

П И С Ь М А
В ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

ОСНОВАН В 1965 ГОДУ
 ВЫХОДИТ 24 РАЗА В ГОД

ТОМ 68, ВЫПУСК 8
 25 ОКТЯБРЯ, 1998

Письма в ЖЭТФ, том 68, вып.8, стр.599 - 603

© 1998г. 25 октября

ТОРМОЖЕНИЕ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА ИЗОМЕРА ^{119m}Sn
ПОСРЕДСТВОМ ОБРАТНОГО МЕССБАУЭРОВСКОГО РАССЕЯНИЯ

С.К.Годовиков

НИИ ядерной физики МГУ им.М.В.Ломоносова
 119899 Москва, Россия

Поступила в редакцию 8 сентября 1998 г.

В рамках исследований по тематике создания пучков когерентного γ -излучения (γ -лазеров) впервые экспериментально найдены условия, при которых возможно существенное изменение константы радиоактивного распада λ (изомерный уровень 89.53 кэВ ^{119m}Sn , $T_{1/2} = 293$ дня) до $\Delta\lambda/\lambda = -(0.114 \pm 0.027)$. Такую возможность предоставляет явление когерентного обратного мессбауэровского (23.87 кэВ) рассеяния от близко расположенного резонансного экрана. Предложена интерпретация обнаруженного эффекта на основе представлений о динамической синхронизации колебаний типа "ядерный уровень – стоячая волна мессбауэровского излучения". Найдены возможности дальнейшего увеличения $\Delta\lambda/\lambda$ вплоть до величины 0.5.

PACS: 21.10.Tg, 23.20.Lv, 76.80.+y

Многочисленные, но пока безуспешные, попытки поиска путей создания пучков когерентного электромагнитного γ -излучения (γ -лазеров) предпринимаются с начала 60-х годов [1]. Одним из наиболее интересных вариантов γ -лазера считается двухуровневая схема на долгоживущих изомерах типа, например, ^{119m}Sn ($T_{1/2} = 293$ дня). Возбужденное изомерное состояние возникает в данном случае при длительном облучении изотопа ^{118}Sn нейтронами в реакторе. Таким путем можно получить источники с весьма значительной удельной активностью, управление расходом которой и является предметом γ -лазерной физики. Однако со времени открытия законов радиоактивного распада известно, что константа распада λ является абсолютно постоянной величиной, не зависящей для данного изотопа ни от каких внешних воздействий. Попытки повлиять на скорость распада с помощью изменения химического окружения атома изотопа, давления, температуры и т.д. дали значение $\Delta\lambda/\lambda \sim 10^{-4} - 10^{-3}$ и не более этого. Отдельные рекордные ($\sim 10^{-2}$) случаи (^{235m}U , $E = 76$ эВ, $T_{1/2} = 26$ мин [2] или ^{90m}Nb , $E = 2.38$ кэВ, $T_{1/2} = 19$ с [3]) наблюдались лишь для низкоэнергетических распадов, обусловленных электронной конверсией,

которые сильно зависят от электронной структуры атома изотопа и матрицы, содержащей его. Общий теоретический подход к проблеме существенного изменения λ в настоящее время отсутствует, так же как нет и экспериментальных путей ее решения. В связи с этим в настоящей работе предпринята попытка повлиять на константу распада уровня 89.53 кэВ ^{119m}Sn с помощью излучения промежуточного мессбауэровского уровня 23.87 кэВ.

