

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



СЗ41.18

3-495

8/1x-75

P6 - 8929

А.Зелински, К.Зубер, Я.Зубер, В.В.Кузнецов,
А.Колачковски, А.Лятушински, Ю.В.Норсеев,
Х.-Г.Ортлепп, И.Пенев, А.В.Потемпа

3333/2-75

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕТА-РАСПАДА
НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ ИЗОТОПОВ РАДОНА

^{207}Rn ($T_{1/2} = 10$ МИН), ^{206}Rn ($T_{1/2} = 5,7$ МИН)

и ^{205}Rn ($T_{1/2} = 2,8$ МИН)

1975

А.Зелински, К.Зубер, Я.Зубер, В.В.Кузнецов,
А.Колачковски, А.Лятушински, Ю.В.Норсеев,
Х.-Г.Ортлепп, И.Пенев, А.В.Потемпа

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕТА-РАСПАДА
НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ ИЗОТОПОВ РАДОНА
 ^{207}Rn ($T_{1/2} = 10$ МИН), ^{206}Rn ($T_{1/2} = 5,7$ МИН)
И ^{205}Rn ($T_{1/2} = 2,8$ МИН)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Зелински А., Зубер К., Зубер Я., Кузнецов В.В.,
Колачковски А., Лятушински А., Норсеев Ю.В., Ортлепп Х.-Г.,
Пенев И., Потемпа А.В.

P6 - 8929

Исследование бета-распада нейтронодефицитных изотопов
радона ^{207}Rn ($T_{1/2} = 10$ мин), ^{206}Rn ($T_{1/2} = 5,7$ мин) и
 ^{205}Rn ($T_{1/2} = 2,8$ мин)

Проведено исследование распада короткоживущих изотопов ^{207}Rn ,
 ^{206}Rn и ^{205}Rn .

Предлагаются схемы распада этих ядер.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1975

Zelinsky A., Zuber K., Zuber Ya.,
Kuznetsov V.V., Kolachkovsky A.,
Lyatushinsky A., Norseev Yu.V.,
Ortlepp H.-G., Penev I., Potempa A.V.

P6 - 8929

β -Decay of Neutron-Deficient

Isotopes of ^{207}Rn ($T_{1/2} = 10$ min),
 ^{206}Rn ($T_{1/2} = 5.7$ min) and ^{205}Rn ($T_{1/2} = 2.8$ min)

The decay of short-lived isotopes ^{207}Rn , ^{206}Rn and
 ^{205}Rn has been studied. The decay schemes of these nuclei
are suggested.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1975

Введение

Исследование возбужденных состояний нейтронодефицитных изотопов астата, проявляющихся в бета-распаде радиоактивных ядер радона, позволяет изучить основные свойства многочастичных состояний ядер вблизи оболочек $Z = 82$, $N = 126$. В частности, в ядрах ^{205}At и ^{207}At , кроме одночастичных состояний 85-го протона и состояний, связанных с его взаимодействием с фоном, должны возбуждаться уровни, принадлежавшие мультиплету $(h 9/2)^3$.

В работах /1-3/ при исследовании возбужденных состояний ядер $^{201, 203, 205}_{83}\text{Bi}$ и $^{211}_{85}\text{At}$ обнаружены низколежащие состояния (1,0 ~ 1,5 МэВ) с положительной четностью, которые можно интерпретировать как дырочные состояния, обусловленные переходом протонов из состояний $s_{1/2}$, $d_{3/2}$, $d_{5/2}$ заполненной оболочки $Z = 82$. Некоторые данные о существовании этого типа состояний в ядрах ^{207}At и ^{209}At содержатся в работах /4,5/.

