

с 341.1  
А-139

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

3074

А.А. Абдумаликов

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ  
НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ ИЗОТОПОВ ИТТЕРБИЯ,  
ТУЛИЯ И ЦЕРИЯ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Научные руководители -  
кандидат физико-математических наук  
К.Я. ГРОМОВ ,  
кандидат физико-математических наук  
доц. А.А. АБДУРАЗАКОВ

Дубна 1966

3074

А.А. Абдумаликов

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ  
НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ ИЗОТОПОВ ИТТЕРБИЯ,  
ТУЛИЯ И ЦЕРИЯ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Научные руководители -

кандидат физико-математических наук  
К.Я. ГРОМОВ ,

кандидат физико-математических наук  
доц. А.А. АБДУРАЗАКОВ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

4148 бр.

За последние годы ядерной физикой был накоплен большой экспериментальный материал, который стал основой для создания модельных представлений о строении ядра. Большие успехи достигнуты при объяснении ряда свойств сферических ядер с числом протонов и нейтронов, близким к магическому, на основе оболочечной модели (Майер и др.). Физические свойства деформированных ядер с массовым числом  $150 \leq A \leq 190$  и  $A \geq 222$  в значительной степени удалось объяснить на основе обобщенной модели, развитой О. Бором и Моттельсоном, схемы Нильссона и сверхтекучей модели Соловьева. Эти модели атомного ядра дали возможность систематизировать имеющиеся экспериментальные данные и классифицировать многие уровни ядер по их природе. Полученный экспериментальный материал служит не только для проверки применимости моделей, но также является основой для дальнейшего развития модельных представлений о ядре. В настоящее время имеется предположение, основанное на экспериментальных данных о том, что существует новая область деформированных ядер в районе нейтронодефицитных изотопов с  $A \sim 130$ . В связи с этим является очень важным и интересным детальное изучение свойств нейтронодефицитных изотопов редкоземельных элементов.

Настоящая диссертация посвящена исследованию свойств ядер, образующихся при распаде изотопов иттербиевой, тулиевой и цериевой фракций. Нейтронодефицитные изотопы церия и их дочерние ядра находятся в новой области деформации или около границы этой области.

Исследования производились с помощью бета-спектрографа с постоянным магнитным полем. Нейтронодефицитные изотопы редких земель мы получали при облучении танталовой, эрбиевой и гадолиниевой мишеней протонами с энергией 660 Мэв на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Первая глава диссертации посвящена описанию основных характеристик бета-спектрографа с постоянным магнитным полем, методам определения энергий и относительных интенсивностей конверсионных электронов, а также изготовления источников. Нами получено высокое разрешение  $\delta = 0,02\%$ , удалось улучшить точность определения энергий конверсионных электронов, следовательно,  $\gamma$ -переходов, до  $0,03\%$  и исследовать зависимость между чувствительностью фотоэмульсии ( $P - 50 \mu$ ) и энергией электронов вплоть до энергии  $1200$  кэв.

Во второй главе изложены результаты исследований спектра конверсионных электронов изотопов иттербиевой фракции в интервале энергии от  $15$  до  $900$  кэв.

Уточнены энергии  $\gamma$ -переходов, возникающих при распаде  $^{167}\text{Yb}$ . Экспериментальные данные, полученные нами, подтверждают существование четырех возбужденных уровней  $^{167}\text{Tm}$  с энергиями  $116,60$ ;  $142,50$ ;  $179,55$  и  $292,90$  кэв.

В данной работе впервые показано, что при распаде  $^{164}\text{Yb}$  возникают следующие  $\gamma$ -переходы с энергиями:  $37,52$  (M1);  $40,82$  (E1);  $149,30$ ;  $164,45$  (M1);  $187,77$  (M1);  $190,35$ ;  $324,2$ ;  $327,3$ ;  $362,6$  и  $390,3$  кэв. Это свидетельствует о том, что распад  $^{164}\text{Yb}$  происходит не только в основное состояние  $^{164}\text{Tm}$ , но также и на возбужденные состояния этого ядра. Определена мультипольность четырех переходов. Предполагается, что в ядре  $^{164}\text{Tm}$  возбуждается ротационный уровень с энергией  $37,52$  кэв и с квантовыми характеристиками  $I^\pi K = 2^+ 1$ . Интенсивность перехода  $37,52$  кэв составляет не больше чем  $3\%$  на распад  $^{164}\text{Yb}$ , и этот переход является самым интенсивным переходом среди переходов, возникающих при распаде  $^{164}\text{Yb}$ . Отсюда следует, что распад  $^{164}\text{Yb}$  главным образом идет в основное состояние  $^{164}\text{Tm}$ .

