

СЗУ.26

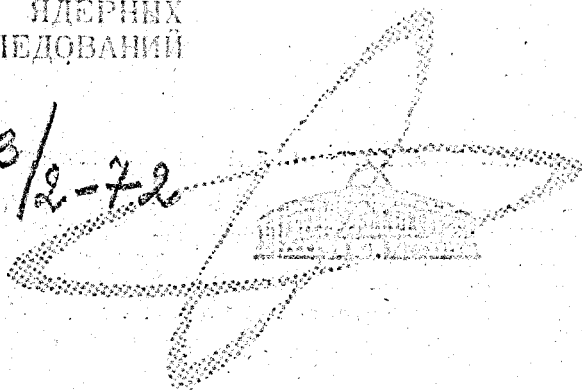
К-983

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

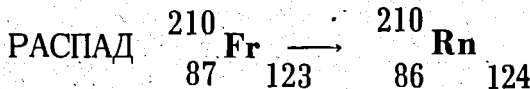
P6 - 6725

4343/2-72



Т.Кэмписты, А.Корман, Т.Морек,  
Л.К.Пекер, З.Харатым, С.Хойнацки

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ В СВОЙСТВАХ  
НИЖНИХ УРОВНЕЙ ЧЕТНЫХ ИЗОТОПОВ РАДОНА.



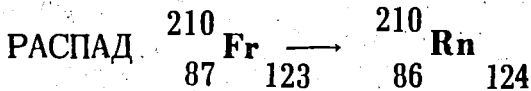
МЕДИЦИНСКАЯ РАДИОФИЗИКА

1972

P6 - 6725

Т.Кэмписты, А.Корман, Т.Морек,  
Л.К.Пекер, Э.Харатым, С.Хойнацки

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ В СВОЙСТВАХ  
НИЖНИХ УРОВНЕЙ ЧЕТНЫХ ИЗОТОПОВ РАДОНа.



Кэмписты Т., Корман А., Морек Т., Пекер Л.К., P6-6725  
Харатым З., Хойнацки С.

О закономерностях в свойствах нижних уровней четных  
изотопов радона. Распад  ${}^{210}_{87}\text{Fr}_{123} \rightarrow {}^{210}_{86}\text{Rn}_{124}$

Исследовались уровни  ${}^{210}_{86}\text{Rn}_{124}$  при распаде  ${}^{210}_{87}\text{Fr}$ , полученного из  
реакции  ${}^{197}\text{Au}({}^{18}\text{O}, 5n)$ . В результате проведенных измерений  $\gamma$ -  
спектров и  $\gamma$ - $\gamma$  -совпадений мы предположили схему уровней  ${}^{210}\text{Rn}$ .  
Для выяснения структуры этих уровней были сопоставлены и обсуждены  
данные об уровнях четно-четных ядер  $\text{Pb}$ ,  $\text{Po}$ ,  $\text{Rn}$  и  ${}^{214}\text{Ra}$ .

Сообщение Объединенного института ядерных исследований  
Дубна, 1972

Kempisty T., Korman A., Morek T., P6-6725  
Peker L.P., Haratym Z., Chojnacki S.

On Some Regularities in the Properties  
of Low-Lying Levels in the Even Isotopes  
of Rn. Decay of  ${}^{210}\text{Fr}$  into  ${}^{210}\text{Rn}$

The levels in  ${}^{210}\text{Rn}$  from the decay of  ${}^{210}\text{Fr}$  produced  
in the reaction  ${}^{197}\text{Au}({}^{18}\text{O}, 5n)$  have been investigated. The  
level scheme of  ${}^{210}\text{Rn}$  has been suggested on the basis of  
the measurements of gamma rays and gamma-gamma coinciden-  
ces. In order to obtain some information concerning the  
structure of  ${}^{210}\text{Rn}$  levels, the experimental data on the  
even-even nuclei  $\text{Pb}$ ,  $\text{Po}$ ,  $\text{Rn}$ , and  ${}^{214}\text{Rn}$  have been compared  
and discussed.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1972

## 1. Введение

При исследовании нижних уровней четных изотопов полония с  $A \leq 210$  с двумя протонами сверх заполненной оболочки в их свойствах обнаружены важные закономерности. Из рис. 4, на котором представлены экспериментальные данные об уровнях четных изотопов полония, видно, что:

1/. Во всех ядрах обнаружен изомерный уровень с  $I = 8+$ , в ядрах с  $A \leq 208$  этот уровень заселяется при  $EC$ -захвате нечетно-нечетных ядер астата с  $I > 5$ .

