



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

99-17

P6-99-17

К.Я.Громов, Д.К.Джаббер, Ш.Р.Маликов,
В.И.Фоминых, Ю.В.Хольнов,
В.В.Цупко-Ситников, В.Г.Чумин

СХЕМА УРОВНЕЙ ЯДРА ^{217}At
ПРИ α -РАСПАДЕ ^{221}Fr

Направлено в журнал «Известия РАН: серия физическая»

1999

Схема уровней ядра ^{217}At при α -распаде ^{221}Fr

Гамма-спектр и спектры ($\alpha - \gamma$)-совпадений исследованы с использованием источников, содержащих равновесную цепочку распадов ядра ^{225}Ac , выделенного из ^{229}Th ($T_{1/2} = 7,3 \cdot 10^3$ лет). При количественном анализе ($\alpha - \gamma$)-совпадений определены заселенности уровней ^{217}At , полные интенсивности и мультипольности ряда γ -переходов. Свойства уровней ^{217}At в предлагаемой схеме распада ^{221}Fr согласуются с интерпретацией их как возбуждений, связанных с состояниями оболочечной модели $p(h_{9/2})^3$ и $p(h_{9/2})^2 f_{7/2}$. Не получено доказательств существования уровня 310 кэВ, $J^\pi = 13 / 2^+$ ядра ^{217}At . Предполагается, что отнесенная к распаду на этот уровень линия $E_\alpha = 6037$ кэВ с интенсивностью 0,003 % может возникать при распаде дочернего ^{217}At на уровень 1050 кэВ ^{213}Bi .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1999

Перевод авторов

Gromov K.Ya. et al.

P6-99-17

Level Scheme of ^{217}At in the ^{221}Fr Decay

Gamma-spectrum and spectra of alpha-gamma-coincidence were studied using sources containing radioactive decay chain of ^{225}Ac in equilibrium, the mother nucleus separated from ^{229}Th ($7.3 \cdot 10^3$ y.). ^{217}At levels populations and full intensities and multipolarities of a number of gamma-transitions were determined from a quantitative analysis of alpha-gamma-coincidence spectra. Characteristics of the ^{217}At levels in the proposed ^{221}Fr decay scheme are in accord with their interpretation as of excitations connected with states of the shell model $p(h_{9/2})^3$ and $p(h_{9/2})^2 f_{7/2}$. No evidence is obtained of the existence of the 310 keV, $J^\pi = 13 / 2^+$ level in ^{217}At . A hypothesis is put forward that the alpha line $E_\alpha = 6037$ keV with 0,003 % intensity, previously ascribed to the decay to this level, may in fact stem from the daughter ^{217}At decay to the 1050 keV level of ^{213}Bi .

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1999

1. Введение

Ядро ^{217}At имеет 3 лишних протона и 6 нейтронов по сравнению с дважды магическим ядром ^{208}Pb . Ожидается, что ^{217}At находится на границе между ядрами, структура которых хорошо описывается оболочечной моделью и моделью ядер с квадрупольной и октупольной деформацией. Исследование структуры возбужденных состояний ^{217}At представляет в связи с этим значительный интерес.

Практически единственная возможность получения экспериментальной информации о структуре уровней ^{217}At – исследование α -распада ^{221}Fr ($T_{1/2} = 4.8$ мин) в цепочке распадов ^{225}Ac ($T_{1/2} = 10$ сут). ^{225}Ac при этом выделяют из препарата долгоживущего изотопа ^{229}Th ($T_{1/2} = 7340$ лет). Сложные спектры α -, β - и γ -излучений при распаде ядер в цепочке ^{225}Ac и относительно малые их периоды полураспада затрудняют исследование слабых компонентов излучения ^{221}Fr . По этой причине экспериментальные сведения о распаде ядра ^{221}Fr ограничены и иногда противоречивы.

Тонкая структура α -распада ^{221}Fr изучалась Джелеповым и др. [1], а также Лиангом и Бастин-Скофье [2] на магнитных α -спектрографах. Лучшие результаты получены Лиангом в исследованиях α -спектра ядер отдачи от распада ^{225}Ac . Эти данные о значениях энергий и интенсивности компонентов α -спектра представлены на приводимой ниже схеме распада ^{221}Fr . Мы используем их в нашем анализе.

Последние данные о γ -спектре ^{221}Fr , опубликованные в работах [3-5], представлены в табл. 1. Спектр электронов внутренней конверсии при распаде ^{221}Fr изучался в [5, 6]. Установлено [6], что γ -переход 218 кэВ имеет E2-мультипольность ($M1 < 1\%$), а переходы 99.5, 118.2 и 150 кэВ – типа M1. Шилайн и др. [5] дополнительно предлагают M1 – мультипольность для переходов 53.8, 96.3, 324.0, 359.0 и 382.1 кэВ и E2 – мультипольность для переходов 171.6 и 410.4 кэВ.

