

## КВАДРУПОЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДЫ В *K*- И *L*-СЕРИЯХ РЕНТГЕНОВСКОГО ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Electric Quadrupole Transitions in the *K*- and *L*-Series of X-Ray Characteristic Radiation

Ф. А. Бабушкин

Коми государственный педагогический институт\*

(Поступила в редакцию 6 мая 1968)

На основе полученного автором выражения для вероятности электрического мультипольного релятивистского радиационного перехода проведены вычисления сил осцилляторов и относительных интенсивностей квадрупольных электрических переходов для *K*- и *L*-серий рентгеновского характеристического излучения. Полученные результаты сравниваются с имеющимися экспериментальными данными.

Для вычислений сил осцилляторов квадрупольных электрических переходов в *K*- и *L*-сериях рентгеновского характеристического излучения была использована формула для вероятности электрического мультипольного релятивистского радиационного перехода, полученная автором ранее [1]<sup>1</sup>.

Исходя из этой формулы, для сил осцилляторов квадрупольных электрических переходов *K*- и *L*-серий получаем следующие выражения:

$$f_{ks_{1/2} \rightarrow nd_{3/2}} = \frac{3}{25} \cdot \frac{mc^2}{\hbar\omega} \cdot |R_2 + 5R_4 - 4R_5|^2$$

$$k = 1, 2. \quad n = 3, 4 \dots$$

$$f_{ks_{1/2} \rightarrow nd_{5/2}} = \frac{2}{25} \cdot \frac{mc^2}{\hbar\omega} |6R_3 + R_5 - 5R_6|^2$$

$$f_{2p_{1/2} \rightarrow nf_{5/2}} = \frac{1}{50} \cdot \frac{mc^2}{\hbar\omega} |6R_4 - 5R_5 + R_6|^2$$

\* Адрес: СССР, Коми АССР, Коми государственный педагогический институт, кафедра физики.

<sup>1</sup> см. предыдущую статью автора в этом номере журнала.

$$\begin{aligned}
 f_{2p_{3/2} \rightarrow np_{3/2}} &= \frac{3}{25} \cdot \frac{mc^2}{\hbar\omega} |5R_3 + R_4 - 4R_6|^2 \\
 f_{2p_{3/2} \rightarrow np_{1/2}} &= \frac{3}{50} \cdot \frac{mc^2}{\hbar\omega} |R_3 + 5R_4 - 4R_5|^2 \\
 f_{2p_{3/2} \rightarrow np_{3/2}} &= \frac{6}{25} \cdot \frac{mc^2}{\hbar\omega} |R_3 - R_4 + R_5 - R_6|^2 \\
 f_{2p_{3/2} \rightarrow nf_{7/2}} &= \frac{12}{175} \cdot \frac{mc^2}{\hbar\omega} |6R_3 + R_5 - 5R_6|^2 \\
 f_{2p_{3/2} \rightarrow nf_{5/2}} &= \frac{18}{175} \cdot \frac{mc^2}{\hbar\omega} \left| \frac{3}{2} R_3 + \frac{7}{2} R_4 - \frac{8}{3} R_5 - \frac{2}{3} R_6 \right|^2.
 \end{aligned} \quad (1)$$

Результаты вычислений сил осцилляторов данных переходов представлены графически на рис. 1, 4, 7, 8. В качестве волновых функций в радиальных интегралах использовались водородоподобные релятивистские функции Дирака с учетом экранирования по Бернсу [2]. Для энергии перехода использовались экспериментальные данные [3].

На тех же рисунках приведены для сравнения силы осцилляторов переходов, интенсивности которых принимаются за 100. Эти значения взяты из предыдущих работ автора.

Относительная интенсивность перехода вычислялась по формуле:

$$\frac{I_x}{I_{100}} = \left( \frac{\omega_x}{\omega_{100}} \right)^3 \cdot \frac{f_x}{f_{100}}. \quad (2)$$

Для квадрупольных переходов  $K$ -серии за 100 принималась интенсивность дипольного перехода  $1s_{1/2} \rightarrow 2p_{3/2}$ , для переходов с уровня  $L_I$  — интенсивность перехода  $2s_{1/2} \rightarrow 3p_{3/2}$ , с  $L_{II}$  —  $2p_{1/2} \rightarrow 3d_{3/2}$ , с  $L_{III}$  —  $2p_{3/2} \rightarrow 3d_{5/2}$ .

