

О феномене осциллирующего распада изомера ^{125m}Te

А. А. Опаленко¹⁾, В. И. Высоцкий*, А. А. Корнилова

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
119899 Москва, Россия

* Киевский университет им Т. Шевченко,
01033 Киев, Украина

Поступила в редакцию 23 июня 2003 г.

После переработки 2 февраля 2004 г.

Измерена кривая радиоактивного (p/a) распада ядра ^{125m}Te в окружении стабильных ядер ^{125}Te , представляющих собой резонансный мессбауэровский экран. Тщательное исследование показало, что распад ядра ^{125m}Te соответствует обычному экспоненциальному закону с периодом полураспада $T_{1/2} \approx 58$ дней, без осцилляции.

PACS: 23.20.Lv, 29.30.Kv, 76.80.+y

Проблема управления спонтанным распадом возбужденных и радиоактивных ядер является одной из наиболее интересных в фундаментальной и прикладной ядерной физике. Одним из самых перспективных методов такого управления спонтанным распадом является использование системы идентичных ядер, находящихся в основном состоянии (мессбауэровского резонансного экрана).

По-видимому, впервые вопрос о прямом влиянии резонансного экрана на скорость спонтанного распада γ -радиоактивных ядер и качественная теория такого влияния (за счет изменения спектра мод электромагнитного вакуума, окружающего возбужденные ядра) был рассмотрен в 1984 г. в работе [1]. В качестве примера в работе [1] был проведен анализ возможности управления временем жизни ядер ^{119m}Sn с помощью резонансного экрана из невозбужденного изотопа ^{119}Sn . В работе [2] была опубликована теория влияния произвольной системы невозбужденных атомов и ядер на характеристики спонтанного γ -распада. Авторами проведены также и эксперименты по управлению параметрами ядерного распада изотопов ^{57}Fe и ^{119}Sn с помощью резонансного экрана [3, 4]. Было обнаружено, что наличие резонансного экрана приводит к изменению общего времени жизни мессбауэровских уровней этих ядер на (0.5–2)%.

Из других экспериментальных результатов в этом направлении можно отметить работы [5] и [6, 7]. В работе [5] наблюдалось возрастание скорости p/a -распада примесных атомов ^{123m}Te в матрице MgO при понижении температуры от 295 до 80 К за счет возрастания фактора Мессбауэра: $\Delta\lambda/\lambda = 0.01$.

В работе [6] наблюдалось замедление скорости распада изомера ^{119m}Sn , являющегося родительским ядром для мессбауэровского уровня с энергией 23.8 кэВ, при наличии внутреннего экрана до величины $\Delta\lambda/\lambda = -(0.11 - 0.32)\%$ [6]. В работе [7] обнаружен неэкспоненциальный (осциллирующий) характер кривых p/a -распада изомера ^{119m}Sn и ядра ^{125}Sb , являющегося родительским ядром для мессбауэровского уровня ^{125m}Te с энергией 35.6 кэВ.

С учетом того, что в работе [7] процесс аномального спонтанного распада исследовался на мессбауэровском переходе ядра ^{125m}Te с энергией $E_\gamma = 35.6$ кэВ, целесообразно было исследовать не полный распад материнского ядра $^{125}\text{Sb} \rightarrow ^{125m}\text{Te} \rightarrow ^{125}\text{Te}$ (имеющий период полураспада $T_{1/2} = 2.7$ года), а только переход $^{125m}\text{Te} \rightarrow ^{125}\text{Te}$, для которого $T_{1/2} = 58$ дней.

Исследуемый источник представлял собой порошок теллулата магния и был изготовлен из теллура, обогащенного до 85% стабильным изотопом ^{124}Te . Активация источника до 10 мКи (что соответствует наличию 10^{15} ядер ^{125m}Te) производилась в реакторе тепловыми нейтронами. Однако после процесса обогащения сырья изотопом ^{124}Te в сырье оставалось около 9% изотопа Te , что соответствовало наличию в источнике 10^{20} ядер ^{125}Te в форме теллулата магния. Из этих оценок следует, что на каждое ядро ^{125m}Te приходилось около 10^5 ядер ^{125}Te . Это соотношение удовлетворяет условию внутреннего “активного экрана” [6].

