

П-25

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

6 - 7911

ПЕНЕВ

Илия Пенев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ
НЕКОТОРЫХ НУКЛИДОВ Ba , Hg И At
ВБЛИЗИ ЗАМКНУТЫХ ОБОЛОЧЕК
 $Z = 50,82$ И $N = 82,126$

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1974

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук В.Г.Чумин,
кандидат физико-математических наук Ж.Т.Желев

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Д.М.Останевич,
кандидат физико-математических наук В.П.Приходцева

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Научно-исследовательский институт ядерной физики
МГУ, г.Москва

Автореферат разослан " " 1974 г.
Защита диссертации состоится " " 1974 г.
в часов на заседании Ученого совета Лаборатории
ядерных проблем Объединенного института ядерных иссле-
дований, г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук
Ю.А.Батусов

6 - 7911

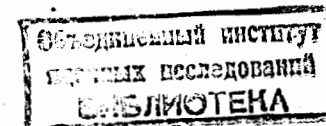
ПЕНЕВ
Илия Пенев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ
НЕКОТОРЫХ НУКЛИДОВ Ba , Hg И At
ВБЛИЗИ ЗАМКНУТЫХ ОБОЛОЧЕК
 $Z = 50,82$ И $N = 82,126$

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



В настоящее время при объяснении свойств атомных ядер существуют большие трудности из-за отсутствия единой последовательной теории ядра. Множество экспериментальных данных описываются при помощи различных моделей ядра, однако все они имеют ограниченный круг применения.

Некоторые свойства первых возбужденных уровней четно-четных сферических ядер удается объяснить вибрационной моделью, а модель оболочек позволяет понять природу нижних уровней ядер с нечетным A , в особенности околomagических ядер. Однако с удалением от магических чисел помимо одночастичных состояний начинают проявляться и коллективные, возникающие в результате наложения вибраций четно-четного остова на одночастичное движение неспаренного нуклона. Поэтому исследование околomagических ядер может служить как для проверки существующих моделей, так и для их дальнейшего развития. Получение новых, более полных сведений о свойствах околomagических ядер возможно благодаря существенному прогрессу в технике эксперимента за последние несколько лет.

Настоящая работа является частью исследований в Объединенном институте ядерных исследований по изучению распада нейтронодефицитных ядер, образующихся в реакциях (p, α) , (α, p) на протонах с энергией $E_p = 660$ МэВ. В работе исследованы возбужденные состояния ядер ^{132}Ba , ^{133}Ba , ^{135}Ba , ^{194}Hg , ^{205}At , ^{206}At и ^{207}At .

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Третья глава делится на две части.

Во введении указано на существующую аналогию в свойствах первых возбужденных состояний в широком интервале масс, как для четно-четных ядер, так и для нечетных. Сформулированы основные задачи исследований.

В первой главе рассмотрен ряд методических вопросов, касающихся техники эксперимента и обработки экспериментальных данных при помощи ЭВМ. Во второй и третьей главах изложены физические результаты исследований распадов ^{132m}La , ^{133}La , ^{135}La , ^{194m}Tl , ^{205}Rn , ^{206}Rn и ^{207}Rn .

Экспериментальная методика

Для исследований спектров высокоэнергетических, малоинтенсивных конверсионных электронов был построен магнитный бета-спектрометр с двойной и двухкратной фокусировкой на угол $2\sqrt{2}$. Принцип работы этого прибора описан в /1/. Магнитное поле в рабочей области рассчитано по формуле:

$$H(\rho) = H_0 \left(1 - \frac{1}{2} \rho + \frac{1}{8} \rho^2 - \frac{1}{16} \rho^3 + \dots \right),$$

