

С 341.18  
К-96

18/ХІ-69

6 - 4701

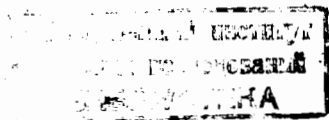
В.Куш, Р.Брода, В.Валюсь, А.Хрынкевич

СПЕКТРЫ  $\gamma$ - $\gamma$  -СОВПАДЕНИЙ ИЗ РАСПАДА  
 $^{204}\text{Po}$  ПУТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ЗАХВАТА

6 - 4701

В.Куш, Р.Брода, В.Валюсь, А.Хрынкевич

СПЕКТРЫ  $\gamma$ - $\gamma$  -СОВПАДЕНИЙ ИЗ РАСПАДА  
 $^{204}\text{Po}$  ПУТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ЗАХВАТА



8080/2 чф

## 1. В в е д е н и е

Первые результаты исследований возбужденных состояний в  $^{204}\text{Bi}$  были получены Стонером /1/, который, изучая альфа-распад  $^{208}\text{At}$ , наблюдал совпадения между альфа-частицами и гамма-линией с энергией  $120 \pm 10$  кэв.

Недавно опубликованы /2/ результаты измерений гамма-спектра из распада  $^{204}\text{Po}$  путем электронного захвата. На основании сумм энергий отдельных линий можно было сделать некоторые предположения о структуре уровней  $^{204}\text{Bi}$ .

Проведены также измерения спектра электронов конверсии из распада  $^{204}\text{Po}$  путем электронного захвата /3/. Подтверждено существование переходов, установленных в работе /2/, и определены мультипольности большинства переходов на основе данных об интенсивностях К- и L-линий или величинах коэффициентов внутренней конверсии К-оболочки, полученных из нормировки  $I_K/I_\gamma$  к теоретическим кривым. Эти измерения позволили определить полные интенсивности отдельных переходов.

В настоящей работе представлены результаты измерений гамма-гамма-совпадений, проведенных с помощью двух германиевых детекторов. На основании этой работы и работ /2,3/ можно предложить схему уровней  $^{204}\text{Bi}$ .

## 2. Эксперимент

Изотоп  $^{204}\text{Po}$  образовался в результате альфа-распада 23-минутного  $^{208}\text{Rn}$ , синтезированного в реакции  $^{197}\text{Au}(^{15}\text{N}, 4n)^{208}\text{Rn}$  на циклотроне тяжелых ионов Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Золотая фольга толщиной 10 микрон облучалась ионами  $^{15}\text{N}$ , ускоренными до энергии 80 Мэв при токе 1,0–1,5 микроампер, в течение 5 часов. После облучения мишень подвергалась химической обработке<sup>[2,3]</sup> с последующей адсорбцией полония на тонкой серебряной фольге. Спектры совпадения измерялись с помощью двух  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторов и быстро-медленной схемы совпадений, описанной в работе Вальчака и др.<sup>[4]</sup> Размеры используемых нами пар детекторов были 13 и 4,5 см<sup>3</sup>; или 13 и 33 см<sup>3</sup>. Результаты, представленные на рис. 2 и 3, получены с применением пары больших детекторов. Энергетическая разрешающая способность спектрометра составляла 3,5–4 кэв для линии 661 кэв  $^{137}\text{Cs}$ , тогда как временная разрешающая способность составляла 50 нсек.

## 3. Результаты

На рис. 1 представлена низкоэнергетическая часть  $\gamma$ -спектра. Присутствие линии 63 кэв объясняет anomalously большое отношение  $K$ - и  $L$ -линий в спектре электронов конверсии для перехода 137 кэв: линия  $L$  63 перекрывается линией  $K$  137<sup>[3]</sup>.

Времена жизни  $\gamma$ -линии 63 кэв и слабых линий 107,5; 116,5; 131 и 151 кэв близки к времени жизни  $^{204}\text{Po}$ , но определены с большими ошибками и, следовательно, трудно эти  $\gamma$ -переходы с полной уверенностью отнести к распаду  $^{204}\text{Po}$ .