2/. Энергии уровней с  $I = 8+$  и  $I = 6+$  с уменьшением числа нейтронов в ядре плавно увеличиваются, причем энергетический интервал между ними, судя по близким во всех ядрах значениям  $T_{1/2} / I = 8+$ , мало меняется от ядра к ядру.

3/. Энергия уровня с  $I = 2+$  меняется мало и плавно /за исключением  $^{210}Po$  /, достигая слабого максимума при  $N = 122$  /  $^{206}Po$  /.

4/. Наоборот, уровень с  $I = 4+$  имеет в этом ядре минимальную энергию, которая медленно увеличивается при переходе к ядрам с меньшим числом нейтронов, и резко возрастает при увеличении  $N$  от 122 до 124.

Для выяснения структуры перечисленных уровней очень важно исследовать зависимость их энергии не только от  $N$ , но и от  $Z$ . Для этого нужно знать уровни четных изотопов радона с четырьмя протонами сверх заполненной оболочки /  $Z = 82$  / и выявить закономерности в их свойствах, аналогично перечисленным выше. С этой точки зрения особенно важно определить положение нижних уровней ядер  $Rn$  с  $N = 126, 124$  и, по крайней мере, одного из ядер  $Rn$  с  $N < 124$ . Данные об уровнях  $^{212}_{86}Rn_{126}$ , возбуждающихся при  $EC$ -рас-

паде  $^{212}_{87}\text{Fr}_{125}$ , получены в нашей предыдущей работе /1/, данные об уровнях  $^{212}\text{Rn}$ , возбуждающихся в ядерных реакциях на тяжелых ионах, получены в работе /2/.

В работе /3/ содержатся некоторые данные о нижних уровнях  $^{206}_{86}\text{Rn}_{120}$ , полученные при исследовании реакции  $^{197}\text{Au}(^{14}\text{N}, 5n)^{206}\text{Rn}$ . В этих условиях для исследования указанных закономерностей первостепенную важность приобретает знание нижних уровней ядра с  $N = 124$ , т.е.  $^{210}_{86}\text{Rn}_{124}$ . Для выявления уровней  $^{210}\text{Rn}$  был исследован  $\gamma$ -спектр, сопровождающий ЕС-распад  $^{210}_{87}\text{Fr}_{123}$ . До настоящей работы эта ветвь распада  $^{210}\text{Fr}$  никогда не изучалась.

## 2. Эксперимент

Изотоп  $^{210}\text{Fr}$  был получен в реакции  $^{197}\text{Au}(^{18}\text{O}, xn)^{215-x}\text{Fr}$ . Мишени в виде фольг  $\sim 2$  мг/см<sup>2</sup> / облучались на выведенном пучке тяжелых ионов циклотрона У-300. После облучения источники не подвергались химической обработке и по истечении 1,5 мин переносились к детектору. Измерения  $\gamma$ -спектров проводились на Ge(Li)-детекторе объемом 20 см<sup>3</sup>.  $\gamma$ -спектры измерялись несколько раз в промежутках времени, приблизительно соответствующих периоду полураспада  $^{210}\text{Fr}$ . Для исследования  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений был использован спектрометр совпадений типа кодировщика время-амплитуда. В качестве детекторов применялись Ge(Li)-детектор объемом 20 см<sup>3</sup> и кристалл NaJ(Tl) размером 1 1/2" x 2". Массовое число Fr определялось по изменению выходов  $\gamma$ -переходов с изменением энергии падающих тяжелых ионов, а также по данным о периоде полураспада.

## 3. Результаты измерений

Как отмечалось,  $^{210}\text{Fr}$  был получен в реакции  $^{197}\text{Au}(^{18}\text{O}, 5n)^{210}\text{Fr}$  при энергии ионов 102 Мэв. Измеренный нами период полураспада  $T_{1/2} = 3,0 \pm 0,2$  мин хорошо согласуется с  $T_{1/2} = 3,18 \pm 0,06$  мин, полученным из данных об  $\alpha$ -распаде /4/.

Энергии и интенсивности  $\gamma$ -переходов, сопровождающих ЕС-распад  $^{210}\text{Fr}$ , приведены в таблице I. Измерения  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений /рис. 1 и 2/ показали, что  $\gamma$ -переходы 644, 817 и 203 кэв составляют интенсивный каскад. Наоборот,  $\gamma$ -линия 901 кэв

в спектре совпадений проявляется слабо /значительно слабее, чем в одиночном спектре/. Это может указывать на существование в  $^{210}\text{Rn}$  изомерного уровня со значительным периодом полураспада, который разъединяет по времени  $\gamma$ -переход 901 кэВ и три основных перехода. На основании этих данных и учитывая интенсивность  $\gamma$ -переходов, мы построили фрагмент схемы распада  $^{210}\text{Fr} \rightarrow ^{210}\text{Rn}$  /рис. 3/.