В результате исследований спектра конверсионных электронов иттербиевой и тулиевой фракций установлено существование ранее неизвестных изотопов иттербия  $^{162}\text{Yb}$  и тулия  $^{162}\text{Tm}$ . Измерен период полураспада этих изотопов, равный  $\sim 25$  мин =  $1500$  сек и  $(21,5 \pm 1,0)$  мин =  $(1290 \pm 60)$  сек, соответственно. Доказано существование  $\gamma$ -переходов с энергиями  $102,0$  и  $227,5$  кэв, возникающих при распаде  $^{162}\text{Tm}$ . Установлено, что оба перехода являются E2-переходами. Обнаружены позитроны  $^{162}\text{Tm}$  с граничными энергиями и относительными интенсивностями  $3820 \pm 50$  кэв ( $100$ );  $2300 \pm 100$  кэв ( $120$ ) и  $900 \pm 150$  кэв ( $\sim 30$ ). Предложена схема распада цепочки  $^{162}\text{Yb} \rightarrow ^{162}\text{Tm} \rightarrow ^{162}\text{Er}$  (рис. 1).

Третья глава посвящена исследованию свойств нейтронодефицитных ядер изотопов тулиевой фракции. Спектр конверсионных электронов изучался в интервале энергии от  $15$  до  $1300$  кэв.

Подтверждено существование следующих пятидесяти  $\gamma$ -переходов (энергия определена с точностью  $0,03\%$ ), возникающих при распаде  $^{166}\text{Tm}$ :  $73,50$  (E2);  $80,60$  (E2);  $84,15$  (M1);  $96,80$  (E2);  $131,10$ ;  $147,30$ ;  $154,45$  (M1+E2);  $170,35$  (E2);  $184,40$  (E2);  $194,80$  (M1);  $215,20$  (E1);  $280,3$  (E2);  $298,1$   $319,8$ ;  $345,7$  (E2, M1);  $390,3$ ;  $403,9$  (E2, M1);  $410,9$ ;  $413,5$ ;  $429,7$ ;  $459,5$  (M1, E2);  $471,6$ ;  $520,9$ ;  $529,8$ ; (E2+ M1);  $594,3$  (E2);  $598,7$  (E1);  $604,3$ ;  $672,0$  (E1);  $674,6$  (E1);  $691,1$  (E2);  $705,3$  (E2);  $712,4$ ;  $729,4$  (E1, E2);  $757,7$  (E2, M1);  $778,8$  (E2);  $785,9$  (E2);  $810,1$  (E2, E1);  $875,5$  (E2);  $1057,5$ ;  $1078,9$ ;  $1084,8$ ;  $1152,3$  (E2, M1);  $1176,5$  (M1);  $1203,9$  (M1, E2);  $1235,3$  (E1);  $1263,2$ ;  $1273,4$  (M1);  $1300,8$  (M1);  $1347,0$  (E2, M1) и  $1374,3$  (M1) кэв и, кроме того, обнаружены девять новых  $\gamma$ -переходов с энергиями  $112,75$  (M1+E2);  $215,80$ ;  $228,15$ ;  $238,50$ ;  $293,1$ ;  $385,5$ ;  $389,4$ ;  $496,7$ ;  $543,4$  и  $702,4$  кэв. Определена мультипольность семи  $\gamma$ -переходов. На основе экспериментальных данных подтверждено, что при распаде  $^{166}\text{Tm}$  возбуждаются следующие уровни:  $80,60$  ( $2^+ 0$ );  $265,00$  ( $4^+ 0$ );  $545,30$  ( $6^+ 0$ );  $785,9$  ( $2^+ 2$ );  $859,4$  ( $3^+ 2$ );  $956,2$  ( $4^+ 2$ );  $1075,2$  ( $5^+ 2$ );  $1458,0$  ( $(2)^-(2)$ );  $1917,6$  ( $3^-(3)$ );  $1938,2$  ( $2^+, 3^+$ );  $2132,8$  ( $3^+$ );  $2160,2$  ( $3^+$ ) кэв и введен нами уровень с энергией  $2001,7$  ( $2^-, 3^-$ ) кэв. Высказаны соображения о квантовых характеристиках трех возбужденных уровней  $^{166}\text{Er}$ . Установлено, что переход  $215,80$  кэв происходит между уровнями ( $5^+ 2$ ) и ( $3^+ 2$ )  $\gamma$ -вибрационной полосы, а переход с энергией  $215,20$  кэв расположен между уровнями  $2132,8$  и  $1917,6$  кэв.

