

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТОВ ПРОНИКНОВЕНИЯ В L-ЗАПРЕЩЕННОМ ПЕРЕХОДЕ В ^{121}Sb

В. А. Желтоножский, Н. В. Стрильчук, Е. С. Панкратова

Методами γ - и K_{α} -спектроскопии с высокой точностью измерен коэффициент внутренней конверсии на K-оболочке γ -перехода с энергией 37 кэВ в ^{121}Sb , который оказался равен $\alpha_K = 9,94 \pm 0,12$. На основании полученных данных определен параметр проникновения $\lambda = -3,3 \pm 0,8$ в M1-переходе между состояниями с $\Delta I = 2$.

Введение

Изучение эффектов проникновения является одной из актуальных задач современной ядерной физики. Это связано с тем, что из значений параметров проникновения можно получить знак и величину спин-мультипольных сил, уникальную информацию об эффектах, связанных с несохранением пространственной четности в электромагнитных переходах M1-мультипольности, перенормировке g_S -факторов [1]. Однако экспериментальная информация о наличии эффектов проникновения в M1-переходах очень малочисленна и противоречива [2].

Как известно [1], эффекты проникновения могут проявляться только в заторможенных, по Вайскопфу (F_w), гамма-переходах. Поэтому при $F_w \gg 1$ полученные значения коэффициентов внутренней конверсии (КВК) могут отличаться от теоретических. В одночастичной модели при $\Delta I > 1$ матричный элемент γ -излучения равен нулю, а в конверсионном матричном элементе проникновения часть, пропорциональная g_S -фактору, отличается от нуля, т.е. наиболее значительные аномалии можно ожидать для l-запрещенных переходов. Следовательно, значительный интерес представляет изучение эффектов проникновения в γ -переходе с энергией 37 кэВ в ^{121}Sb . Это переход между $g_{7/2} \rightarrow d_{5/2}$ - состояниями, т.е. $\Delta I = 2$. Фактор запрета $F_w = 85$, это один из наибольших факторов запрета для переходов в области $A \sim 120$.

Ранее эффекты проникновения для этого перехода изучались в работах [3 - 7]. Однако данные оказались противоречивы. Из результатов измерения α_K в [3 - 5] было получено, что параметр проникновения $\lambda = 4,4 \pm 1,5$, а в более поздней работе [7] эффекты проникновения не были обнаружены ($\lambda = 0 \pm 2$). Поэтому представляет определенный интерес провести измерения коэффициентов внутренней конверсии этого перехода с высокой точностью и оценить вклад эффектов проникновения.

Методика эксперимента

Изучение эффектов проникновения в γ -переходе с энергией 37 кэВ в ^{121}Sb проводились при распаде в ^{121m}Sn . Схема распада в ^{121}Sb приведена на рис. 1. Энергия связи K-электронов в Sb равна 30,5 кэВ, т.е. кинетическая энергия K-электронов будет 6,6 кэВ. Получить КВК из прямых измерений K-электронов с требуемой точностью технически невозможно. Однако в процессе внутренней конверсии γ -лучей после вылета конверсионного электрона в соответствующей оболочке образуется вакансия, заполнение которой сопровождается характеристическим излучением. Измерив интенсивности характеристического излучения ($I_{K\alpha}$) и интенсивности гамма-излучения (I_{γ}) по формуле $\alpha_K = I_{K\alpha}/I_{\gamma} \cdot \omega_K$, где ω_K - выход флуоресценции, определяем абсолютные значения коэффициентов внутренней конверсии на K-оболочке. Необходимо отметить, что в таком подходе для получения значения α_K не привлекаются никакие табличные значения, кроме ω_K , а это очень важно при изучении эффектов, которые дают вклад в α_K , не превышающий нескольких процентов.

