

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



4/11/74

P6 - 7583

B-926

830/2-74

Ц.Вылов, Н.А.Головков, К.Я.Громов, И.И.Громова,  
А.Колачковски, М.Я.Кузнецова, Ю.В.Норсеев,  
В.Г.Чумин

РАСПАД <sup>209</sup>Rn.

ВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ <sup>209</sup>At

**1973**

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

P6 - 7583

Ц.Вылов, Н.А.Головков, К.Я.Громов, И.И.Громова,  
А.Колачковски, М.Я.Кузнецова, Ю.В.Норсеев,  
В.Г.Чумин

РАСПАД <sup>209</sup>Rn.

ВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ <sup>209</sup>At

Направлено в Изв. АН СССР

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Вылов Ц., Головков Н.А., Громов К.Я., Громова И.И.,  
Колачковски А., Кузнецова М.Я., Норсеев Ю.В.,  
Чумин В.Г.

P6 - 7583

Распад  $^{209}\text{Rn}$ . Возбужденные состояния  $^{209}\text{At}$ .

Исследовано излучение  $^{209}\text{Rn}$ . Предложена схема распада  $^{209}\text{Rn} \rightarrow ^{209}\text{At}$ . Введено двадцать четыре возбужденных состояния  $^{209}\text{At}$ . Определены доли заселения возбужденных уровней  $^{209}\text{At}$  при распаде  $^{209}\text{Rn}$ , рассчитаны соответствующие значения  $lgft$ . Обнаружено две компоненты позитронов при распаде  $^{209}\text{Rn}$ ; определена разность масс  $^{209}\text{Rn} - ^{209}\text{At}$ ,  $Q\beta = (3928 \pm 40)$  КэВ. Обсуждается возможная природа возбужденных состояний  $^{209}\text{At}$ .

Препринт Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна, 1973

Vylov Ts., Golovkov N.A., Gromov K.Ya.,  
Gromova I.I., Kolachkovsky A.,  
Kuznetsova M.Ya., Norseev Yu.V.,  
Chumin V.G.

P6 - 7583

Decay of  $^{209}\text{Rn}$ . Excited States of  $^{209}\text{At}$

Radiation of  $^{209}\text{Rn}$  is studied. The decay scheme  $^{209}\text{Rn} \rightarrow ^{209}\text{At}$  is suggested. Twenty four excited states of  $^{209}\text{At}$  are introduced. The population parts of  $^{209}\text{At}$  excited states are determined for  $^{209}\text{Rn}$  decay. The corresponding values of  $lgft$  are calculated. Two components of positrons at  $^{209}\text{Rn}$  decay are observed; the mass difference,  $^{209}\text{Rn} - ^{209}\text{At}$ , is determined:  $Q\beta = (3928 \pm 40)$  keV. Possible nature of  $^{209}\text{At}$  excited states is discussed.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1973

### Введение

Целью настоящей работы является исследование возбужденных состояний  $^{209}\text{At}$ , возникающих при распаде  $^{209}\text{Rn}$  ( $T_{1/2} = 28,5$  мин.) /1/. Фрагмент схемы распада  $^{209}\text{Rn} \rightarrow ^{209}\text{At}$ , включающий состояния с энергиями возбуждения 408,3 кэВ ( $7/2^-$ ) и 746 кэВ ( $7/2^-$ ), был предложен в работе Камписты и др. /2/.

Нами были опубликованы предварительные результаты исследования спектров гамма-лучей, конверсионных электронов, позитронов и гамма-гамма совпадений /3-5/. В работе /4/ был предложен вариант схемы распада  $^{209}\text{Rn} \rightarrow ^{209}\text{At}$ , содержащий уровни с энергиями возбуждения 408,3 ( $5/2^-$ ,  $7/2^-$ ); 745,5 ( $7/2^-$ ); 794,8; 1081,0 ( $1/2^-$ ); 1092,7 ( $3/2^-$ ); 1097,4 ( $3/2^-$ ); 1394,0 ( $5/2^-$ ); 1953,0 ( $3/2^+$ ,  $5/2^+$ ); 2135,5 ( $3/2^+$ ); 2414,7 ( $3/2^+$ ,  $5/2^+$ ) и 2521,5 кэВ ( $3/2^+$ ,  $5/2^+$ ). Там же предложена интерпретация возбужденного состояния  $^{209}\text{At}$  с энергией 745,5 кэВ ( $7/2^-$ ,  $lgft = 6,1$ ) -  $p(2f_{7/2}^1)$ .

В работе /6/ подтверждены результаты работы /4/.