Подтверждены данные, имеющиеся в литературе, об энергии  $\gamma$ -переходов  $^{165}\text{Tm}$  и обнаружены два новых перехода с энергиями  $222,0$  и  $238,4$  кэв. На основе уточненных значений энергии  $\gamma$ -переходов определены энергии возбужденных уровней  $^{165}\text{Er}$  до  $920,4$  кэв.

Впервые обнаружены следующие  $\gamma$ -переходы с энергиями ( $94,10$ ); ( $94,78$ );  $170,63$ ;  $189,9$ ;  $201,5$ ; ( $209,2$ ); ( $210,6$ );  $216,5$ ;  $217,7$ ; ( $259,9$ ); ( $260,6$ );  $304,2$ ;  $315,3$ ;  $330,3$ ;  $416,7$ ;  $544,1$ ;  $635,5$  кэв, и эти переходы, за исключением  $201,5$  и  $315,3$  кэв, к распаду  $^{164}\text{Tm}$  отнесены предположительно, так как для этих переходов заряд ядра не установлен. Установлена мультипольность перехода  $208,0$  (E2) кэв. Предположительно введен уровень с энергией  $614,7$  ( $6^+ 0$ ) кэв.

Уточнены энергии возбужденных уровней 81,40(2<sup>+</sup>0); 299,4(4<sup>+</sup>0) и 860,6(2<sup>+</sup>2) кэв.

Получены существенно новые данные о распаде <sup>161</sup>Tu. Установлено существование двадцати семи  $\gamma$ -переходов, возникающих при распаде <sup>161</sup>Tu: 28,00 (M1); 45,58 (M1+E2,E1); 59,50 (M1+E2); 78,02 (E2+M1); 84,42 (M1+E2); 94,40 (E2); 105,90 (M1); 112,55 (M1); 122,57 (M1); 138,70; 143,95 (E2); 146,7 (M1); 156,5; 172,0 (M1); 172,8; 181,9; 190,4; 207,0; 215,8; 218,2; 244,5; 250,1; 252,5; 265,4; 283,5; 353,8 и 372,6 кэв. За исключением переходов 84,42; 143,95; 146,7 и 172,0 кэв все перечисленные переходы обнаружены нами впервые. Определена мультипольность двенадцати переходов. На основе полученных данных предложена схема распада <sup>161</sup>Tu (рис. 2). Определены квантовые характеристики основного состояния <sup>161</sup>Er и установлено, что в ядре <sup>161</sup>Er<sub>93</sub> возбуждаются ротационные уровни основного состояния с энергиями и квантовыми характеристиками 59,50 кэв (5/2 3/2<sup>-</sup> [521]) и 143,95 кэв (7/2 3/2<sup>-</sup> [521]); одночастичное состояние с энергией 172,0 кэв (5/2 5/2<sup>-</sup> [523]) и его ротационный уровень с энергией 250,0 кэв (7/2 5/2<sup>-</sup> [523]). Также введены два уровня с энергиями 146,7 и 353,8 кэв. Предполагается, что основное состояние <sup>161</sup>Tu, как и другие нечетные ядра тулия, имеют квантовые характеристики 1/2<sup>+</sup> [411]. Таким образом, вся совокупность экспериментальных данных о ядре <sup>161</sup>Er показывает, что это ядро, как и другие ядра эрбия, сильно деформировано.

В последней, четвертой главе приведены результаты исследований радиоактивного распада изотопов церия с массовым числом A = 139, 135, 133 и 132.

Уточнена энергия  $\gamma$ -перехода с энергией 165,78 кэв и определена его мультипольность - M1. Данные, полученные нами по <sup>139</sup>Ce, подтверждают схему распада <sup>139</sup>Ce.