На рис. 2 и 3 представлены гамма-спектры полониевого источника при запуске ворот спектрометра гамма-линиями 884, 1016 и 1040 кэв.

Отмечаются сильные совпадения линии 1016 кэв с линией 270 кэв и линии 1040 кэв с линией 137 кэв. При запуске ворот гамма-линией 884 кэв было установлено, что она совпадает как с линией 137 кэв, так и с линией 270 кэв. Появление в последнем спектре линии 375 кэв, принадлежащей  $^{204}\text{Pb}$ , объясняется шириной ворот, которые частично

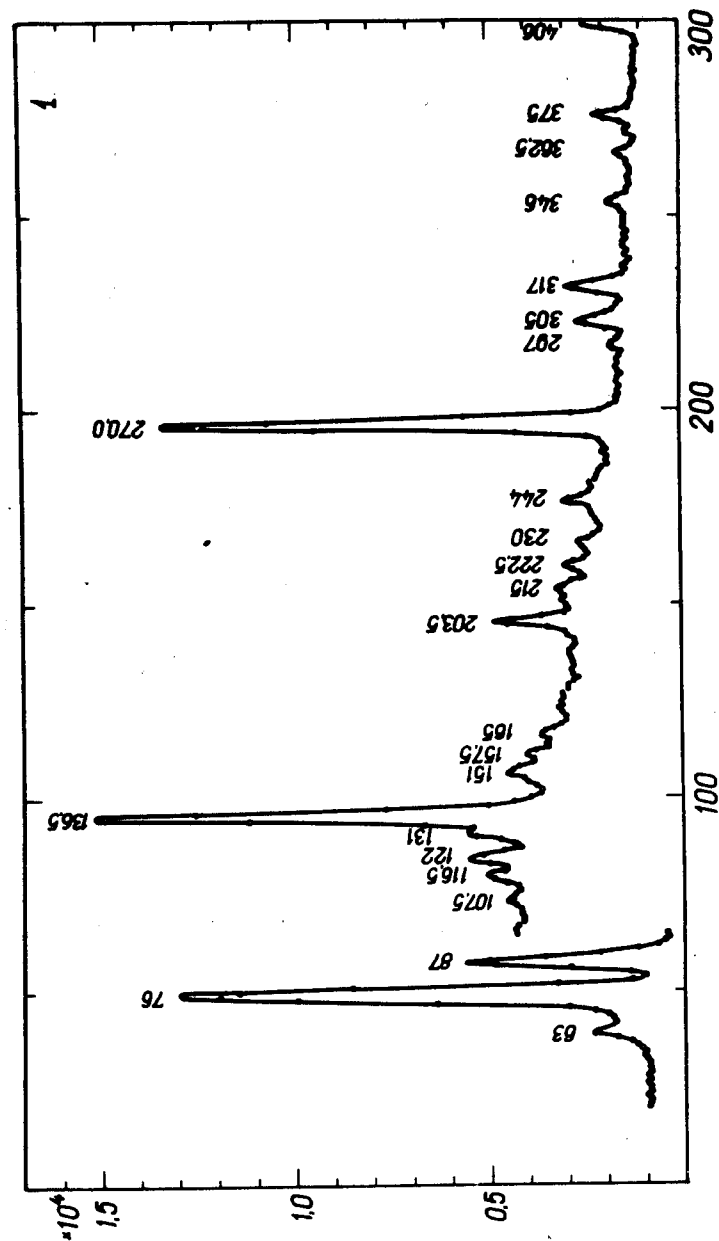


Рис. 1. Низкоэнергетическая часть  $\gamma$ -спектра.