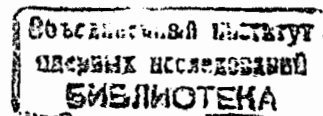
В работах [4,5] на основе данных об α -распаде [1,2] и экспериментов по (α - γ)-совпадениям предлагается схема уровней ^{217}At . Чумин и др. [1,2] измерили интенсивность слабой ветви β -распада ^{221}Fr – $(4.8 \pm 1.5) \times 10^{-5}$ распадов.

Цель настоящей работы состояла в получении более точных экспериментальных данных о распаде ^{221}Fr на основе использования ^{225}Ac большей активности, чем в указанных работах и количественного анализа результатов экспериментов по (α - γ)-совпадениям.

Таблица 1. Гамма-лучи при распаде ядер ^{221}Fr

Ардиссон и др. [3]	Бутабаев и др. [4]	Шилайн и др. [5]	Настоящая работа	Размещение в схеме			
E_γ кэВ	E_γ кэВ	E_γ кэВ	E_γ кэВ	$E_{\text{нач}} \rightarrow E_{\text{кон}}$			
-	53.54(18)	0.45(5)	53.8(1)	1.7(5)	53.81(3)	1.3(3)	272.0 → 218.1
-	68.11(15)	0.5(2)	-	-	-	-	-
-	96.12(18)	1.4(4)	96.3(3)	< 1	96.3(3)	0.7(3)	368.3 → 272.0
100.63(2)	99.52(6)	11.2(5)	100.2(1)	15(2)	100.25(2)	10(3)	100.25 → 0
117.67(5)	118.18(9)	2.4(3)	117.8(2)	0.5(2)	117.82(3)	2.2(13)	218.1 → 100.25
150.43(5)	150.04(4)	5.9(10)	150.0(1)	6.0(10)	150.21(3)	4.7(2)	368.3 → 218.1
172.05(5)	171.68(4)	7.9(3)	171.6(1)	6.6(12)	171.83(3)	7.6(2)	272.0 → 100.25
-	201.44(50)	0.06(3)	-	-	201.4(6)	0.11(1)	-
-	208.3(5)	0.45(8)	-	-	208.3(6)	0.5(1)	577.5 → 368.3
218.30(2)	218.14(3)	1110(30)	218.0(1)	1130(10)	218.12(2)	1118(15)	218.1 → 0
250.7(2)	0.35(8)	-	-	-	-	< 0.1	-
253.15(15)	0.69(9)	-	-	-	-	< 0.1	-
-	263.39(14)	0.21(6)	-	-	-	< 0.1	-
271.91(5)	0.36(10)	-	-	-	-	< 0.1	-
282.25(5)	0.65(10)	282.36(15)	281.9(3)	0.8(3)	282.12(9)	0.7(1)	382.3 → 100.25
-	297.11(40)	0.85(8)	-	-	-	< 0.1	-
-	299.59(14)	1.4(7)	-	-	-	< 0.1	-
310.20(5)	0.67(9)	310.14(16)	-	-	-	< 0.1	-
-	314.11(17)	0.24(6)	-	-	-	< 0.1	-
323.99	1.6(1)	323.99(6)	324.0(2)	1.2(3)	324.10(6)	1.9(1)	424.3 → 100.25
359.90(2)	3.7(2)	359.92(6)	359.0(2)	3.6(10)	359.86(4)	4.0(2)	577.5 → 218.1
368.17(2)	8.5(1)	368.18(10)	-	-	-	< 0.1	-
382.36(2)	3.5(2)	381.81(4)	381.1(2)	3.1(10)	382.34(4)	3.3(2)	382.3 → 0
410.73(2)	12(1)	409.93(7)	410.4(2)	11(2)	410.64(5)	11.8(2)	410.6 → 0
435.68(10)	0.40(7)	-	437.8(5)	~0.1	437.00(5)	0.093(11)	537.0 → 100.25
-	445.07(20)	0.09(4)	446.3(8)	~0.1	446.30(8)	0.17(4)1	665 → 100.2
-	469.6(2)	0.29(4)	469.0(5)	0.2(1)	468.3(7)	0.14(3)	568.3 → 100.2
-	-	-	496.2(10)	~0.1	-	< 0.05	-
538.02(10)	0.40(12)	537.0(2)	537.5(8)	0.2(1)	537.8(8)	0.50(5)	537.0 → 0
-	-	-	562.3(12)	~0.05	-	< 0.05	-
-	568.5(3)	0.15(4)	568.4(10)	~0.1	568.5(3)	0.12(4)	568.3 → 0
577.76(6)	0.47(7)	576.9(4)	577.0(8)	0.4(1)	576.9(4)	0.29(4)	577.5 → 0
-	-	-	-	-	652(2)	~0.04	652 → 0
-	-	-	-	-	658(2)	~0.07	-
-	-	-	-	-	665(2)	~0.09	665 → 0

(*) a_γ -интенсивности γ -лучей на 10000 распадов ^{221}Fr (в сотых процента на распад)



2. Методика экспериментов

Основное внимание в нашем исследовании α -распада ^{221}Fr было уделено изучению (α - γ)-совпадений с использованием метода количественного анализа результатов экспериментов по совпадениям ядерных излучений, предложенного в [9].