Изучение распада $^{204, 206, 208}\text{Rn}$ интересно с точки зрения исследования свойств мультиплета $p(h 9/2)^3 n(f 5/2)^{1,3, -3}$, члены которого должны проявляться при бета-распаде. Недавно в работе /6/ при

исследовании миллисекундных изомеров нечетно-нечетных ядер ^{204}Bi и ^{206}Bi в реакции $^{203}\text{Tl}(\alpha, 3n)^{204}\text{Bi}$ и $^{205}\text{Tl}(\alpha, 3n)^{205}\text{Bi}$ наблюдались только самые нижние состояния этого мультиплета. Бета-распадные свойства $^{204,206,208}\text{Rn}$ до сих пор изучены очень мало. Первые данные о гамма-лучах, возникающих при распаде ^{208}Rn и возбужденных состояниях ^{208}At , представлены в работах /7,8/.

В настоящей работе наиболее полно проведено исследование распада ^{207}Rn , предлагается схема распада $^{207}\text{Rn} \rightarrow ^{207}\text{At}$, получены дополнительные данные о схеме распада $^{205}\text{Rn} \rightarrow ^{205}\text{At}$, впервые исследовался спектр гамма-лучей, возникающих при распаде ^{206}Rn и обсуждается вариант схемы распада $^{206}\text{Rn} \rightarrow ^{206}\text{At}$. Предварительные результаты этой работы сообщались в работах /9-12/.

Приготовление источников

Радиоактивные изотопы $^{205,206,207}\text{Rn}$ получались в реакции расщепления тория протонами с энергией $E_p = 660 \text{ МэВ}$ на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Мишень из окиси тория весом 0,5кг, помещенная в кварцевую колбу, облучалась на внешнем пучке протонов синхроциклотрона.

Газообразные продукты реакции, в том числе атомы радона, диффундировали из окиси тория и откачивались в специальной вакуумной системе через охлаждаемую жидким атомом ловушку с активированным углем. Ловушки с радиоактивными продуктами реакции переносились к масс-сепаратору, подключались к ионному источнику масс-сепаратора и подогревались. Поступающие в источник ионов атомы радона ионизировались и переносились на коллектор масс-сепаратора. Вся процедура длилась приблизительно 7-8 мин. от конца облучения мишени.

Метод получения масс-сепарированных источников благородных газов подробно описан в работе /13/.

Все измерения проводились с помощью спектрометров с полупроводниковыми $\text{Ge}(\text{Li})$ - и $\text{Si}(\text{Li})$ - детекторами. Для измерений гамма-спектров и спектров гамма-гамма-совпадений применялись детекторы с чувствительными объемами 3 см^3 (разрешение 1,1 кэВ при энергии 120 кэВ), 40 см^3 (разрешение 2,5 кэВ при энергии 1332 кэВ), 27 см^3 (разрешение 2,7 кэВ при энергии 1332 кэВ) и 38 см^3 (разрешение 3,1 кэВ при энергии 1332 кэВ). Для измерений спектров электронов внутренней конверсии применялся $\text{Si}(\text{Li})$ -детектор с разрешением 2,0 кэВ при энергии 120 кэВ, а для измерения спектра позитронов ^{207}Rn - $\text{Si}(\text{Li})$ -детектор толщиной 14 мм с разрешением ~8кэВ.

В спектре гамма-лучей, возникающих при распаде ^{207}Rn , наблюдалось 109 гамма-переходов. Энергии и интенсивности этих переходов сведены в табл.1. Десять переходов наблюдались раньше в работе /4/. В спектре электронов внутренней конверсии наблюдались конверсионные электроны только интенсивных переходов, и для этих переходов рассчитаны значения коэффициентов внутренней конверсии и определены мультипольности: 329,4 (M1); 344,5 (E2+20% M1); 402,7 (M1); 674,0 (E2) и 747,2 кэВ (M1+E2).

