

С.341.26

X-708

23/VIII-71

2857/2-71

P6 - 5879

С. Хойнацки, Т. Морек, Л.К. Пекер,
Т. Кэмписты, К. Петрозолн

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ВОЗБУЖДЕННЫХ УРОВНЕЙ
ЯДЕР ^{194}Pb и ^{196}Pb**

P6 - 5879

С. Хойнацки, Т. Морек, Л.К. Пекер,
Т. Кэмписты, К. Петрозолин

ИССЛЕДОВАНИЕ
ВОЗБУЖДЕННЫХ УРОВНЕЙ
ЯДЕР ^{194}Rb и ^{196}Rb

Объединенный институт
ядерных исследований
Библиотека

Хойнацки С., Морек Т., Пекер Л.К., Кемписты Т.,
Петрозоллин К.

P6-5879

Исследование возбужденных уровней ядер ^{196}Pb и ^{194}Pb

Уровни четных изотопов свинца исследовались при распаде изотопов висмута, полученных в реакциях $^{181}\text{Ta}(^{22}\text{Ne}, xn)^{203-x}\text{Bi}$ и $^{181}\text{Ta}(^{20}\text{Ne}, xn)^{201-x}\text{Bi}$. В результате проведенных измерений γ -спектров и γ - γ -совпадений нами предложены схемы уровней ^{196}Pb и ^{194}Pb .

Сообщения Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1971

Chojnacki S., Morek T., Pekar L.K., Kempisty T., P6-5879
Petrozolin K.

Investigation of Excited Levels of ^{196}Pb and ^{194}Pb Nuclei

Levels of even-even lead isotopes were investigated at the decay of bismuth isotopes produced in reactions $^{181}\text{Ta}(^{22}\text{Ne}, xn)^{203-x}\text{Bi}$ and $^{181}\text{Ta}(^{20}\text{Ne}, xn)^{201-x}\text{Bi}$. The level schemes of ^{196}Pb and ^{194}Pb were assumed on the basis of the measurements of gamma-spectra and gamma-gamma coincidences.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1971

1. Введение

Исследование уровней "полуmagicеских" ядер позволяет получать сведения о квазичастичных нейтронных или протонных состояниях и тем самым об особенностях остаточного взаимодействия нейтронов или протонов в ядрах. К таким ядрам относятся и четные изотопы Pb , поэтому их возбужденные уровни оказались объектом многочисленных экспериментальных и теоретических исследований. К настоящему времени в ядрах свинца с $A \geq 198$ при распаде ядер висмута и в ядерных реакциях помимо уровней с $I = 2^+$; 4^+ выявляются уровни типа $I = 5^-$; 7^- ; 9^- (табл. 3), которые было принято интерпретировать как двухнейтронные уровни типа $n_1(1_{13/2})n_2(I)$, где $I = p 3/2$; $p 1/2$; $f 5/2$, а также ряд других уровней. Однако до сих пор не было никаких сведений об уровнях более легких изотопов ^{196}Pb и ^{194}Pb .

В настоящей работе впервые предприняты поиски уровней ядер, возбуждающихся при $\beta^+ - \epsilon$ распаде $^{196,194}Bi$. Отметим, что до сих пор эти изотопы Bi были известны только как α -излучатели.

В ряде теоретических работ было предсказано, что в легких изотопах Pb с $A \leq 200$ уровень с $I = 9^-$ должен лежать ниже уровня с $I = 7^-$ и вследствие этого быть долгоживущим изомерным состоянием. В настоящей работе предприняты поиски таких состояний и показано, что период их полураспада $T_{1/2} < 2$ мин. Это позволяет судить о том, что уровни с $I = 9^-$ лежат не ниже, а выше уровня с $I = 7^-$.