При изучении спектра конверсионных электронов цериевой фракции наблюдается ранее известный изомерный переход с энергией 254,30 кэв <sup>137</sup>\*Ce и уточнена его энергия. Установлена мультипольность этого перехода - M4. Следовательно, подтверждено, что спин и четность изомерного состояния 11/2<sup>-</sup>.

В результате исследований электронов внутренней конверсии <sup>135</sup>Ce обнаружены 24  $\gamma$ -перехода, из них переходы с энергиями 59,08; 86,9; 88,6; 118,0; 119,5; 132,8; 146,0; 178,0; 200,7 и 267,5 кэв обнаружены впервые.

Определена мультипольность следующих  $\gamma$ -переходов: 86,9 (E2+M1); 88,6 (M1); 118,0 (M1); 119,5 (M1+E2); 206,4 (M1); 265,5 (M1) и 300,0 (E2) кэв. На основе полученных данных предложена схема распада <sup>135</sup>Ce. При этом введены семь возбужденных уровней <sup>135</sup>La с энергиями и квантовыми характеристиками 119,5(7/2<sup>+</sup>); 206,4 (5/2<sup>+</sup>); 265,5 (3/2<sup>+</sup> или 5/2<sup>+</sup>); 300,0 (1/2<sup>+</sup>); 783,2 ( $\leq$  5/2<sup>+</sup>); 871,8 ( $\leq$  5/2<sup>+</sup>) и 1170,8 ( $\leq$  5/2<sup>+</sup>) кэв. Высказаны соображения о квантовых характеристиках основного состояния <sup>135</sup>Ce (3/2<sup>+</sup>) и <sup>135</sup>La (5/2<sup>+</sup>).

Спектр конверсионных электронов <sup>133</sup>Ce впервые исследован нами. Установлено, что при распаде <sup>133</sup>Ce возникают  $\gamma$ -переходы с энергиями 76,8; 97,1 и 174,0 кэв. Определена мультипольность двух переходов 76,8 (M1) и 97,1 (M1) кэв. На основе данных значений энергий, мультипольности и полных интенсивностей переходов предложена возможная схема распада <sup>133</sup>Ce. При этом введены два возбужденных уровня с энергиями 97,1 и 174,0 кэв.

Впервые изучен спектр конверсионных электронов, возникающий при распаде <sup>132</sup>Ce. При этом обнаружены следующие  $\gamma$ -переходы с энергиями: (29,8); (42,8); 58,35 (M1+E2); (72,4); 87,8 (M1+E2); 123,7; 127,8; 130,7 (M1+E2); 137,8; 142,3; 155,5 (E1); 177,1; 178,8; 182,2 (E1); 190,2 (M1); 216,8; 251,5; 261,3; 329,5; 345,9; 363,9; 367,8; 404,5; 476,7 (E1) и 509,9 кэв. Определена мультипольность шести переходов. На основе полученных данных об энергиях, интенсивностях и мультипольностях  $\gamma$ -переходов предлагается схема возбужденных уровней <sup>132</sup>La (рис. 3). Приведены возможные квантовые характеристики основного состояния <sup>132</sup>La ( $\leq$  2<sup>-</sup>) и показано, что в ядре <sup>132</sup>La при распаде <sup>132</sup>Ce возбуждаются следующие уровни с квантовыми характеристиками: 58,35 ( $\leq$  3<sup>-</sup>); 87,8 ( $\leq$  3<sup>-</sup>); 130,7 ( $\leq$  3<sup>-</sup>); 182,2 (0<sup>+</sup> или 1<sup>+</sup>); 288,2 ( $\leq$  2<sup>+</sup>) и 476,6 (0<sup>+</sup> или 1<sup>+</sup>) кэв.

Полученные данные о распаде <sup>135</sup>Ce показывают, что ядро <sup>135</sup>La не является деформированным. Квантовые характеристики основного состояния <sup>135</sup>La (5/2<sup>+</sup>) и низких уровней этого ядра можно интерпретировать наиболее просто в рамках оболочечной модели. Если оно деформировано, то очень незначительно, и такая деформация, не влияет на свойства ядра, так как не наблюдаются ротационные уровни.