Результаты анализа спектров электронов внутренней конверсии хорошо согласуются с данными, полученными в работе /4/. В спектрах γ - γ -совпадений при распаде ^{207}Rn наблюдались совпадения перехода 344,5 кэВ с гамма-лучами с энергией 329,5; 402,6; 553,2; 628,6; 631,6; 674,0; 697,5; 775,3 и 853,4 кэВ; перехода 402,7 кэВ - с 344,5; 367,6; 477,8 кэВ; перехода 674 кэВ - с 344,5 кэВ; перехода 747,2 кэВ - с 367,6 и 477,8 кэВ.

Анализ совпадений перехода 344,5 кэВ с КХ-рентгеновскими лучами и с аннигиляционным излучением позволил установить, что уровень с энергией 344,5 кэВ интенсивно заселяется позитронами, для этого состояния также определили соотношение $K/\beta^+ = 2,8 \pm 0,3$.

Таблица I
Энергии и интенсивности гамма-лучей, возникающих
при распаде ^{207}Pb

$E_\gamma \pm \Delta E_\gamma [\text{кэВ}]$	$I_\gamma \pm \Delta I_\gamma$	$E_\gamma \pm \Delta E_\gamma [\text{кэВ}]$	$I_\gamma \pm \Delta I_\gamma$
188,01 ± 0,3	5,6 ± 1,1	511,00 ± 0,06	178 ± 18
233,8 ± 0,2	15 ± 3	520,2 ± 0,3	3 ± 1,5
242,9 ± 0,4	3,4 ± 1,0	524,2 ± 0,3	5 ± 2,5
245,7 ± 0,4	3,4 ± 0,8	535,2 ± 0,5	7,8 ± 2,0
295,5 ± 0,3	8,8 ± 1,5	537,6 ± 0,5	6,2 ± 1,8
308,0 ± 0,4	3,7 ± 0,8	547,0 ± 0,2	7,2 ± 2,0
329,45 ± 0,05	66 ± 7	553,2 ± 0,1	26 ± 5
337,6 ± 0,4	2,8 ± 2,0	559,2 ± 0,4	4,6 ± 1,1
344,53 ± 0,05	1000	561,1 ± 0,2	7,8 ± 1,6
350,1 ± 0,3	12 ± 3	566,3 ± 0,2	6,4 ± 2,0
361,0 ± 0,4	2,2 ± 1,0	573,4 ± 0,4	3,8 ± 1,2
367,6 ± 0,05	55 ± 6	580,1 ± 0,3	7,6 ± 2,0
377,9 ± 0,2	15 ± 3	599,0 ± 0,4	5,2 ± 1,8
380,3 ± 0,6	5,8 ± 2,0	604,0 ± 0,4	4,4 ± 1,1
402,68 ± 0,05	260 ± 26	610,1 ± 0,2	8,4 ± 1,7
417,7 ± 0,2	10 ± 2,1	616,2 ± 0,4	4,8 ± 1,2
436,3 ± 0,3	6,5 ± 1,8	620,7 ± 0,2	7,0 ± 2,0
443,5 ± 0,4	4,2 ± 1,3	628,6 ± 0,1	2,4 ± 5
446,1 ± 0,1	11 ± 2,2	631,6 ± 0,1	64 ± 6
471,4 ± 0,7	4,4 ± 1,2	636,0 ± 0,4	3 ± 1,5
475,6 ± 0,2	15 ± 4	638,1 ± 0,4	3 ± 1,5
477,8 ± 0,5	7,8 ± 1,7	643,4 ± 0,2	27 ± 5
485,0 ± 0,6	5,2 ± 1,6	647,2 ± 0,1	39 ± 8
486,9 ± 0,5	6,4 ± 1,8	655,6 ± 0,4	4,2 ± 1,5

Таблица I (продолжение)