В настоящей работе предлагается вариант схемы распада  $^{209}\text{Rn} \rightarrow ^{209}\text{At}$ , включающий возбужденные состояния  $^{209}\text{At}$  до 3700 кэВ. Этот вариант получен при дальнейшем анализе опублико-

ванных нами данных, а также в результате более детального исследования спектра гамма-лучей  $^{209}\text{Rn}$  в энергетической области выше 1 МэВ и уточнения энергий гамма-лучей с  $E_\gamma < 1,5$  МэВ.

### Экспериментальная часть. Результаты

В исследованиях использовался моноизотоп  $^{209}\text{Rn}$ , полученный по методике, описанной в /1/. Измерения спектров начинались через 40–60 мин. после конца облучения мишени на пучке протонов синхротронного ускорителя ОИЯИ.

Спектры гамма-лучей исследованы с помощью Ge(Li)-детекторов объемом 0,5; 8,2 и 37 см<sup>3</sup> с энергетическим разрешением 1,5; 2,5 и 2,3 кэВ соответственно при  $E_\gamma = 1332$  кэВ ( $^{60}\text{Co}$ ) /7/.

Обработка гамма-спектров проводилась на ЭВМ Минск-2 по программе "Каток" /8,9/. Энергии  $\gamma$ -лучей определены по методу, описанному в /10/. Экспериментальные результаты приведены в таблицах I и 2. Абсолютные интенсивности  $\gamma$ -лучей в процентах на распад получены из экспериментального значения интенсивностей рентгеновских K-лучей и конверсионных K-электронов дочернего ядра  $^{209}\text{At}$  с учетом, что доля альфа-распада  $^{209}\text{Rn}$  составляет 17% /1/, а доля  $\beta^+$ -распада – (3,2±0,6)%. Интенсивность позитронов рассчитана в предположении, что гамма-лучи с энергией 511 кэВ целиком обусловлены аннигиляцией позитронов.

Спектры конверсионных электронов  $^{209}\text{Rn}$  исследованы с помощью поверхностно-барьерных Si(Li)-детекторов (чувствительный слой 4 мм, площадь 80 мм<sup>2</sup>, энергетическое разрешение 2–4 кэВ). Для фильтрации сопровождающего излучения в некоторых измерениях применялось однородное магнитное поле /11/. Экспериментальные результаты приведены в таблицах Ia и 3.

Таблица Ia. Энергии  $\gamma$ -лучей, интенсивности  $\gamma$ -лучей и конверсионных электронов  $^{209}\text{Rn}$ . Мультипольности переходов.

$E_\gamma$ (кэВ)	$I_\gamma$ (% на распад) × 10 <sup>2</sup>	$I_K$ (% на распад) × 10 <sup>2</sup>	$I_{\text{полн.}}$ (% на распад) × 10 <sup>2</sup>	$\alpha_K \times 10^2$	Мультипольность
1	2	3	4	5	6
$K_{\alpha_2}$	217±15	-	217±15	-	-
$K_{\alpha_1}$	388±19	-	388±19	-	-
$K_{\beta_1}$	140±10	-	140±10	-	-
$K_{\beta_2}$	41±5	-	41±5	-	-
182,04±0,16	2,33±0,51	-	>2,33	-	-
188,40±0,30	1,08±0,27	-	>1,08	-	-
275,90±0,25	3,28±0,66	-	>3,28	-	-
279,20±0,10	10,3±1,06	63,6±7,1	18,1±1,9	61,7±9,7	M1
286,57±0,13	2,80±0,92	-	>2,80	-	-
296,55±0,35	3,04±0,40	5,47±1,37	3,68±0,57	18,0±5,1	E2+M1
302,85±0,10	5,15±1,28	22,3±2,6	7,86±1,83	43,3±11,9	M1
337,45±0,04	135±4	443±26	188±8	32,9±2,4	M1
357,38±0,15	2,99±0,83	-	>2,99	-	-
380,68±0,15	5,15±1,54	~9,4	6,17±2,50	~18,2	(M1)
386,43±0,07	19,2±1,2	44,0±2,4	24,6±1,6	22,9±2,1	M1
408,32±0,04	468±14	163±6	493±16	3,48±0,17	> 97% E2
461,41±0,07	13,4±0,7	17,2±1,0	15,5±0,8	12,9±1,1	M1
526,80±0,50	1,87±0,56	~1,4	2,00±0,70	~7,5	(M1)
577,10±0,08	9,12±0,58	4,56±0,58	9,73±0,67	5,00±0,70	M1+E2
599,41±0,40	5,38±0,48	3,86±0,73	5,84±0,58	7,18±1,50	M1
605,45±0,50	1,59±0,16	~1,0	1,69±0,25	~6,3	(M1)
672,82±0,04	30,4±1,0	3,50±0,70	30,8±1,1	1,15±0,24	E2
684,90±0,10	10,8±1,3	10,8±1,1	12,2±1,6	10,0±1,7	M2; E0+E2+M1
689,28±0,05	90,2±2,9	44,5±2,0	95,6±3,4	4,93±0,32	M1
695,90±0,30	2,20±0,22	~0,75	2,30±0,30	~3,4	(M1)
705,50±0,20	2,46±0,25	<0,7	2,50±0,30	<2,8	(E1, E2)
722,50±0,30	3,84±0,22	1,86±0,28	4,05±0,30	4,85±0,81	M1
730,95±0,30	2,38±0,14	-	2,40±0,20	-	-
745,78±0,04	212±6	75,4±5,7	221±7	3,56±0,30	M1
761,59±0,08	5,18±0,34	3,02±0,81	5,55±0,45	5,83±1,63	M1
794,72±0,07	31,3±2,1	~2,4	31,7±2,3	~0,77	(E2)
855,76±0,05	45,3±2,4	~2,5	45,6±2,7	~0,55	(E1, E2)