2.1. Приготовление источников

^{225}Ac выделяли из ^{229}Th по методике "Изотопный генератор ^{225}Ac " [10], разработанной с участием одного из авторов (В.В. Цупко - Ситников). ^{229}Th был выделен из ^{233}U и очищен от примесей более пяти лет тому назад. ^{225}Ac (20 мкКи) наносили на танталовую фольгу и затем испаряли в вакууме на алюминиевую фольгу. ^{221}Fr и другие дочерние нуклиды накапливались в приготовленном источнике. Посторонние примеси в источниках на основе ^{225}Ac не наблюдались. Малая толщина получаемых при вакуумном испарении источников обеспечивала значительный выход ядер отдачи при α -распаде. Это обстоятельство было использовано для получения источников, содержащих ^{221}Fr и другие дочерние нуклиды, свободные от ^{225}Ac .

2.2. Постановка экспериментов

Проводилось два вида экспериментов с использованием ^{225}Ac . В первом ^{225}Ac помещался в вакуумную камеру напротив α -детектора. Во втором – ядра отдачи распада ^{225}Ac собирались на Al-подложку ("монету") транспортного устройства типа монетный автомат [11]. "Монеты" каждые пятнадцать минут транспортировались к α -детектору. Таким образом получали спектры, полностью свободные от излучения ^{225}Ac . В измерениях использовался Si(Au) α -детектор площадью 100 мм^2 с разрешением 20-25 кэВ. H_pGe γ -детектор (объем 84 см^3 , разрешение 1.0 кэВ при энергии 150 кэВ) располагался вне вакуумной камеры на расстоянии 4 мм от источника. Одновременно с одиночными α - и γ -спектрами изучались спектры (α - γ)-совпадений. (E_α, E_γ, T) - события совпадений – (4096 x 4096 x 4096 каналов) записывались в режиме "все на все" (in list mode). После вычета случайных событий анализировались спектры совпадений в окнах, установленных на спектре α -частиц (E_{α_i}), на спектре γ -лучей ($E_{\gamma_{ik}}$) и на спектре сумм

($Q_{\alpha_k} = Q_{\alpha_i} + E_{\gamma_{ik}}$). В связи с тем, что энергетическое разрешение в γ -спектрах значительно лучше, чем в α - спектрах, большая часть информации получена при последних двух сортировках (окна в спектрах γ -лучей и спектрах сумм Q_{α_k}).

2.3. Методы анализа результатов измерений

Для получения сведений о заселенности уровней и полных интенсивностях γ -переходов проводился количественный анализ результатов исследования (α - γ)-совпадений с использованием процедуры, предложенной в [9]. Так, в случае прямых совпадений, когда γ -переход γ_{ik} идет с уровня, на который происходит α -распад, α_i из отношения площадей

$$\frac{S_{\alpha_i} \cdot S_{\gamma_{ik}}}{S_{\alpha_i}^{\gamma_{ik}}} = N \cdot a_i \quad (1)$$

определялась заселенность a_i уровня i .

При этом

$S_{\gamma_{\alpha_i}}$ и $S_{\gamma_{ik}}$ – площади пиков в одиночных α - и γ -спектрах.

$S_{\alpha_i}^{\gamma_{ik}}$ – площадь пика в спектре совпадений γ_{ik} с α_i .

N – число распадов ^{221}Fr за время эксперимента.

a_i – заселенность уровня i , т.е. суммарная интенсивность (в %) переходов с уровня i .

i, k, \dots – нумерация уровней.

Число распадов ^{221}Fr (N) не определялось, для нормировки использовалось значение заселенности уровня 218.1 кэВ – α_{218} , равное интенсивности α -распада на этот уровень, определенной в [2].

В случае наблюдения непрямых ($\alpha - \gamma$)-совпадений, когда α -распад идет на более высокий уровень h , чем уровень, с которого происходит γ -переход γ_{ik} , определялась полная интенсивность перехода (переходов) между уровнями h и i из отношения

$$\frac{S_{\alpha_i}^{\gamma_{ik}}}{S_{\alpha_i}^{\gamma_{ik}}} = \frac{a_{\alpha_h}}{a_{\alpha_i} \cdot a_h} \cdot a_{\Pi(h \rightarrow i)}, \quad (2)$$

где $a_{\Pi(h \rightarrow i)}$ – полная интенсивность перехода (переходов) между уровнями h и i .

Такой анализ результатов экспериментов по совпадениям не использует значения эффективности детекторов, т.е. погрешности их определения не входят в погрешность получаемого значения. Кроме того, исключается влияние на результат анализа искажений спектров, связанных с суммированием импульсов при измерениях в близкой геометрии.

