распределение тормозного излучения позитронов) и сама процедура обработки использует только первое приближение, всю предлагаемую методику, необходимо было тщательно проверить на известных позитронных источниках.

Для подгонки параметров функции отклика были измерены позитронные спектры изотопов ^{62}Cu , ^{66}Ga и ^{143}Sm , граничные энергии которых измерены магнитными спектрометрами и известны с хорошей точностью. В качестве параметров использовались отношение площадей основного пика А и ступенек N_1 , N_2 и их длина. Площадь ступенек не меняется в зависимости от энергии. Это объясняется тем, что аннигиляционные γ -кванты разлетаются под углом 180° и поэтому ионизационные потери в детекторе мало зависят от места аннигиляции. Отношение R'/A принято таким, как и в работе [4]. Вид функции отклика и результаты подгонки представлены на рис.1, функция не учитывает тормозное излучение β -частиц. Этот эффект можно частично компенсировать величиной хвоста R. После коррекции измеренного β -спектра строился график Ферми-Кюри, по методу наименьших квадратов проводилась прямая линия и определялась граничная энергия спектра. В качестве примера на рис.2 приведен позитронный спектр в шкале $\text{SQRT}(N)$ (А) и его график Ферми-Кюри (В). При построении графика Ферми-Кюри для правильного выбора энергетического диапазона обработки необходимо учитывать схему распада исследуемого изотопа. Если β -распад идет на возбужденное состояние ядра, то возможно суммирование энергии позитронов и γ -квантов, которые образуются при разрядке этого состояния. Этот эффект может привести к появлению дополнительного хвоста в жесткой части β -спектра. Чтобы оценить вероятность такого суммирования, нами были измерены одиночные β -спектры и спектры (β - γ)-совпадений изотопов ^{44}Sc и ^{24}Na (рис.3). Результаты обработки, представленные в таблице 1, показывают, что величина этого эффекта незначительна. Погрешность в определении граничной энергии β -спектра состоит из

143

YASNAPP 7.8 Juni 1992 UMCS - Beta(+) Spectrum (HpGe)
 Ip=0.4mkA; Tp=Ti=50. s; Pause=21. m; Tm=6. m; Source=2
 T11=300.32; Compr 1:20; I=4000 i/s; (143-5)

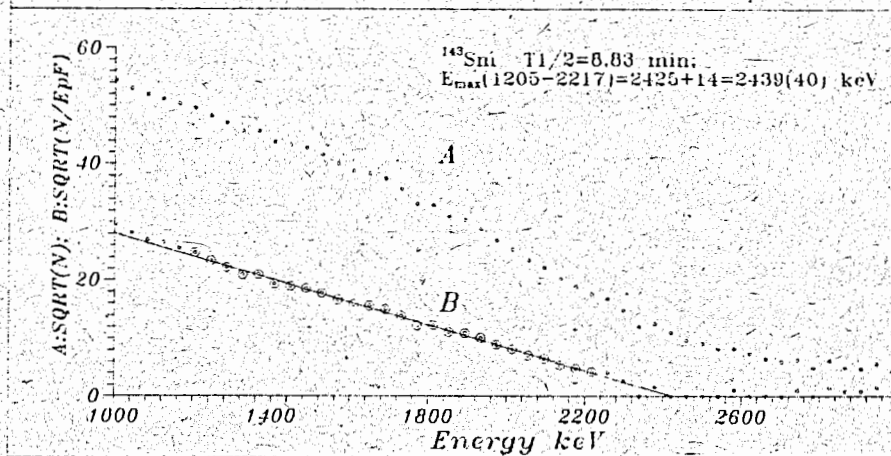


Рис 2. А - позитронный спектр ^{143}Sm ; В - график Ферми-Кюри.

 ^{24}Na

YASNAPP 09.04.94, Beta(+)-spectrum (HpGe 2cc)
 $T_m = 1$ h; $I = 4700$ i/s; (Na-24)

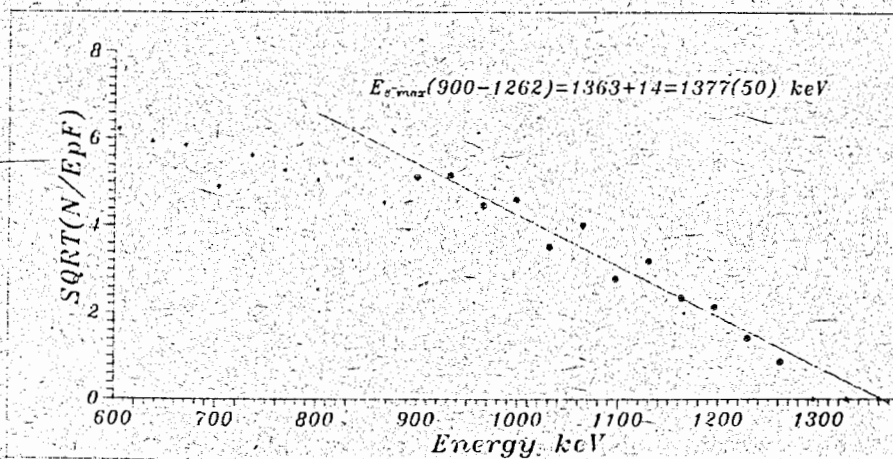


Рис 3. График ферми-Кюри спектра электронов ^{24}Na , измеренного в совпадении с гамма-квантами с энергией 2753.9 кэВ

погрешности, вносимой функцией отклика ~ 20 кэВ, статистической ошибки и погрешности энергетической калибровки < 5 кэВ.