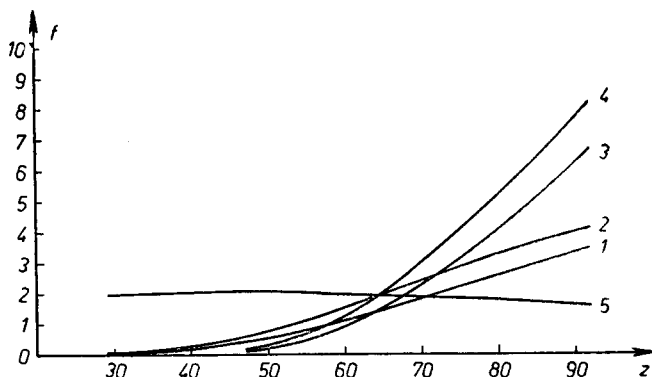


Рис. 1. Силы осцилляторов квадрупольных переходов  $K$ -серии: 1 —  $f_{\beta'_2} \cdot 10^4$  (переход  $K \rightarrow M_{IV}$ ), 2 —  $f_{\beta'_2} \cdot 10^4$  (переход  $K \rightarrow M_V$ ), 3 —  $f_{\beta_{4x}} \cdot 10^5$  ( $K \rightarrow N_{IV}$ ), 4 —  $f_{\beta_4} \cdot 10^5$  ( $K \rightarrow N_V$ ), 5 —  $f_{\alpha_1} \cdot 10$  ( $K \rightarrow L_{III}$ ,  $I_{\alpha_1} = 100$ )

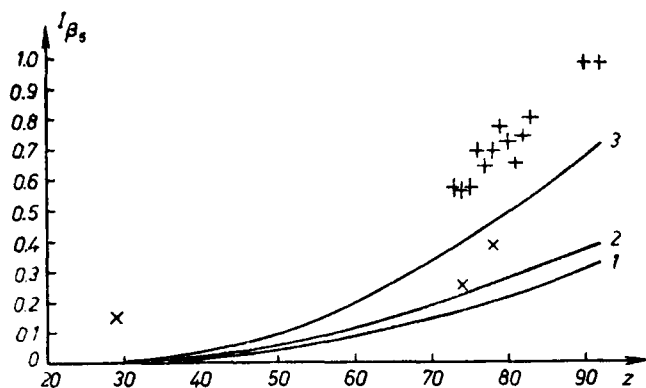


Рис. 2. Относительная интенсивность квадрупольных линий  $\beta_s$ : 1 — теоретические значения  $I_{\beta_s}$ , 2 —  $I_{\beta_s'}$ , 3 —  $I_{\beta_s} = I_{\beta_s'} + I_{\beta_s''}$ , + — экспериментальные значения  $I_{\beta_s}$  Бекмана [4], × — экспериментальные значения  $I_{\beta_s}$ , взятые из книги Блохина [5]

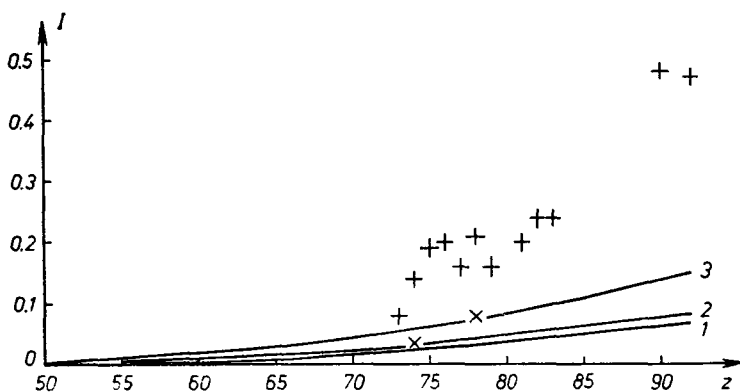


Рис. 3. Относительная интенсивность квадрупольных линий  $\beta_4$ : 1 —  $I_{\beta_{4x}}$ , 2 —  $I_{\beta_4}$ , 3 —  $I_{\beta_4} + I_{\beta_{4x}}$  + экспериментальные значения  $I_{\beta_4} + I_{\beta_{4x}}$  Бекмана, × — значения Блохина