3. Экспериментальные результаты

Полученные нами сведения об энергии и интенсивности γ -лучей при распаде ^{221}Fr в табл. 1 сравниваются с результатами последних работ [3,4,5], посвященных изучению распада этого ядра. Отметим, что в [3,4] γ -пики 250, 253, 263, 297, 299, 310 и 314 кэВ были ошибочно идентифицированы как γ -лучи. На самом деле эти пики в спектре ^{221}Fr возникают главным образом, как результат сумм импульсов от γ -лучей 171 и 218 кэВ с импульсами от КХ-лучей после внутренней конверсии γ -переходов 100 и 150 кэВ. Наблюдение γ -пигов 272 кэВ [3] и 368 кэВ [3,4] связано в основном с суммированием импульсов от γ -лучей (100+172) и (218+150) кэВ соответственно. Мы даем оценку верхних пределов интенсивности этих γ -лучей. Для получения наших данных, представленных в седьмой и восьмой колонках табл. 1, использованы результаты анализа одиночного γ -спектра от источника с ^{225}Ac (рис. 1а), одиночного γ -спектра от ядер отдачи от источника с ^{225}Ac (рис. 1б) и спектра γ -лучей, совпадающих с α -частицами распада ^{221}Fr (интервал $E_{\alpha} = 5.6\text{--}6.4$ МэВ). Сложность γ -спектров в области относительно слабых γ -пигов 117.8 кэВ (быстрое нарастание счета в области ~ 120 кэВ в распределении обратно рассеянных комптоновских квантов от интенсивных γ -лучей 218.1 кэВ), 96.1 кэВ (близость по энергии к более интенсивному в одиночных спектрах пику K_{β_2} X-лучей) и 53.8 кэВ (высокий фон в области γ -лучей малой энергии) затрудняла точное определение их интенсивности. Интенсивности этих γ -лучей уточнены с использованием отношений площадей пиков в спектрах совпадений γ -лучей с α -частицами в окнах: $E_{\alpha_{218}} = 6126$ кэВ, $E_{\alpha_{272}} = 6076$ кэВ и $E_{\alpha_{368}} = 5980$ кэВ.

Анализ спектра α -частиц, совпадающих с γ -лучами 218.1 кэВ, показал, что заселение уровня 218.1 кэВ ^{217}At с более высоких уровней составляет менее 2% его полной заселенности. С этой точностью полная интенсивность γ -перехода 218.1 кэВ равна интенсивности линии тонкой структуры α -спектра $E_{\alpha_{218}} = 6126$ кэВ: $a_{\alpha_{218}} = 15.1(2)\%$ распадов

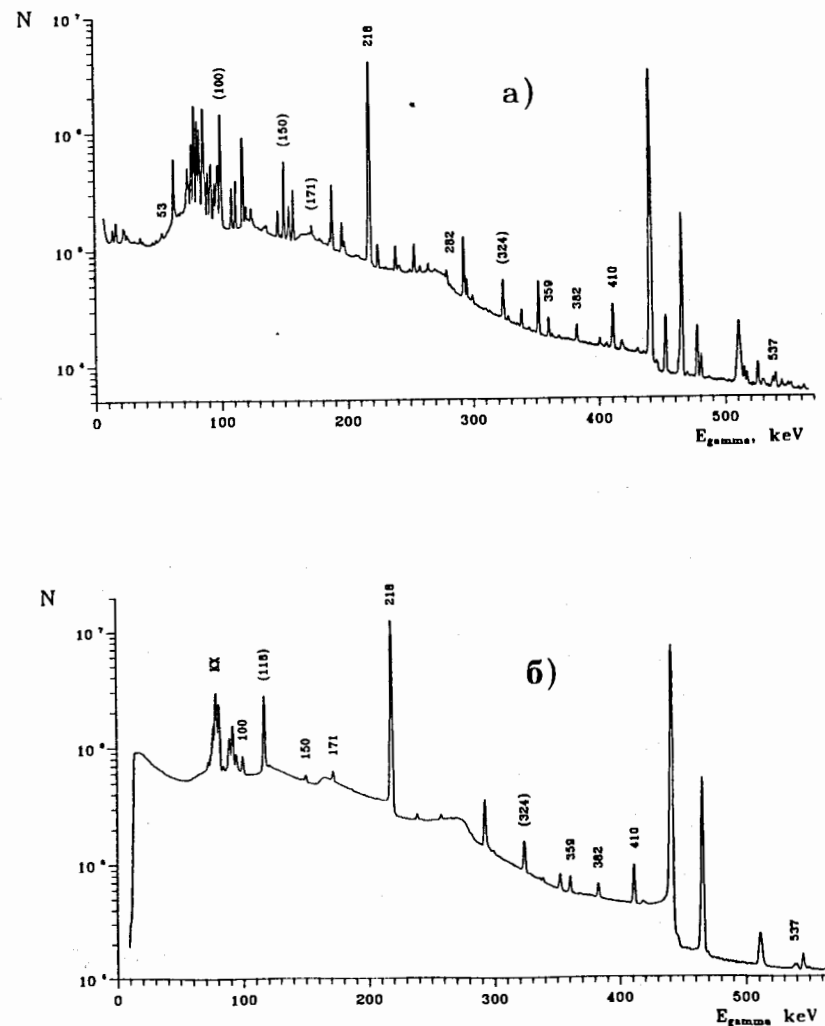


Рис. 1. а) Гамма-спектр цепочки распадов ^{225}Ac .