где $\rho = \frac{r-r_0}{r_0}$, r_0 - радиус равновесной орбиты, H_0 - поле на равновесной орбите. При этом выполняется условие:

$$H(\varphi)_{\rho=const} = const.$$

Экспериментально полученная зависимость $H = H(\rho)$ отличается от теоретической не более 0,01%. Для измерения магнитного поля использовался метод нутаций ориентированных ядер воды, точность которого в нашем случае лучше 0,005%. Магнитное поле прибора было изучено вдоль радиуса через 2 мм и для каждого радиуса проверялась зависимость $H(\varphi)_{\rho=const} = const$, угол φ плавно изменялся в пределах $0 + 2\sqrt{2}$. Исследована зависимость разрешения от положения источника вдоль радиуса. Получено разрешение $\frac{\Delta P}{P} = 0,16\%$, P - импульс, при светосиле $\sim 0,20\%$ от $4\sqrt{2}$. Созданная система управления бета-спектрометром позволяет измерять до 256 точек автоматически. Длительность измерения каждой точки

может задаваться в пределах $1 + 9999$ сек. Фон прибора в режиме тройных совпадений ~ 1 имп/сутки. Энергетический интервал измеряемых электронов (позитронов) $\sim 100 + 5200$ кэВ.

Рассмотрены принципы работы полупроводниковых детекторов, описаны современные методы получения высокого энергетического разрешения спектрометров с Ge (Li) и Si (Li)-детекторами. В работе использованы для исследования гамма-лучей Ge (Li)-детекторы с объемами $0,5 \text{ см}^3$ (разрешение 660 эВ для энергии 26,0 кэВ) и 10, 27, 40 и 50 см^3 с разрешением $2,5 + 3,0$ кэВ в области энергии 1,3 МэВ.

Для измерения спектров конверсионных электронов короткоживущих изотопов построен бета-спектрометр с дрейфовым Si (Li)-детектором, толщиной ~ 4 мм и с разрешением около 3,0 кэВ для электронов с энергией ~ 300 кэВ /2/.

Спектры гамма-гамма-совпадений в работе изучались при помощи установок с двумя Ge (Li)-детекторами, на базе ЭВМ "Минск-2" и HEWLETT - PACCARD /3,4/.

Обработка экспериментальных результатов проводилась при помощи комплекса программ для ЭВМ "Минск-2", "Минск-22" и БЭСМ-6.

Результаты исследований

Во второй главе приводятся результаты изучения распада нейтрондефицитных изотопов лантана с массовыми числами 132, 133 и 135. Изотопы лантана получались в реакциях глубокого расщепления при облучении мишени из гадолиния протонами с $E_p = 660$ МэВ. Время облучения составляло $2 + 4$ часа. Из облученных мишеней радиохимически выделялась фракция лантана /5/. Интересующие нас изотопы 132, 133 и 135-ый получались после разделения всей фракции на электромагнитном масс-сепараторе. Полученные таким образом

источники использовались для изучения одномерных и двумерных спектров гамма-лучей. Для исследования спектра конверсионных электронов выделенный лантан наносился на серебряную фольгу методом испарения с последующим обжигом.

Распад $^{132m}La \rightarrow ^{132}Ba$. Детально исследован спектр гамма-лучей, возникающих при распаде изомерного ($T_{1/2} = 25$ мин) и основного ($T_{1/2} = 4,5$ ч) состояний ^{132}La . Обнаружены 81 новых гамма-переходов, существенно уточнены энергии и интенсивности ранее известных гамма-переходов /6/. Особое внимание уделено исследованию гамма-гамма-совпадений. Изучены совпадения с γ -464,2; 540,8; 567,1; 663,2; 899,0; 1046,3; и 1221,0 кэВ. Еще пять заданных "окон" были расположены в соседстве с фотопиками этих переходов. Такая постановка опыта существенна при количественном анализе гамма-гамма-совпадений.

С помощью построенного нами бета-спектрометра типа $2\pi\sqrt{2}$ проведены измерения спектра конверсионных электронов с энергией до ~3600 кэВ. На основе этих результатов определены коэффициенты внутренней конверсии α_k и мультипольности 28 гамма-переходов. Среди них обнаружен переход с $E = 1503,8$ кэВ, мультипольность которого $E0$. Полученная нами информация /7+10/ послужила основой для построения схемы возбужденных состояний $^{132}Ba_{76}$, наблюдаемых при распадах ^{132g}La и ^{132m}La (см. рис. 1, 2). Уровни 464,2; 1031,2; 1127,2; 1510,4; 1685,3; 2026,2; 2068,0; 2373,9; 2566,9; 2854,8; 3218,0; 3438,4; 3493,8 и 3664,0 кэВ однозначно определены соответствующими гамма-каскадами, обнаруженными в опытах по гамма-гамма-совпадениям. Введен также уровень с $J^{\pi} = 0^+$, с энергией

