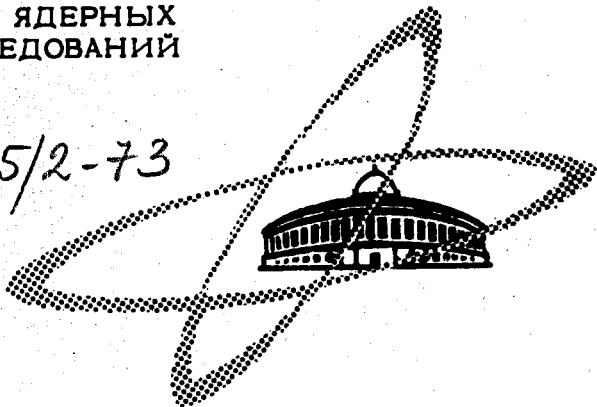


A-465

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

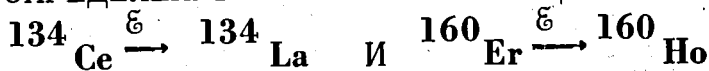
315/2-73



P6 - 6794

В.С. Александров, В.С. Бутцев, Ц. Вылов,
К.Я. Громов, В.Г. Калинин.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ РАСПАДА

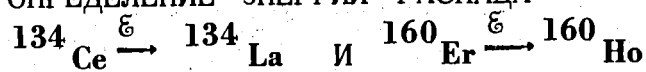


ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1972

В.С. Александров, В.С. Бутцев, Ц. Вылов,
К.Я. Громов, В.Г. Калинин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ РАСПАДА



Направлено в Изв. АН СССР
(сер. физ.)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

I. Введение

Когда энергия распада не очень сильно превышает энергии связи электрона на K -оболочке атома (E_K), то доля K -захвата в электронном захвате сильно зависит от энергии распада Q_β . Уменьшение вероятности K -захвата с уменьшением Q_β вызвано наличием множителя $(Q_\beta - E_K)$ в формуле для вероятности разрешенного K -захвата:

$$W_K = C g_K^2 (Q_\beta - E_K)^2,$$

где $C = \text{const}$, g_K - радиальная волновая функция захваченного электрона.

При $Q_\beta < E_K$ K -захват энергетически невозможен, и весь бета-распад идет путем L - и M -захвата.

Рассмотрим вопрос определения энергии распада $^{134}\text{Ce} \rightarrow ^{134}\text{La}$
 $^{160}\text{Er} \rightarrow ^{160}\text{Ho}$.

2. Метод

Применяемый метод рассмотрим на примере распада $^{160}\text{Er} \rightarrow ^{160}\text{Ho}$. Схема распада $^{160}\text{Er} \rightarrow ^{160}\text{Ho} \rightarrow ^{160}\text{Dy}$ приведена на рис. 2 а/1/.

Число рентгеновских лучей K -серии Ho на 100 распадов ^{160}Er за время измерения $\Delta t = t_2 - t_1$ определяется формулой:

$$I_K(\text{Ho}) = C N_0 \lambda_1^{K/E}(\text{Er}) 100 \omega_K(\text{Ho}) \int_{t_1}^{t_2} e^{-\lambda_1 t} dt,$$

где C - коэффициент, зависящий от абсолютной эффективности детектора; N_0 - число ядер ^{160}Er в момент разделения Er от Ho ; $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ - постоянная распада ^{160}Er ; $\omega_K(\text{Ho})$ - выход флуоресценции на K -оболочке атома; $\kappa_K(\text{Er})$ - доля K -захвата в электронном захвате ^{160}Er .

Аналогично, число рентгеновских лучей K -серии Dy на 100δ распадов $^{160\text{m}}\text{Ho}$ за время измерения $\Delta t = t_2 - t_1$ равно:

$$I_K^m(\text{Dy}) = CN_0 \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} 100\delta \omega_K(\text{Dy}) [\kappa_K(\text{Ho}) + \sum_i I_{fi}^m \alpha_{ki}] \int_{t_1}^{t_2} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) dt,$$

где δ - доля β -распадов изомерного состояния; член $\sum_i I_{fi}^m \alpha_{ki}$ учитывает вклад электронов внутренней конверсии (ЭВК) при образовании дырок на K -оболочке атома Dy ; I_{fi}^m - интенсивность f -лучей при распаде $^{160\text{m}}\text{Ho} \rightarrow ^{160}\text{Dy}$; α_{ki} - соответствующие КВК.