б) Гамма-спектр ядер отдачи при α -распаде ^{225}Ac . Цифры над γ -линиями – значения энергии γ -лучей при распаде ^{221}Fr ; в скобках – значения энергии сложных γ -линий, часть интенсивности которых относим к распаду ^{221}Fr

Таблица 2. Заселенности уровней (E_i) ядра ^{217}At при распаде ^{221}Fr

Энергия уровня E_i , кэВ	Заселенность уровня a_i , %	Интенс. α -распада на уровень a_{α_i} , %
100.2	1.81(25)	1.34(10)
218.1	$\cong 15.1(5)$	15.1(3)
272.0	0.39(5)	0.15(3)
368.3	0.55(3)	0.49(3)
383.2	0.08(1)	0.08(1)
410.6	0.16(3)	0.17(3)
424.3	0.038(13)	0.038(13)
537.0	~ 0.005	0.004(2)
568.5	~ 0.005	0.005(2)
577.5	0.063(10)	0.06(1)

Таблица 3. Полные интенсивности некоторых γ -переходов при распаде ^{221}Fr и определение их мультипольности

E_{γ} , кэВ	96.32	117.8	150.2	171.8
$a_{\text{П},ik}^{(*)}$, %	0.18(7)	0.32(2)	0.21(4)	0.14(2)
$a_{\gamma,ik}$, % (Из табл. 1)	0.007(3)	0.022(13)	0.047(2)	0.076(2)
$\alpha_{\text{П},ik}^{(**)}$	25(15)	13.5(86)	3.5(9)	0.84(2)
Расчетные $\alpha_{\text{П},ik}$				
E1	0.51	0.31	0.17	0.12
M1	13.7	7.6	3.8	2.6
E2	9.2	3.9	1.45	0.87
M2	113	53.2	22.0	13.6

(*) $a_{\text{П},ik} = a_{\gamma,ik} + a_{K,ik} + a_{L,ik} + \dots$ - полная интенсивность γ -перехода

(**) $\alpha_{\text{П},ik} = \frac{a_{\gamma,ik}}{a_{\text{П},ik}} - 1$ - полный коэффициент конверсии

^{217}At [2]. Мультипольность перехода 218.1 кэВ определена [6] как E2 ($M1 < 1\%$). Используя расчетное [12] значение для полного коэффициента внутренней конверсии, равное 0.368, получаем интенсивность γ -лучей 218.1 кэВ, равную 11.2% распадов ^{221}Fr . Интенсивности (в % распадов) γ -лучей других переходов вычислены относительно этого значения. Интенсивности γ -лучей отнесены к 10000 распадов ^{221}Fr , т.е. даются в сотых долях процента распадов ^{221}Fr .

На рис. 2 представлен пример спектров ($\alpha + \gamma$)-совпадений в окнах по суммам $Q_{\alpha_k} = Q_{\alpha_i} + E_{\gamma_{ik}}$, соответствующим α -распаду в основное состояние, на уровень 100.2 кэВ и на уровень 218.1 кэВ. Отчетливо выделяются γ -лучи распада на эти уровни.

Сопоставление данных о γ -спектре ^{221}Fr с результатами исследований тонкой структуры α -спектра ^{221}Fr [1,2] и качественный анализ результатов исследований ($\alpha + \gamma$)-совпадений позволяют с уверенностью утверждать, что при распаде ^{221}Fr возбуждаются уровни ^{217}At , предложенные ранее в [4,5], с энергиями 100.2, 218.1, 271.6, 368.3, 324.3, 382.3, 410.6, 424.3, 537.0, 568.5 и 578.0. Наблюдены совпадения γ -лучей 652(2) кэВ с α -частицами ~ 5690 кэВ, подтверждающие [5] возбуждение уровня с энергией 652(2) кэВ.

В табл. 2 полученные из анализа прямых ($\alpha - \gamma$)-совпадений по формуле (1) значения заселенности уровней ^{217}At сравниваются с интенсивностями α -распада ^{221}Fr на них. Для уровней 100.2 и 272.0 кэВ значения заселенности заметно больше интенсивности α -распада на них. Это свидетельствует о том, что эти уровни заселяются не только α -распадом, но и γ -переходами с вышележащих уровней. Значения заселенности уровней использованы для анализа баланса интенсивностей α - и γ -переходов при распаде ядра ^{221}Fr .