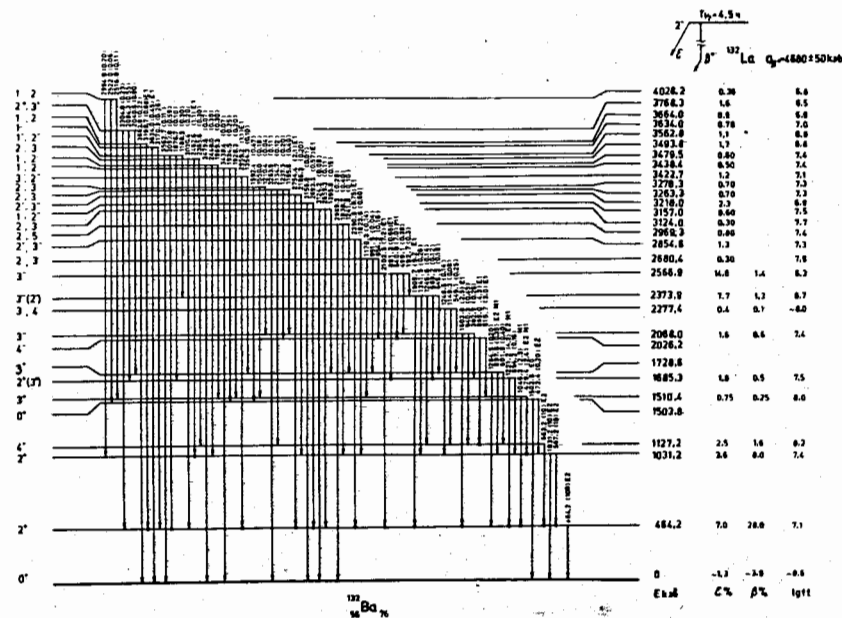


Рис. 1 Схема распада ^{132g}La / 4,5 ч. /

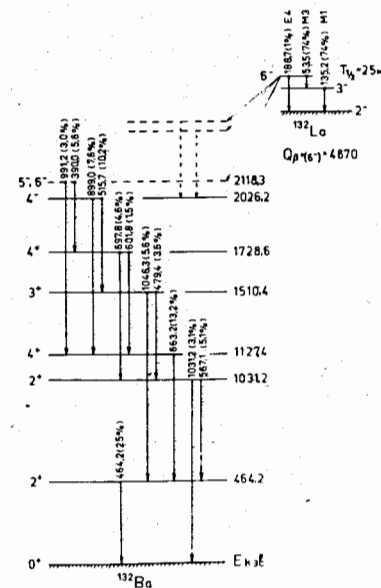


Рис. 2 Схема распада ^{132m}La / 25 мин. /

1503,8 кэВ, разряжающийся гамма-переходом 1503,8 кэВ Е0. Согласно работе Давыдова /11/, энергия второго 0^+ состояния в этом ядре находится в области ~ 1600 кэВ, что согласуется с нашими данными.

Среди возбужденных состояний $^{132}_{56}\text{Ba}_{76}$ наблюдался ряд вибрационных состояний, что типично для четно-четных ядер вблизи магических чисел. Результаты наших исследований, однако, указывают на возможность существования деформации у состояний с энергией возбуждения $> 2,0$ МэВ. К ним относятся, например, уровни 2566,9 кэВ, $J^{\pi} = 3^-$ и 2026,2 кэВ, $J^{\pi} = 4^-$ члены мультиплета $\pi (d^3/2)$ и $\pi (g/2^-)$. Наличие компоненты $g/2^-$ (вместо $h/2^-$), вероятнее всего, обусловлено деформацией.