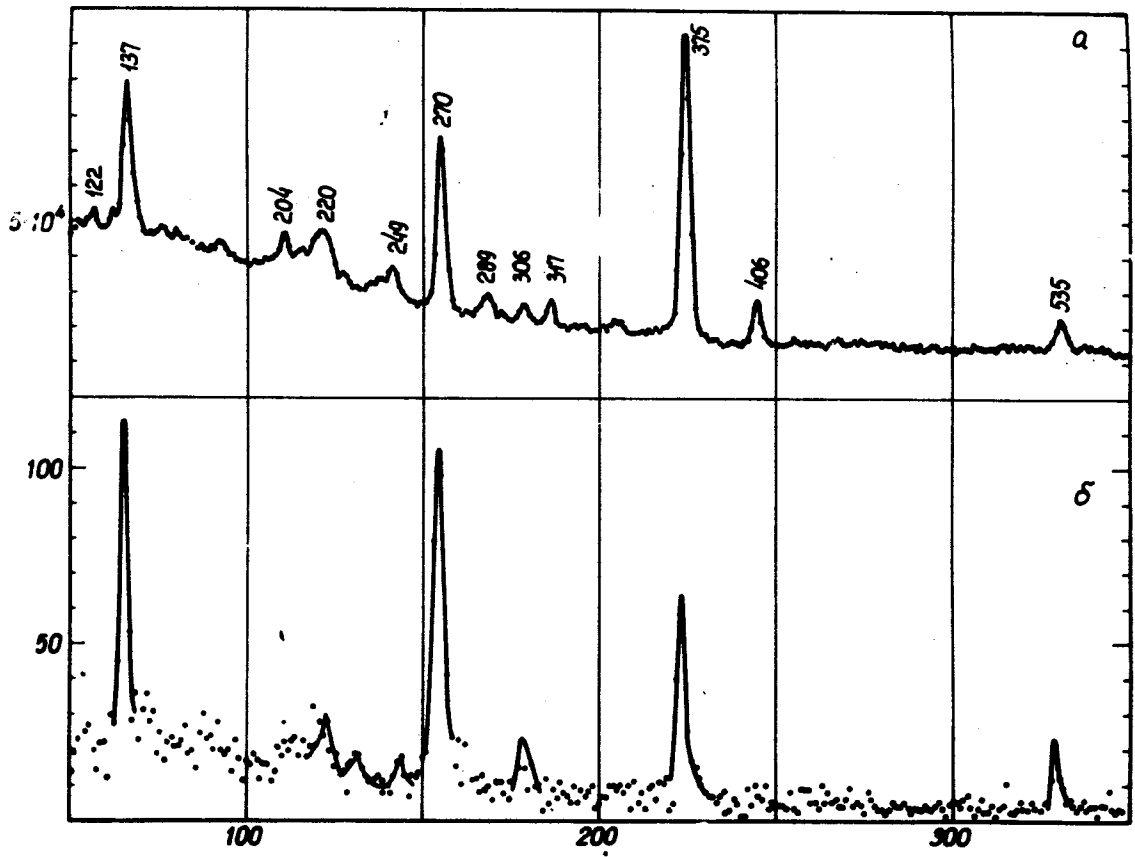


Рис.2. а -  $\gamma$ -спектр без управления спектрометра воротами, б - спектр  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений при запуске ворот спектрометра  $\gamma$ -линий 884 кэв.