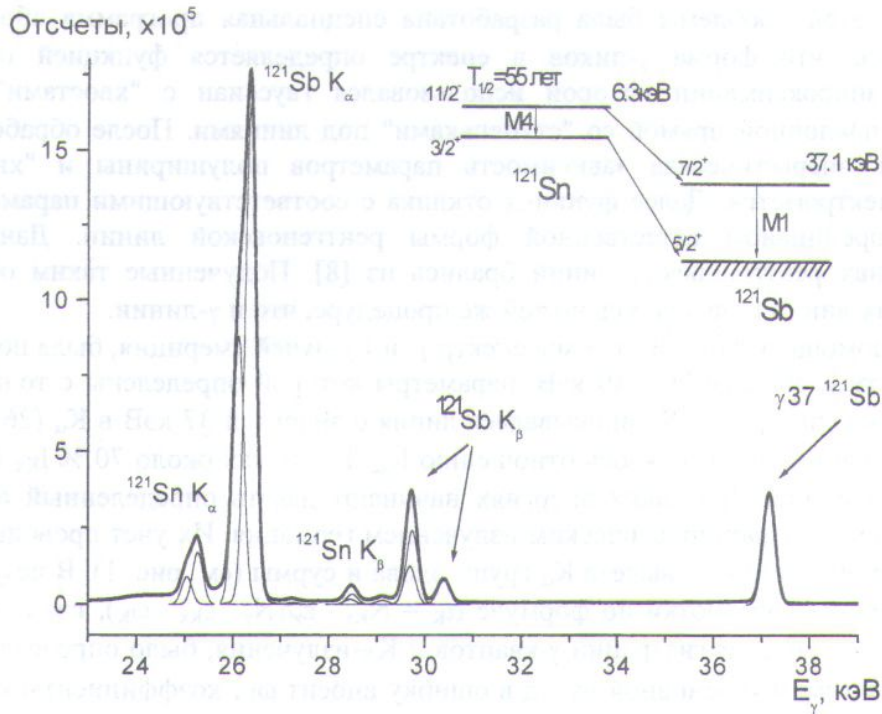


Рис. 1. Схема распада ^{121}Sn и участок спектра с K_{α} - и γ -линиями.

В данном ядре имеем только один γ -переход, а, значит, все характеристическое излучение с K -оболочки обусловлено процессом внутренней конверсии $\gamma 37$ кэВ. Это означает, что необходимо с высокой точностью измерить отношение $N_{K_{\alpha}}$ к N_{γ} и относительные эффективности регистрации рентгеновских и γ -линий. Энергия основной K_{α} -группы сурьмы равна 26 кэВ, поэтому в измерениях использовался Ge-детектор, который имел входное бериллиевое окно толщиной 2,5 мкм. Это позволило нам работать в области, где функция кривой эффективности имеет плавный, слабо возрастающий вид. Выбор именно такого спектрометра, а также изготовление тонкого источника ^{121}Sn позволил провести измерения относительных интенсивностей со статистической точностью $\leq 0,5\%$. Характерный спектр приведен на рис. 1. Ниже остановимся более подробно на обработке измеренных спектров, так как это является решающим фактором при получении данных о α_K с точностью до 1 %.

Кроме измерения отношения $N_{K_{\alpha}}/N_{\gamma}$ необходимо получить и данные об коэффициентах относительных эффективностей регистрации этого K_{α} - и γ -излучения.

Для этого использовался источник ^{241}Am из стандартного набора ОСГИ. Все измерения проводились на расстоянии около 10 см, это существенно сглаживает кривую эффективности. В данных измерениях изучались K_{α} -, L_{α} - и γ -спектры. В связи с возросшими разрешающими характеристиками детекторов и высокими требованиями к точности обработки спектров возникла необходимость особой обработки рентгеновских линий. Форма пика в спектре, как известно, является сверткой собственной формы рентгеновской или γ -линии с функцией отклика спектрометра. Естественная ширина γ -линий $\Gamma_{\gamma} \ll 10^{-3}$ эВ, разрешение спектрометра в этой области было около 300 эВ, т.е. вкладом естественной ширины в γ -переход можно пренебречь. Совсем иная ситуация с характеристическим излучением. Естественная ширина K_{α} - и L_{α} - линий составляет $7 \div 15$ эВ, а это приводит к существенному изменению их формы в спектре – на краях пика появляются “лоренцианские хвосты”, вклад которых может достигать (3 - 5) %. Именно этим, на наш взгляд, обусловлены расхождения в данных, полученных в работах [3 - 7].

