

А. П. Лашко, Т. М. Лашко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

ЕНЕРГІЇ ПЕРШИХ ЗБУДЖЕНИХ СТАНІВ 2^+ В ^{122}Sn ТА ^{122}Te

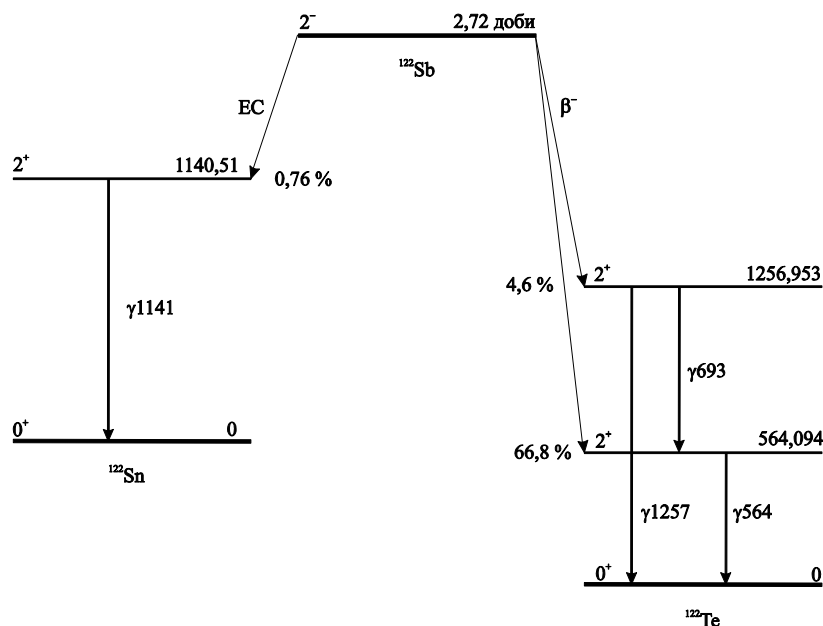
На γ -спектрометрі проведено прецизійні вимірювання енергії найбільш інтенсивних γ -переходів із розпаду ^{122}Sb ($T_{1/2} = 2,72$ доби). Спираючись на ці результати, з високою точністю визначено енергії перших збуджених станів та розряджаючих їх γ -переходів у ^{122}Sn та ^{122}Te .

Ключові слова: радіоактивність, ^{122}Sb , γ -спектри, HPGe-детектори, енергії γ -променів, енергії рівнів.

Вступ

Розпад ^{122}Sb ($I^\pi = 2^-$, $T_{1/2} = 2,72$ доби) відбувається електронним захватом і β^- -розпадом на рівні ^{122}Sn та β^- -розпадом на збуджені стани ^{122}Te (рис. 1). Як ^{122}Sn , так і ^{122}Te належать до сферичних ядер. При розпаді ^{122}Sb в цих ядрах збуджуються однофоновні стани з $I^\pi = 2^+$, а в ^{122}Te , крім того, також і рівні двофоновного триплету з $I^\pi = 0^+$, 2^+ та 4^+ [1].

Найточніші значення енергії γ -переходів, які супроводжують розпад ^{122}Sb , наведено в роботі [2]. Вимірювання високоенергетичної області γ -спектра автори проводили за допомогою Ge(Li)-детектора з роздільною здатністю 2,5 кеВ на лініях ^{60}Co . Як джерела випромінювання реперних γ -квантів використовували ^{56}Co , ^{124}Sb та ^{160}Tb . Похибка у визначенні енергії найбільш інтенсивних γ -ліній із розпаду ^{122}Sb становила 40 еВ.

Рис. 1. Фрагмент схеми розпаду ^{122}Sb .

Метою наших досліджень є уточнення енергії переходів γ_{564} , γ_{693} , γ_{1141} і γ_{1257} кеВ та визначення з більш високою точністю енергії перших збуджених рівнів 2^+ в ^{122}Sn та ^{122}Te .

Методика експерименту

В останні роки для прецизійних вимірювань енергії γ -квантів, які випромінюються при розпаді радіоактивних ядер, поряд з кристал-дифракційними спектрометрами все більшого використання набувають напівпровідникові детектори. Вони простіші у використанні, але дають змогу визначити енергії переходів з точністю в кілька

електрон-вольт. У роботі [3] наведено 375 експериментальних результатів таких досліджень, виконаних як на Ge(Li)-, так і на HPGe-детекторах.