2 Эксперимент

Нейтрондефицитные изотопы висмута были получены в реакциях $^{181}\text{Ta} (^{22}\text{Ne}, xn) ^{203-x}\text{Bi}$ и $^{181}\text{Ta} (^{20}\text{Ne}, xn) ^{201-x}\text{Bi}$. Мишени (металлические фольги толщиной ≈ 3 мг/см²) облучались на выведенном пучке тяжелых ионов циклотрона У-300. Были измерены функции возбуждения. Массовое число ядер - продуктов реакции - определялось по изменению выходов γ - переходов с изменением энергии падающих тяжелых ионов, а также по данным о периодах полураспада наблюдаемых γ - линий. При поисках изомеров в изотопах свинца облучались довольно толстые мишени ($\approx 0,1$ мм) из вольфрама с естественным изотопным составом. Это обеспечивало получение сразу нескольких изотопов исследуемого элемента. Усложнение γ - спектров в этом случае не мешает обнаружению изомерных состояний, так как γ - переходы между уровнями с $I = 4+; 2+; 0+$, которые должны сопровождать распад этих изомеров, хорошо известны. После облучения источники через 2 мин. переносились к детектору. Измерения γ -спектров проводились на $\text{Ge}(\text{Li})$ - детекторе объемом 13 см³ с разрешением 4,5 кэв. Измерялись также спектры γ - γ - совпадений. Для этого применялась схема совпадений $^6/6$; в качестве детекторов использовались кристалл $\text{Ge}(\text{Li})$ объемом 13 см³ и кристалл $\text{NaJ}(\text{Tl})$ размером 2" x 2".

3. Результаты измерений

а) ^{196}Bi и ^{194}Bi . .

^{196}Bi был получен в реакциях $^{181}\text{Ta} (^{22}\text{Ne}, 7n) ^{196}\text{Bi}$ и $^{181}\text{Ta} (^{20}\text{Ne}, 5n) ^{196}\text{Bi}$ при энергии ионов $^{22}\text{Ne} - 150$ Мэв и $^{20}\text{Ne} - 110$ Мэв. Определенный нами период полураспада этого изотопа $T_{1/2} = 4,6 \pm 0,5$ мин. Обнаруженные γ -линии в β -распаде ^{196}Bi и их интенсивности приведены в таблице 1. Измерения γ - γ - совпадений показали, что переходы 372 кэв, 688 кэв и 1048,5 кэв образуют каскад. Учитывая их интенсивности, можно построить фрагмент схемы уровней ^{196}Pb , показанный на рис. 1.

^{194}Bi был получен в реакциях $^{181}\text{Ta} (^{22}\text{Ne}, 9n) ^{194}\text{Bi}$ и $^{181}\text{Ta} (^{20}\text{Ne}, 7n) ^{194}\text{Bi}$ при энергии ионов $^{22}\text{Ne} - 175$ Мэв и $^{20}\text{Ne} - 145$ Мэв соответственно. Обнаружены четыре γ - перехода (показаны в таблице 2), распадающиеся с $T_{1/2} = 2,0 \pm 0,3$ мин. Найденный нами период полураспада отличается от величины $T_{1/2} = 62$ сек, полученной в работе /5/, в которой изучался α - распад ^{194}Bi . Измерения γ - γ - совпадений показали, что переходы 965 кэв, 575,4 кэв и 280 кэв составляют каскад. Учитывая их интенсивности, можно построить фрагмент схемы уровней ^{194}Pb , приведенный на рис. 1.

б) Поиски изомеров в ядрах $^{200-194}\text{Pb}$.

Были предприняты поиски предсказанных в работе /7/ долгоживущих изомерных состояний с $I = 9^-$. Вследствие большого значения их спина тяжелые ионы - наилучший инструмент для возбуждения таких уровней. Ионами 180 и 160 мы облучали мишень из вольфрама с естественным изотопным составом, что обеспечивало получение нужных изотопов Pb . Факт получения этих изотопов проверялся по известным γ - переходам, сопровождающим β - распад Pb . Через 2 минуты после облучения начинались измерения, так что можно было наблюдать периоды полураспада с $T_{1/2} = 2$ мин + несколько дней. Результаты опытов были отрицательны, ожидаемых долгоживущих изомеров в $^{194-200}\text{Pb}$ мы не нашли. В работе /8/ автор заметил в β - распаде ^{200}Bi - переходы с $T_{1/2} = 11$ часов и высказал мнение, что они возникают при распаде изомерного состояния $^{200}\text{Pb} I = 9^-$. Для проверки этого предположения мы исследовали распад ^{200}Bi , полученного в реакции $\text{ест Pb} + ^{11}\text{B}$, но изомерный уровень не был обнаружен. После окончания работы нам стало известно о подобных поисках /9/ изомера в ^{200}Pb . Эти результаты хорошо подтверждают наши данные.

4. Обсуждение

Для получения сведений о спинах и четностях найденных нами уровней $^{194,196}\text{Pb}$ рассмотрим данные об уровнях более тяжелых изотопов $^{198-200}\text{Pb}$, приведенные в таблице 3 и на рисунке 1.