#### 4. Обсуждение

Для оценки спинов и четности найденных уровней  $^{210}\text{Rn}$  мы сопоставили их с данными об уровнях  $^{208}\text{Po}^{161}_{84}$  и других четно-четных ядер полония /рис. 4/, полученных из ЕС-распада изотопов астата. Такое сопоставление позволяет с большой степенью надежности приписать трем нижним уровням  $^{210}\text{Rn}$  значения  $I^\pi = 2^+, 4^+, 6^+$ . Изомерный уровень  $^{210}\text{Rn}$  скорее всего аналогичен известным в ядрах  $\text{Po}$  с  $A \leq 210$  изомерным уровням с  $I = 8^+$ . В  $^{208}\text{Po}$  изомерный уровень с  $I = 8^+$  при ЕС-распаде  $^{208}\text{At}$  заселяется интенсивной  $\gamma$ -линией 1028 кэВ типа  $M1$  /рис. 3/. Аналогичные интенсивные  $M1$ -переходы, заселяющие уровни с  $I = 8$ , наблюдаются и в  $^{204, 206}\text{Po}^{5/}$ . Интенсивная  $\gamma$ -линия в спектре  $^{210}\text{Fr}$  901 кэВ, по-видимому, аналогична этим линиям. Тогда у рассматриваемого уровня  $^{210}\text{Rn}$   $I^\pi = 7^+, 8^+, 9^+$  первым двум значениям может соответствовать конфигурация  $p(h9/2^3, 17/2)$ . На основании сопоставления с данными о свойствах  $^{208}\text{Po}$  мы считаем более предпочтительным спин  $I^\pi = 7^+$ . Сопоставим теперь данные об уровнях  $^{206, 210, 212}\text{Rn}$  с данными о сходных уровнях в четных изотопах  $^{194-206}\text{Pb}^{86}$  и  $^{200-210}\text{Po}$ . Из рис. 6 и 8 видно, что закономерности в изменении энергии уровней с  $I = 2^+$  и  $I = 6^+$  с уменьшением числа нейтронов сходны в ядрах  $\text{Po}$  и  $\text{Rn}$ . В четных изотопах  $\text{Pb}$  нижний уровень с  $I = 2^+$ , являющийся практически чистым нейтронным уровнем, с изменением  $N$  ведет себя совсем по-другому. В то же время ход уровня с  $I = 4^+$  в ядрах  $\text{Pb}$  и  $\text{Po}$  очень сходен /рис. 7/, при  $N = 122$  в обеих группах имеет место глубокий минимум. При переходе к ядрам с  $N = 124$  энергия уровня с  $I = 4^+$  резко растет. При уменьшении  $N$  она увеличивается значительно медленнее. Данные об уровнях с  $I = 4^+$  в  $^{210}\text{Rn}$  и  $^{206}\text{Rn}$ , как видно из рис. 5, 7, хорошо согласуются с предположением о существовании такой же закономерности в изотопах  $\text{Rn}$ . В этом случае уровень с  $I = 4^+$  в  $^{208}\text{Rn}$ , расположенный в минимуме кривой, должен иметь энергию, меньшую

чем в  $^{206}\text{Rn}$ , т.е.  $< 1192$  кэв. Проверка этого предположения на опыте представляет значительный интерес.

Сходство в поведении нижних уровней  $P_0$  и  $R_n$  дает нам возможность предположительно экстраполировать наблюдаемые закономерности на уровни ядер с большим  $Z /_{88}\text{Ra}$ ,  $A < 214$ . На основании такой экстраполяции по данным рис. 6-8 могут быть сделаны предварительные оценки энергии уровней ряда легких ядер  $\text{Ra}$ . В частности, уровни с  $I = 2+$  в  $\text{Ra}$  должны быть ниже, чем в  $\text{Rn}$  и  $P_0$ , а уровни с  $I = 6+$  выше. Несколько менее надежные заключения могут быть сделаны для уровней с  $I = 4+$ . Судя по данным рис. 7, он в  $\text{Ra}$  должен быть несколько ниже, чем в  $P_0$  и  $\text{Rn}$ . Рассмотрим теперь вопрос о возможной интерпретации рассматриваемых уровней. Уровни с  $I = 6+$  и  $8+$  в изотопах  $P_0$  и  $\text{Rn}$ , в основном, должны иметь конфигурацию  $\{(h9/2)^2, \nu = 2\}$  и  $\{(h9/2)^4, \nu = 2\}$ , так как при энергии возбуждения  $\sim 1500$  кэв вклад других конфигураций, совместимых с таким большим значением спинов протонной  $p(h9/2 f7/2)$  и нейтронной  $n(i13/2)^2$ , очень мал. Судя по спектрам  $^{210}\text{Po}$  и  $^{206-200}\text{Pb}$ , они возбуждаются только при энергиях  $\sim 2200-2500$  кэв. В нижних уровнях  $P_0$  и  $\text{Rn}$  с  $I = 2+$ , судя по резкому отличию их хода от хода в ядрах  $\text{Pb}$ , вероятно, велика роль протонной компоненты, отсутствующей в  $\text{Pb}$ . При отходе от ядер с  $N = 126$  эти уровни быстро коллективизируются.

