

УДК 539.163

М. Р. АХМЕД, К. А. БАСКОВА, С. С. ВАСИЛЬЕВ, Л. Н. ПАНКРАТОВА,
Н. П. РУДЕНКО, Л. Я. ШАВТВАЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЙ γ^{91} , γ^{90} и γ^{87}

В работе сделаны некоторые уточнения схем распада изотопов γ^{91} , γ^{90} и γ^{87} .

Изотопы иттрия получались при облучении стронциевых мишеней, обогащенных одним из стабильных изотопов с массовыми числами 84; 86; 87; 88. В каждой мишени, обогащенной определенным изотопом, неизбежно присутствуют в качестве примеси другие изотопы. Вследствие этого после облучения мишени заряженными частицами в ней всегда получается смесь изотопов иттрия. Это создает большие трудности в исследованиях излучения определенного изотопа иттрия, поскольку мешает примесь других изотопов. Этим объясняется неоднозначность приводимых в опубликованной литературе данных об излучении радиоактивных изотопов иттрия. В настоящей работе исследуемые изотопы иттрия получались по перекрестным реакциям, и одновременно мишени облучались под фильтрами. Это позволило снизить энергию бомбардирующих частиц, где было возможно, ниже порога нежелательной реакции, приводящей к образованию других изотопов иттрия. Исследование излучения проводилось на магнитном β -спектрометре с тонкой линзой и на сцинтилляционных β - и γ -спектрометрах. Для измерения $\beta\gamma$ -совпадений сцинтилляционный β -спектрометр включался в схему совпадений со сцинтилляционным γ -спектрометром.

γ^{90} ($T_{1/2} = 3,2$ часа). γ^{90} получался при облучении стронция, обогащенного до 99,8% Sr^{88} , α -частицами с энергией 25,6 Мэв по реакции (α, d) и при облучении γ^{89} (естественная распространенность 100%) дейтронами с энергией 12,6 Мэв по реакции (d, p). Из облученных мишеней иттрий выделялся химическим путем.

γ -спектр иттрия γ^{90} , измеренный на сцинтилляционном γ -спектрометре, приведен на рис. 1. Согласно измеренному периоду полураспада к γ^{90} следует отнести γ -линии с энергиями 200, 480 и 700 кэв ($T_{1/2} = 3,2 \pm 0,2$ часа). Для доказательства того, что γ -линия 700 кэв не является только пиком суммирования, γ -спектр был измерен при различных расстояниях источника от кристалла. Это позволило надежно выделить γ -линию энергии 700 кэв. Относительная интенсивность ее равна $1,0 \pm 0,5\%$ по отношению к γ -линии энергии 480 кэв.

В γ -спектре [1, 3] обнаруживается очень слабая γ -линия 700 кэв, однако ее достоверность ставится под сомнение.

В γ -спектре Y^{90} , полученного по реакции $Y^{89}(d, p)$, хорошо выделяются те же γ -линии 200, 480 и 700 кэв. Это однозначно доказывает принадлежность их к Y^{90} , поскольку в последнем случае не образуется Y^{91} .

На конверсионном спектрометре с разрешающей способностью 0,8% при светосиле 0,1% измерен конверсионный спектр Y^{90m} . Из полученных данных следует значение M4 для мультипольности γ -перехода энергии 480 кэв. Это значение согласуется с данными работы Громова [4], тогда

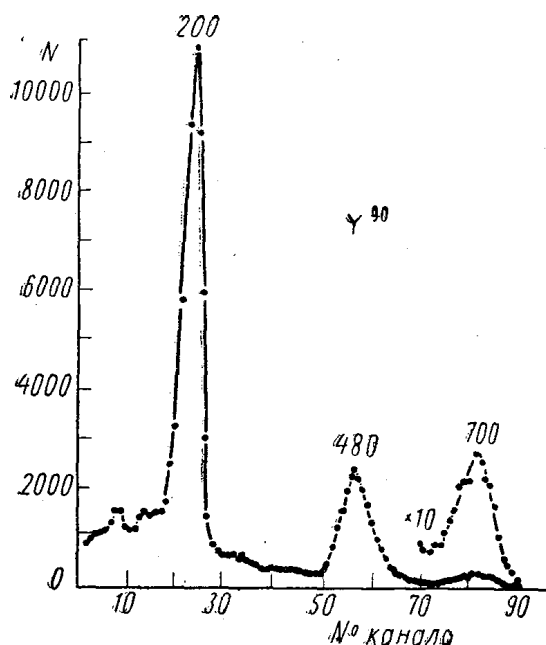


Рис. 1. γ -спектр, Y^{90} , полученный при облучении стронциевой мишени α -частицами