Видно, что энергия рассматриваемых уровней плавно меняется с изменением числа нейтронов в ядре. Эта плавность позволяет экстраполировать кривые в область с $N = 114, 112$. На основании такой экстраполяции может быть сделано заключение, что верхний уровень каскада в ^{196}Pb - 2109 кэВ вероятнее всего, имеет $I = 7-$, а в ядре ^{194}Pb - 1817 кэВ $I = 5-$. Нижние уровни с $I = 4+$ и $I = 5-$ в ^{196}Pb , согласно рис. 1, близки друг другу. Поэтому γ -переход 372 кэВ с уровня 2109 кэВ $I = 7-$, скорее всего, идет на уровень с $I = 5-$, а не $I = 4+$. В этом случае уровень 1737 кэВ имеет $I = 5-$, γ -переход 372 кэВ есть переход типа E2, а γ -переход 688 кэВ - типа E3.

Так как в каждом из обоих спектров обнаружено только по три интенсивных γ -линии - члены рассмотренных выше каскадов, наиболее интенсивные β -переходы идут на их верхние уровни. Поэтому можно ожидать, что спин ^{194}Bi $I = 5(6)$, а ^{196}Bi $I = 7(8)$. Отрицательный результат поисков долгоживущих изомерных состояний ($I = 9-$) в $^{194-200}\text{Pb}$, в свою очередь, свидетельствует о том, что в этих ядрах уровни с $I = 9-$ находятся выше уровня с $I = 7-$ и могут разряжаться на них быстрым E2-переходом. На рисунке 3 представлены данные об уровнях Pb , полученные в результате расчетов /1-3/ в предположении, что это чисто нейтронные уровни. Из рисунка видно, что указанные расчеты в общих чертах передают характер зависимости энергии уровней от числа нейтронов. Наибольшие расхождения наблюдаются для уровня с $I = 5-$. Кроме того, видно, что, согласно расчетам, уровень с $I = 9-$ опускается ниже уровня с $I = 7-$, тогда как на опыте это в $^{200-198}\text{Pb}$ не имеет места. Следует заметить, что при теоретическом анализе уровней изотопов свинца с $A < 204$, до сих пор не учитывалась возможность возбуждения протонных уровней из заполненной оболочки $z = 82$, так как считалось, что они должны лежать очень высоко, подобно протонным уровням ^{208}Pb и ^{206}Pb типа $p_1(h\ 9/2)$ $p_2(s\ 1/2)$ с $I = 5-$. Мы хотим обратить внимание на то, что в легких изотопах свинца протонные состояния, по-видимому, играют большую роль в формировании свойств низких уровней.

Чтобы продемонстрировать это, напомним, что нижний протонный уровень ^{206}Pb (рис. 2) 3403 кэв с $l = 5-$ сильнее всех других ($lg ft = 6,3$) заселяется при β -распаде ^{206}Bi [$l = 6+ p(h_{9/2}) \cdot n(p_{3/2} + f_{5/2})$]. Так как однократно-запрещенный β -переход на него типа $p(s_{1/2}) \rightarrow n(p_{3/2})$, в этой области ядер он отличается максимальной вероятностью (и малым значением $lg ft$).

Соответственно γ -переход типа $E1$, связывающий этот протонный уровень с $l = 5-$ с нижним уровнем $l = 4+$, после γ -перехода $4+ \rightarrow 2+$ и $2+ \rightarrow 0+$ - самый интенсивный в γ -спектре ^{206}Bi . Нижние уровни с $l = 5-$ в ^{204}Pb , ^{202}Pb и ^{194}Pb обладают такими же особенностями заселения и разрядки (рис. 2,3). Потому уровни с $l = 5-$ в ^{104}Pb , ^{202}Pb , ^{204}Pb , а также аналогичные уровни в $^{196,198,200}\text{Pb}$, по-видимому, содержат значительную примесь протонных состояний типа $p_1(h_{9/2})p_2(s_{1/2})$.

Авторы выражают благодарность академику Г.Н. Флерову за интерес к работе, Р. Броне и А. Гольчевскому - за помощь в измерениях, а также группе эксплуатации циклотрона 1-300, обеспечившей хорошую работу ускорителя.

Литература

1. L.S. Kisslinger, K.A. Sorensen, Mat.Fys.Medd.Dan.Vid.Selsk., 32, No 9 (1960).
2. R.Arviu, M.Veneroni, Phys.Lett., 5, 142 (1963).
3. A.Plastino, R.Arviu, S.A.Moszkowski, Phys.Rev., 145,837(1966).
4. A.Hanser Preprint KFK 876 (1968).
5. Н.И. Тарантин, А.П. Кабаченко, А.В. Демьянов. Препринт ОИЯИ, P15-4706, Дубна (1969).
6. T.Walczak et al.JINR Preprint 13-4025 Dubna (1968).
7. Л.К. Пекер. Изв. АН СССР, т. 34, №4, стр. 879
Л.К. Пекер. Тезисы XX совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, стр. 165, Л., 1970.