Продолжение таблицы Ia.

1	2	3	4	5	6
872,40±0,15	6,54±2,28	-	6,60±2,30	-	-
948,70±1,00	2,33±0,48	0,57±0,15	2,41±0,58	2,45±0,81	(M1)
951,47±0,80					(M1)
985,90±0,20	5,00±0,50	0,36±0,08	5,04±0,52	0,72±0,18	E2
1021,50±0,50	1,71±0,30	0,18±0,06	1,72±0,37	1,05±0,39	E2, M1
1027,55±0,20	1,72±0,35	-	1,72±0,37	-	-
1037,93±0,06	38,7±2,0	0,79±0,16	38,8±2,1	0,20±0,04	E1
1054,53±0,07	15,2±0,8	0,44±0,13	15,3±0,8	0,29±0,09	E1
1059,45±0,15	5,23±0,40	0,28±0,09	5,26±0,41	0,54±0,18	E2
1065,55±0,07	15,8±0,8	1,95±0,20	16,0±0,8	1,23±0,14	M1

Таблица Ib. Энергии и интенсивности  $\gamma$ -лучей  $^{209}\text{Rn}$ .

$E_\gamma$ (кэВ)	$I_\gamma$ (% на распад) x 10	$E_\gamma$ (кэВ)	$I_\gamma$ (% на распад) x 10
1082±1	1,0±0,5	1338,00±0,80	1,44±0,19
1085±1	1,4±0,5	1341,40±0,35	4,64±0,40
1097,55±0,25	2,20±0,20	1376,95±0,60	0,88±0,08
1110,20±0,40	1,17±0,48	1394,42±0,09*	9,07±0,38
1119±1	0,47±0,20	1471,8±0,5	1,33±0,16
1129±1	1,59±0,21	1497,8±0,8	0,88±0,14
1135,20±0,30	1,92±0,25	1500,2±0,4	0,80±0,10
1158,80±0,11	7,76±0,49	1543,05±0,10	7,53±0,46
1186,66±0,17	3,86±0,28	1592,1±0,3	1,75±0,11
1207,35±0,40	2,26±0,21	1597,4±0,6	0,91±0,11
1278,80±0,45	0,83±0,11	1603,0±1,0	0,47±0,12
1291,20±0,70	0,43±0,11	1608,5±1,0	0,60±0,08
1298,25±0,40	2,02±0,20	1616,0±1,0	0,58±0,12
1323,05±0,55	0,38±0,18	1631,5±1,0	0,51±0,15

\*  $I_K(I_{394,42 \text{ кэВ}}) = (0,0037 \pm 0,0010)\%$  на распад  $^{209}\text{Rn}$ ,

$\alpha_K = 0,0041 \pm 0,0011$ ; мультипольность перехода-E2.

Продолжение таблицы Ib.