Для решения этой проблемы была разработана специальная программа обработки спектров. Полагалось, что форма γ -пику в спектре определяется функцией отклика спектрометра, для аппроксимации которой использовался гауссиан с "хвостами". Фон аппроксимировался наклонной прямой со "ступеньками" под линиями. После обработки γ -линий определялась энергетическая зависимость параметров полуширины и "хвостов" функции отклика спектрометра. Далее функция отклика с соответствующими параметрами сворачивалась с лоренцианом естественной формы рентгеновской линии. Данные о естественных ширинах рентгеновских линий брались из [8]. Полученные таким образом формы рентгеновских линий подгонялись по той же процедуре, что и γ -линии.

Обработав с помощью этой программы спектр γ - и L_X -лучей америция, была получена кривая эффективности в области 20 - 40 кэВ, параметры которой определены с точностью $\leq 1\%$. При обработке спектров ^{121}Sn вписывалась линия с энергией 37 кэВ в K_α (26 кэВ) и K_β -группы. Основное внимание уделялось отношению I_{K_α}/I_γ , так как около 70% I_{KX} -излучения находится в K_α -группе. При таких энергиях начинают давать определенный вклад и пики вылета, связанные с характеристическим излучением германия. Их учет проводился по пикам вылета в америции и пиком вылета K_α групп олова и сурьмы (см. рис. 1). В результате проведенных измерений и обработки по формуле $\alpha_K = N_{KX} \cdot \epsilon_\gamma / (N_\gamma \cdot \epsilon_{KX} \cdot \omega_K)$, где ϵ_γ и ϵ_{KX} - относительная эффективность регистрации γ -квантов и K_X -излучения, было определено, что $\alpha_K = 9,94 \pm 0,12$. Отметим, что основной вклад в ошибку вносит ω_K , коэффициенты которой были вычислены с точностью $\leq 1\%$.

Обсуждение

Эффекты проникновения в M1-переходах дают вклад в α_K выражением типа $\alpha_K^{\text{ЭКС}} = \alpha_K^T \cdot (1 + B_1 \cdot \lambda + B_2 \cdot \lambda^2)$, где λ -параметр проникновения, т.е. для однозначного определения λ необходимо иметь и данные о КВК на других оболочках. Для этого воспользовались данными об отношениях $L_1/L_2/L_3$, полученных в работе [9]. При анализе λ необходимо учитывать и то, что не исключен вклад E2-компоненты. Исходя из этого, провели графический анализ, методика которого описана в [2]. На рис. 2 приведены

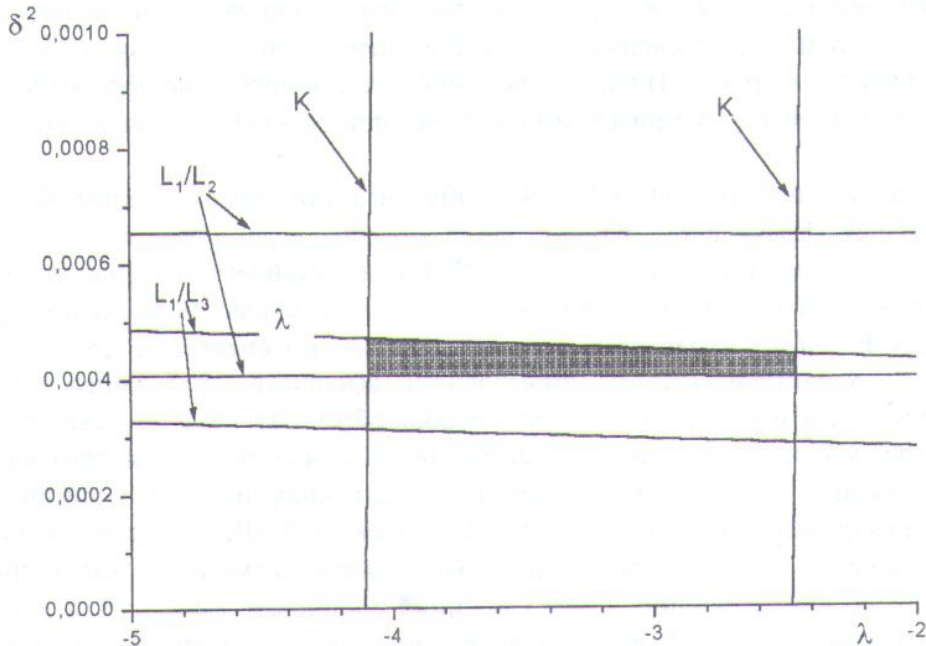


Рис. 2. Область значений ядерного параметра проникновения $\lambda(M1)$ и отношения смеси δ_γ^2 для перехода 37 кэВ ^{121}Sn .