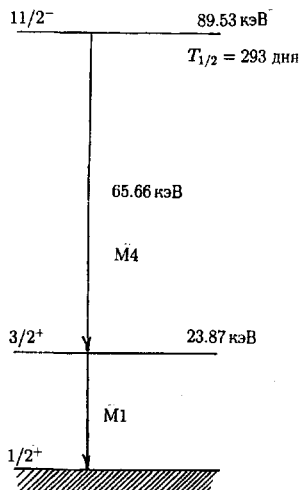


Рис.1 Схема распада ^{119m}Sn

Для проведения эксперимента были использованы два мессбауэровских источника ^{119m}Sn в виде химического соединения CaSnO_3 . Один источник подвергался определенному типу воздействия, а другой использовался как эталон-репер. Активности источников на момент начала экспериментальной серии составляли 5 и 2 Ки, соответственно. В целях настоящей работы путем спекания смеси порошков CaO и $^{119}\text{SnO}_2$ в определенной пропорции был изготовлен "черный" экран-рассеиватель, имеющий вероятность эффекта Мессбауэра $f' = 1$ и содержащий очень много стабильного изотопа. Идея эксперимента состоит в том, чтобы расположить "черный" экран и источник на очень близком расстоянии ($\sim 2\text{мм}$) с тем, чтобы испущенная из источника γ -волна и волна от резонансного экрана-рассеивателя могли бы эффективно взаимодействовать между собой. Большой телесный угол ($\sim 2\pi$) рассеяния на источник, большая вероятность рассеяния и эффекты когерентности могут обеспечить нужную эффективность влияния на ядра ^{119m}Sn , которые находятся в "предраспадном" состоянии. Схема распада ^{119m}Sn приведена на рис.1 [4]. Изомерный уровень 89.53 кэВ чрезвычайно сильно конвертирован ($\alpha \sim 5000$) и далек от мессбауэровского 23.87 кэВ. Можно предположить, что ядро как коллективное образование из нуклонов, где все энергетические уровни взаимосвязаны и взаимообусловлены, отзовется тем или иным образом на предлагаемый тип воздействия.

Расположение экран – источник сохранялось неизменным в течение 6 месяцев, и нарушалось лишь один раз в месяц на ~ 1.5 ч для проведения измерений абсолютной интенсивности излучения линии 23.8 кэВ. При этом экран удалялся и источник крепился в строго определенном месте спектрометрического тракта. В тот же день производились измерения абсолютной интенсивности источника-эталона, который не подвергался никаким воздействиям. Были использованы сцинтилляционный ме-

год регистрации излучения и мультискалярный режим работы анализатора. Первые 6 месяцев исследовательский источник (№1) был соединен с экраном, затем экран был снят и были произведены контрольные измерения источника №1 и эталонного (№2) по той же схеме. Интенсивность эталонного источника изменяется со временем по закону $N_2 = N_{02} \exp(-\lambda t)$, а интенсивность исследовательского источника, в котором предполагается изменение константы распада ($\Delta\lambda$), – по закону $N_1 = N_{01} \exp[-(\lambda + \Delta\lambda)t]$. Отсюда:

$$y = \lg(N_1/N_2) = \lg N_{01} - (\lambda + \Delta\lambda)t - \lg N_{02} + \lambda t = (\lg N_{01} - \lg N_{02}) - \Delta\lambda t. \quad (1)$$

В случае $\Delta\lambda = 0$, $y = \text{const}$, а при $\Delta\lambda \neq 0$ y – прямая линия с коэффициентом наклона $(-\Delta\lambda)$. Результатом измерения является зависимость y от t .

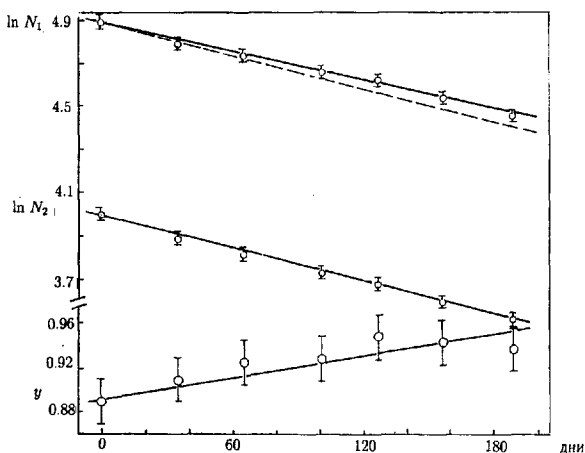


Рис.2 Зависимости $\lg N_1$, $\lg N_2$ и Y от времени для эксперимента с экраном, N – скорость счета на 1 канал, $T = 293$ К, штриховая линия – параллельна $\lg N_2$

Результаты обработки представлены на рис. 2 (серия с экраном) и рис. 3 (контрольная серия). Отчетливо видно, что прямые $\lg N_1$ и $\lg N_2$ в функции t на рис.2 не параллельны, а зависимость y от t на рис.2 существенно отлична от $y = \text{const}$. В то же время, прямые $\lg N_1$ и $\lg N_2$ на рис.3 вполне параллельны, а их разность соответствует $y = \text{const}$.