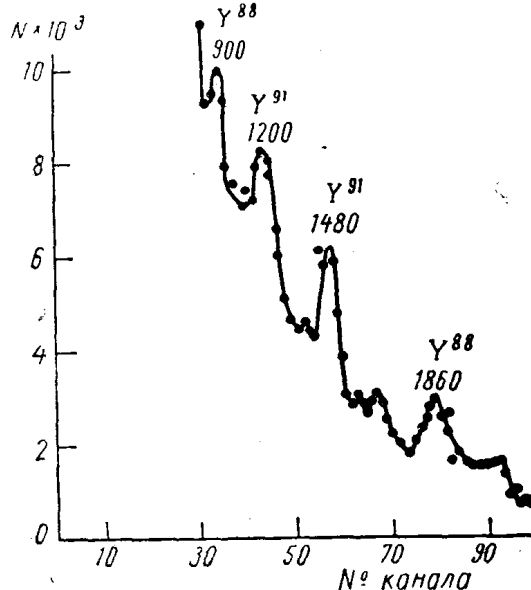


Рис. 2. γ -спектр, Y^{91} и Y^{88} , полученный при облучении стронциевой мишени α -частицами с энергией 11 Мэв

как в других работах [1, 2] это излучение определяется как смесь мультипольности M4 + E5.

Y^{91} ($T_{1/2} = 59$ дней). Y^{91} получался при облучении стронция, обогащенного до 99,8% Sr^{88} , α -частицами с энергией 11 Мэв по реакции (α, p) . Для снижения нежелательной к Y^{91} примеси Y^{90} , получающегося одновременно по реакции (α, d) , энергия α -частиц уменьшалась ниже порога реакции путем помещения перед мишенью алюминиевого фильтра толщиной 215 мк. Из облученной таким образом мишени химическим путем выделялся иттрий. γ -спектр, измеренный на сцинтилляционном γ -спектрометре, представлен на рис. 2. Обнаруженную γ -линию с энергией 1480 кэв, согласно измеренному периоду полураспада ($T_{1/2} = 59$ дней), по-видимому, следует отнести к Y^{91} .

Из измеренного γ -спектра относительная интенсивность γ -линии 1480 кэв по отношению к γ -линии 1200 кэв составляет 56%.

На γ -спектре видим также γ -линии энергии 900 и 1860 кэв, которые следует отнести к Y^{88} [5]. Y^{88} получается одновременно с Y^{90} и Y^{91} по реакции $Sr^{87}(\alpha, T)$, поскольку Sr^{87} присутствует в качестве примеси к Sr^{88} в количестве 0,2%. Перекрестными реакциями было доказано, что обнаруженная γ -линия принадлежит к Y^{91} .

В настоящей работе для всего спектра γ -лучей проведены измерения $\beta\gamma$ -совпадений на сцинтилляционном γ -спектрометре, включенном в схему совпадений со сцинтилляционным β -спектрометром. В этом случае на стоканальном анализаторе АИ-100-1 регистрировались спектры γ -квантов, совпадающих с β -частицами, интервалы энергий которых выделялись с помощью интегрального анализатора.