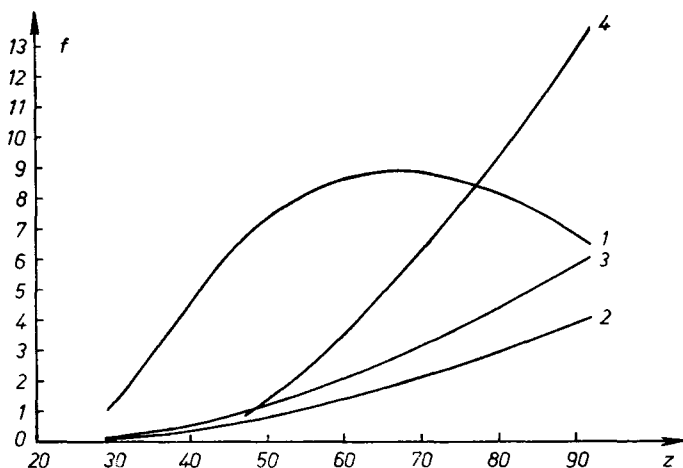


Рис. 4. Силы осцилляторов квадрупольных переходов с уровня  $L_I$ : 1 —  $f_{\beta_2} \cdot 10^2$  (переход  $L_I \rightarrow M_{II}$ ),  $I_{\beta_2} = 100$ , 2 —  $f_{\beta_{10}} \cdot 10^3$  ( $L_I \rightarrow M_{IV}$ ), 3 —  $f_{\beta_6} \cdot 10^3$  ( $L_I \rightarrow M_V$ ), 4 —  $f_{\gamma_{11}} \cdot 10^4$  ( $L_I \rightarrow N_V$ )

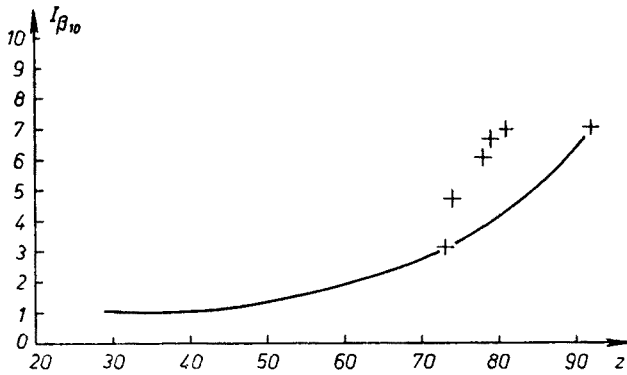


Рис. 5. Относительная интенсивность квадрупольных линий  $\beta_{10}$ . + экспериментальные значения Гольдберга [6], пересчитанные на потоки энергии

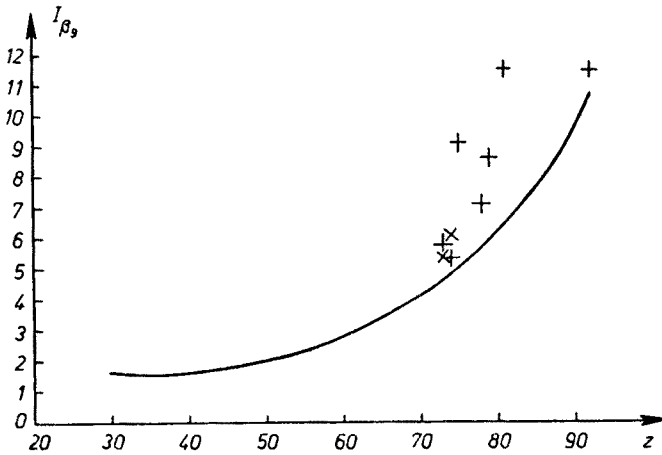


Рис. 6. Относительная интенсивность квадрупольных линий  $\beta_9$ . + данные Гольдберга, × данные Блохина