Как показывают данные о распаде <sup>132</sup>Ce, ядро <sup>132</sup>La ведет себя иначе, чем <sup>135</sup>La. Некоторые значения спинов и четностей возбужденных уровней <sup>132</sup>La в рамках оболочечной модели не находят объяснения, и, следовательно, дела-

ется предположение, что ядро  $^{132}\text{La}$  деформировано и квантовые характеристики возбужденных уровней  $^{132}\text{La}$  могут быть объяснены на основе схемы Нильссона.

Основные результаты, изложенные в диссертации, доложены на XIII–XVI Всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, а также на VI–IX рабочих совещаниях по ядерной спектроскопии нейтрондефицитных изотопов и теории ядра в Дубне (1963–1966 гг.) и опубликованы в следующих работах:

1. Abdumalikov A., Abdurazakov A., K. Gromov, Zh. Zhelev., N. Lebedev, B. Dzheleпов, A. Kudryavtseva. Phys. Lett., **5**, 359 (1963).
2. Абдумаликов А.А., Абдуразаков А.А., Громов К.Я. Изв. АН СССР, серия физическая, **28**, 257 (1964) и Программа и тезисы докладов XIV ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Тбилиси. Изд-во "Наука", 54, 1964.
3. Абдумаликов А.А., Абдуразаков А.А., Гнатович В., Громов К.Я., Джебелепов Б.С. Изв. АН УзССР, серия физ-мат. наук, № **9**, 56 (1965). Программа и тезисы докладов XIV ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Тбилиси. Изд-во "Наука", 61, 1964.
4. Абдумаликов А.А., Гнатович В., Громов К.Я. Программа и тезисы докладов XVI ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Изд-во "Наука", Москва, 62, 1966.
5. Абдумаликов А.А., Абдуразаков А.А., Громов К.Я. Изв. АН Уз ССР, серия физ-мат. наук, № **6**, 56 (1965). Программа и тезисы докладов XIV ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Тбилиси. Изд-во "Наука", 59, 1964.
6. Абдумаликов А.А., Абдуразаков А.А., Бурибаев С., Громов К.Я., Лебедев Н.А. Ядерная физика, **3**, вып. 4, 802 (1966); Препринт ОИЯИ, Р-2235, Дубна, 1965.
7. Абдумаликов А.А., Абдуразаков А.А., Громов К.Я., Лебедев Н.А. Препринт ОИЯИ, Р-2236, Дубна, 1965.
8. Абдумаликов А.А., Абдуразаков А.А., Громов К.Я., Исламов Т.А. Программа и тезисы докладов XVI ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Изд-во "Наука", Москва, 27, 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 декабря 1966 г.