На рис. 3 представлены одиночный γ -спектр и γ -спектр совпадений с β -частицами энергий $E > 20, 100$ и 400 кэв. При $E_\beta > 20$ кэв наблюдаются совпадения с γ -квантами энергий 900; 1200; 1480 и 1860 кэв. При энергии $E_\beta > 100$ кэв совпадения с γ -квантами 1480 кэв исчезают. При $E_\beta > 400$ кэв не наблюдается совпадений с γ -квантами 1200 кэв. Следо-

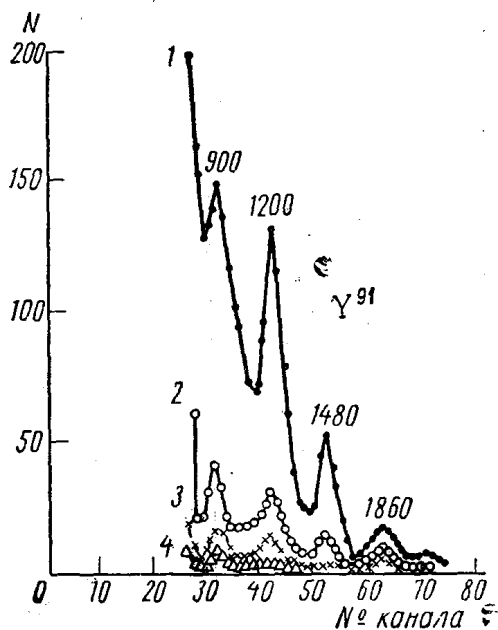


Рис. 3. Одиночный γ -спектр Y^{91} (1); спектр совпадений γ -квантов с β -частицами при $E_\beta > 20$ кэв (2), при $E_\beta > 100$ кэв (3) и при $E_\beta > 400$ кэв (4)

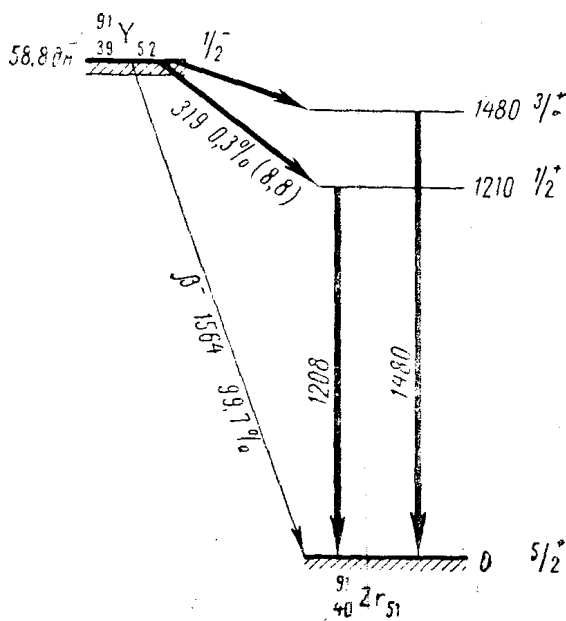


Рис. 4. Схема распада Y^{91}

вательно, β -переход с граничной энергией 1564 кэв идет на основной уровень Zr^{91} . Это согласуется с результатами работ [6, 7]. На рис. 4 приведена схема распада Y^{91} [8]. Измеренные $\beta\gamma$ -совпадения в настоящей работе обозначены жирными линиями. В схему введен γ -переход с энергией 1480 кэв, обнаруженный в настоящей работе.

Y^{87} ($T_{1/2} = 80$ ч). Исследование β^+ -излучения Y^{87} , выполненное в ряде работ [8—10], указывает на наличие β^+ -перехода с граничной энергией 870 кэв. В работе [9] дается указание на существование β^+ -перехода с энергией 1600 кэв, идущего с изомерного состояния Y^{87m} ($T_{1/2} = 14$ ч). Однако в [10] этот β^+ -переход обнаружен не был.

В настоящей работе проведено исследование β^+ -излучения Y^{87} . Y^{87} получался при облучении стронциевой мишени, обогащенной до 74,2% Sr^{87} протонами с энергией 6,2 Мэв по реакции $Sr^{87}(p, n)Y^{87}$. Порог этой реакции 2,5 Мэв. Одновременно с Y^{87} образуется Y^{86} по реакции $Sr^{87}(p, 2n)$, поскольку порог этой реакции равен 5,5 Мэв. В состав мишени также входили Sr^{88} (23,1%) и Sr^{86} (2,7%). На Sr^{88} идет реакция