Методика подібних вимірювань полягає в наступному. Готують змішане джерело випромінювання такого складу, щоб поблизу γ -лінії, енергію якої хочуть визначити, зліва або справа по спектру знаходилася, принаймні, одна реперна лінія, енергія якої відома з високою точністю. Потім виміряють положення ліній у спектрі, будують за реперами градувальну криву і по ній визначають енергію шуканої γ -лінії [4].

Джерела випромінювання ^{122}Sb та ^{124}Sb ($T_{1/2} = 60,20$ діб) отримані в реакції (n, γ) на дослідницькому реакторі ІЯД НАН України при опроміненні тепловими нейтронами сурми, збагаченої ізотопом ^{123}Sb . ^{124}Sb має значну кількість γ -ліній у високоенергетичній частині спектра, тому виявилася найбільш зручною як джерело випромінювання реперних γ -квантів.

Вимірювання проводили на γ -спектрометрі, що складався з двох горизонтальних коаксіальних детекторів із надчистого германію (GEM-40195 та GMX-30190 з роздільною здатністю

1,73 кеВ і 1,89 кеВ на лінії $\gamma 1332$ ^{60}Co відповідно) та багатоканального буфера 919 SPECTRUM MASTER фірми ORTEC. У цьому експерименті були поміряні різниці енергії між 4 парами γ -променів: $\gamma 603(^{124}\text{Sb}) - \gamma 564(^{122}\text{Sb})$, $\gamma 723(^{124}\text{Sb}) - \gamma 693(^{122}\text{Sb})$, $\gamma 1141(^{122}\text{Sb}) - \gamma 1045(^{124}\text{Sb})$ та $\gamma 1326(^{124}\text{Sb}) - \gamma 1257(^{122}\text{Sb})$. Один γ -перехід із кожної пари збуджується при розпаді ^{122}Sb , а другий, енергія якого відома з високою точністю, супроводжує розпад ^{124}Sb . На рис. 2 та 3 показано ділянки γ -спектра суміші ^{122}Sb та ^{124}Sb , зняті на детекторі GEM-40195.

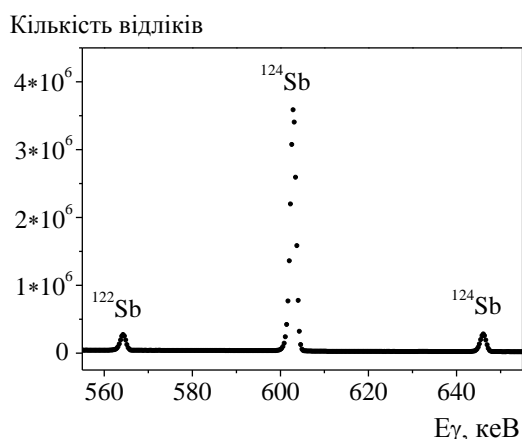


Рис. 2. Ділянка γ -спектра суміші ^{122}Sb та ^{124}Sb в діапазоні енергії (555 - 655) кеВ.

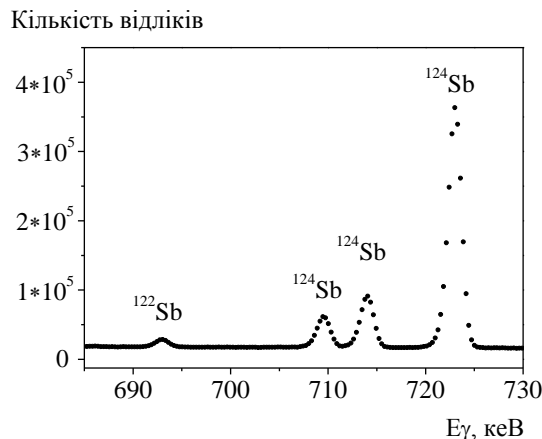


Рис. 3. Ділянка γ -спектра суміші ^{122}Sb та ^{124}Sb в діапазоні енергії (685 - 730) кеВ

Щоб звести до мінімуму можливі систематичні похибки, вимірювання проводили серіями при різних коефіцієнтах підсилення. Усього було виконано 5 серій вимірювань, подібних наведеним на рис. 2 та 3.

Результати та обговорення

Обробку γ -спектрів проводили за програмою WinSpectrum [5]. Щоб виключити можливі впливи домішкових радіонуклідів, спектри були проаналізовані також за періодом напіврозпаду.

Спочатку визначили різниці енергій γ -ліній як зважене середнє за результатами всіх вимірювань, а потім і значення енергії γ -переходів. Результати вимірювань добре узгоджуються між собою. Експериментальні значення різниці енергій γ -ліній, енергії реперних γ -квантів з компіляцій [3, 6] та отримані значення енергії досліджуваних γ -переходів наведено в табл. 1. Тут же подано похибки вимірюваних величин, а також їхні складові.