Сходство в ходе уровней с  $I = 4+$  в изотопах  $\text{Pb}$  и  $P_0$ ,  $\text{Rn}$  свидетельствуют о большом вкладе в их волновую функцию нейтронной компоненты. Поскольку нижний уровень  $1684$  кэв в  $^{206}\text{Pb}$  типа  $n(f5/2^{-1} p3/2^{-1})$ , то и аналогичным уровням с  $I = 4+$  в  $^{208}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Rn}$  вероятно, можно приписать такую конфигурацию.

В заключение следует заметить, что в изотопах  $P_0$  и  $\text{Rn}$  с удалением от  $N = 126$  уровни с  $I = 2+$  понижаются, а уровни с  $I = 4+$  повышаются, причем,  $E_{4+}/E_{2+} \rightarrow 2$  и  $E_{6+}/E_{2+} \rightarrow 3$ . Это характерно для процесса превращения двухквaziчастичных уровней в коллективные состояния. Что касается основного состояния  $^{210}\text{Fr}_{123}$ , то по аналогии с  $^{206}\text{Bi}_{123}$  и  $^{208}\text{At}_{123}$  ему может быть приписана конфигурация  $p(h9/2)^5 n(f5/2)^{-1}$  и спин  $I^\pi = 6+$  или  $7+$ .

Авторы выражают благодарность академику Г.Н.Флерову за интерес к работе, а также группе эксплуатации циклотрона У-300, обеспечившей хорошую работу ускорителя.

### Литература

1. З.Харатым, Т.Кэмписты, А.Корман, Т.Морек, Л.К.Пекар, С.Хойнацки. Программа и тезисы докладов XXII совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Киев /1972/, с. 166.
2. K. H. Maier, J. R. Leigh, R. N. Diamond and F. S. Stephens. Nucl. Chem. Annual Report 1970, UCRL 20 426.
3. T. Inamura, S. Nagamiya, A. Hashirume, Y. Tendow and T. Katon. IPCR Cyclotron Progress Report 1970.
4. K. Valli, E. K. Hyde and W. Treytl. Journ. Inorg. Chem. (1967) 29 2503.
5. R. Broda, S. Chojnacki, Ch. Droste, T. Morek, W. Walus. JINR Preprint E6-5197, Dubna, 1970.
6. W. J. Treytl, E. K. Hyde and T. Yamazaki. Nucl. Phys., A117 (1968) 481.
7. T. Yamazaki. Phys. Rev., C1 290 (1970).

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 сентября 1972 года.



Таблица I.  
Гамма-переходы, сопровождающие распад  $^{210}\text{Fr}$ .

E (кэв)	: 203.3	: 256.2	: 425.2	: 462	: 643.8	: 133	: 817,2	: 900,8
I <sub>γ</sub>	: 35±2	: II±2	: I0±3	: II±3	: I00	: I0±3	: 60±6	: 30±3