1	2	1	2
1635,0±1,0	0,50±0,15	2394,7±0,6	0,79±0,09
1665,5±1,0	0,65±0,13	2413,5±0,6	0,63±0,07
1669,5±1,0	1,10±0,15	2426,0±1,0	~0,3
1692,8±0,6	0,45±0,12	2446,9±0,4	0,61±0,10
1700,2±0,6	0,41±0,11	2453,5±0,5	0,56±0,11
1708,95±0,15	6,22±0,48	2460,8±0,6	1,61±0,11
1722,5±1,0	1,30±0,15	2463,7±0,6	0,93±0,11
1741,0±1,0	0,33±0,12	2475,5±0,4	0,93±0,14
1746,1±0,3	1,36±0,11	2485,7±0,4	0,89±0,23
1771,2±0,5	1,78±0,11	2536,7±0,7	0,38±0,10
1774,3±0,5	0,91±0,10	2555,7±0,3	1,06±0,08
1778,2±0,5	~0,7	2638,8±0,6	0,66±0,13
1796,5±0,3	1,53±0,10	2642,9±0,3	2,92±0,30
1875,0±1,0	0,43±0,17	2646,4±0,8	0,75±0,15
1887,0±1,0	0,60±0,23	2656,4±0,4	0,56±0,12
1912,0±0,7	0,57±0,23	2667,0±1,0	0,28±0,10
1925,7±0,3	2,52±0,16	2694,9±0,6	0,42±0,10
1950,0±1,0	0,46±0,10	2750,3±0,6	0,46±0,10
1954,3±1,0	1,21±0,12	2762,5±0,7	0,55±0,09
2074,5±0,3	0,87±0,10	2798,1±0,5	0,62±0,07
2114,05±0,20	3,07±0,11	2824,3±1,0	~0,25
2121,2±0,5	0,70±0,14	2833,5±1,0	~0,25
2130,5±1,0	0,61±0,12	2881,0±1,0	0,42±0,10
2133,8±1,0	0,52±0,08	2937,0±1,0	0,28±0,10
2145,0±1,0	0,56±0,17	2942,0±0,3	1,22±0,19
2150,0±1,0	1,41±0,14	2981,0±1,0	0,18±0,06
2160,7±0,6	0,80±0,10	3007,5±0,6	0,51±0,06
2176,5±0,4	0,67±0,11	3088,5±1,0	0,38±0,12
2195,5±0,4	1,02±0,10	3118,0±1,5	~0,15
2205,2±1,0	0,58±0,11	3123,5±1,5	~0,15
2281,7±0,4	1,03±0,10	3136,0±0,8	1,20±0,12
2290,5±0,3	0,68±0,11	3143,7±0,8	0,59±0,07
2306,0±1,5	~0,25	3169,5±1,5	0,18±0,05
2317,2±0,4	0,78±0,11	3183,0±1,5	0,20±0,05
2346,0±0,3	1,08±0,11	3218,0±1,5	0,23±0,05

Таблица 2. Энергии  $\gamma$ -лучей, принадлежность которых распаду  $^{209}\text{Rn}$  окончательно не установлена.

№ п/п	$E_\gamma$ (кэВ)	№ п/п	$E_\gamma$ (кэВ)	№ п/п	$E_\gamma$ (кэВ)
1.	~ 147	21.	1143,5 $\pm$ 0,8 <sup>жж)</sup>	41.	1786,6 $\pm$ 0,5 <sup>жж)</sup>
2.	~ 152	22.	1192,0 $\pm$ 1,0	42.	1812,5 $\pm$ 1,0 <sup>ж)</sup>
3.	202,3 $\pm$ 0,4	23.	~ 1252	43.	1823 $\pm$ 1 <sup>жж)</sup>
4.	206,2 $\pm$ 0,4	24.	~ 1258	44.	1836 $\pm$ 1 <sup>жж)</sup>
5.	211,7 $\pm$ 0,4	25.	~ 1265 <sup>ж)</sup>	45.	~ 1848
6.	224,8 $\pm$ 0,6	26.	~ 1272	46.	~ 1858
7.	230,4 $\pm$ 0,8	27.	1317,8 $\pm$ 0,8 <sup>жж)</sup>	47.	~ 1865
8.	249,3 $\pm$ 0,4	28.	1349,1 $\pm$ 0,8	48.	~ 1883
9.	256,3 $\pm$ 0,4	29.	1415,5 $\pm$ 1,0 <sup>жж)</sup>	49.	2043,5 $\pm$ 1,0 <sup>жж)</sup>
10.	263,1 $\pm$ 0,4	30.	1420,5 $\pm$ 1,0	50.	2233 $\pm$ 1 <sup>жж)</sup>
11.	265,2 $\pm$ 0,6	31.	1429 $\pm$ 1 <sup>жж)</sup>	51.	~ 2251
12.	324,9 $\pm$ 0,4	32.	~ 1439	52.	2335,7 $\pm$ 0,8
13.	497,2 $\pm$ 0,4 <sup>ж)</sup>	33.	1512,6 $\pm$ 0,7	53.	2369,5 $\pm$ 1,0
14.	625,2 $\pm$ 0,7	34.	1516,8 $\pm$ 1,0	54.	~ 2404
15.	635,3 $\pm$ 0,4	35.	1555,5 $\pm$ 1,0	55.	~ 2437
16.	642,0 $\pm$ 0,6	36.	~ 1559	56.	~ 2496
17.	656,8 $\pm$ 0,5	37.	1568 $\pm$ 1 <sup>ж)</sup>	57.	~ 2810
18.	806,3 $\pm$ 0,4 <sup>ж)</sup>	38.	1594 $\pm$ 1	58.	~ 2932
19.	819,1 $\pm$ 0,5 <sup>ж)</sup>	39.	1727,5 $\pm$ 0,7 <sup>жж)</sup>		
20.	921,6 $\pm$ 0,4 <sup>жж)</sup>	40.	1761,0 $\pm$ 0,7		

ж) Интенсивность перехода составляет около 0,1% на распад  $^{209}\text{Rn}$ ; интенсивность других переходов ниже 0,1%.