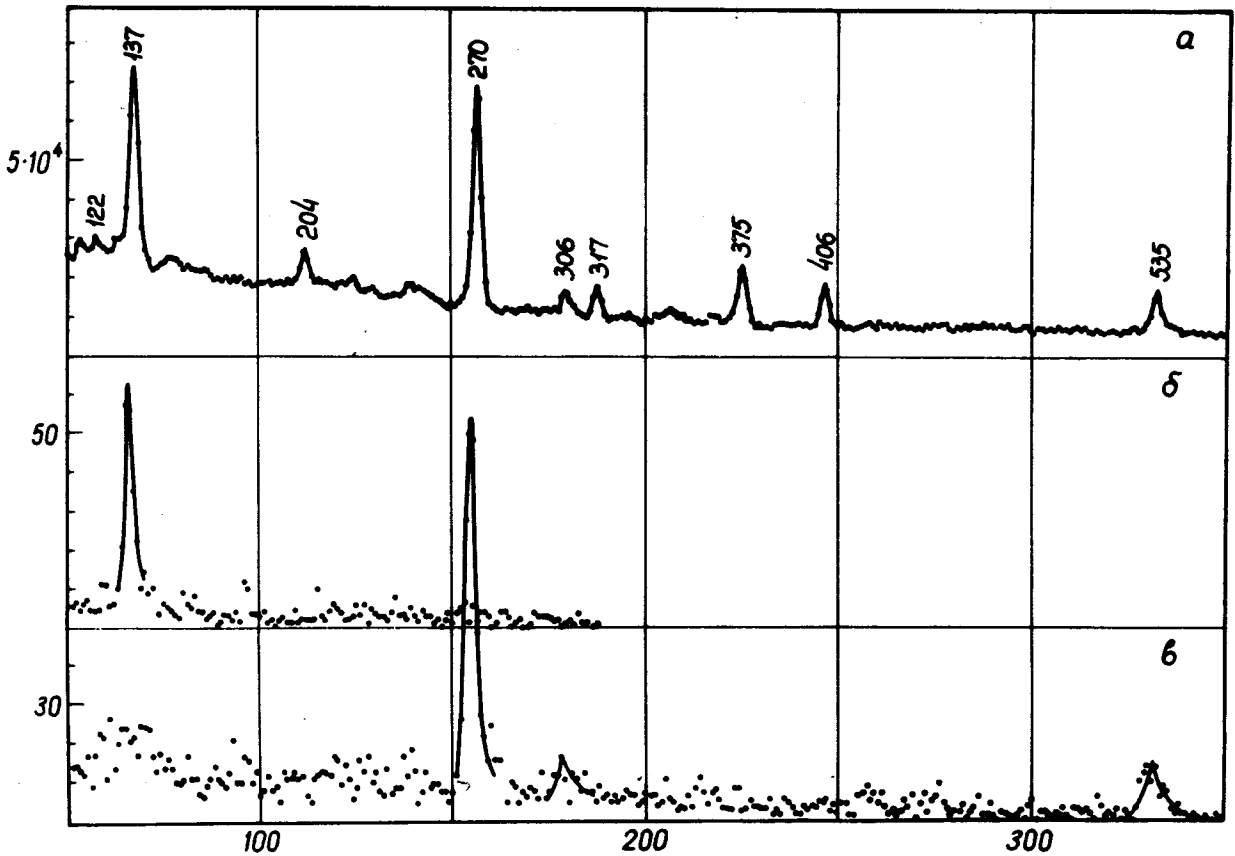


Рис.3. а -  $\gamma$ -спектр без управления воротами спектрометра, б, в - спектры  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений при запуске ворот  $\gamma$ -линиями 1040 и 1016 кэв.

захватывали сильную линию 899 кэв ( $^{204}\text{Pb}$ ), заселенную переходом 375 кэв. Эти данные, касающиеся пяти наиболее сильных гамма-переходов, являются основой для определения остова схемы уровней  $^{204}\text{Bi}$ .

Запуск гамма-спектра линиями низших энергий позволил получить дополнительную информацию. Табл. 1 представляет результаты всех серий измерений. Треугольниками обозначены сильные совпадения, крестиками - слабые.

#### 4. Обсуждение

Данные о совпадениях между линиями 137, 270, 884, 1016 и 1040 кэв позволяют определить ряд возможных вариантов уровней. Однако некоторые варианты можно было исключить, учитывая тот факт, что энергия самого высокого уровня не может превышать полной энергии перехода, определенной Майерсом и Святецким как 2,168 Мэв <sup>/5/</sup>. Из остальных необходимо было выбрать варианты с правильными отношениями между переходами 137, 270 и 884 кэв. Слабые совпадения между линиями 137 и 270 кэв и сильные между каждой из них и линией 884 кэв указывают на существование возможных каскадов 137 → 884 → 270 или 270 → 884 → 137. Можно построить две альтернативных схемы уровней с переходами в основное состояние 137 или 270 кэв, учитывая предполагаемые <sup>/2/</sup> каскады 204+880=884 и 103+121=884 и данные таблицы 1.