Таблиця 1. Поміряні значення різниць енергій γ -ліній, енергії реперних γ -квантів та отримані значення енергії досліджуваних γ -переходів із розпаду ^{122}Sb

Вимірювана різниця енергій γ -ліній	Значення різниці енергій, еВ	Енергія реперного γ -кванта, еВ	Енергія шуканого γ -кванта, еВ	Похибки визначення енергії γ -переходу, еВ			
				статистична	калібровка	енергії репера	сумарна
$\gamma 603(^{124}\text{Sb}) - \gamma 564(^{122}\text{Sb})$	38622,1	602726,0	564103,9	10,3	1,9	2,3	10,7
$\gamma 723(^{124}\text{Sb}) - \gamma 693(^{122}\text{Sb})$	30014,6	722782,0	692767,4	6,6	1,5	3,0	7,4
$\gamma 1141(^{122}\text{Sb}) - \gamma 1045(^{124}\text{Sb})$	95411,7	1045125,0	1140536,7	30,3	4,8	4,0	30,9
$\gamma 1326(^{124}\text{Sb}) - \gamma 1257(^{122}\text{Sb})$	68596,9	1325504,0	1256907,1	36,1	3,4	4,0	36,5

В експерименті міряють енергії γ -променів. Щоб перейти до енергій переходів, які нас цікавлять, необхідно врахувати енергію ядра віддачі при випромінюванні γ -кванта [7].

Переходи $\gamma 564$ та $\gamma 693$ кеВ в ^{122}Te є каскадними (див. рис. 1). Нами поміряна також енергія прямого переходу $\gamma 1257$ кеВ. Для розрахунку енергії рівнів ми склали систему лінійних рів-

нянь, скориставшись правилом Рітца для каскадних переходів ($E_1 + E_2 = E_3$, де E_3 – енергія прямого переходу між крайніми рівнями). У результаті отримали систему неточних рівнянь різної ваги [8], розв’язками якої і були енергії збуджених станів ^{122}Te .

При відомих енергіях рівнів ^{122}Te нескладно

розрахувати й енергії γ -переходів між ними. Так ми отримуємо узгоджені між собою дані, позбавлені систематичних похибок вимірювань. Результати розрахунків спільно зі зваженими середніми значеннями з компіляції [1] представлено в табл. 2.

Таблиця 2. Уточнені значення енергії рівнів ^{122}Sn і ^{122}Te та γ -променів у розпаді ^{122}Sb

Наші дані		Компіляція [1]	
Енергія, еВ		Енергія, еВ	
рівнів	γ -променів	рівнів	γ -променів
^{122}Sn			
1140542 \pm 31	1140537 \pm 31	1140510 \pm 30	1140520 \pm 40
^{122}Te			
564108 \pm 6	564107 \pm 6	564094 \pm 16	564130 \pm 21
1256879 \pm 7	692769 \pm 10	1256953 \pm 16	692770 \pm 30
	1256872 \pm 7		1256890 \pm 20

Отримані значення енергії γ -променів, що супроводжують розпад ^{122}Sb , добре узгоджуються з даними інших експериментальних робіт та перевершують їх по точності. Відзначимо також, що енергія найбільш інтенсивного переходу γ 1257 кеВ визначена нами з похибкою кращою за $1 \cdot 10^{-5}$. Така точність відповідає вимогам щодо ліній, які можуть бути використані як енергетичні стандарти для ядерної спектроскопії. Зважаючи на це, ми рекомендуємо використовувати її в якості енергетичної нормалі четвертого порядку.

Наведене в компіляції [1] значення енергії другого збудженого рівня 2⁺ у ^{122}Te відрізняється від