Таблица

Изотоп	$E_{\beta, \text{max}}$, кэВ	
	наст. раб.	литерат. [8]
^{24}Na	1377(50)	1390.8(6)
^{44}Sc	1475(30)	1475.5(20)
^{62}Cu	2933(30)	2927(5)
^{66}Ga	4154(50)	4153(3)
^{143}Sm	2439(40)	2421(11)

Результаты контрольных измерений

Для тестирования функции отклика нами были измерены позитронные спектры 15-ти изотопов, у которых достаточно точно известны значения граничных энергий. Измерения проводились на экспериментальном комплексе ЯСНАПП-2, работающем в линию с фазотроном ОИЯИ. Для получения нейтронодефицитных ядер исследуемых изотопов использовалась вольфрамовая мишень, облучаемая протонами с энергией 660 МэВ. Ионы, образовавшиеся в мишени нуклидов, после масс-сепаратора высаживались на Al диск, который через устройство типа монетного автомата, попадал к детекторам. Одновременно измерялись γ и рентгеновские спектры, которые использовались для идентификации полученных изотопов. Используемый Ge(Hp) β -детектор имеет следующие характеристики: диаметр-16мм, толщина-9мм, входное окно из титана 12мг/см². Энергетическое разрешение детектора для электронов с K662 ^{137}Cs , K1063 кэВ ^{207}Bi и K2100 ^{146}Tb измерено равным 15 кэВ, а потери во входном окне и мертвом слое детектора составили 14 кэВ. Для калибровки β -детектора по энергии была специально изготовлена мишень из мелкодисперсного порошка Se толщиной 17 мг/см², помещенная в пакет из тонкой майларовой пленки. В порошок был добавлен ^{207}Bi для определения потери энергии β -частиц в мишени, которая составила 30 кэВ. Перед началом эксперимента мишень помещалась в конверт из Al и ставилась на облучение. В результате реакции с пучком протонов мы получали два γ -источника. Для калибровки использовался ^{24}Na , образованный в фольге из Al и

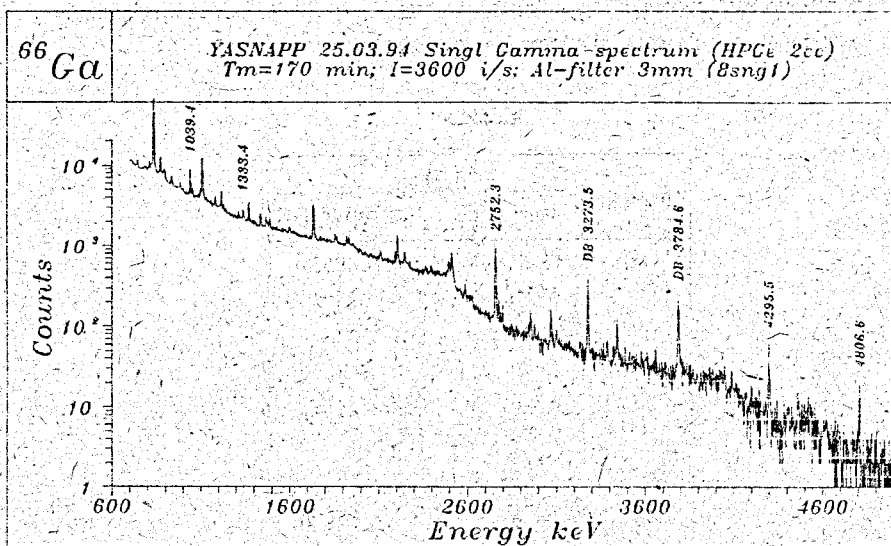


Рис. 4. Спектр гамма-лучей ^{66}Ga , измеренный Ge(Hp) - детектором.