1		2	
660,4 ± 0,2	19 ± 4	853,4 ± 0,1	51 ± 10
672,0 ± 0,3	14 ± 4	861,4 ± 0,4	3,2 ± 1,2
674,0 ± 0,05	265 ± 25	865,4 ± 0,4	5,0 ± 2,3
685,8 ± 0,1	27 ± 5	873,5 ± 0,7	5,3 ± 2,4
687,5 ± 0,2	14 ± 4	879,9 ± 0,7	4,0 ± 1,5
691,5 ± 0,5	2,6 ± 1,0	884,5 ± 0,3	6,6 ± 2,5
697,5 ± 0,1	52 ± 8	892,7 ± 0,7	22 ± 4
700,5 ± 0,1	9,7 ± 2,0	908,6 ± 0,1	30 ± 15
712,8 ± 0,2	13 ± 4	919,8 ± 0,3	6,4 ± 2,7
739,8 ± 0,5	5,0 ± 1,7	923,2 ± 0,6	2,8 ± 1,4
747,15 ± 0,07	310 ± 30	939,4 ± 0,3	7,6 ± 2,4
751,6 ± 0,4	10 ± 2	947,9 ± 0,4	6,5 ± 2,0
754,2 ± 0,6	5,9 ± 1,4	951,8 ± 0,4	8,2 ± 3,0
763,4 ± 0,7	2,0 ± 0,7	973,35 ± 0,13	55 ± 10
768,0 ± 0,3	6,2 ± 2,0	983,0 ± 0,5	5,2 ± 2,0
775,3 ± 0,09	45 ± 6	985,8 ± 0,3	8,4 ± 3,0
780,9 ± 0,4	1,5	990,7 ± 0,3	7,4 ± 2,5
788,1 ± 0,4	4,6 ± 1,3	993,2 ± 0,3	11 ± 3
792,3 ± 0,4	3,8 ± 1,0	999,2 ± 0,2	26 ± 4
798,9 ± 0,3	4,8 ± 1,4	1083,0 ± 0,7	6 ± 3,0
804,3 ± 0,7	4,4 ± 2,0	1121,1 ± 0,5	5 ± 2,0
806,1 ± 0,5	6,2 ± 2,3	1129,7 ± 0,5	4,4 ± 2,0
820,7 ± 0,4	5,0 ± 2,0	1172,0 ± 0,4	-
823,3 ± 0,4	4,4 ± 1,6	1176,3 ± 0,6	-
884,8 ± 0,3	3,8 ± 1,3	1190,4 ± 0,5	5,0 ± 2
847,5 ± 0,3	6,9 ± 2,6	1224,8 ± 0,2	13 ± 3

Таблица I (продолжение)

1	2	3	4
1254,6 ± 0,2	7,4 ± 3	1326,6 ± 0,7	-
1474,3 ± 0,7	-	1478,8 ± 0,7	-
1507,5 ± 0,6	10 ± 4	1522,8 ± 0,4	15 ± 4
1539,5 ± 0,7	13 ± 5	1799,6 ± 0,8	-
1806,1 ± 0,8	-	2576,6 ± 0,3	6,6 ± 2,0

Исходя из измерений величины K/β^+ , и предположив, что распад является разрешенным, можно получить значение $E_{\text{гр}} \beta^+ = 3,0 \pm 0,2$ МэВ. Соответственно, разность масс $^{207}\text{Rn} - ^{207}\text{At}$ равна $Q_{\beta^+} = 4,4 \pm 0,2$ МэВ. Непосредственное измерение спектра позитронов дало величину $E_{\text{гр}} \beta^+ = 3,25 \pm 0,10$ МэВ и, соответственно, $Q_{\beta^+} = 4,61 \pm 0,10$ МэВ в предположении, что наблюдаемые позитроны заселяют уровень 344,5 кэВ в ^{207}At .

В спектре гамма-лучей, возникающих при распаде ^{205}Rn , наблюдаются шесть гамма-переходов (табл.2).