В табл. 3 представлены сведения о полных интенсивностях γ -переходов, полученные при анализе ($\alpha - \gamma$)-совпадений через каскады с этими γ -переходами (формула 2). На основе этих данных и интенсивностей соответствующих γ -лучей определены полные коэффициенты конверсии $\alpha_{\text{П}}$, которые сравниваются с расчетными [12] значениями для разных мультипольностей. Подтверждаются мультипольности γ -переходов 96.3 кэВ (M1+E2), 117.8 кэВ (M1(+E2)), 150.2 кэВ (M1), 171.8 кэВ (E2), определенные ранее [6,5] по значениям $\alpha_K(\alpha_L)$. Полученные значения полных интенсивностей γ -переходов также использованы при анализе баланса интенсивностей при распаде ^{221}Fr .

Из отношения интенсивностей совпадений α -частиц, заселяющих уровни 218 и 100 кэВ, с КХ-лучами (рис. 3) получено значение коэффи-

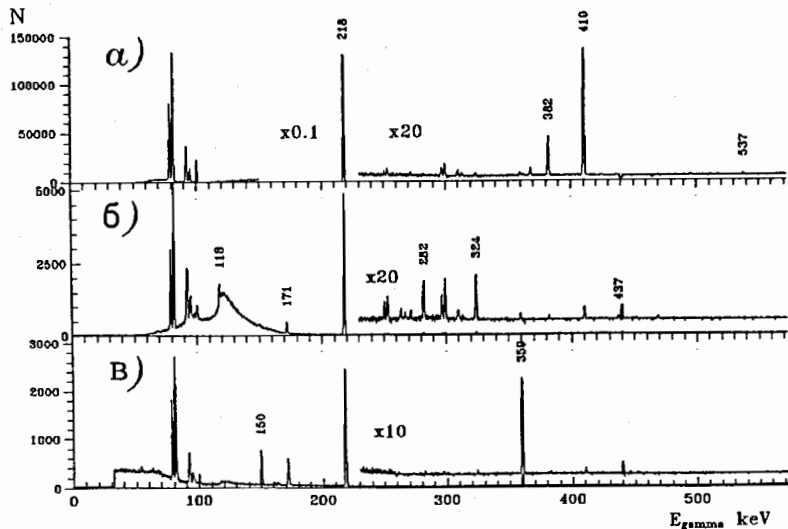


Рис. 2. Спектры γ -лучей в окнах по суммам $Q_{\alpha_i} = Q_{\alpha_i} + E_{\gamma_{ik}}$.

- а) окно $Q_{\alpha 0}$ - выделяющее γ -лучи, идущие в основное состояние;
- б) окно $Q_{\alpha 100}$ - α + γ -каскадный распад на уровень 100 кэВ;
- в) окно $Q_{\alpha 218}$ - α + γ -каскадный распад на уровень 218 кэВ;

Значения энергии γ -лучей даны у пиков γ -лучей, идущих на соответствующий уровень

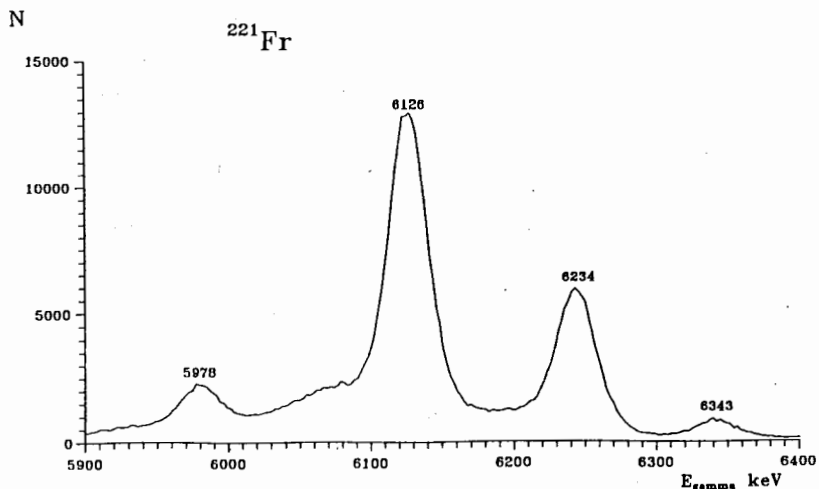


Рис. 3. Спектр α -частиц от ядер отдачи источника с ^{225}Ac , совпадающих с КХ-лучами ^{217}At

цента внутренней конверсии на К-оболочке γ -перехода 100 кэВ. $\alpha_{K100} = 9(3)$, в пределах погрешности совпадающее с α_K для М1-перехода.