жж) Переход размещен в схеме распада  $^{209}\text{Rn} - ^{209}\text{At}$ .

Таблица 3. Интенсивности конверсионных К-, L-, M- электронов и мультипольности переходов.

$E_\gamma$ (кэВ)	$I_K$ (%на распад) $\times 10$	$I_L$ (%на распад) $\times 10$	$I_M$ (%на распад) $\times 10$	Мульти- польность
337,45	443 $\pm$ 26	70,7 $\pm$ 6,1	18,6 $\pm$ 1,3	M1
386,43	44,0 $\pm$ 2,4	7,69 $\pm$ 1,00	3,28 $\pm$ 1,0	M1
408,32	163 $\pm$ 6	73,3 $\pm$ 5,2	20,3 $\pm$ 2,3	97% E2
461,41	17,2 $\pm$ 1,0	2,97 $\pm$ 0,20	-	M1
689,26	44,5 $\pm$ 2,0	7,27 $\pm$ 1,67	1,6	M1
745,78	75,4 $\pm$ 5,7	13,1 $\pm$ 1,7	3,72 $\pm$ 1,13	M1

Ошибки в определении абсолютных интенсивностей гамма-лучей и конверсионных электронов являются среднеквадратичными, полученными из 3 + 5 определений, и не включают ошибку (~8%), обусловленную погрешностью в определении интенсивности  $K_\alpha$ -лучей.

Спектр позитронов исследован с помощью Si(Li)-спектрометра с однородным магнитным полем /II/. Обнаружены две компоненты с граничными энергиями (2620 $\pm$ 120)кэВ и (2160 $\pm$ 40)кэВ и интенсивностями (0,85 $\pm$ 0,27)% и (2,35 $\pm$ 0,50)% на распад  $^{209}\text{Rn}$ . Полная интенсивность позитронов нормирована к (3,2 $\pm$ 0,6)% на распад  $^{209}\text{Rn}$ .

Спектры  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений исследованы с помощью двумерного анализатора /I2/ с двумя Ge(Li)-детекторами с чувствительными объемами ~30 см<sup>3</sup>. Анализ спектров совпадений проводился по методу, описанному в /I3/, результаты анализа представлены в таблице 4. Ошибки в определении интенсивностей  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений составляют (20 + 30)% для  $I_{\gamma\gamma} > 30$  единиц и могут достигать 50% для  $I_{\gamma\gamma} < 30$  единиц.

Анализ спектров  $\gamma$ -лучей и конверсионных электронов при распаде  $^{209}\text{Rn}$  позволил рассчитать экспериментальные значения коэффициентов внутренней конверсии (КВК) и сделать вывод о мультипольности ряда переходов в ядре  $^{209}\text{At}$  - (табл. Ia). При этом предполагалось, что переходы с энергиями 337,45 и 408,32 кэВ являются переходами типа M1 и E2 соответственно. Мультипольности переходов 337,45; 386,43; 408,32; 461,41; 689,26; 745,78 кэВ были определены на основе сравнения экспериментальных отношений  $I_K : I_L : I_M$  (табл.3) с теоретическими /I4/. Поскольку в рассматриваемой области энергии, отношения  $I_K : I_L : I_M$  практически одинаковы в случае мультипольностей E1 и M1, принимались во внимание также экспериментальные значения I.

Таблица 4. Интенсивности  $\gamma$ - $\gamma'$ -совпадений.

$E_{\gamma_1}$ (кэВ)	$E_{\gamma_2}$ (кэВ)	$I_{\gamma_1\gamma_2}$ эксперимент	а)
			$I_{\gamma_1\gamma_2}$ по схеме распада
279,20	408,32	+	8
	1037,93	+	6,5
337,45	408,32	128	128
	511,0	20	15
408,32	386,43	+	16
	461,41	20	9
	511,0	40	30
	672,82	31	29
	684,90	17	10
	689,26	88	83
	855,76	48	37
	872,40	14	5
	985,90	20	5
	1037,93	44	32
	1054,53	24	12
2114,05	+	3	
461,41	689,26	11	8
	855,76	14	9,5
672,82	1054,53	25	13
689,26	855,76	30	39
	1037,93	29	33
745,78	511,0	31	23