^{66}Ga (рис. 4), накопившийся в мишени из Se. Калибровка проводилась периодически в процессе измерения. В эксперименте использовалась спектрометрическая аппаратура фирмы ORTEC [5]. Применение режктора наложений позволило поддерживать загрузку по β -частицам

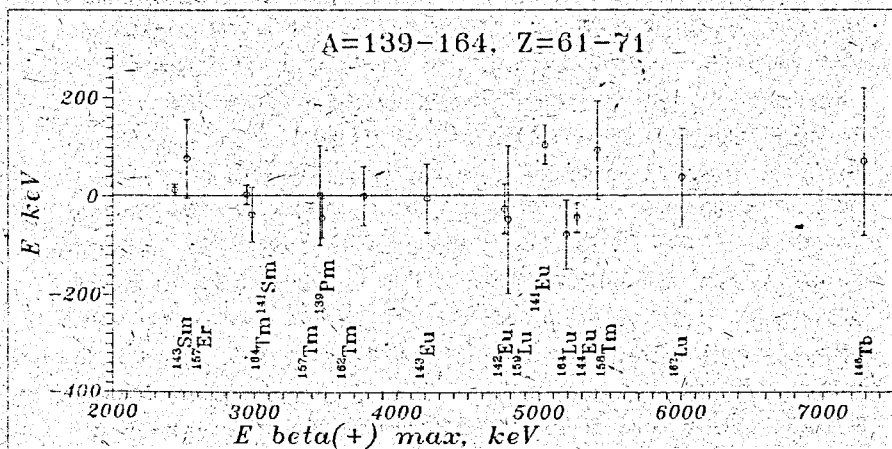


Рис. 5. Сравнение полученных значений граничных энергий с ранее известными экспериментальными величинами.

до 5000 имп/сек без заметного эффекта случайного суммирования импульсов. На рис. 5 представлены разности между значениями граничных энергий, измеренных нами и другими авторами. Как видно из рисунка, в диапазоне граничных энергий от 2 до 7 МэВ наблюдается хорошее согласие.

Ограничения применения методики

1. Нельзя определить параметры β компонента, если в диапазоне энергии, который мы используем в графике ферми для определения $E_{\beta \text{ max}}$ или выше по энергии, существуют γ -переходы с суммарной интенсивностью, сравнимой с интенсивностью определяемого компонента β -спектра. Необходимо сохранять условие $\sum I_{\gamma} \leq 10\% I_{\beta}$. Это условие связано с эффективностью регистрации γ -квантов детектором.

2. Если вблизи обрабатываемого участка β -спектра проявляются интенсивные γ -линии, то возникают методические искажения спектра в диапазоне энергий от E_{γ} до $E_{\gamma} + 600 \text{ кэВ}$.

3. Методика не проверялась для энергий позитронов больше 7.5 МэВ. Поэтому при $E_{\beta} > 7.5 \text{ МэВ}$ могут возникнуть осложнения в её применении из-за значительного вклада в функцию отклика эффекта тормозного излучения позитронов.

4. Для использования методики нужны некоторые данные о схеме распада (вероятности заселения позитронами основного и возбуждённых состояний).

Заключение

Представленная в работе методика измерения β -спектров хорошо подходит к "on-line" измерениям короткоживущих изотопов. Простота применения, компактный детектор, несложная и точная энергетическая калибровка, быстрая обработка и удовлетворяющая точность измерений (до 30кэВ) позволили получить ряд новых результатов, опубликованных в работах [6, 7].

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 94-02-048428а) и фирмы "Мосбизнес".

Литература.

1. Kalinnikov V.G. et al., NIM B 70(1992) p.62-68.
2. Н.Ганбаатор и др. Препринт ЛЯФ № 1082, 1985.
3. R.Decker et al., NIM, 192, (1982); p.261.
4. D.M.Rehfield and R.B.Moore, NIM, 157, (1978), p.365.
5. Instruments for Research and Applied Sciences, E686, ORTEC, 1985, Catalog.
6. Веселов Г.В. и др. Изв.РАН, 1994.
7. Веселов Г.В. и др. Препринт ОИЯИ, P6-93-386.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 июля 1994 года.

Веселов Г.В. и др.

P6-94-272

Метод определения энергии распада
короткоживущих нуклидов в «on-line» экспериментах

Описана методика измерения граничных энергий позитронных спектров при помощи Ge(Hp)-детектора. Эта методика использована для определения энергии распада 25 изотопов редкоземельных элементов. Показано, что разработанный метод учета искажений в позитронном спектре, вносимых эффектами обратного и бокового рассеяния частиц, тормозного излучения и суммирования энергии позитронов и аннигиляционного излучения в детекторе, позволяет уменьшить методическую погрешность в определении граничной энергии позитронных спектров до 30 кэВ, что, как правило, достаточно для сравнений с теоретическими расчетами (массовые формулы, схемы распада).

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1994

Перевод авторов

Veselov G.V. et al.

P6-94-272

The Method of Decay Energy Determination
for Short-Lived Nuclei in On-Line Experiments

The method of measurements of endpoint energies of positron spectra by using Ge(Hp)-detector is described. The method has been applied to measure the decay energies of 25 isotopes of rare earths elements. Taking into account effects of the positron back and side scattering, bremsstrahlung and energy summing of positron and AR (annihilation radiation) pulses allowed to decrease the systematic error of positron endpoint energy determinations up to 30 keV. That is, as a rule, enough for comparisons with mass formulae and for analyzing nuclear decay properties.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1994