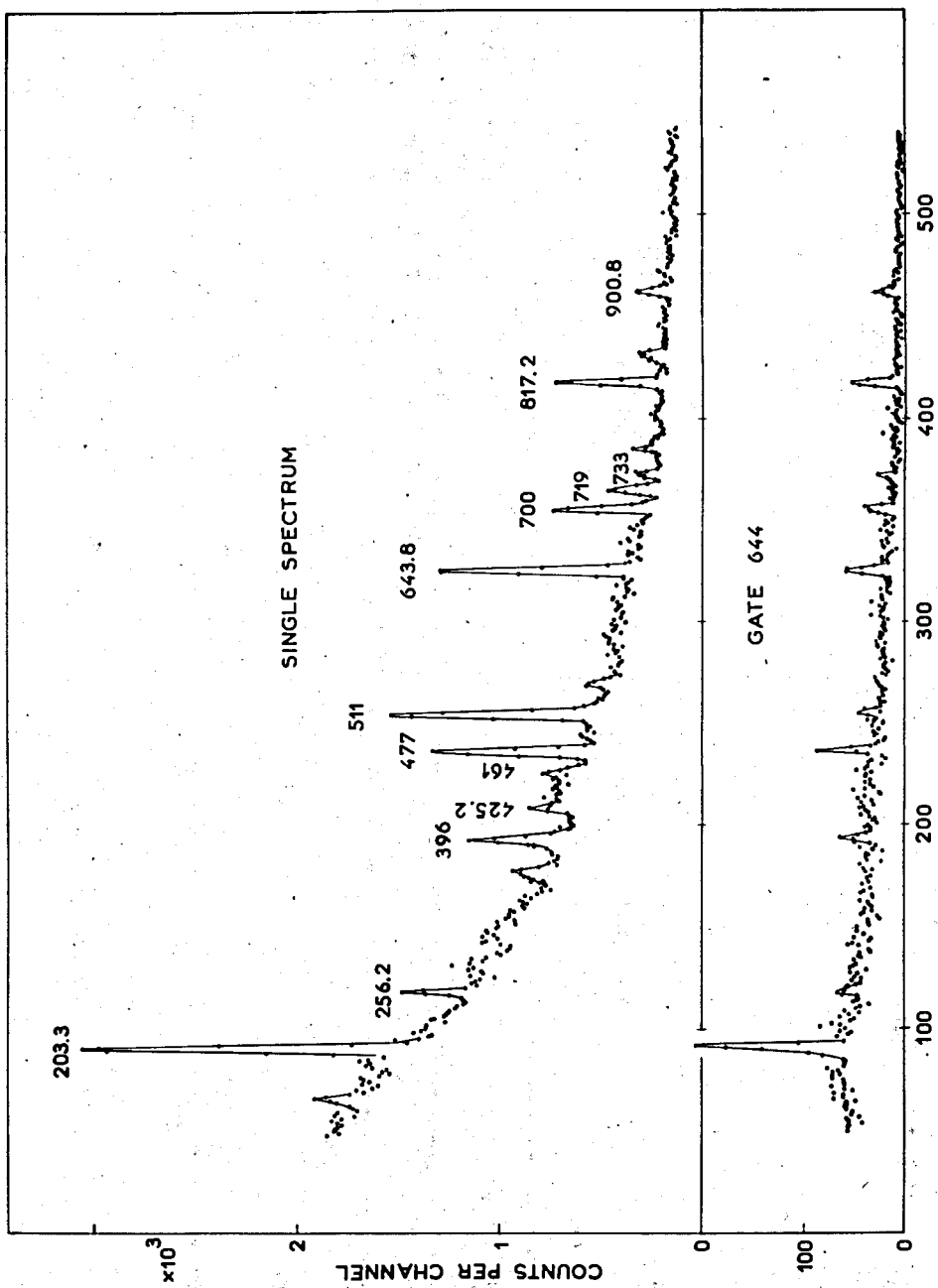


Рис. 1. Одиночный  $\gamma$ -спектр  $^{210}\text{Fr}$  и спектр совпадений  $\text{Ge}(\text{Li}) - \text{NaJ}(\text{Tl})$  с линией 644 кэВ.