а) Рассчитанные для предложенной схемы распада  $^{209}\text{Rn} - ^{209}\text{At}$  интенсивности  $\gamma$ - $\gamma'$ -совпадений нормированы по  $I_{\gamma_1\gamma_2} / 337,45 \times 408,32$

Схема распада. Обсуждение

На рис I. приведена предлагаемая схема распада  $^{209}\text{Rn} - ^{209}\text{At}$ . Светлыми кружками на схеме помечены переходы, обнаруженные в спектрах  $\gamma$ - $\gamma'$ -совпадений. Все уровни, возбуждение которых снимается такими переходами, введены на основе анализа гамма-гамма совпадений, остальные уровни вводятся из соображений сохранения энергетического баланса и баланса интенсивностей. Переходы, изображенные волнистой линией, размещены в схеме дважды. На схеме распада  $^{209}\text{Rn} - ^{209}\text{At}$  указаны: энергии возбужденных состояний  $^{209}\text{At}$ , энергии и мультипольности гамма-переходов между ними, возможные спины и четности уровней  $^{209}\text{At}$ , а также доли заселения их при распаде  $^{209}\text{Rn}$  (в процентах на полный распад) и соответствующие значения  $I_{\gamma_1\gamma_2}$ . Суммарная интенсивность переходов, не размещенных в предложенной схеме распада, составляет  $(11,0 \pm 2,5)\%$  на распад  $^{209}\text{Rn}$ . Следует заметить, что на данном этапе исследований однозначное приписывание спинов и четностей возбужденным состояниям  $^{209}\text{At}$  затруднительно. Мультипольности переходов с энергиями 794,72 кэВ (E2) и 855,76 кэВ (E1) нельзя считать установленными окончательно, что вызывает понятные трудности в определении квантовых характеристик ряда уровней  $^{209}\text{At}$  и не исключает возможности изменить расположение нескольких переходов в схеме распада. Приписывание спина и четности уровню с энергией 1093,20 кэВ зависит от мультипольности перехода 684,90 кэВ - M2 или E0 + E2 + M1. Однако, несмотря на указанные неопределенности, ожидать значительных изменений в предложенной схеме распада нет оснований.

Исходя из предложенной схемы распада  $^{209}\text{Rn}$  и измеренных значений энергии позитронов, разность масс  $^{209}\text{Rn} - ^{209}\text{At}$  полу-

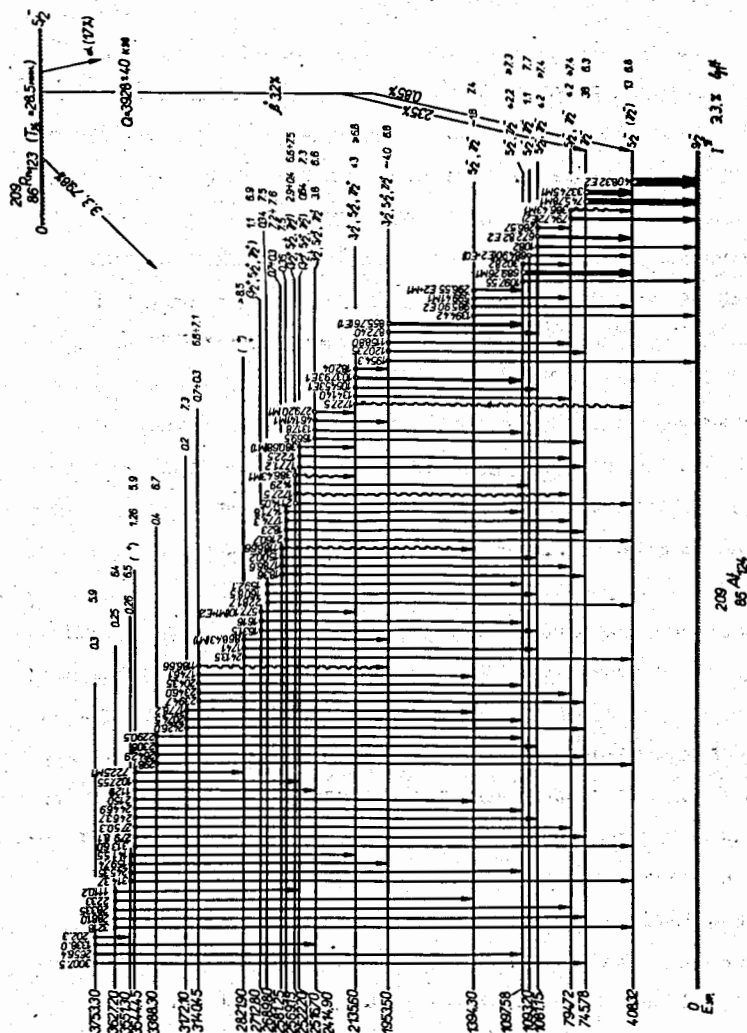


Рис. 1. Схема распада  $^{209}\text{Rn} \rightarrow ^{209}\text{At}$ .