4. Схема распада ^{221}Fr

Предлагаемая нами схема распада ^{221}Fr (рис. 4) в отношении размещения между уровнями ^{217}At сравнительно интенсивных γ -переходов повторяет опубликованную в работе [5]. Изменения касаются только весьма слабых переходов. Так, мы не обнаружили γ -переход с уровня 664 \rightarrow 271.8 кэВ ($E_\gamma = 392$ кэВ). Мы не наблюдали совпадений α -частиц с $E_{\alpha 664} = 5688$ кэВ с γ -лучами 281 кэВ и поэтому не имеем оснований для двойного размещения этого γ -перехода [5]. В одиночном γ -спектре и в спектре совпадений со всеми α -частицами ^{221}Fr мы наблюдаем слабые γ -лучи с энергией около 209 кэВ. Возможно, этот γ -переход может быть размещен между уровнями 577 и 368 кэВ. Уровень с энергией 652 кэВ, введенный ранее предположительно на основе наблюдения в α -спектре [2] слабой линии $E_\gamma = 5697$ кэВ ($\sim 0.001\%$), подтверждается наблюдением совпадений с линией $E_{\gamma 652}$.

Баланс интенсивностей α - и γ -переходов в пределах погрешностей выполняется на всех уровнях ^{217}At за исключением уровня 410.6 кэВ (см. ниже). Спины и четности уровней ^{217}At предложены в [5] с учетом определенных в [5,6] мультипольностей γ -переходов и систематики сведений о соседних ядрах. Определенные мультипольности переходов согласуются с предложенными в [5] характеристиками уровней.

Лианг и Бастин-Скофье [2] при исследовании α -спектра ^{221}Fr наблюдали очень слабую линию $E_\alpha = 6036(5)$ кэВ с интенсивностью 0.003% распадов и ввели уровень ^{217}At с энергией и возможными $J^\pi = (13/2^+)$. Других подтверждений существования этого уровня нет. В нашей работе [4] сообщалось о наблюдении в спектре γ -лучей ^{221}Fr с энергией 310 и 314 кэВ, один из этих переходов мог быть связан с разрядкой указанного уровня. Однако более тщательный анализ показал, что эти пики в γ -спектре есть суммы импульсов от γ -лучей 218 кэВ и K_β -X-лучей. В табл. 1 даны верхние пределы интенсивности γ -лучей с такой энергией. Если уровень ~ 310 кэВ имеет $J^\pi = 13/2^+$, то γ -переходы с него на более низкие уровни (типа Е3) сильно конвертированы и γ -лучи имеют малую ($\ll 0.003\%$) интенсивность. Время жизни этого уровня, вероятно, больше разрешающей способности использованной схемы совпадений (~ 50 нс). Эти обстоятельства могут быть причиной нена-

блюдения разрядки уровня ~ 310 кэВ в наших экспериментах. Можно было ожидать, что в экспериментах по $(\alpha-\gamma)$ -совпадениям проявятся γ -переходы, заселяющие уровень ~ 310 кэВ ($13/2^+$) с более высоких уровней. Хорошим кандидатом для этого мог быть γ -переход типа E1 с уровня 410.6 кэВ с энергией (100 ± 5) кэВ. Как замечено выше, для уровня 410.6 кэВ не выполняется баланс интенсивностей: заселение α -частицами 0.17(3)%, разрядка γ -переходом 410.6 кэВ – 0.12(1)%. При поисках совпадений γ -лучей с энергией (100 ± 5) кэВ с α -частицами $E_{\alpha 410} = 5939$ кэВ установлен верхний предел их – 0.0002%. Таким образом, нам не удалось получить дополнительную информацию об уровне ~ 310 кэВ и единственным аргументом в пользу его существования остается наблюдение в [2] слабой линии тонкой структуры. Заметим при этом, что линия $E_{\alpha} = 6037$ кэВ, обнаруженная в экспериментах [2], может быть, в принципе, отнесена не к распаду ^{221}Fr , а к распаду дочернего ядра ^{217}At ($T_{1/2} = 32$ мс) на уровень ~ 1050 кэВ ^{213}Bi .

Имеющиеся экспериментальные результаты о свойствах уровней ^{217}At , возбуждаемых при α -распаде ^{221}Fr , не противоречат интерпретации уровней: 0 кэВ, $9/2^-$; 218.1 кэВ, $5/2^-$; 368.3 кэВ, $3/2^-$; 410.6 кэВ, $13/2^-$ и 577.5 кэВ, $7/2^-$ – как уровней, связанных с возбуждением состояния $p(h_{9/2})^3$ оболочечной модели. Уровни 100.2 кэВ, $7/2^-$; 272.0 кэВ, $3/2^-$; 382.3 кэВ, ($7/2^-$), 424.2 кэВ ($5/2^-$ – $9/2^-$) могут быть связаны с возбуждением состояния $p(h_{9/2})^2 f_{7/2}$.

5. Заключение

Исследованы $(\alpha-\gamma)$ -совпадения при распаде $^{221}\text{Fr} \rightarrow ^{217}\text{At}$. Все уровни ^{217}At , изображенные на рис. 4, подтверждаются $(\alpha-\gamma)$ -совпадениями. Среди них ряд уровней, заселяемых α -распадом с интенсивностью от нескольких сотых до тысячной доли процента распадов.