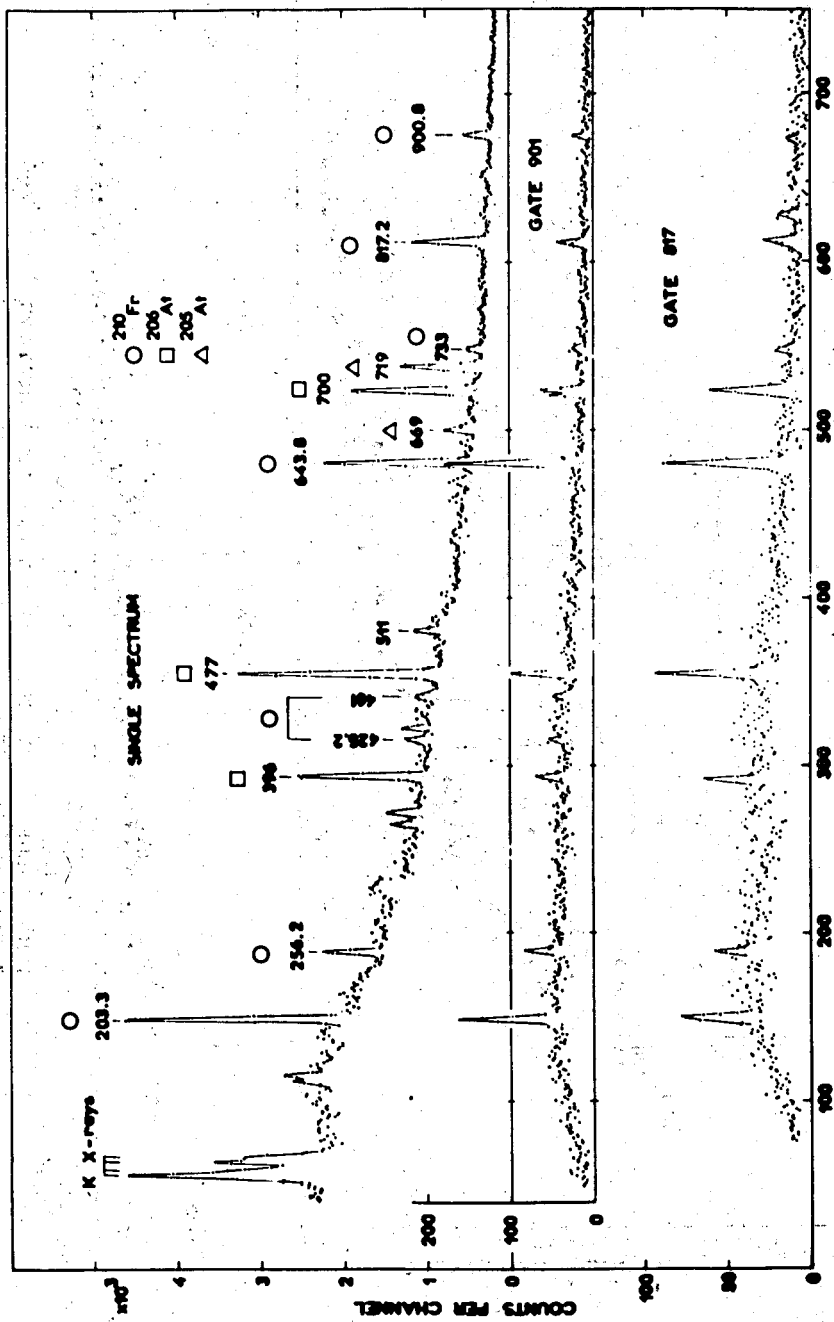


Рис. 2. Одиночный  $\gamma$ -спектр  $^{210}\text{Fr}$  и спектры совпадений  $\text{Ge}(\text{Li}) - \text{NaJ}(\text{Tl})$  с линиями 817 и 901 кэВ.

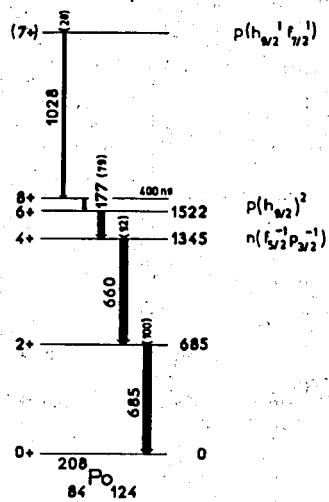
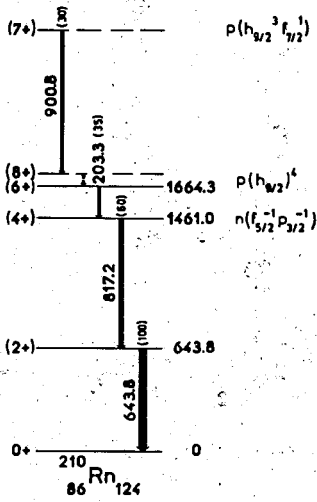
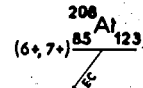
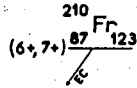


Рис. 3. Схемы уровней  ${}^{210}\text{Rn}$  и  ${}^{208}\text{Po}/6/$ .

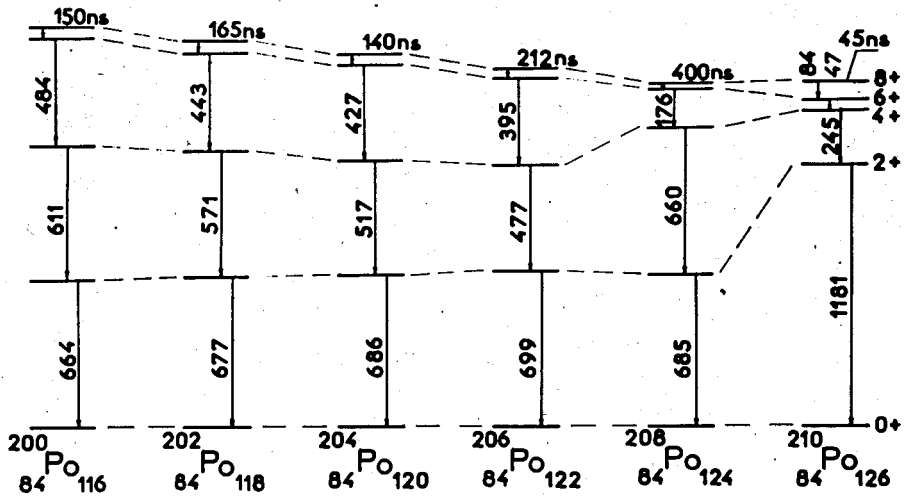


Рис. 4. Сопоставление уровней четных изотопов полония  
 $204-210 \text{ Po} /5,7/$   $200,202 \text{ Po} /3/$ .