Анализ баланса интенсивностей переходов позволяет исключить второй вариант. Схема уровней с переходом 137 кэв в основное состояние представлена на рис. 4. Имеется следующий баланс интенсивностей для предлагаемой схемы уровней: сумма интенсивностей всех переходов, вычисленная для интервала между уровнями 137 и 258 кэв, равняется (в пределах ошибок - 8%) сумме интенсивностей переходов на четыре верхних уровня, распад на которые идет путем электронного захвата.

Правильный баланс получается также для главных уровней схемы, а именно - 1021 и 137 кэв. (Для последнего в предположении, что мультипольность перехода 137 кэв является M1; что будет обсуждаться ниже). Существует еще одна возможность проверки правильности схемы уровней  $^{204}\text{Bi}$  - путем контроля баланса интенсивности переходов в цепочке

Таблица 1

Результаты всех измерений спектров  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений при запуске ворот спектрометра  $\gamma$ -линиями, указанными в первом столбце. Треугольниками обозначены сильные совпадения, крестиками - слабые

	137	270	535	680	763	884	1016	1040
121								
137		+						
270					▽	▽		
535						+	+	
680								
763								
884								
1016								
1040								

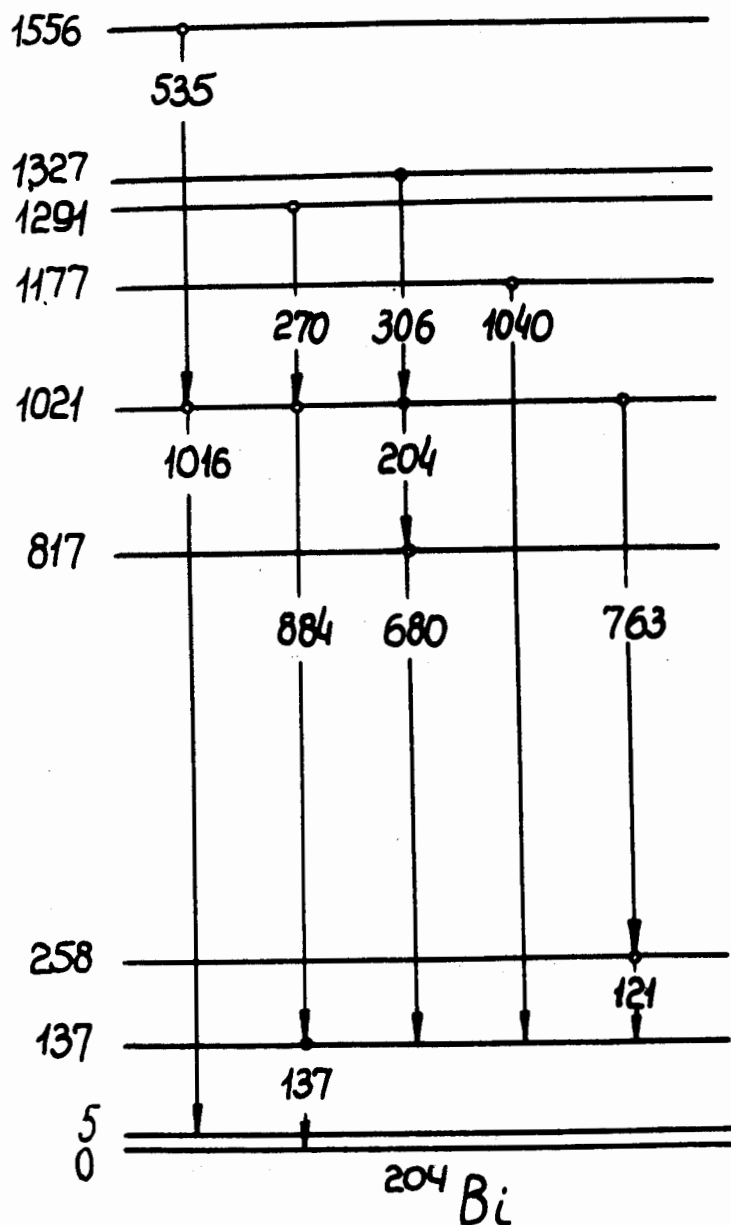


Рис.4. Схема уровней  $^{204}\text{Bi}$ , предложенная на основании измерений спектров  $\gamma$  -  $\gamma$ -совпадений с учетом данных работ /2/ и /3/.

$^{204}\text{Po} \rightarrow ^{204}\text{Bi} \rightarrow ^{204}\text{Pb}$ . Сумму интенсивности переходов  $^{204}\text{Bi} \rightarrow ^{204}\text{Pb}$  можно определить довольно просто, так как на основное состояние  $^{204}\text{Pb}$  имеется единственный переход E2 с энергией 899 кэВ /6/. В гамма-спектре из распада  $^{204}\text{Po}$  этот переход наблюдался в работе /2/, при этом была измерена интенсивность гамма-линии 899 кэВ.

Расчеты показывают, что интенсивность перехода 899 кэВ на 11% больше суммы интенсивностей переходов на четыре верхних уровня  $^{204}\text{Bi}$ . Таким образом, баланс интенсивностей подтверждает правильность предлагаемой схемы уровней.