Таблица 2
Энергии и интенсивности гамма-лучей, возникающих при распаде ^{205}Rn

E_{γ} [кэВ]	I_{γ}	E_{γ} [кэВ]	I_{γ}
264,9	100	620,2	25
354,9	3,7	675,0	20
464,5	25	729,6	20

Три из них наблюдались ранее в работе ^{/4/}. В спектре электронов внутренней конверсии ^{205}Rn наблюдались K и L линии перехода 264,9 кэВ. Соотношение их интенсивностей $I_K/I_L = 2,1$ указывает на мультипольность перехода 264,9 кэВ - E2.

Спектр гамма-лучей, возникающих при распаде ^{206}Rn , исследовался впервые. Результаты анализа этого спектра даны в табл.3. Из соотношения интенсивностей KX-рентгеновского излучения и интенсивности гамма-лучей с энергией 62,0 кэВ можно сделать вывод, что мультипольность перехода с энергией 62,0 кэВ ниже M2.

Схемы распада

а) $^{207}\text{Rn} \rightarrow ^{207}\text{At}$

На основе анализа спектров γ - γ -совпадений при распаде ^{207}Rn введены 10 возбужденных состояний ^{207}At . Исходя из баланса энергий и интенсивностей гамма-переходов, мы ввели еще 12 состояний. В предлагаемой схеме распада ^{207}Rn (рис.1) размещено большинство наблюдаемых гамма-переходов. Суммарная интенсивность неразмещенных гамма-переходов составляет ~30% распадов. Пять первых возбужденных состояний идентичны состояниям, введенным в работе ^{/4/}. Значения спинов и четностей состояний ^{207}Rn и ^{207}At , как и в работе ^{/4/}, приняты, согласно оболочечной модели, $5/2^-$ и $9/2^-$, соответственно. Спины и четности возбужденных состояний ^{207}At определены на основе анализа значений $lg ft$, мультипольностей гамма-переходов и способа разрядки этих состояний.

б) $^{205}\text{Rn} \rightarrow ^{205}\text{At}$

На основе энергетического баланса и баланса интенсивностей наблюдаемых гамма-переходов в ^{205}At и сравнения с возбужденными состояниями ^{207}At и ^{209}At ^{/5/} можно ввести возбужденные состояния с энергиями 620,0 и 939,9 кэВ дополнительно к двум состояниям с энергией 264,9 и 729,5 кэВ, ранее известным из работы ^{/4/}.

Таблица 3
Энергии и интенсивности гамма-лучей, возникающих
при распаде ^{206}Rn

$E_{\gamma} \pm \Delta E_{\gamma} [\text{кэВ}]$	$I_{\gamma} \pm \Delta I_{\gamma}$	$E_{\gamma} \pm \Delta E_{\gamma} [\text{кэВ}]$	$I_{\gamma} \pm \Delta I_{\gamma}$
$K_{L\alpha}$	4700 ± 500	$386,6 \pm 0,2$	634 ± 60
$K_{K\beta}$	1400 ± 150	$436,3 \pm 0,4$	55 ± 16
$62,0 \pm 0,1$	143 ± 15	$444,2 \pm 0,3$	280 ± 30
$97,2 \pm 0,1$	52 ± 6	$458,5 \pm 0,5$	50 ± 10
$101,2 \pm 0,2$	36 ± 4	$465,8 \pm 0,5$	37 ± 6
$134,2 \pm 0,2$	50 ± 6	$482,8 \pm 0,3$	590 ± 66
$186,5 \pm 0,3$	68 ± 8	$485,6 \pm 0,3$	314 ± 35
$195,5 \pm 0,2$	117 ± 15	$497,7 \pm 0,2$	1040 ± 150
$208,1 \pm 0,2$	263 ± 26	$527,4 \pm 0,3$	250 ± 30
$213,4 \pm 0,4$	110 ± 17	$536,6 \pm 0,3$	165 ± 26
$215,4 \pm 0,4$	40 ± 8	$632,1 \pm 0,3$	150 ± 23
$290,9 \pm 0,4$	75 ± 10	$643,2 \pm 0,6$	67 ± 10
$302,1 \pm 0,3$	530 ± 65	$716,9 \pm 0,6$	68 ± 10
$324,5 \pm 0,2$	1000	$738,5 \pm 0,5$	155 ± 20
$350,7 \pm 0,3$	127 ± 20	$757,1 \pm 0,5$	107 ± 15
$371,1 \pm 0,3$	524 ± 55	$773,1 \pm 0,4$	596 ± 65
		$795,1 \pm 0,4$	100 ± 17