Спектр излучения изотопа ^{125m}Te , полученный на сцинтилляционном детекторе с тонким кристаллом NaJ(Tl) , представлен на рис.1а. Большой пик соответствует наложению нескольких линий излучения теллура: рентгеновского излучения (линия K_α

¹⁾e-mail: tellur125@mail.ru

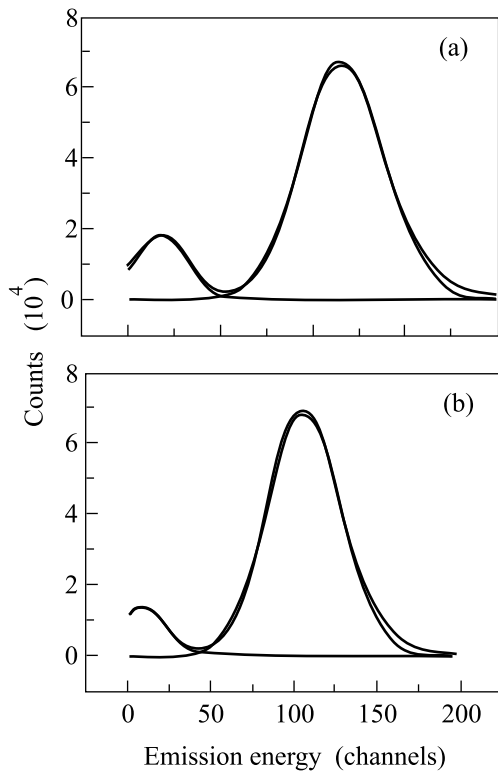


Рис.1. Спектр излучения изомера ^{125m}Te : (а) – в стабильном режиме, (б) – в условиях нестабильности

с энергией 27.4 кэВ, линия K_β с энергией 31.2 кэВ) и γ -излучения мессбауэровского перехода с энергией $E_\gamma = 35.6$ кэВ. Малый пик является характерным “пиком вылета” (escape peak) для γ -излучения с энергией 35.6 кэВ, полученным по механизму вылета характеристического излучения K_α иода за пределы сцинтиллятора при поглощении γ -квантов: $E_{\text{esc}} = E_\gamma - E_{K_\alpha} = 7$ кэВ. Отношение интенсивностей этих двух пиков обусловлено высоким значением коэффициента внутренней конверсии ($N_e/N_\gamma = 300$) для изомерного уровня ^{125m}Te .

Производилось разложение полного амплитудного спектра на два гауссовых пика: N_x и N_γ . Временная зависимость интенсивности пика N_x представлена на рис.2. На этом рисунке верхняя кривая соответствовала предельно простой схеме эксперимента: источник – детектор. Нижняя кривая характеризовала изменение интенсивности N_x при наличии на поверхности источника дополнительно резонансного поглотителя из теллулата магния, то есть соответствовала видоизмененной схеме эксперимента: источник – резонансный поглотитель – детектор. Присутствие дополнительно резонансного поглотителя должно было сделать схему более идеальной – поглотитель должен был компенсировать недостаточность “внутреннего

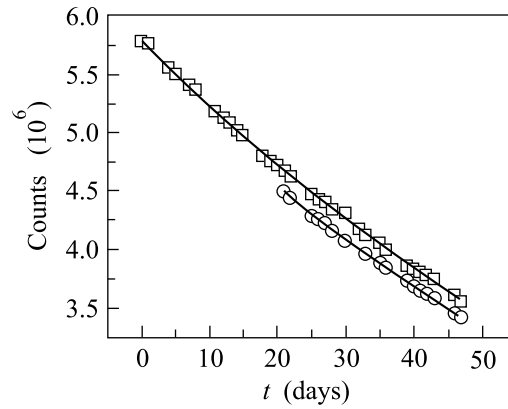
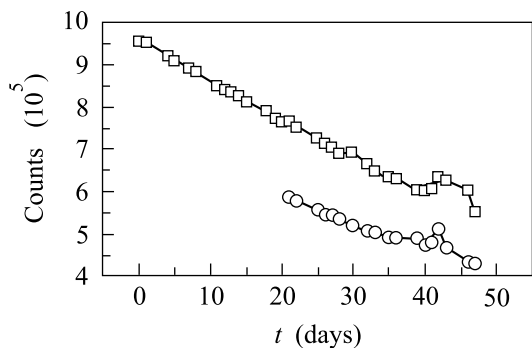


Рис.2. Кривая распада: x -пик

экрана” для ядер, лежащих на поверхности источника.