Так же, число рентгеновских лучей K -серии Dy на $100(1-\delta)$ распадов ^{160g}Ho за время измерения $\Delta t = t_2 - t_1$ равно:

$$I_K^g(\text{Dy}) = CN_0 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 100(1-\delta) \omega_K(\text{Dy}) [\kappa_K(\text{Ho}) + \sum_i I_{fi}^g \alpha_{ki}] \times \\ \times \left\{ \frac{1}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} \int_{t_1}^{t_2} e^{-\lambda_1 t} dt + \frac{1}{(\lambda_3 - \lambda_2)(\lambda_1 - \lambda_2)} \int_{t_1}^{t_2} e^{-\lambda_2 t} dt + \frac{1}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \int_{t_1}^{t_2} e^{-\lambda_3 t} dt \right\}.$$

Учитывая, что

- доля β^+ распада мала ($< 0,3\%$ на распад), ее пренебрегаем;
- измерение проводится через 100 часов после получения источника ^{160}Er ($\lambda_1 = 0,024 \text{ ч}^{-1}$; $\lambda_2 = 0,139 \text{ ч}^{-1}$; $\lambda_3 = 1,65 \text{ ч}^{-1}$) и тогда: $e^{-\lambda_1 t} \sim 0,055$; $e^{-\lambda_2 t} \sim 10^{-8}$; $e^{-\lambda_3 t} \sim 10^{-60}$;
- $\sum_i I_{fi}^g \alpha_{ki} \sim \sum_i I_{fi}^m \alpha_{ki}$ - это оправдано тем, что $Q_\beta(^{160}\text{Ho})$ велико и при распаде обоих изомеров возбуждается большое число f -переходов в ^{160}Dy ;

Можно записать:

$$\kappa/\varepsilon(E_{\gamma}) = \frac{\lambda_2(\lambda_2 - \lambda_1)^{-1}}{I_{\kappa}(D_{\gamma})/I_{\kappa}(H_0)} \left[\kappa/\varepsilon(H_0) + \sum_i I_{fi} \alpha_{\kappa_i} \right] \frac{\omega_{\kappa}(D_{\gamma})}{\omega_{\kappa}(H_0)},$$

где $\sum_i I_{fi} \alpha_{\kappa_i}$ - вклад ЭВК при образовании дырок на κ -оболочке D_{γ} при распаде равновесной смеси $^{160m}\text{Ho} + ^{160g}\text{Ho}$.

Измерив в эксперименте отношение $I_{\kappa}(D_{\gamma})/I_{\kappa}(H_0)$ и используя результаты^{/2/} для определения значения $\sum_i I_{fi} \alpha_{\kappa_i}$ и $\kappa/\varepsilon(H_0)$, можно определить значение $\kappa/\varepsilon(E_{\gamma})$. Сравнивая этот результат с теоретическим значением $\kappa/\varepsilon(E_{\gamma})$ для разрешенного β -перехода (с учетом обменных факторов)^{/3/}, определяем значение Q_{ε} (рис. 2б).

Для распада $^{134}\text{Ce} \rightarrow ^{134}\text{La}$ (рис. 1а) можно получить аналогичное выражение:

$$\kappa/\varepsilon(\text{Ce}) = \frac{I_{\kappa}(\text{La})}{I_{\kappa}(\text{Ba})} \delta \kappa/\varepsilon(\text{La}) \frac{\omega_{\kappa}(\text{Ba})}{\omega_{\kappa}(\text{La})},$$

где δ - доля ε -захвата при распаде $^{134}\text{La} \rightarrow ^{134}\text{Ba}$.

Теоретическая кривая для разрешенного β -перехода (с учетом обменных факторов^{/3/}) приведена на рис. 1б.

3. Эксперимент

Изотопы ^{134}Ce и ^{160}Er получены в реакции глубокого расщепления гадолиния и тантала протонами с энергией 660 Мэв на синхротронном ОИЯИ, с последующим химическим и изотопным разделением на электромагнитном масс-сепараторе^{/4/}. Спектр рентгеновских лучей κ -серии изучался с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора с высоким разрешением^{/5/}. Обработка спектров производилась с помощью программы "Каток"^{/6/}. На рис. 3 и 4 приведены измеренные спектры. Получены значения:

$$I_{\kappa}(La) / I_{\kappa}(Ba) = 2,43 \pm 0,10$$

$$I_{\kappa}(Dy) / I_{\kappa}(Ho) = 1,66 \pm 0,04$$

4. Определение энергии распада

Для определения величины $\kappa_{\epsilon}(La)$ использованы результаты работы^{7/}: $\kappa/\beta^+ = 0,44 \pm 0,03$. Если предположим, что вся погрешность относится к вероятности К-захвата (самый неблагоприятный случай в точности определения энергии распада), получаем:

$$\kappa_{\epsilon}(Ce) = 0,72 \pm 0,08$$

Вклад конверсионных электронов при распаде $^{160}Er \rightarrow ^{160}Ho \rightarrow ^{160}Dy$ берется в соответствии со схемой распада ^{160m}Ho /2/ и определяется по балансу интенсивностей \int -переходов, приходящих на основное состояние ^{160}Dy : $0,214 \pm 0,010$. Значение величины $\kappa_{\epsilon}(Ho) = 0,870^{3/}$. Тогда:

$$\kappa_{\epsilon}(Er) = 0,795 \pm 0,020$$

Из рис. 1б и 2б следует, что

$$Q_{\epsilon} (^{134}Ce \xrightarrow{\epsilon} ^{134}La) = 110_{-30}^{+90} \text{ кэВ}$$

$$Q_{\epsilon} (^{160}Er \xrightarrow{\epsilon} ^{160m}Ho) = 310_{-70}^{+190} \text{ кэВ}$$

Разность масс $^{160}Er \rightarrow ^{160}Ho$ в основных состояниях будет в этом случае составлять:

$$\Delta M (^{160}Er \rightarrow ^{160}Ho) = 370_{-70}^{+190} \text{ кэВ}$$

Применяя данные работы /8/, получаем $Q_{\beta}({}^{134}\text{Ce} \rightarrow {}^{134}\text{La}) = 115_{-15}^{+25}$ кэВ (здесь не учтена ошибка определения доли электронного захвата). В работе /7/ сделана оценка для L/K в ${}^{134}\text{Ce}$ и для Q_{β} получено значение: 120_{-20}^{+60} кэВ.

Энергия распада ${}^{160}\text{Er} \rightarrow {}^{160}\text{Ho}$ определялась и в работе /1/, где значение $I_{\kappa}(\text{Dy})/I_{\kappa}(\text{Ho}) = 1,85 \pm 0,10$ получено при измерении спектра Оже-электронов. Было получено $Q_{\beta} = 230_{-80}^{+90}$ кэВ. Учитывая более точно вклад конверсионных электронов в интенсивности рентгеновских лучей (см. выше), получаем: $Q_{\beta} = 160_{-30}^{+80}$ кэВ.

Зная энергии распада и период полураспада, можно получить соответствующие $\lg f_0 T$:

$$\lg f_0 T({}^{134}\text{Ce} \rightarrow {}^{134}\text{La}) = 3,9_{-0,5}^{+0,7}$$

$$\lg f_0 T({}^{160}\text{Er} \rightarrow {}^{160}\text{Ho}) = 4,8_{-0,3}^{+0,6}$$

Следовательно, оправдано предположение, что эти бета-переходы являются разрешенными. В случае распада ${}^{160}\text{Er} \rightarrow {}^{160}\text{Ho}$ этот результат подтверждает предположения о существовании второго возбужденного уровня ${}^{160}\text{Ho}$ с характеристикой 1^+ , на который идет β -распад с уровня 0^+ ${}^{160}\text{Er}$ /1/.

5. Заключение

Примененный метод определения энергии распада является практически единственным для цепочек распада, подобным рассмотренным. Дальнейшее увеличение точности связано в некоторой мере с увеличением точности определения ветвления при наличии конкурирующего позитронного распада.

Авторы искренне благодарят Н.А.Лебедева, В.И.Афанасьева и И.И.Громову за изготовление препаратов, а также Е.И.Григорьева за интерес к работе и содействие при выполнении работы на раннем этапе.

Литература

1. М.П.Авотина, Е.П.Григорьев, Б.С.Джелепов, А.В.Золотавин.
Изв. АН СССР, сер.физ., 29, 1098 (1965).
2. Е.П.Григорьев, К.Я.Громов и др.
Изв. АН СССР, сер.физ., 33, 635 (1969).
3. Б.С.Джелепов, Л.Н.Зырянова, Ю.П.Суслов.
Бета-процессы, Изд. "Наука", Ленинград, 1972.
4. В.П.Афанасьев, А.Т.Василенко и др.
ОИЯИ, 13-4763, Дубна, 1969.
5. Ц.Вылов, И.Н.Егошин и др. ОИЯИ, P13-6440, Дубна, 1972.
6. В.Гаджоков. ОИЯИ, P10-5035, Дубна, 1970.
7. Е.И.Биряков, В.Т.Новиков, Н.С.Шиманская.
Изв. АН СССР, сер.физ., 29, 151 (1965).
8. Glenn M. Julian and S. Jha.
Nucl. Phys., A100, 392 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел
10 ноября 1972 года.