Численные результаты обработки таковы:

$$\Delta\lambda = -(27 \pm 6) \cdot 10^{-5} \text{ 1/день} \quad \text{для эксперимента с экраном,}$$

$$\Delta\lambda = -(3 \pm 5) \cdot 10^{-5} \text{ 1/день} \quad \text{для контрольного эксперимента.}$$

Константа распада эталонного источника, определенная по экспериментальным данным за 12 месяцев, составляет $\lambda = (236 \pm 3) \cdot 10^{-5}$ 1/день, то есть $T_{1/2} = 293.6 \pm 3.7$ дня, что соответствует данным рис.1.

Таким образом, для исследовательского источника $\Delta\lambda/\lambda = -(0.114 \pm 0.027)$ и $T_{1/2} = 331.6 \pm 14.3$ дня, то есть период полураспада возрос на ~ 40 дней. В то же время очевидно, что $\Delta\lambda/\lambda = 0$ для контрольной серии экспериментов, что свидетельствует о высокой надежности и стабильности использованной аппаратуры.

С источником №1 был проведен также мессбауэровский опыт, с неудаленным экраном, преследовавший цель изучения влияния обратного рассеяния на ширину

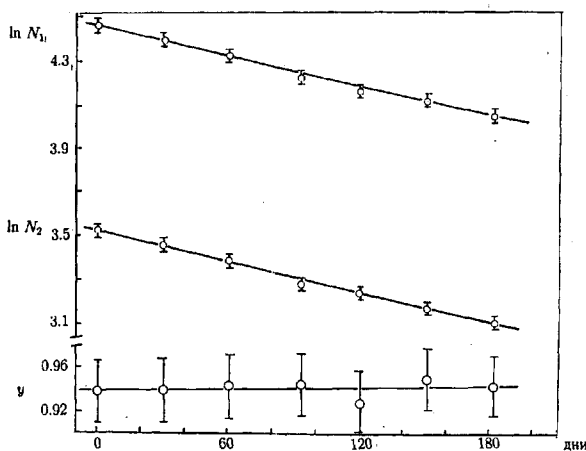


Рис.3 Зависимости $\lg N_1$, $\lg N_2$ и y от времени для контрольного эксперимента

линии испускания уровня 23.8 кэВ. С точностью в 1.5.% ширина линии не изменилась.

Полученное значение $\Delta\lambda/\lambda$ оказалось чрезвычайно большим и отрицательным, то есть наблюдается существенное торможение распада изомерного уровня. Рассмотрим процесс взаимодействия резонансного источника с резонансным экраном. Экран находится на расстоянии 2 мм от источника, время жизни уровня 23.87 кэВ – $1.85 \cdot 10^{-8}$ с, γ -излучение доходит до экрана за $\sim 0.6 \cdot 10^{-11}$ с, то есть ядро ^{119}Sn в экране, которое поглотит γ -квант, начинает переизлучать с задержкой всего в $\sim 1/3000$ от временной длины волнового цуга. Как известно, мессбауэровское рассеяние обладает ярко выраженным свойством когерентности, то есть падающая и рассеянная волны могут интерферировать между собой [5]. В результате, одиночная прямая волна и соответствующая обратная (то есть рассеянная на 180°) образуют в источнике стоячую электромагнитную волну со временем жизни $\sim 10^{-8}$ с. Можно оценить, что источник активностью 5 Ки подвергается действию $\sim 1.5 \cdot 10^{-6}$ стоячих волн в 1 с (при учете телесного угла 2π и коэффициента конверсии уровня 23.87 кэВ $\alpha = 5.5$).

Ядро ^{119m}Sn , находящееся в предраспадном состоянии с энергией возбуждения 89.53 кэВ и осциллирующая на данном ядре пучность стоячей волны образуют систему нелинейно связанных осцилляторов, энергии которых почти кратны друг другу в пределах точности измерений ($89.53/23.87 \sim 4$). В таких условиях вполне возможно проявление эффектов динамической синхронизации частот и фаз колебаний этих осцилляторов. Это означает, что изомерный уровень ядра, само ядро и стоячая волна образуют новую ядерную систему, параметры которой несколько отличаются от параметров исходного ядра ^{119m}Sn . В частности, упорядочение колебаний может привести к повышению устойчивости ядерного уровня, то есть к увеличению времени его жизни, что и наблюдается. Механическим аналогом этого явления служит эффект синхронизации колебаний маятниковых часов, подвешенных на подвижной балке (эффект Гюйгенса) [6], а ядерным аналогом - недавно обнаруженная закономерность, заключающаяся в том, что энергии нескольких низших возбужденных уровней ряда ядер (от Ag до Ba, и ^{119}Sn в том числе) нацело делятся на энергию первого уровня, наинизшего в данном ядре (ядерный эффект Гюйгенса) [7, 8]. Можно указать