Из приведенных данных следует, что обе кривые изменяются одинаково и соответствуют экспоненциальному распаду с характерным для изотопа ^{125m}Te периодом полураспада ~ 58 дней. Видно, что наличие дополнительного резонансного экрана для поверхностных ядер не влияет (в пределах точности эксперимента) на характер распада. Для обеих кривых распад строго монотонный и без осцилляции. Определить точное значение периода полураспада в нашем эксперименте не представляется возможным, так как определяется суммарная интенсивность рентгеновского излучения теллура, а в нашем источнике возможно присутствие p/a -изотопов ^{127}Te , ^{129m}Te и ^{131}Te . Дело в том, что теллур, используемый для облучения, содержит (по паспорту) изотопы: ^{124}Te – 85.4%, ^{125}Te – 9.6%, ^{126}Te – 2.9%, ^{128}Te – 1%, ^{130}Te – 1%. ^{127}Te может давать вклад в пик N_x с периодом полураспада 109 дней. Изотоп ^{129m}Te с периодом полураспада 34 дня дает вклад в N_x за счет своего рентгеновского излучения и неразрешенного от него γ -излучения с энергией 27.8 кэВ. Однако вклад этих изотопов довольно мал: сечение активации ^{124}Te тепловыми нейтронами $\sigma_n = 7$ бн, тогда как для ^{126}Te оно равно 1 бн, для ^{128}Te – 0.2 бн, для ^{130}Te – 0.02 бн.

Зависимость интенсивности пика N_γ представлена на рис.3. Здесь в течение первых 40 дней характер зависимости был монотонным, а затем на обеих кривых появились загадочные “осцилляции”. Объяснение этой “осцилляции” оказалось предельно простым: оба пика в эти дни произвольно смещались относительно своего первоначального положения (см. рис.1б). Эти смещения были вызваны нестабильностью тракта регистрации, что является следствием изменения температуры окружающей среды, флук-

Рис.3. Кривая распада: γ -пик

туациями питающего напряжения, старением электроники в системе регистрации и других факторов.

В результате левый пик, который непосредственно примыкает к левой границе регистрации, оказывается очень чувствительным к флуктуациям: небольшие изменения его положения ведут к значительным изменениям площади пика (при смещении влево он выходит за пределы окна дискриминатора, что приводит к уменьшению интенсивности, а при смещении вправо начинает регистрироваться та часть пика, которая соответствовала области шумов, что приводит к увеличению интенсивности). В итоге эти изменения воспринимаются как изменения скорости спонтанного распада, хотя к этому они не имеют никакого отношения.

В противовес этому, изменения положения пика N_x никак не влияют на измерение его интенсивности, так как регистрируется вся площадь гауссового пика, находящегося вдали как от левого, так и от правого края регистрации и, вдобавок, хорошо разрешенного от соседнего пика.

Отсюда следует однозначный вывод – все наблюдаемые “осцилляции” на кривой спонтанного распада ядра ^{125m}Te являются просто ошибками методики измерений! Другой вывод из нашей работы: делать какие-либо заключения об изменении скорости p/a -распада изомера ^{125m}Te по регистрации рентгеновского пика нет оснований. Для этого надо регистрировать гамма-кванты с энергией 35.6 кэВ, что возможно только с помощью полупроводникового детектора. Мы в этой работе ставили задачу исследовать форму кривых радиоактивного распада.

В работе [7] использовалась мессбауэровская методика измерения – узкое окно дискриминатора и развертка по каналам анализатора. Эта методика вполне подходит для получения мессбауэровских спектров, где абсолютная интенсивность не играет существенной роли. В то же время для измерения абсолютной интенсивности (и измерения динамики спонтанного распада) следует использовать либо спектрометрический тракт со стабилизацией положения пика, либо регистрировать весь спектр и обрабатывать только хорошо разрешенные пики.

1. В. И. Высоцкий, В. И. Воронцов, Р. Н. Кузьмин, Письма в ЖТФ **10**, 300 (1984).
2. V. I. Vysotskii, Physical Review **C58**, 337 (1998).
3. V. I. Vysotskii, V. P. Bugrov, A. A. Kornilova et al., Hyperfine Interactions **107**, 277 (1997).
4. V. I. Vysotskii, A. A. Kornilova, A. A. Sorokin et al., Laser Physics **11**, 442 (2001).
5. В. Ф. Мастеров, С. И. Бондаревский, В. В. Еремин и др., ФТТ **40**, 1832 (1998).
6. S. K. Godovikov, Laser Physics **10**, 1293 (2000).
7. С. К. Годовиков, Письма в ЖЭТФ **75**, 595 (2002).