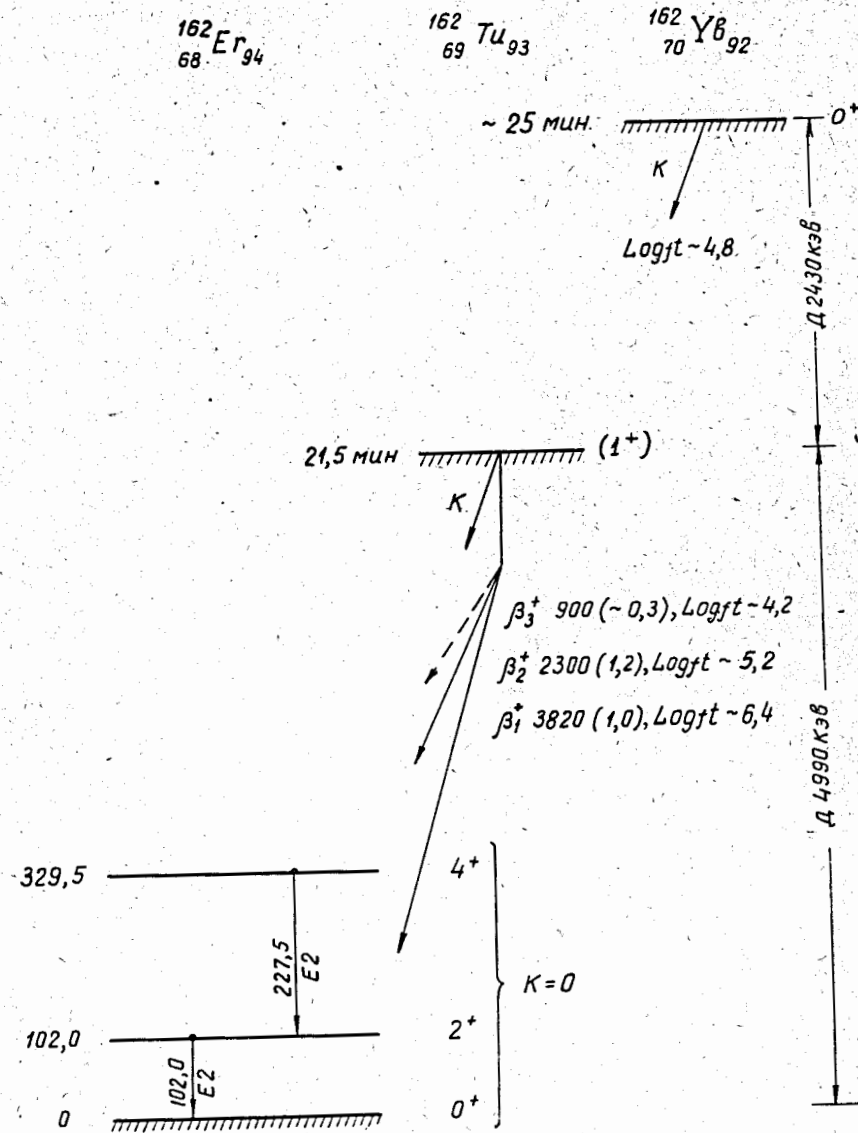


Рис. 1. Схема распада цепочки  $^{162}\text{Yb} \rightarrow ^{162}\text{Tm} \rightarrow ^{162}\text{Er}$ . В скобках приведены интенсивности позитронов.