На основании последовательности переходов и данных об их мультипольностях можно попытаться определить спины и четности отдельных уровней. Экспериментально мультипольность перехода 137 кэВ определить не удалось - представленные аргументы /3/ допускают M1 или E2.

Хотя мультипольность M1 позволяет сохранить постоянство суммы переходов до основного состояния, однако, используя данные альфа-распада  $^{208}\text{At}$ , следует учесть и другую возможность. Если исходить из данных Стонера /1/ при составлении схемы уровней и отождествлять идентифицированный в  $\alpha$ -распаде переход  $120 \pm 10$  кэВ с переходом 121 кэВ, определенным нами, возникают трудности в установлении правильной последовательности переходов /7/. Нам представлялось возможным предположить, что переход  $120 \pm 10$  кэВ соответствует переходу 137 кэВ. Это предположение нашло экспериментальное подтверждение в работе Чумина и др. /8/, где была обнаружена в  $\alpha$ -распаде  $^{208}\text{At}$  группа альфа-частиц с энергией, на 136 кэВ меньшей, чем энергия альфа-частиц перехода в основное состояние.

Авторы работы /8/ не нашли альфа-линии, идентифицированной Стонером. На основании этих информации можно было бы сделать некоторые выводы о спине и четности уровня 137 кэВ, если бы были известны спин и четность основного состояния  $^{208}\text{At}$ .

Сравнение одночастичных конфигураций протонов и дырочных состояний нейтронов в области нейтронодефицитных изотопов Pb, Bi и Po позволяет судить о том, что конфигурация основного состояния определяется как  $(p_{1/2}^{-2} f_{5/2}^{-1})_{5/2} h_{9/2}^3$ . Так как измеренные Аксенстом

и Олселютсом /9/ спины и четности  $^{204}\text{Po}$  и  $^{206}\text{Po}$  оказались  $0^+$ , можно предположить, что и в  $^{208}\text{At}$  при сложении спинов двух протонов в состояниях  $h_{9/2}$  состояние  $0^+$  имеет тоже преобладающий статистический вес.

Сложение дырочного состояния  $f_{5/2}$  и протонного  $h_{9/2}$  должно дать, согласно закону слабого взаимодействия, составляющий спин  $6^+$ . Примером идентичного сложения спинов могут служить изотопы  $^{204}\text{Bi}$  и  $^{206}\text{Bi}$ , у которых экспериментально установлены спины  $6^+$ .