и на оптический аналог явления – синхронизацию мод в распределенных системах, когда волны с частотами, близкими к соизмеримым (кратным), синхронизируются по фазам, например, синхронизация мод в лазерах [6]. Исходная кратность частот нашей системы и огромное по внутриядерным временным масштабам ($\sim 10^{-23}$ с) время жизни стоячей волны ($\sim 10^{-8}$ с) благоприятны для достаточного развития процессов синхронизации колебаний типа "ядерный уровень – стоячая волна".

Суммарное время воздействия стоячих волн на нераспавшиеся ядра в источнике (время синхронизации) составляет ~ 0.03 с за секунду, то есть $\sim 3\%$. Если полагать, что эта величина близка к экспериментальному значению $\Delta\lambda/\lambda \sim 11\%$, то следует считать, что вероятность распада данного ядра резко уменьшается ($\Delta\lambda/\lambda \rightarrow -1$) во время его взаимодействия со стоячей волной.

На основе предложенной интерпретации можно сделать ряд предсказаний по явлению торможения распада. В числе их следующие:

1) если увеличить активность исследовательского источника в несколько десятков раз, то время синхронизации может возрасти до $\sim 100\%$. Это приведет в первый момент к резкому уменьшению потока γ -лучей, то есть источник как бы резко уменьшит свою активность. В результате этого время синхронизации уменьшится, а поток γ -лучей возрастет вплоть до исходного значения. Далее процесс повторится, то есть возникнут периодические колебания интенсивности, образуется "пульсирующий" радиоактивный источник;

2) период полураспада для мессбауэровских источников ^{119m}Sn с высокой удельной активностью должен быть больше. Это связано с тем, что в процессе распада высокоактивного источника в нем накапливается много стабильного изотопа ^{119}Sn , который начинает играть роль эффективного экрана. Этот вывод был подвергнут экспериментальной проверке. Для этого был использован источник, изготовленный 10 лет назад, который имел начальную активность ~ 50 мк. На момент эксперимента он содержал 1 радиоактивный атом ^{119m}Sn на ~ 4000 стабильных ^{119}Sn . Измерения обнаружили резкое торможение распада и значение $\Delta\lambda/\lambda \sim 0.5$.

Отсутствие изменений в ширине линии мессбауэровского спектра в режиме эксперимента с неудаленным экраном можно объяснить тем, что излучение 23.87 кэВ возникает после распада уровня 89.53 кэВ, который наиболее вероятен в отсутствие стоячей волны на данном ядре. В то же время, неизменность ширины линии в данном эксперименте свидетельствует об отсутствии эффектов типа "пленения излучения" и типа образования "ядерного экситона".

Автор выражает благодарность Л.А.Ривлину и А.В.Давыдову за обсуждение результатов.

-
1. В.И.Высоцкий, Р.Н.Кузьмин, *Гамма-лазеры*, М.: Из-во МГУ, 1989.
 2. О.В.Ворыхалов, Е.А.Зайцев, В.В.Кольцов, А.А.Римский-Корсаков, *Изв. АН России, серия физ.*, **56**, 30 (1992).
 3. *Сверхтонкие взаимодействия и ядерные излучения*, М.: Из-во МГУ, 1985.
 4. В.Г.Алпатов, А.А.Антипов, Г.Е.Бизина и др., *Изв. АН России, серия физ.*, **53**, 2052 (1989).
 5. В.А.Беляков, *УФН* **115**, 553 (1975).
 6. И.И.Блехман, *Синхронизация в природе и технике*, М.: Наука, 1981.
 7. Ю.В.Сергеенков, *Изв. АН России, серия физ.*, **62**, 2 (1998).
 8. О.И.Сумбаев, *Изв. АН России, серия физ.*, **62**, 6 (1998).