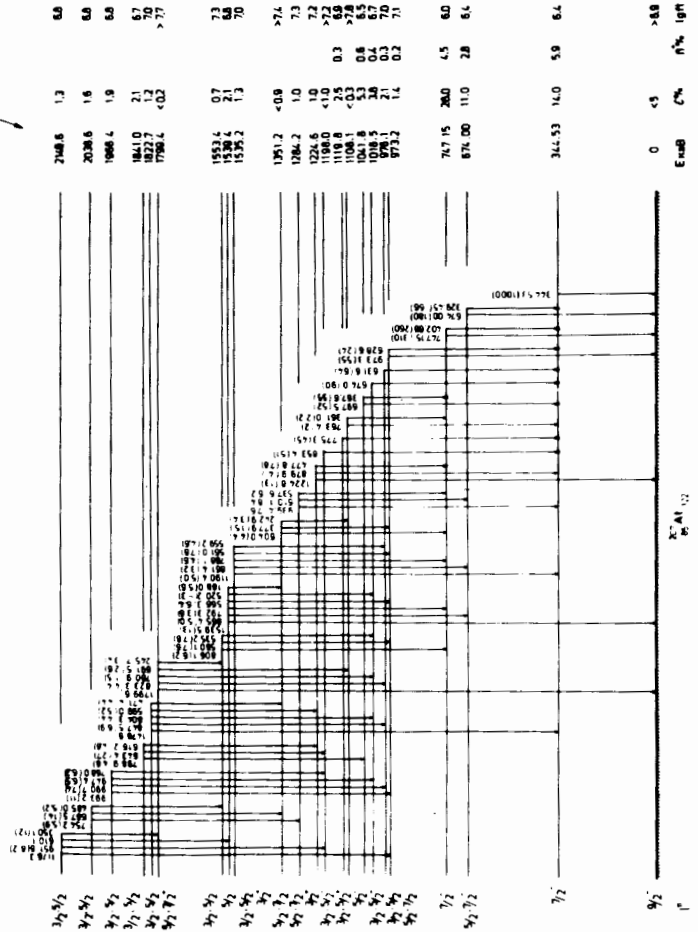
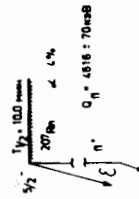


Рис.1. Схема распада $^{207}\text{Rn} \rightarrow ^{207}\text{At}$.

Схема распада $^{205}\text{Rn} \rightarrow ^{205}\text{At}$ представлена на рис.2.