8. J.M. Wyckoff. Phys.Rev., 159, 953 (1967).

9. R.E. Doebler et al. Phys.Rev., C.V. 2. No 6 (1970).

Рукопись поступила в издательский отдел

21 июня 1971 года.

Таблица 1.

γ -переходы в ^{196}Pb .

E	кэВ	137,6	336,8	372,0	688,0	1048,6
I_{γ}		10 \pm 2	16 \pm 2	46 \pm 5	62 \pm 5	100

Таблица 2.

δ -переходы в ^{194}Pb .

E	кэВ	280,0	575,4	595,3	965,0
I_{γ}		70 \pm 5	87 \pm 8	23 \pm 2	100

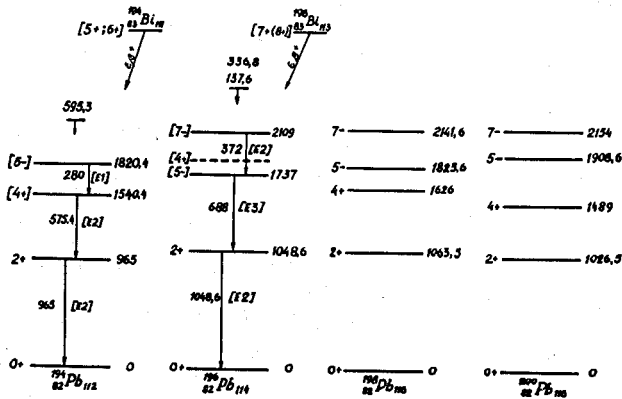


Рис. 1. Схемы уровней легких четных изотопов свинца.

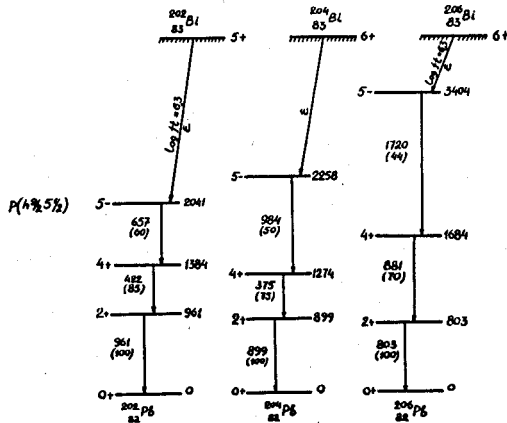


Рис. 2. Часть схемы уровней четных изотопов свинца.

Таблица 3.

Энергии уровней четных изотопов свинца

Ядро \ I	2+	4+	5-	7-	9-
206 Pb	803,3	—	3404	2200,3	2658,5
204 Pb	899,3	1273,9	2257,7	[>2186]	2185,6
202 Pb	960,7	1382,9	2040,4	[>2170]	2169,7
200 Pb	1026,5	1488,8	1908,6	2153,8	[>2154]
198 Pb	1063,5	1625,9	1823,6	2141,6	[>2142]
196 Pb	1048,6	—	1746	2109	[>2109]
194 Pb	965	1540,4	1820	—	—

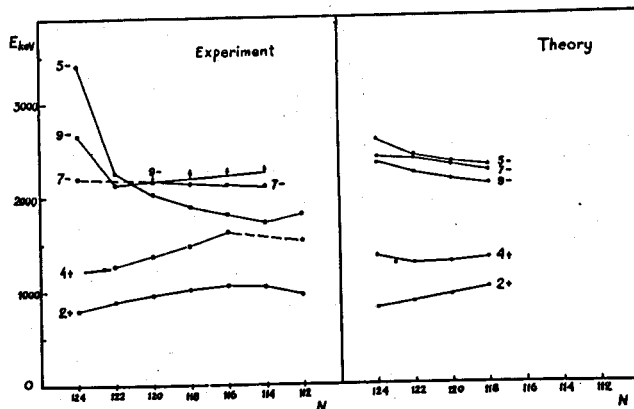


Рис. 3. Сравнение экспериментально наблюдаемых и рассчитанных теоретически [2] уровней четных изотопов свинца.