Распад $^{133,135}\text{La} \rightarrow ^{133,135}\text{Ba}$. В исследовании этих изотопов впервые были применены гамма-спектрометры с Ge(Li)-детекторами, что позволило получить новую информацию о гамма-лучах ^{133}La и ^{135}La . Спектр гамма-лучей ^{133}La впервые исследовался нами /12/. Существенно, что при этом применялись масс-сепарированные источники. Используя результаты работы /13/ по исследованию спектра конверсионных электронов и наши результаты об интенсивности гамма-лучей, мы определили коэффициенты внутренней конверсии α_k и мультипольности для большинства гамма-переходов. Измерены интенсивности КХ-лучей обоих изотопов, что позволило нам точнее определить заселенности возбужденных состояний ^{133}Ba и ^{135}Ba . Исследованы гамма-гамма-совпадения. Для ^{133}La информация такого рода получена впервые /14/. Информация о гамма-гамма-совпадениях была определяющей при составлении схемы распада ^{133}La и ^{135}La (см.рис.3,4). Существенно уточнены /15,16/ данные о гамма-лучах ^{135}La , полученные с помощью сцинтилляционных спектрометров /17/.

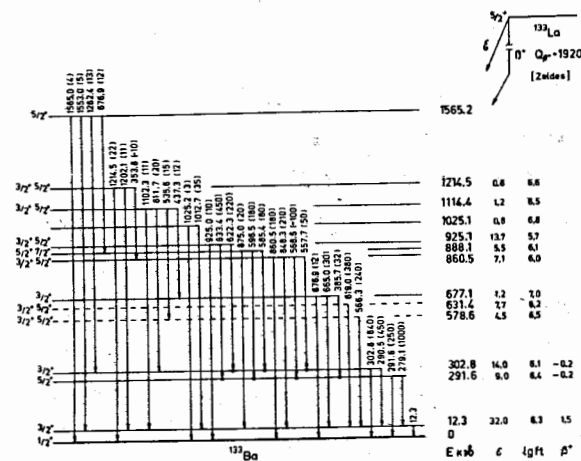


Рис. 3 Схема распада ^{133}La / 4,5 ч. /

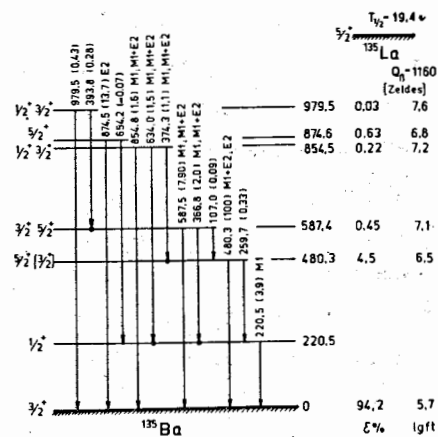


Рис. 4 Схема распада ^{135}La / 19,5 ч. /

Среди возбужденных состояний $^{133}_{56}\text{Ba}$ 77 и $^{135}_{56}\text{Ba}$ 79 идентифицирован ряд уровней, возникающих в результате наложений колебаний четного остова на движение последнего неспаренного нуклона, в данном случае типа (фонон + d 3/2) и (фонон + s 1/2).

В первой части третьей главы изложены результаты исследований распада $^{194m+g}\text{Tl} \rightarrow ^{194}\text{Hg}$. Изотопы таллия получались методом термохроматографии /18/ в режиме "on-line", при облучении мишени из PbF_2 протонами с $E_p = 660$ кэВ. Выделенный таллий сепарировался по массам. Активность полученных таким образом источников была достаточной для измерений с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ и $\text{Si}(\text{Li})$ -детекторов.