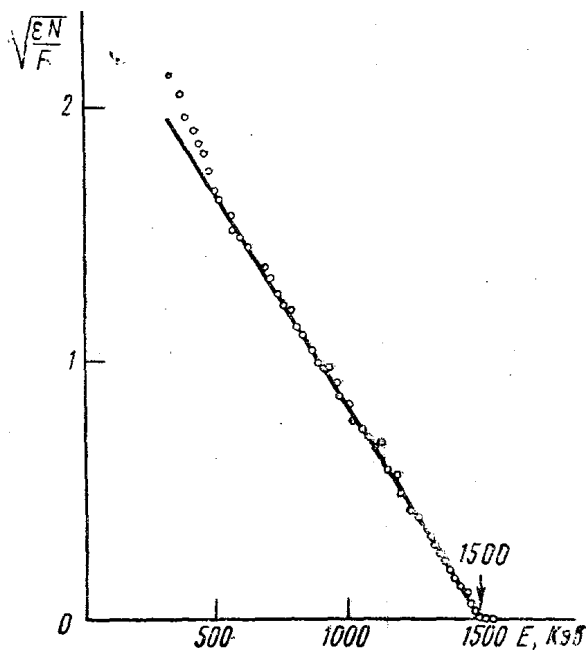


Рис. 5. График Ферми β -спектра Y^{87} ($T_{1/2} = 14$ час)

(p, n), приводящая к образованию Y^{88} (порог 4,5 Мэв). В таких условиях было трудно исследовать β^+ -излучение Y^{87} , так как Y^{86} , Y^{88} также испускают позитроны близких граничных энергий.

Для получения однозначных результатов мы пользовались перекрестными реакциями, в которых вклад изотопов Y^{86} или Y^{88} был менее значителен. Кроме того, проводились облучения, в которых энергия бомбардирующих частиц понижалась ниже порога нежелательной реакции.

β^+ -спектр измерялся на сцинтилляционном β -спектрометре с антраценовым кристаллом размером 30×20 мм².

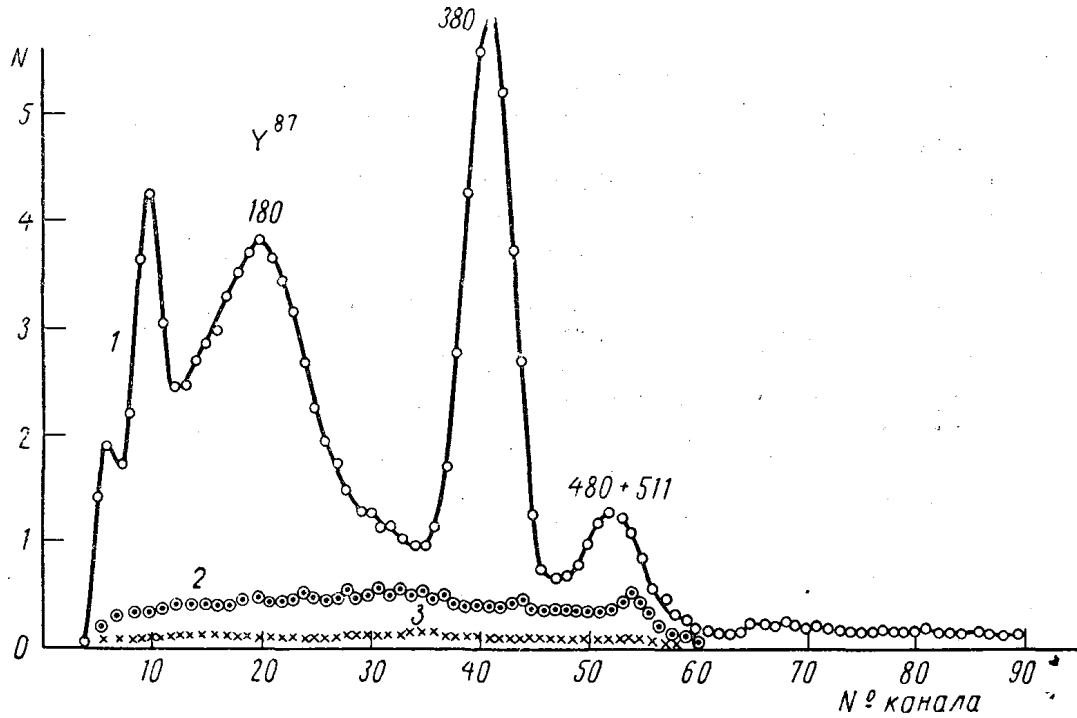


Рис. 6. Одиночный γ -спектр Y^{87} (1); спектр совпадений γ -квантов с β -частицами при $E_{\beta} > 50$ кэв (2) и при $E_{\beta} > 1500$ кэв (3)