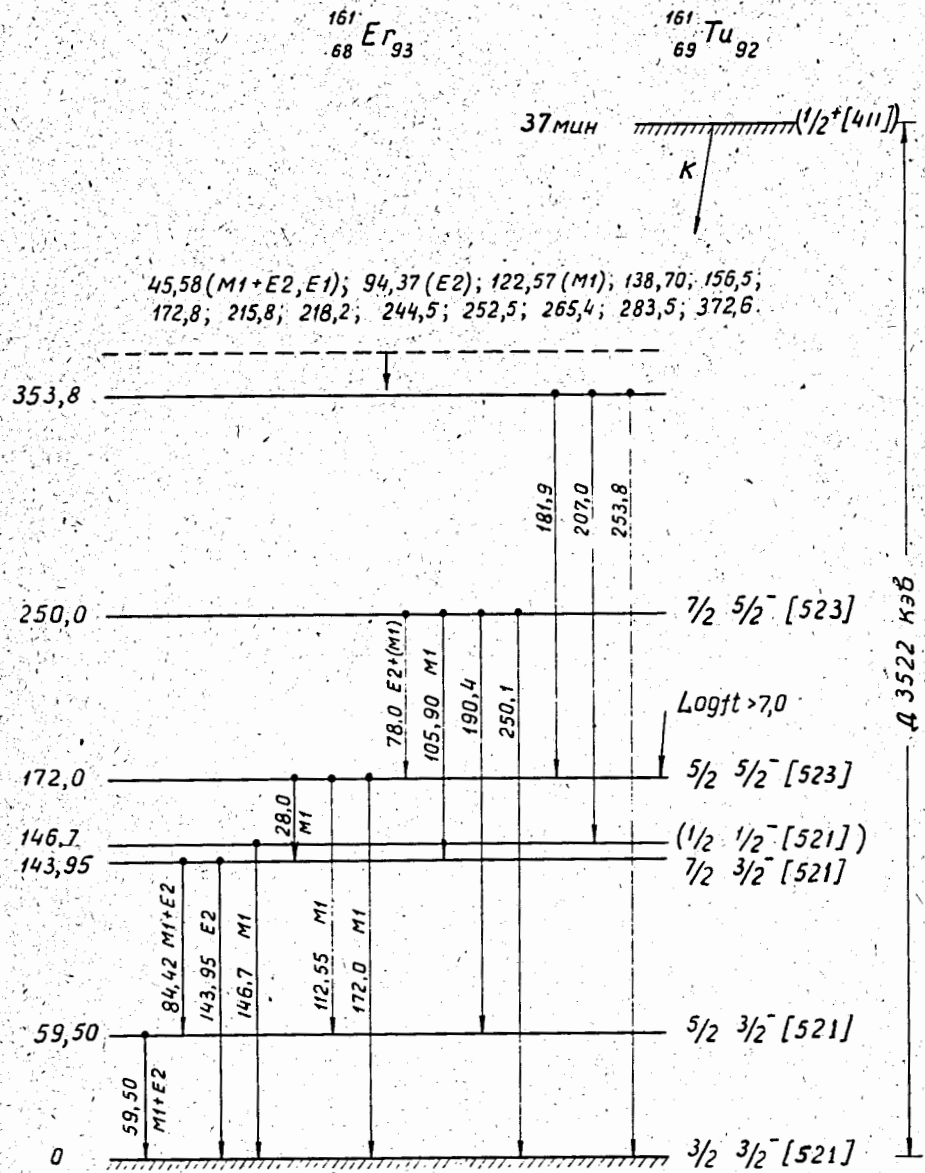


Рис. 2. Схема распада  $^{161}\text{Tu}$ .

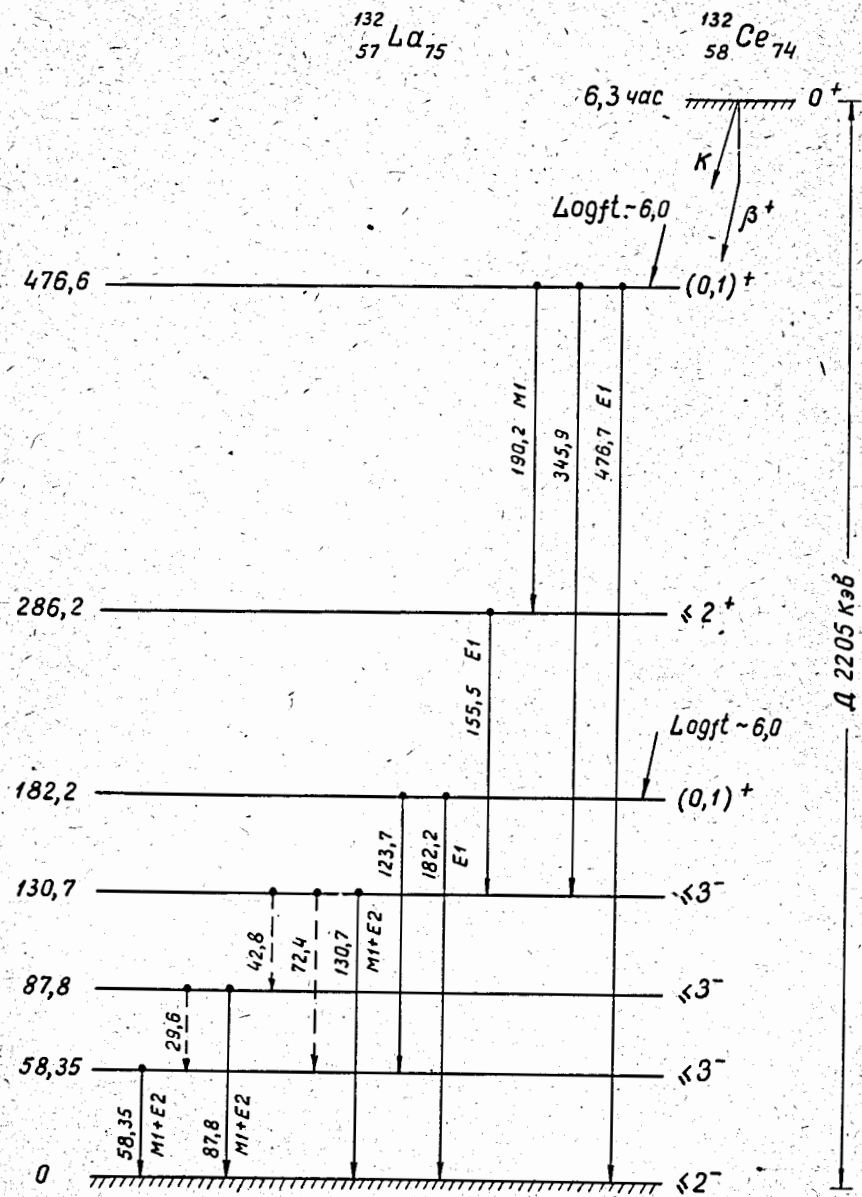


Рис. 3. Схема распада  $^{132}\text{Ce}$ .