Распад $^{194m+g}\text{Tl} \rightarrow ^{194}\text{Hg}$. При исследовании спектров гамма-лучей, возникающих при распаде $^{194m+g}\text{Tl}$, было обнаружено 60 гамма-переходов, уточнены энергии и интенсивности 16 ранее известных /19/. Благодаря высоким качествам гамма-спектрометров, нам удалось наблюдать L- и K-серии рентгеновского излучения Hg , при этом надежно определены интенсивности КХ-лучей. Спектр конверсионных электронов был измерен на 4,0 мм $\text{Si}(\text{Li})$ -детекторе, определены α_K , J_K/J_L и мультипольности 26 гамма-переходов. На основе анализа спектров рентгеновских лучей и электронов внутренней конверсии показано, что изомерный переход с уровня $J^\pi = 7^+$ отсутствует. Впервые выяснены разрядки основного, $J^\pi = 2^-$ и изомерного, $J^\pi = 7^+$ состояний ^{194}Tl , построены соответствующие схемы распада (см.рис. 5,6). Состояния с отрицательной четностью и энергией возбуждения $> 2,0$ МэВ объясняются на основе модифицированной осцилляторной модели /20/. На примере последовательности уровней 0^+ , 2^+ , 4^+ и 6^+ показана неоднозначность в результатах современных теоретических представлений, так как эти состояния с одинаковым успехом можно объяснить и как ротационные и как осцилляторные /21+23/.

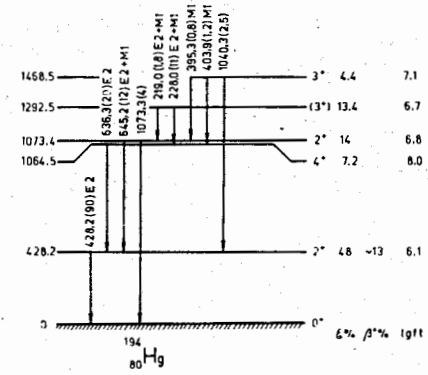
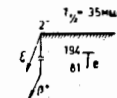


Рис. 5 Схема распада ^{194g}Tl / 35 мин./

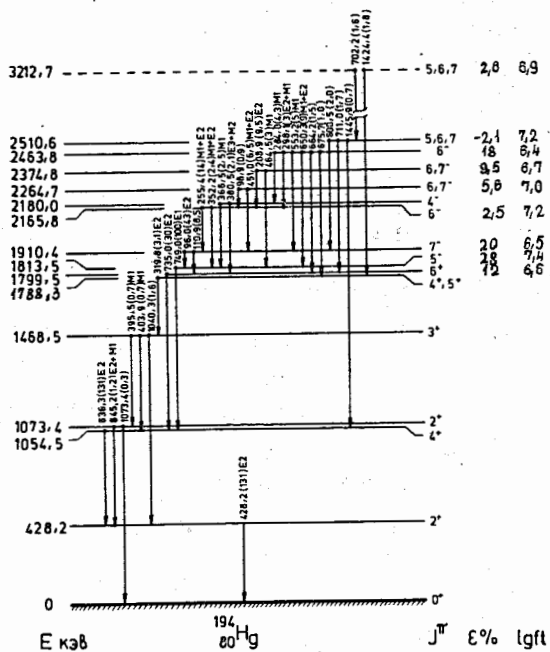
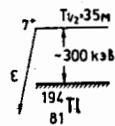


Рис. 6 Схема распада ^{194m}Tl / 35 мин./

Во второй части этой же главы описаны результаты исследования распада нейтронодефицитных изотопов Pm с массовыми числами 205, 206 и 207. Изотопы Pm получались в реакциях глубокого расщепления Tl . Полученный в реакции Pm откачивался и накапливался в ловушке с жидким азотом во время облучения. После этого ловушка переносилась к сепаратору для разделения по массам изотопов Pm .

Распад $^{206}\text{Pm} \rightarrow ^{206}\text{At}$. К началу наших исследований об этом изотопе были известны лишь его период полураспада и доля α - и β -распада. Исследование этого изотопа (равно как и ^{205}Pm) сильно затруднено из-за небольшого выхода, короткого периода полураспада ($T_{1/2} = 5,8$ мин) и большой доли α -распада. Нам удалось впервые исследовать спектр гамма-лучей этого изотопа [24], определить интенсивности КХ-лучей At . Предложены квантовые характеристики основного состояния ^{206}At , $J^\pi = 6^+$. Учитывая большую разность спинов между основными состояниями $^{206}\text{Pm}(0^+)$ и $^{206}\text{At}(6^+)$, а также информацию об энергии и интенсивности гамма-лучей, мы предложили вариант схемы возбужденных состояний ^{206}At (см.рис.7). Введен уровень с $J^\pi = 4^+$ и небольшой энергией ≈ 12 кэВ. Без этого уровня не удастся ввести возбужденные состояния, которые могли бы заселяться при распаде $^{206}\text{Pm}(0^+)$. Высказано предположение о принадлежности первых возбужденных состояний ^{206}At к членам мультиплета $\{p(k\ 9/2)\}$ и $\{f\ 5/2\}$.