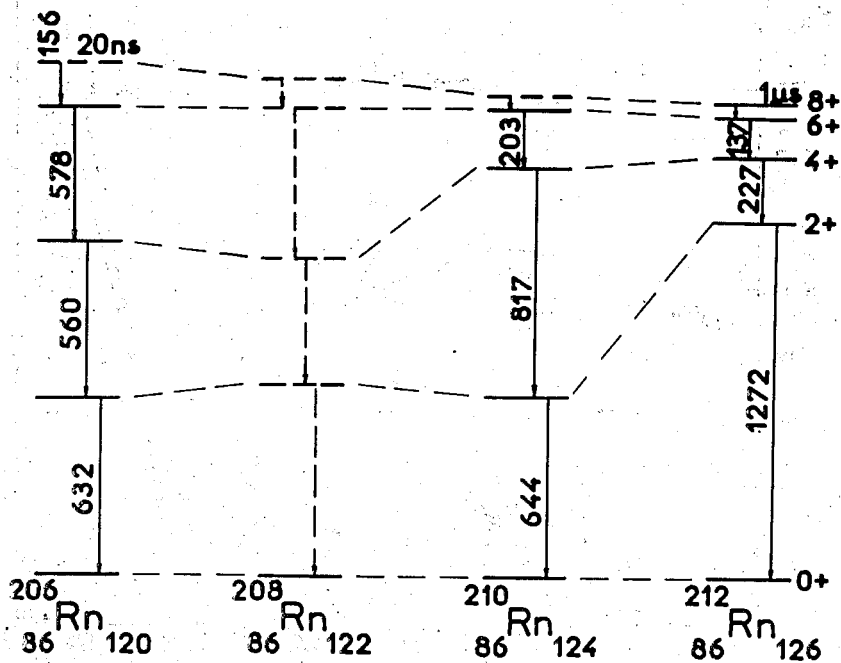


Рис. 5. Сопоставление уровней четных изотопов радона.

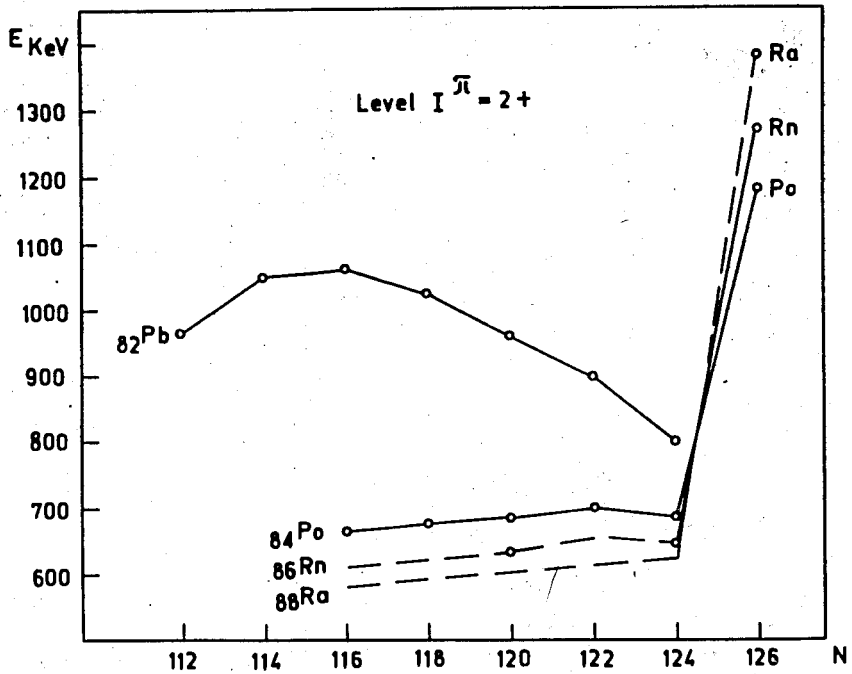


Рис. 6. Зависимость энергий уровня  $2+$  в четных изотопах  $Pb$ ,  $Po$ ,  $Rn$  и  $^{214}Ra/2/$  от числа нейтронов. Экспериментальные значения энергии указаны кружками.