Количественный анализ результатов исследований $(\alpha-\gamma)$ -совпадений позволил подтвердить мультипольности γ -переходов: 96.3 кэВ (M1+E2), 100.2 кэВ (M1), 117 кэВ (M1(+E2)), 150.2 кэВ (M1) и 171.8 кэВ (E2). Баланс интенсивностей α - и γ -переходов для всех уровней ^{217}At выполняется, кроме 410.6 кэВ.

Не удалось получить дополнительных аргументов в пользу существования уровня 310 кэВ, $13/2^+$ в ^{217}At . Возможно, что отнесенная [2] к распаду на этот уровень линия $E_{\alpha} = 6037$ кэВ, $a_{\alpha} = 0.003\%$ на самом деле возникает при распаде дочернего ^{217}At на уровень 1050 кэВ ^{213}Bi .

Свойства уровней ^{217}At (рис. 4) согласуются с интерпретацией их,

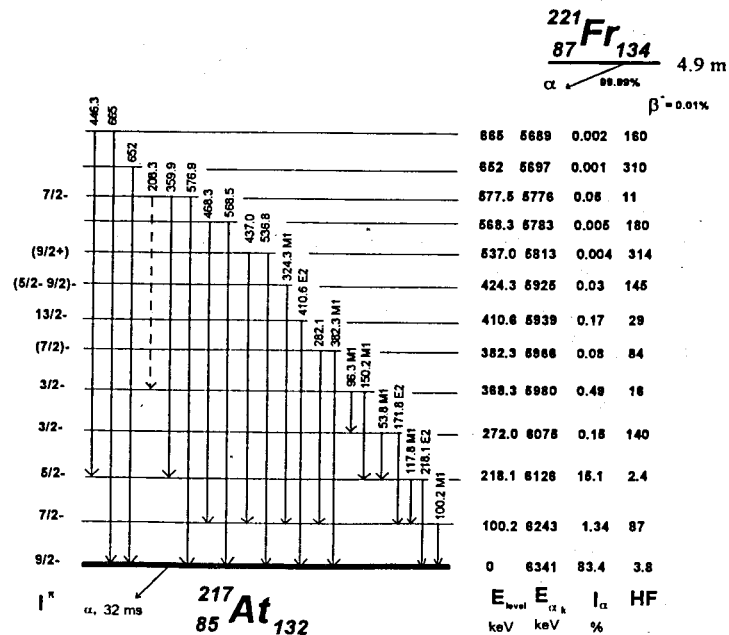


Рис. 4. Схема распада ^{221}Fr

как возбуждений, связанных с состояниями оболочечной модели $p(h_{9/2})^3$ и $p(h_{9/2})^2 f_{7/2}$.

Авторы признательны В.Б.Бруданину, В.Г.Калинникову и В.М.Горожанкину за поддержку работы и полезные обсуждения. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ(коды проектов 94-02-04828а и 98-02-16451).

Литература

1. Б.С.Джелепов, Р.Б.Иванов, М.А.Михайлова и др. Изв. АН СССР, Сер.физ. 1967. Т.31. С.568.
2. C.F.Leang, G.Bastin-Scoffier Compt.Rend. **266B**, (1968), p.629. C.F.Leang. Thesis, University Paris (1969).
3. G.Ardisson, V.Barci, O.Ee Samad. NIM **A339**, (1994), p.168.
4. Ю.С.Бутабаев, И.Адам, К.Я.Громов и др. Изв. РАН, сер.физ., **59**, 1 (1995), с.35.
5. R.K.Sheline, C.F.Liang, P.Paris Phys.Rev. C **51**, (1995), p.1192.

6. Б.С.Джелепов, А.В.Золотавин, Р.Б.Иванов и др. Изв.АН СССР, сер.физ., **33**. (1969), с.1607.
7. В.Г.Чумин, С.С.Елисеев, К.Я.Громов и др. Изв. РАН сер.физ. **59**, N⁰11, (1995), с. 58.
8. В.Г.Чумин, В.И.Фоминых, Т.А.Фуряев и др. Изв. РАН сер.физ. **61**. N⁰11. (1997), с. 2062.
9. К.Я.Громов, В.И.Фоминых. Изв. РАН сер.физ. **61**, N⁰11,(1997), с. 2051.
10. V.V.Tsupko-Sitnikov, Yu.V.Norseev, V.A.Khalkin. Journal of Radioanalytical Nucl. Chem. **202**, (1996), p. 75.
11. В.И.Фоминых, Я.Ваврышук, Г.В.Веселов и др. ПТЭ **5** (1995) с.19.
12. И.М.Банд, М.Б.Тржаковская. Таблицы КВК γ -лучей на К-, L-, M-оболочках. Ленинград, 1978.