Распад $^{205,207}\text{Pm} \rightarrow ^{205,207}\text{At}$. Используя сведения о гамма-спектре ^{205}Pm , а также учитывая систематику энергий возбужденных состояний нечетных изотопов At , мы предложили схему уровней ^{205}At (см.рис.8). Предложены 2 новых уровня.

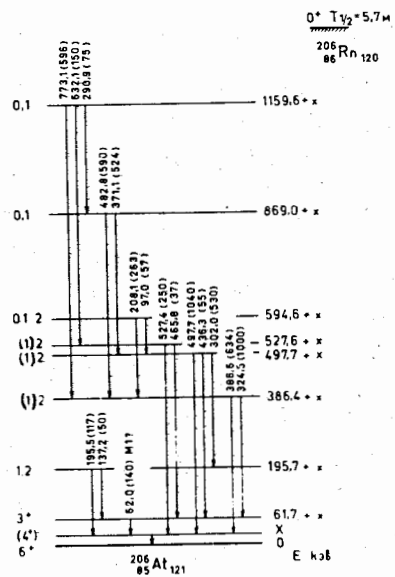


Рис. 7 Вариант схемы распада $^{206}_{86}\text{Rn}$ / 5,8 мин./

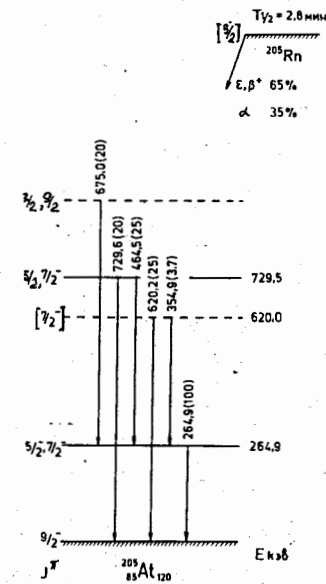


Рис. 8 Схема распада $^{205}_{85}\text{Rn}$ / 2,8 мин./

При распаде ^{207}Rn обнаружено 94 не известных ранее гамма-перехода /25/. Измерена граничная энергия позитронов, определена энергия распада ^{207}Rn , $Q_{\beta^+} = 4616 \pm 70$ кэВ. Для самых интенсивных гамма-переходов определены d_{γ} . Гамма-гамма совпадения исследовались двумя способами - при помощи "4 π " $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора и на установке с двумя $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторами на базе ЭВМ НР-2ИИ6. На основе анализа совпадений введены уровни 344,5; 747,2; 973,2; 976,1; 1018,5; 1041,8; 1119,8 и 1224,6 кэВ, определено отношение K/ρ^+ = $2,8 \pm 0,3$ для уровня 344,5 кэВ /26/. В общей сложности введены 19 новых состояний, определены их квантовые характеристики и величины $l_q(f t)$ (см. рис.9).

В исследованных нечетных изотопах Ba и At , несмотря на их близость к замкнутым оболочкам, кроме состояний, предсказываемых оболочечной моделью, наблюдаются и коллективные, типа (фонон + частица). Это указывает на то, что для описания возбужденных состояний ядер, удаленных от магических на несколько нуклонов, нужно учитывать связь одночастичного движения с коллективным. При этом взаимодействие этого типа проявляется в широком интервале масс. В случае четно-четных ядер ^{132}Ba и ^{194}Hg первые возбужденные состояния трактуются как фоновые. Однако для объяснения природы высоковозбужденных состояний этих ядер, по-видимому, нужно учитывать влияние заполнения разных оболочек на фоновые возбуждения.

Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, были доложены на XX, XXI и XXII ежегодных всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Ленинград, 1970, Москва 1971, Харьков, 1974) и на XI и XIII совещаниях по ядерной спектроскопии и теории ядра (Дубна 1969, 1971 и 1973 г.г.) и опубликованы в печати /2, 7-10, 12, 14-16, 21-26/.

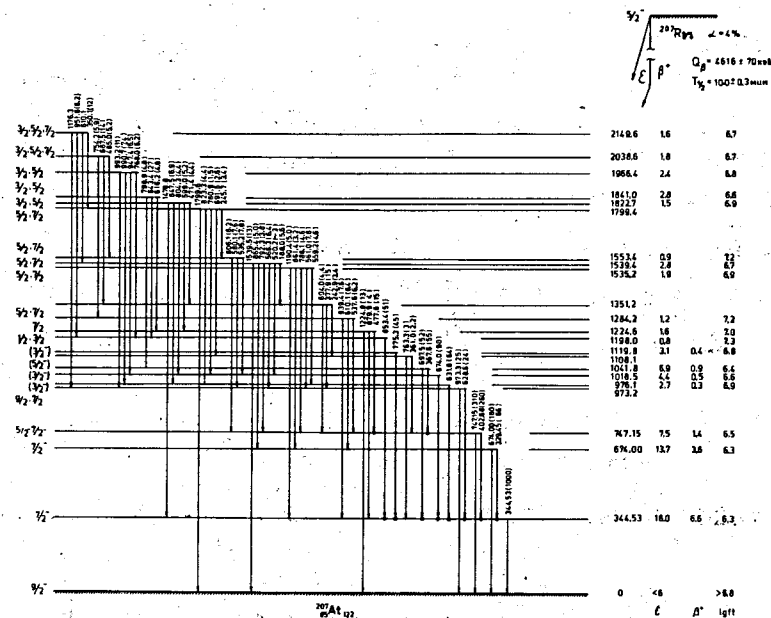


Рис. 9 Схема распада ^{207}Rn / 10,0 мин. /

Литература

1. А.Шестопалова. Изв. АН СССР, сер. физ. т.25, 1302 (1961)
2. Б.Амов, Ц.Вылов, И.Крацикова, Б.П.Осипенко, И.Пенев
XII Совец. по ядерн. спектр. и теории ядра, ОИЯИ, Д6-5783, Дубна, 1971.
3. В.С.Александров, Ф.Дуда, О.Елизаров, Г.П.Жуков, Г.И.Забиякин,
З.Зайдлер, И.Звольски, Е.Т.Кондрат, З.В.Лысенко, В.И.Фоминных,
В.Г.Тишин, М.И.Фоминных, В.М.Цупко-Ситников. Препринт ОИЯИ
13-4279, Дубна, 1969
4. Р.Арльт, М.Гонусек, Х.-У.Зиберт, Г.Музиоль, Х.-Г.Ортлепп,
В.Хабенихт, Е.Хан, Х.Хаупт, Х.Штрусний. Программа и тезисы
докладов XXIV совещ. по ядерн. спектр. и структуре атомн. ядра,
Харьков, 1974
5. G.J.Beyer, H.Grosse-Ryken, V.A.Khalkin, G.Pfrepfer
J. Inorg. Nucl. Chem. 31, 2135 (1969)
6. C.Gerschel et N.Perrin, C.R.Acad. Sci. 269 B 220 (1969)
7. Б.Амов, Ц.Вылов, М.Еникова, Ж.Желев, Н.Лебедев, И.Пенев,
В.Фоминных. Программа и тезисы докладов XX Совец. по ядерн.
спектр. и структуре атомн. ядра, Ленинград, 1970.
8. Б.Амов, Ц.Вылов, М.Еникова, Ж.Желев, Н.Лебедев, И.Пенев,
В.И.Фоминных. Программа и тезисы докладов XXI Совец. по ядерн.
спектр. и структуре атомного ядра, Москва, 1971
9. Б.Амов, Ц.Вылов, М.Еникова, Ж.Желев, Н.Лебедев, И.Пенев,
В.Фоминных, Э.Херрманн. Изв. АН СССР, сер. физ. т.35, №11, 1971,
Препринт ОИЯИ Р6-5794., Дубна, 1971
10. Б.Амов, Ж.Желев, В.Гилев, И.Пенев. Программа и тезисы докл.
XXIV Совец. по ядерн. спектр. и структуре атомного ядра, Харьков,
1974.