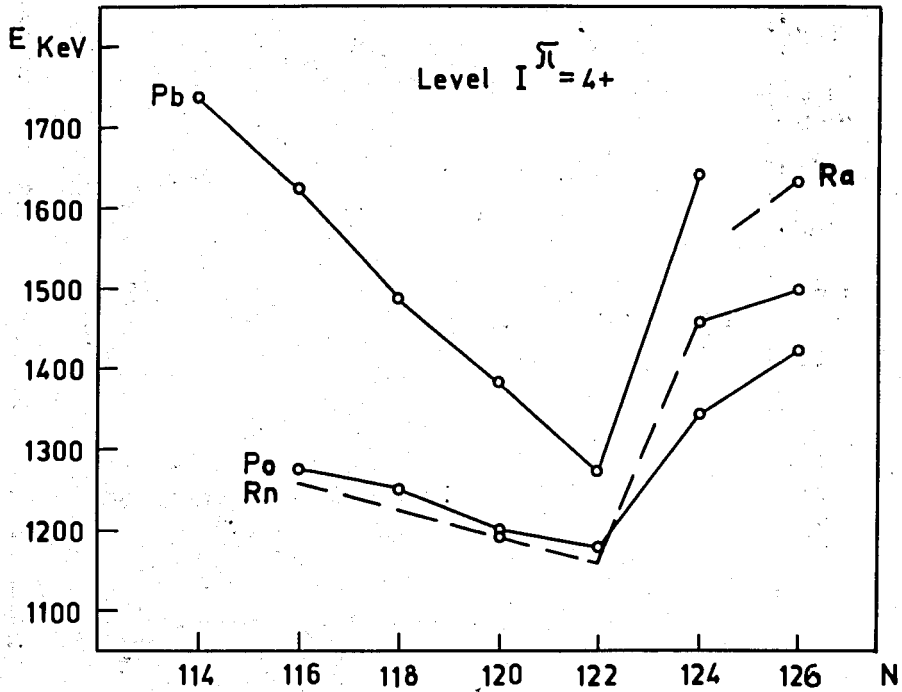


Рис. 7. Зависимость энергии уровня  $4+$  в четных изотопах  $Pb$ ,  $Po$ ,  $Rn$  и  $^{214}Ra/2$  от числа нейтронов. Экспериментальные значения энергии указаны кружками.



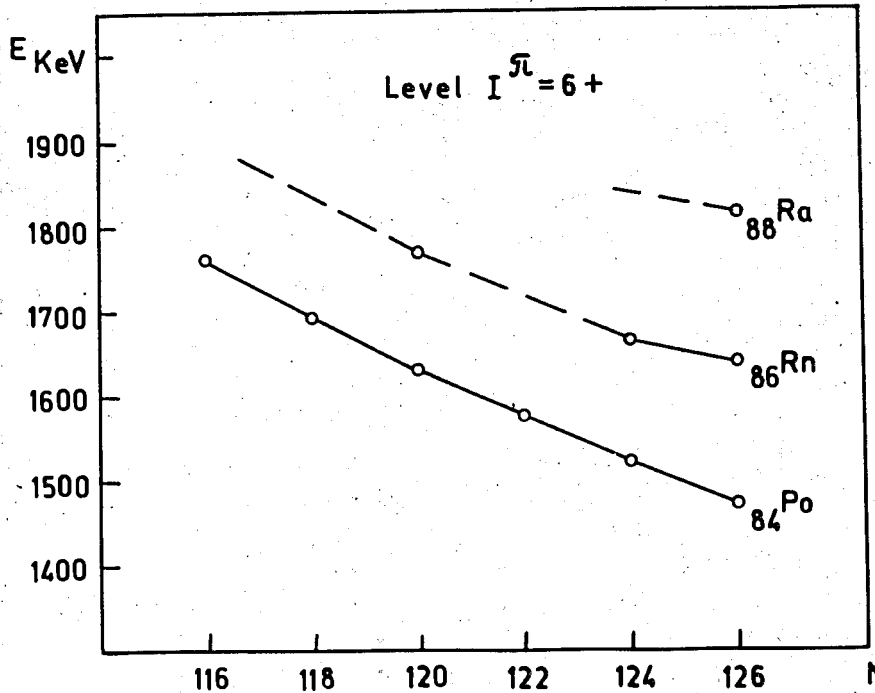


Рис. 8. Зависимость энергии уровня  $6+$  в четных изотопах  $\text{Rn}$  и  $^{214}\text{Ra}/2$  от числа нейтронов. Экспериментальные значения энергии указаны кружками.