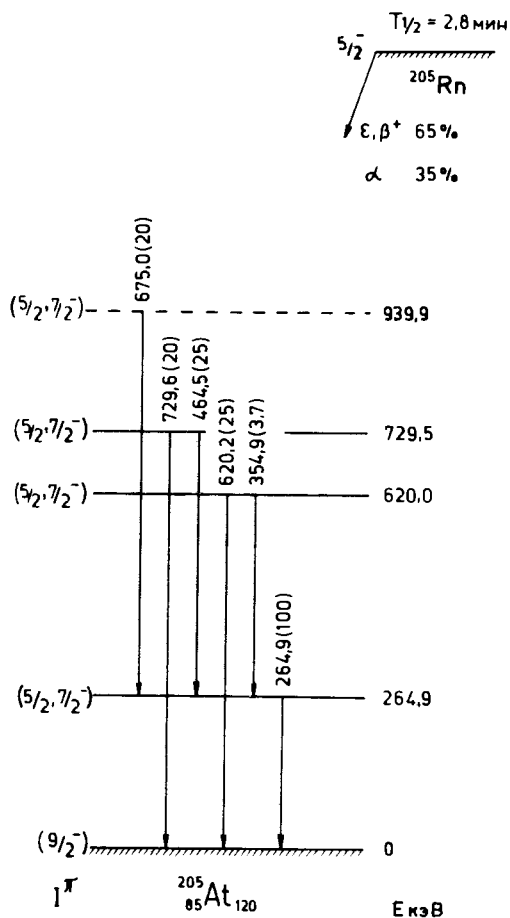


Рис.2. Схема распада $^{205}\text{Rn} \rightarrow ^{205}\text{At}$.

в) $^{206}\text{Rn} \rightarrow ^{206}\text{At}$

На основе баланса энергий и интенсивностей наблюдаемых гамма-переходов можно сконструировать несколько возможных вариантов схемы распада $^{206}\text{Rn} \rightarrow ^{206}\text{At}$. Наиболее вероятным вариантом схемы нам кажется схема, включающая возбужденные состояния ^{206}At с энергиями 61,7; 386,4; 497,8; 527,5; 869,0 и 1159,0 кэВ. Так как спин четно-четного ядра ^{206}Rn $I^\pi=0^+$, а низкоэнергетической области в ядре ^{206}At должны выступать состояния мультиплетов

$$\{p(h_{9/2})_{0^+}^2 + (h_{9/2})^1, n(f_{5/2})_{0^+}^2 + (f_{5/2})^1\} I^\pi = 2^+, 3^+ \dots 7^+$$

$$\text{и } \{p(h_{9/2})_{0^+}^2 + (h_{9/2})^1, n(f_{5/2})_{0^+}^{-2} + (p_{1/2})^1\} I^\pi = 4^+, 5^+$$

с основным состоянием 7^+ , или как для соседнего ядра ^{204}Bi 6^+ , то эти состояния не будут непосредственно заселяться при бета-распаде ^{206}Rn . При бета-распаде ^{206}Rn в основном должны заселяться состояния с малым значением спина. В частности, возбужденное состояние с $I^\pi=1^+$ является членом мультиплета

$$\{p(h_{9/2})_{0^+}^2 + (f_{7/2})^1, n(f_{5/2})_{0^+}^2 + (f_{5/2})^1\} 1^+, 2^+ \dots 6^+$$

и по энергии возбуждения должны быть выше 0,5 МэВ. Большая разность значений спинов основных состояний должна привести к выступлению развитых каскадов гамма-переходов и без достаточно полного изучения $\gamma-\gamma$ и $e-\gamma$ - совпадений нельзя предполагаемую схему считать окончательно установленной. Небольшое энергетическое расщепление мультиплета $\{p(h_{9/2}), n(f_{5/2})\}$, наблюдаемое в соседних ядрах висмута, возможно проявится также и в ядре ^{206}At , что будет связано с появлением интенсивного, низкоэнергетического сильно конвертируемого перехода, не наблюдавшегося нами, что, в свою очередь, приведет к сдвигу возбужденных состояний ^{206}At (рис. 3).