11. А.С.Давидов. Возбужденные состояния атомных ядер, Атомиздат,
Москва, 1967
12. С.Аврамов, В.П.Афанасьев, Ц.Вылов, И.И.Громова, М.Еникова,
Ж.Желев, Н.А.Лебедев, И.Пенев. Программа и тезисы докладов
XXI Совец. по ядерн. спектр. и структуре атомн. ядра, Москва, 1971
13. V.Harmatz and T.Handley, Nucl. Phys. 81, 481 (1966)
14. Б.Амов, В.Афанасьев, Ц.Вылов, И.Громова, М.Еникова, Ж.Желев,
И.Пенев, В.Фоминных. XII Совещание по ядерн. спектр. и теор. ядра,
ОИЯИ, Д6-5783, Дубна, 1971.
15. Б.Амов, Ц.Вылов, Ж.Желев, З.Зайдлер, Н.А.Лебедев, И.Пенев
XX Совец. по ядерн. спектр. и структуре атомного ядра
Ленинград, 1970
16. Б.Амов, Ц.Вылов, Ж.Желев, З.Зайдлер, Н.А.Лебедев, И.Пенев
XII Совец. по ядерн. спектр. и теор. ядра, ОИЯИ, Д6-5783, Дубна, 1971.
17. S.Morinobu, T.Hirose, K.Hisata, Nucl. Phys. 61, 613 (1965)
18. T.Fenys, I.Mahunka, M.Mahunka, et al. Proc. Intern. Conf.
of Nucl. far from the region of β -stability, Leysin II, 1801,
1970, GENEVA-CERN 70-30, 1970
19. R.Petry, R.A.Neuman, J.S.Evans Phys.Rev. 174, 1441 (1968).
20. A.Covello and G.Sartoris Nucl. Phys. A104, 189, (1967)
21. Б.Амов, Я.Вандлик, Ц.Вылов, Ж.Желев, Н.Г.Зайцева, И.Пенев,
Х.Тыррофф, XII Совец. по ядерн. спектр. и теор. ядра, Дубна, 1971.
22. Я.Вандлик, Ц.Вылов, Н.Г.Зайцева, И.Пенев, Х.Тыррофф
XXII Совец. по ядерн. спектр. и структуре атомного ядра, Киев, 1972.
23. Б.Амов, Т.Вандлик, Я.Вандлик, Ц.Вылов, Ж.Желев, Н.Г.Зайцева,
И.Пенев, Х.Тыррофф. Препринт ОИЯИ Р6-6250, Дубна, 1972
ж.Ядерная физика, т.16, вып.5, 1972.

24. А.Зелински, К.Зубер, Я.Зубер, А.Колачковски, В.В.Кузнецов, А.Лятушински, Б.В.Норсеев, И.Пенев, А.В.Потемпа, В.Г.Чумин
XIII Совец. по ядерн.спектр.и теор.ядра, ОИЯИ,Д6-7094, Дубна, 1973.
25. А.Зелински, К.Зубер, Я.Зубер, А.Колачковски, В.В.Кузнецов, А.Лятушински, Б.В.Норсеев, И.Пенев, А.В.Потемпа, В.Г.Чумин
XIII Совец. по ядерн.спектр.и теор.ядра, ОИЯИ,Д6-7094, Дубна, 1973.
26. И.Пенев, А.Зелински, К.Зубер, Я.Зубер, А.Колачковски, А.Лятушински, Б.В.Норсеев, Х.-Г.Ортлепп, А.В.Потемпа, В.Г.Чумин
Программа и тезисы докл.XXIV Совец. по ядерн.спектр.и структуре атомного ядра, Харьков, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 мая 1974 года.