результаты этого анализа, из которого было получено, что $\lambda = -3,3 \pm 0,8$, при этом $\delta^2 \langle E2/M1 \rangle < 5 \cdot 10^{-4}$. Таким образом, был надежно определен параметр проникновения в M1-переходе с энергией 37 кэВ.

Полученные данные хорошо вписываются в систематику параметров проникновения в M1-переходах, приведенных в работе [2].

Из этой величины λ может быть определен и матричный элемент проникновения (M_e) по формуле $M_e = \lambda \cdot U_\gamma$, где U_γ - матричный элемент γ -излучения, который определяется из времени жизни относительно γ -излучения. Сравнение с теоретическими значениями матричного элемента проникновения в l-запрещенных переходах показывает, что согласие с экспериментом достигается при $g_s^{\text{эфф}} / g_s^{\text{своб}} \sim 0,6$. Здесь $g_s^{\text{своб}}$ - фактор для свободного нуклона, а $g_s^{\text{эфф}}$ - фактор для связанного нуклона. Эти величины хорошо согласуются с данными, полученными из измерения магнитных моментов M1-переходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Банд И. М., Листенгартен М. А., Фересин А. П. // Аномалии в коэффициентах внутренней конверсии гамма-лучей. - Л.: Наука, 1976. - 174 с.
2. Листенгартен Л.А. // Современные методы ядерной спектроскопии / Под. ред. Б.С. Джеллепова. - М., 1985. - 203 с.
3. Bishara B. A. // Thesis, Ohio State University, Columbia, Ohio, 1965.
4. Snyder R. E., Beard G. B. // Nucl. Phys. - 1968. - Vol. A 113. - P. 581.
5. Sastry K.S.R., Wood R. E., Palms J. M., Venugopala Rao P. // Radioactivity in nuclear spectroscopy / Ed. Hamilton J.H., Manthurutil J.C. - New York, 1972. - Vol. 2.
6. Hutchinson J.M.R., Schima F. J., Coursey B. M. // Phys. Rev. - 1978. - Vol. C 18. - P. 408.
7. Hansen H. H., Mouchel D. // Z. Phys. A. Atoms and Nuclei. - 1984. - Vol. 315. - P. 239 - 241.
8. Table of Isotopes / Ed. M. N. Y. Lederer: J. Wiley and Sons, 1978.
9. Chu Y.Y., Kistner O.C., Li A.C. et al. // Phys. Rev. - 1964. - Vol. 133. - P. 1361 - 1367.

ВИВЧЕННЯ ЕФЕКТІВ ПРОНИКНЕННЯ В L-ЗАБОРОНЕНОМУ ПЕРЕХОДІ В ^{121}Sb

В. О. Желтоножський, М. В. Стрільчук, К. С. Панкратова

Методами K_X - і γ -спектроскопії з високою точністю виміряно коефіцієнт внутрішньої конверсії на K-оболонці γ -переходу із розпаду ^{121}Sb , який склав $\alpha_K = 9,94 \pm 0,12$. На основі отриманих даних визначено параметр проникнення $\lambda = -3,3 \pm 0,8$ у M1-переході між станами з $\Delta I = 2$.

THE INVESTIGATION OF PENETRATION EFFECTS FOR L-FORBIDDEN TRANSITION IN ^{121}Sb

V. A. Zheltonozhsky, N. V. Strilchuk, E. S. Pankratova

The internal conversion coefficients (ICC) of the K-shell of number of γ -transitions were measured with high accuracy from ^{121}Sb decay by the technique of γ - and K_X -spectroscopy, which is equal to $\alpha_K = 9,94 \pm 0,12$. Penetration parameters of M1-transitions between states with $\Delta I = 2$ were calculated on the basis of obtained data. $\lambda = -3,3 \pm 0,8$ for $\gamma 37$ keV.

Поступила в редакцію 13.02.01