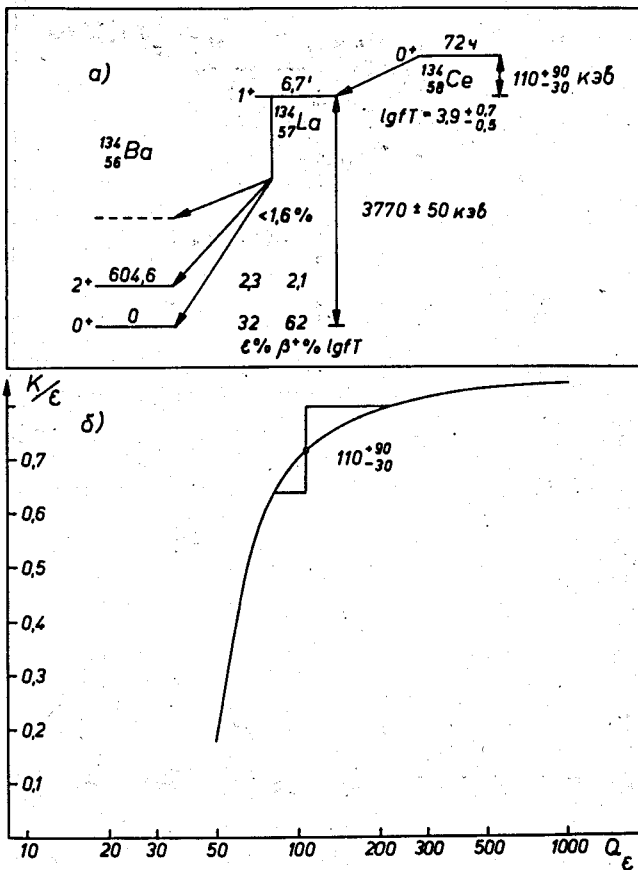


Рис. 1а. Схема распада $^{134}\text{Ce} \rightarrow ^{134}\text{La} \rightarrow ^{134}\text{Ba}$

Рис. 1б. Зависимость отношения K/ϵ при электронном захвате $^{134}\text{Ce} \rightarrow ^{134}\text{La}$ от энергии распада Q_ϵ .

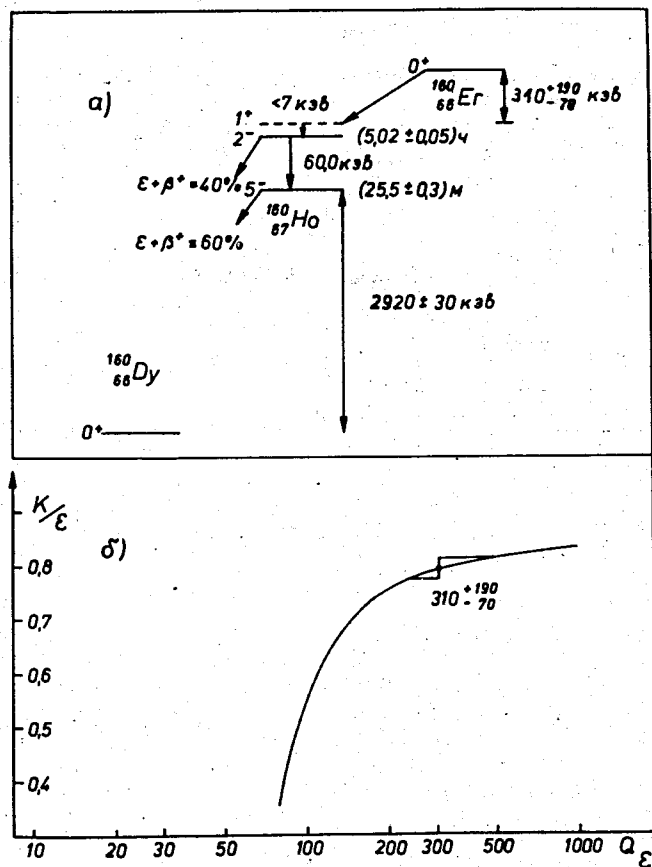


Рис. 2а. Схема распада $^{160}\text{Er} \rightarrow ^{160}\text{Ho} \rightarrow ^{160}\text{Dy}$

Рис. 2б. Зависимость отношения κ/ϵ при электронном захвате $^{160}\text{Er} \rightarrow ^{160}\text{Ho}$ от энергии распада Q_ϵ .