Обсуждение результатов

На рис.4 проведено сравнение нижних возбужденных состояний нечетных ядер At . Наблюдается некоторый сдвиг состояний при переходе от ^{209}At к ^{211}At . По-видимому, это следует объяснить влиянием конфигурации нейтронов. В ядрах $^{205,207,209}At$ заполняется нейтронами подоболочка $f_{5/2}$, а в ядре ^{211}At оболочка $N=126$ уже заполнена. Обращают на себя внимание состояния 745,8; 747,2 и 729,5 кэВ в ядрах $^{209,207,205}At$, соответственно. Эти состояния сильно заселяются путем бета-распада, в частности в случае ядра ^{207}At для состояния 747,2 кэВ значение $lg ft = 6,0$. Эти состояния можно интерпретировать, в основном, как одночастичные состояния протона $f_{7/2}$ как это было сделано в работах [4,5]. Аналогичным состоянием в ядре ^{211}At является уровень 674,1 кэВ $^{2/}$. Пока трудно однозначно интерпретировать первые возбужденные состояния ядер $^{205,207,209}At$ ($I^\pi = 7/2^-$). Они могут быть состояниями мультиплета $(h_{9/2})^3$ (Соответствующий уровень $7/2^-$ в ядре ^{211}At имеет энергию 886 кэВ) или состояниями, возникающими в результате взаимодействия фонона с нечетным протоном $h_{9/2}$, как это проявляется в ядрах $^{203,205,207}Bi$ $^{3/}$ в области энергий 800-900 кэВ. В пользу первой из этих интерпретаций служит тот факт, что в ядрах $^{207,209}At$ первые возбужденные состояния $I^\pi = 7/2^-$ разряжаются преимущественно $E2$ -переходами, в то время как уровни, обусловленные взаимодействием протона $h_{9/2}$ с фононом в ядрах висмута, разряжаются переходом типа $M1$.

В предлагаемой нами схеме распада ^{207}Rn относительно низко (при $E \approx 1100$ кэВ) появляются состояния с положительной четностью. Их природу, по-видимому, можно объяснить так же, как и в случае ядра ^{205}Bi , разрывом пары протонов в заполненной оболочке $Z = 82$.

Литература

1. M.Alpsten, G.Astner. Nucl.Phys., A134, 407 (1969).
2. G.Astner. Phys.Scripta. 5, 41 (1972).
3. M.Alpsten, G.Astner. Phys.Scripta, 5, 41 (1972).
4. Т.Кэмписты, А.Корман, Т.Морек, Л.К.Пекар, Нгуен Тат То, З.Харатым, С.Хойнацки. Препринт ОИЯИ, Р6-7003, Дубна, 1973.
5. Ц.Вылов, Н.А.Головков, К.Я.Громов, И.И.Громова, А.Колачковски, М.Я.Кузнецова, Ю.В.Норсеев, В.Г.Чумин. Препринт ОИЯИ, Р6-7583, Дубна, 1973; Изв.АН СССР, сер.физ., т.38, 701 (1974).
6. Ю.Н.Ракивненко, Е.А.Скаун, Г.И.Яценко, К.С.Гончаров, Программа и тезисы докладов ХХП Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Киев, 1972, стр.162.
7. Ц.Вылов, М.Гасиор, Н.А.Головков, И.И.Громова, А.Колачковски, В.В.Кузнецов, А.Лятушински, Г.И.Лизурей, Ю.В.Норсеев, В.Г.Чумин, Б.С.Джелепов, В.П.Приходцева, Т.И.Попова. Препринт ОИЯИ, Д6-7094, Дубна, 1973, стр.151.
8. В.П.Афанасьев, М.Гасиор и др. Препринт ОИЯИ, Д6-7094, Дубна, 1973, стр.153.
9. А.Зелински, К.Зубер, Я.Зубер и др. Препринт ОИЯИ, Д6-7094, Дубна, 1973, стр.145.
10. А.Зелински, К.Зубер, Я.Зубер и др. Препринт ОИЯИ, Д6-7094, Дубна, 1973, стр.149.
11. И.Пенев, А.Зелински, К.Зубер и др. Программа и тезисы докладов ХХIV Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Харьков, 1974, стр. 159.
12. И.Пенев. Автореферат диссертации ОИЯИ, 6-7911, Дубна, 1974.
13. А.Зелински, К.Зубер, Я.Зубер и др. Сообщение ОИЯИ, 6-6949, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 июня 1975 года