чена равной  $(3928 \pm 40)$  кэВ. Это первое значение разности масс  $^{209}\text{Rn} - ^{209}\text{At}$ , определенное экспериментально. Полуэмпирическое значение её  $3762 /16/$ ,  $3946 /17/$  и  $3959$  кэВ  $/18/$ .

Спины и четности основных состояний ядер  $^{209}\text{At}$  и  $^{209}\text{Rn}$ , согласно модели оболочек и данным работ  $/1, 15/$ , приняты  $9/2^-$  и  $5/2^-$  соответственно. Основное состояние  $^{209}\text{At}_{124}$  можно описать конфигурацией  $[p(1h_{9/2}^3)n(3p_{1/2}^{-2})] 9/2^-$ , а основное состояние  $^{209}\text{Rn} - [p(1h_{9/2}^4)n(2f_{5/2}^{-1})] 5/2^-$ . В волновой функции основного состояния  $^{209}\text{Rn}$  возможна примесь конфигурации  $[p(1h_{9/2}^2, 2f_{7/2}^2)n(2f_{5/2}^{-1})] 5/2^-$ .

На рис. 2 приведена схема оболочек вблизи  $Z=82$  и  $N=126$ , на которой указаны также наиболее вероятные при распаде  $^{209}\text{Rn}$  частичные переходы  $p \rightarrow n$  ( $Q_{\beta^+} = 3928$  кэВ). В результате этих переходов в ядре  $^{209}\text{At}$  должны возбуждаться состояния, описываемые следующими конфигурациями:

1.  $p(1h_{9/2}^2, 2f_{7/2}^1)$ ,  $I^{\pi} = 7/2^-$ ,  $E_{ур.} \leq 1$  МэВ
2.  $p(1h_{9/2}^4, 2d_{3/2}^{-1})$ ,  $I^{\pi} = 3/2^+$
3.  $p(1h_{9/2}^4, 2d_{5/2}^{-1})$ ,  $I^{\pi} = 5/2^+$
4.  $p(1h_{9/2}^3)n(2f_{5/2}^{-1}, 2g_{9/2}^1)$ ,  $I^{\pi} = 3/2^+, 5/2^+, 7/2^+ \dots$
5.  $p(1h_{9/2}^3)n(2f_{5/2}^{-1}, 1i_{11/2}^1)$ ,  $I^{\pi} = 3/2^+, 5/2^+, 7/2^+ \dots$
6.  $p(1h_{9/2}^2, 2f_{7/2}^1)n(2f_{5/2}^{-1}, 2g_{9/2}^1)$ ,  $I^{\pi} = 3/2^+, 5/2^+, 7/2^+ \dots$
7.  $p(1h_{9/2}^4, 3s_{1/2}^{-1})n(2f_{5/2}^{-1}, 3p_{1/2}^1)$ ,  $I^{\pi} = 3/2^+, 5/2^+, 7/2^+ \dots$
8.  $p(1h_{9/2}^4, 2d_{3/2}^{-1})n(2f_{5/2}^{-1}, 3p_{1/2}^1)$ ,  $I^{\pi} = 3/2^+, 5/2^+, 7/2^+ \dots$

Ожидается, что возбужденные состояния  $2 + 8$  должны иметь энергии  $\sim 2$  МэВ и выше.

Ряд возбужденных состояний  $^{209}\text{At}_{124}$  может возникать в результате слабой связи нечетного протона с возбужденным четно-



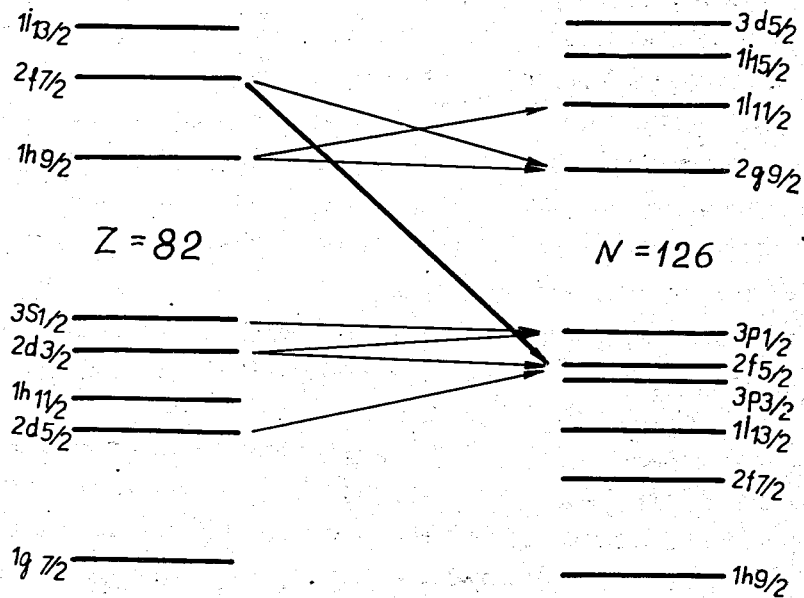


Рис.2. Схема оболочек вблизи  $Z = 82, N = 126$ .