Из измеренной кривой распада β^+ -активности выделяются два периода полураспада 14 ч и 80 ч. β^+ -спектр измерялся на протяжении нескольких дней и вклад от него с $T_{1/2} = 80$ ч учитывался вычитанием его из суммарного β^+ -спектра. Для разделенных таким образом β^+ -спектров построены графики Ферми. Из анализа этих графиков Ферми выделяются граничные энергии: 760 ± 50 кэв ($T_{1/2} = 80$ ч) и 1500 ± 50 кэв ($T_{1/2} = 14$ ч). Вклад комптоновского γ -спектра, регистрируемого сцинтилляционным β -спектрометром, в измеряемый β^+ -спектр учитывался путем измерений с алюминиевым фильтром толщиной 3 мм, помещенным между источником и антраценовым кристаллом. Этот фильтр поглощал все β^+ -частицы. Измеренный таким образом «фон» вычитался из β^+ -спектра. На рис. 5 приведен график Ферми β -спектра Y^{87} ($T_{1/2} = 14$ ч).

Для всего спектра γ -лучей впервые проведены измерения $\beta\gamma$ -совпадений с β^+ -частицами $E_{\beta} > 50$ и 1500 кэв. Результаты измерений приведены на рис. 6. Как видно из рисунка, при энергии $E_{\beta} > 50$ кэв наблюдаются совпадения только аннигиляционных квантов. При $E_{\beta} > 1500$ кэв совпадения отсутствуют. Отсюда следует, что оба перехода не сопровождаются γ -лучами. По-видимому, β^+ -переход энергий 1500 кэв идет на основной уровень Sr^{87} с вероятностью 1,5%. Значение $\log ft$ получено равным 6,9.

В конверсионном спектре, измеренном на магнитном спектрометре, видны конверсионные K - и L -линии γ -квантов энергии 380 кэв. Из полученного отношения K/L , равного 6,8, следует, что мультипольность этого перехода $M4$. Это согласуется с результатами работы [4].

В результате проведенных исследований удалось с достоверностью отнести наблюдаемые β - и γ -излучения к определенным изотопам иттрия. Обнаруженный у Y^{91} новый γ -переход энергии 1480 кэв и проведенные исследования $\beta\gamma$ -совпадений указывают на существование уровня 1480 кэв в схеме распада Y^{91} . Доказывается существование β -перехода у изомерного состояния Y^{87} , который ранее считался сомнительным. Полученные результаты уточняют схемы распада изотопов иттрия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Heath R. H., Cline J. E., Reich C. W., Jates E. C., Turk E. H. Phys. Rev., 123, 908, 1961.
2. Haskin L., Vandenbosh R. Phys. Rev., 123, 184, 1961.
3. Fergusson J. M. Nucl. Phys., 27, 344, 1961.
4. Громов К. Я., Данагумен А. С., Стригачев А. Т., Чжоу Мо-лунь. Препринт Р-1510, ОИЯИ, 1963.
5. Shastri S., Bhattacharyya R. Nucl. Phys., 55, 397, 1964.
6. Kahn B., Lyon W. S. Phys. Rev., 98, 58, 1955.
7. Johnson O. J., Smith W. G. Phys. Rev., 118, 1315, 1960.
8. Джелепов В. С., Пекер Л. К. Схемы распада радиоактивных ядер. М., «Наука», 1966.
9. Vandenbosh R., Haskin L., Norman J. C. Phys. Rev., 137, 5B, 1134, 1965.
10. Hultberg S., Horen D. J., Hollander J. M. Nucl. Phys., 28, 471, 1961.

Поступила в редакцию
10.5 1968 г.
После переработки
27.4 1969 г.

НИИЯФ