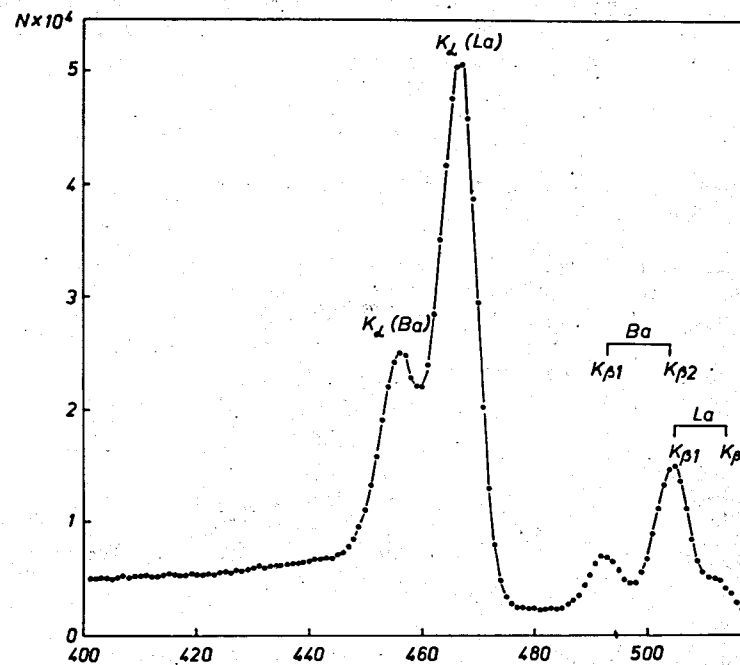


Рис. 3. Спектр рентгеновских лучей К-серии при $^{134}\text{Ce} \rightarrow ^{134}\text{La} \rightarrow ^{134}\text{Ba}$.

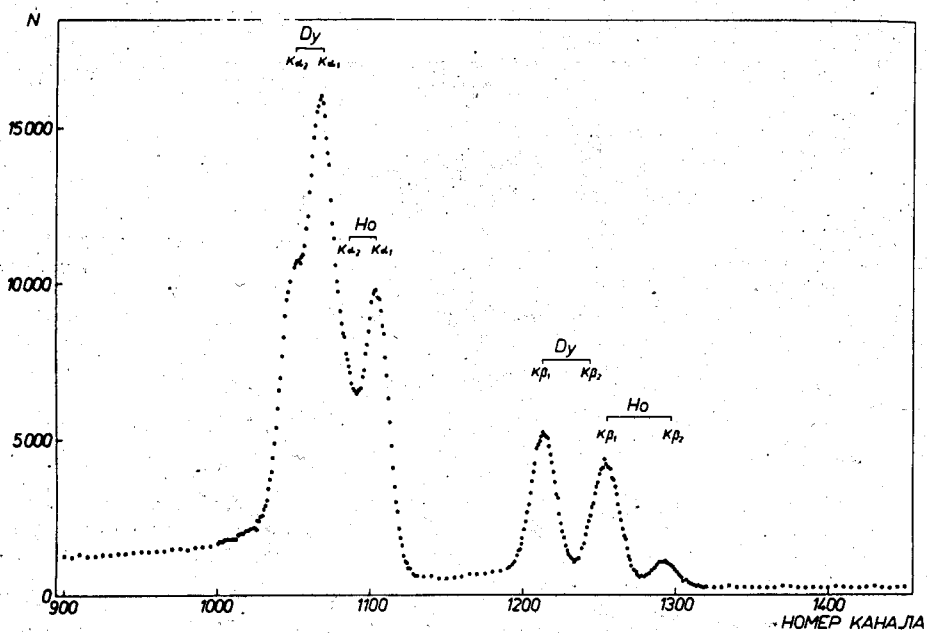


Рис. 4. Спектр рентгеновских лучей К -серии при распаде $^{160}\text{Er} \rightarrow ^{160}\text{Ho} \rightarrow ^{160}\text{Dy}$.