нашого на чотири середньоквадратичні похибки, у той час як енергії каскадних переходів та енергія прямого переходу узгоджуються дуже добре. Енергії рівнів ^{122}Te в [1] є середнім зваженим усіх доступних експериментальних даних, отриманих при вивченні β^- -розпаду ^{122}Sb , електронного захвату ^{122}I , реакцій із швидкими нейтронами $^{122}\text{Te}(n, n'\gamma)$ та зарядженими частинками $^{116}\text{Cd}(^9\text{Be}, 3n\gamma)$ і $^{120}\text{Sn}(\alpha, 2n\gamma)$. На нашу думку, величина похибки енергії другого збудженого рівня 2⁺, отримана внаслідок такої процедури, виявилася заниженою, тому й маємо розходження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Tamura T. Nuclear Data Sheets for A = 122 // Nucl. Data Sheets. - 2007. - Vol. 108. - P. 455 - 632.
2. Сергиенко В.А., Днепровский И.С., Катыхин Г.С. Исследование распада ^{122}Sb // Программа и тезисы докладов XXV Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Ленинград, 28 - 31 января 1975 г.). - Л.: Наука, 1975. - С. 85 - 87.
3. Helmer R.G., Van der Leun C. Recommended standards for γ -ray energy calibration (1999) // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A. - 2000. - Vol. 450. - P. 35 - 70.
4. Лашко А.П., Лашко Т.Н. Анализ погрешностей измерений энергии гамма-лучей на полупроводниковых спектрометрах // Ядерная физика та енергетика. - 2007. - № 2(20). - С. 121 - 125.
5. Хоменков В.П. Дослідження атомно-ядерних ефектів у процесі внутрішньої конверсії гамма-променів: Автореф. дис. ... канд. фіз.-мат. наук / ІЯД. - К., 2003. - 19 с.
6. Bé M.-M., Chechev V.P. Recommended standards for gamma ray intensities // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A. - 2013. - Vol. 728. - P. 157 - 172.
7. Джелепов Б.С., Шестопалова С.А. Ядерно-спектроскопические нормалі. - М.: Атомиздат, 1980. - 232 с.
8. Лашко А.П., Лашко Т.Н. Высокоточные измерения энергии ядерных состояний, возбуждающихся в радиоактивном распаде // Ядерная физика та енергетика. - 2006. - № 2(18). - С. 131 - 134.

А. П. Лашко, Т. Н. Лашко

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

ЭНЕРГИИ ПЕРВЫХ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ 2⁺ В ^{122}Sn И ^{122}Te

На γ -спектрометре выполнены прецизионные измерения энергии наиболее интенсивных γ -переходов из распада ^{122}Sb ($T_{1/2} = 2,72$ сут). На основании этих данных с высокой точностью определены энергии первых возбужденных состояний и разряжающих их γ -переходов в ^{122}Sn и ^{122}Te .

Ключевые слова: радиоактивность, ^{122}Sb , γ -спектры, HPGe-детекторы, энергии γ -лучей, энергии уровней.

A. P. Lashko, T. N. Lashko

Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

ENERGIES OF THE FIRST EXCITED 2^+ STATES IN ^{122}Sn AND ^{122}Te

High-precision energy measurements of the most intense γ -transitions from the decay of ^{122}Sb ($T_{1/2} = 2,72$ days) have been performed with a γ -spectrometer. Using this data, the energies of the first excited states and corresponding deexciting γ -rays in ^{122}Sn and ^{122}Te were determined with precision up to a few electron volts.

Keywords: radioactivity, ^{122}Sb , γ -spectra, HPGe-detectors, measurements $E(\gamma)$, energy of levels.

REFERENCES

1. *Tamura T.* Nuclear Data Sheets for $A = 122$ // Nucl. Data Sheets. - 2007. - Vol. 108. - P. 455 - 632.
2. *Sergienko V.A., Dneprovskij I.S., Katykhin G.S.* Research of ^{122}Sb decay // Program and Abstracts of the XXV Conf. on Nuclear Spectroscopy and Nuclear Structure (Leningrad, 28 - 31 Jan. 1975). - Leningrad: Nauka, 1975. - P. 85 - 87. (Rus)
3. *Helmer R.G., Van der Leun C.* Recommended standards for γ -ray energy calibration (1999) // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A. - 2000. - Vol. 450. - P. 35 - 70.
4. *Lashko A.P., Lashko T.N.* // Nucl. Phys. At. Energy. - 2007. - No. 2(20). - P. 121 - 125. (Rus)
5. *Khomenkov V.P.* Investigation of atomic and nuclear effects in the internal conversion of gamma rays: Abstract of thesis ... Candidate of Sciences in Physics and Mathematics / INR. - Kyiv, 2003. - 19 p. (Ukr)
6. *Bé M.-M., Chechev V.P.* Recommended standards for gamma ray intensities // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A. - 2013. - Vol. 728. - P. 157 - 172.
7. *Dzhelepov B.S., Shestopalova S.A.* Atomic spectroscopy normal. - Moskva: Atomizdat, 1980. - 232 p. (Rus)
8. *Lashko A.P., Lashko T.N.* // Nucl. Phys. At. Energy. - 2006. - No. 2(18). - P. 131 - 134. (Rus)

Надійшла 05.11.2015

Received 05.11.2015