четным остовом -  $^{208}_{84}\text{Po}_{124}$ ; в частности, при энергии ниже  $I \div I,5$  МэВ возможны состояния:

$$^{208}\text{Po}(685 \text{ кэВ}, 2^+) [p(1h_{9/2}^3)]_{9/2^-}, I^\pi = 5/2^-, 7/2^- \dots$$

$$^{208}\text{Po}(685 \text{ кэВ}, 2^+) [p(1h_{9/2}^2 [0, 2f_{7/2}^1])]_{7/2^-}, I^\pi = 3/2^-, 5/2^-, 7/2^- \dots$$

Имеются основания /19/ интерпретировать возбужденное состояние  $^{208}\text{Po}$  с энергией 685 кэВ ( $2^+$ ) как состояние, обусловленное взаимодействием протонных и нейтронных возбуждений.

При распаде  $^{209}\text{Rn} \rightarrow ^{209}\text{At}$  в ядре  $^{209}\text{At}$  могут также возбуждаться трехпротонные состояния типа  $p(1h_{9/2}^3)$  и  $p(1h_{9/2}^2, 2f_{7/2}^1)$ , имеющие отрицательную четность. Не исключено и смешивание близких по энергии состояний с одинаковыми квантовыми характеристиками.

Все эти соображения убеждают в том, что при распаде  $^{209}\text{Rn}$  может быть возбуждена весьма сложная схема уровней  $^{209}\text{At}$ , причем нижние уровни должны иметь отрицательную четность, а уровни, расположенные выше  $\sim 1,5$  МэВ, преимущественно - положительную. Предлагаемая нами схема уровней  $^{209}\text{At}$  (рис. 1) качественно подтверждает эти выводы. Полученные значения  $\lg ft$  для уровней с энергией выше  $\sim 1,5$  МэВ согласуются со значениями для ожидаемых однократно запрещенных переходов.

Увеличение вероятности распада  $^{209}\text{Rn}$  с возбуждением высоко расположенных уровней  $^{209}\text{At}$  ( $E_{\text{ур.}} > 3$  МэВ) находится в полном согласии с результатами исследования силовой  $\beta$ -функции  $^{209}\text{Rn}$  /20/. Заметим только, что полученные нами численные значения вероятности распада  $^{209}\text{Rn}$  с возбуждением уровней  $^{209}\text{At}$ , расположенных выше 1 МэВ, несколько меньше, чем приведенные в работе /20/.

10. В.С.Александров,Ц.Вылов,Т.М.Муминов,Б.П.Осипенко. ОИЯИ, Р6-7308, 1973.
11. Е.Береги,Ц.Вылов,И.Крацкова,Ли Чен Сон,Б.П.Осипенко, Л.А.Пермякова,В.Г.Тишин. ОИЯИ, Р13-6830, Дубна, 1972.
12. Ц.Вылов,З.Зайдлер,И.Звольски,Е.Т.Кондрат,В.В.Кузнецов, В.А.Морозов,М.И.Фоминих,В.И.Фоминих,В.М.Цушко-Ситников. ОИЯИ, IO-7034, Дубна, 1973.
13. П.Галан,М.Кузнецова,М.Фингер,И.Држик. Czech.J.of Phys. В 19, 232 (1969).
14. R.S.Hager,Е.С.Seltzer. Nucl.Data,4,No.5-6,397,(1968).
15. Н.А.Головков,Ш.Гузтх,Б.С.Джелепов,Ю.В.Норсеев,В.А.Халкин, В.Г.Чумин. Изв.АН СССР, сер.физ.,33, 1622 (1969).
16. A.H.Wapstra,N.B.Gove. Nucl.Data Tables,9,No.4-5,265 (1971).
17. N.Zeldes,A.Grill,A.Simievic. Mat.Fys.Skr.Dan.Vid.Selsk. 3, No.5 (1967).
18. W.D.Myers,W.J.Swiatecki. UCRL-11980, 1965.
19. W.J.Treytl,E.K.Hyde,T.Yamazaki. Nucl.Phys.,A117,481 (1968).
20. C.L.Duke,R.G.Hansen,O.B.Nielsen,G.Rudstam. Nucl.Phys., A151,609.(1970).

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 декабря 1973 года.