На основании этих аргументов кажется разумным считать, что спин и четность  $^{208}\text{At}$  являются  $6^+$ . В этом случае альфа-распад  $^{208}\text{At}$  в основное состояние  $^{204}\text{Bi}$  был бы облегченным переходом с испусканием волны  $L = 0$  без существенного изменения конфигурации.

Согласно эмпирическому закону /10/, интенсивность парциальной  $L$ -волны альфа-перехода (не являющегося облегченным), на определенное состояние меняется так, как меняется вероятность электрического  $2^L$ -польного перехода между этим состоянием и состоянием, на которое имеется облегченный альфа-распад. Тогда можно утверждать, что интенсивность альфа-перехода на возбужденное состояние 137 кэВ с испусканием парциальной волны с  $L = 1$  должна быть очень мала, так как у сферических ядер этой области ( $A, Z$ ) переход  $E1$  маловероятен.

Представленные аргументы говорят в пользу мультипольности  $E2$  для перехода 137 кэВ.

Если спин уровня 137 кэВ определить как  $4^+$ , то на основании установленных мультипольностей переходов получается следующая последовательность спинов отдельных уровней:

258 кэВ -  $3^+$ ; 817 кэВ -  $3^+$ ; 1021 кэВ -  $2^+$ ;

1177 кэВ -  $1^-$ ; 1291 кэВ -  $1^+$ ; 1327 кэВ -  $1^+$ ; 1556 кэВ -  $1^+$ .

Переход 884 кэВ, который был определен как  $E1$  (мультипольность  $E2$  не исключалась), вероятно, является переходом  $E2$ , так как в каскаде  $204+680=884$  оба они характеризуются мультипольностью  $M1$ . Переход 1040 кэВ, у которого коэффициент внутренней конверсии с  $K$ -оболочки соответствует как мультипольности  $E3$ , так и мультипольности  $M1$ , определен как  $E3$ .

Для спинов и четностей, установленных таким образом, распад путем электронного захвата на четыре верхних уровня  $^{204}\text{Bi}$  был бы распадом с  $\Delta J = 1$ .  $\log ft$  для переходов на уровни 1556; 1327; 1291 и 1177 кэВ соответственно равен 6,0; 6,5; 5,9; 6,5 и укладывается в ожидаемых пределах /11/ для разрешенных ( $\Delta J$ , нет) и однократно запрещенных  $\Delta J = 1$ , да) переходов.

Авторы выражают глубокую благодарность академику Г.Н. Флерову за предоставление возможности выполнения работы и за постоянный интерес к ней.

#### Л и т е р а т у р а

1. A.W.Stoner, Univ. Calif.Rad.Lab.Report UCRL-2325, 1956.
2. W.Kusch, I.I.Chuburkova, Acta Phys.Polonica 35 (1969) 879.
3. В. Куш, Х. Дростэ, Т. Морек, С. Хойнацки, И.И. Чубуркова. Препринт ОИЯИ, P6-4585, Дубна, 1969.
4. T.Walczak, J.Kisielewski, J.Styczen, M.Szawlowski, A.Hryniewicz, Report JINR, 13-4025, Dubna 1968.
5. W.D.Meyers and W.J.Swiatecki, Univ.Calif.Rad.Lab. Report UCRL-11980.
6. A.R.Frisch, Univ.Calif.Rad.Lab. Report, UCRL-3452, 1956.
7. W.Kusch, I.I.Chuburkova, Report JINR, E7-3868, Dubna 1968.
8. Н.А. Головков, Р.В. Иванов, Ю.В. Норсеев, В.Г. Чумин. Препринт ОИЯИ, P6-4615, Дубна, 1969.
9. S.Axensten and C.M.Olsmats, Canad. J. of Phys. 40 (1962) 964.
10. J.O. Rasmussen, Alpha, Beta and Gamma-Ray Spectroscopy, Edit. K.Siegbahn, Amsterdam 1965.
11. A.H.Wapstra, G.I.Nijgh and R.van Lieshout, Nuclear Spectroscopy Tables, Amsterdam 1959.

Рукопись поступила в издательский отдел

9 сентября 1969 года.