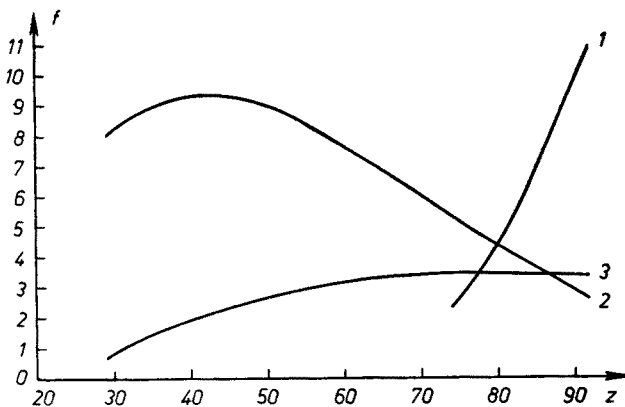


Рис. 7. Силы осцилляторов квадрупольных переходов с уровня  $L_{II}$ : 1 —  $f_v \cdot 10^5$  (переход  $L_{II} \rightarrow N_{VI}$ ), 2 —  $f_{\beta_{17}} \cdot 10^8$  ( $L_{II} \rightarrow M_{III}$ ), 3 —  $f_{\beta_1} \cdot 10$  ( $L_{II} \rightarrow M_{IV}$ ),  $I_{\beta_1} = 100$

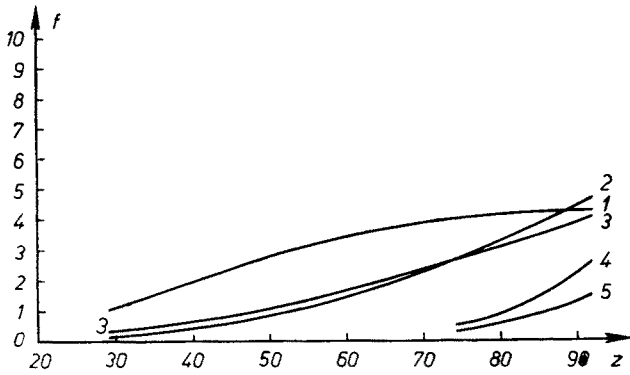


Рис. 8. Силы осцилляторов квадрупольных переходов с уровня  $L_{III}$ : 1 —  $f_{a_1} \cdot 10$  (переход  $L_{III} \rightarrow M_V$ ),  $I_{a_1} = 100$ , 2 —  $f_t \cdot 10^4$  ( $L_{III} \rightarrow M_{II}$ ), 3 —  $f_s \cdot 10^4$  ( $L_{III} \rightarrow M_{III}$ ), 4 —  $f_u \cdot 10^5$  ( $L_{III} \rightarrow N_{VI}$ ), 5 —  $f_u \cdot 10^4$  ( $L_{III} \rightarrow N_{VII}$ )

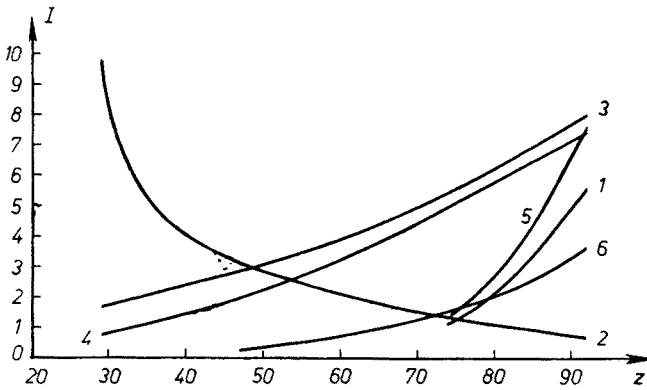


Рис. 9. Относительные интенсивности квадрупольных линий: 1 —  $I_v \cdot 10^2$ , 2 —  $I_{\beta_{11}}$ , 3 —  $I_s \cdot 10^2$ , 4 —  $I_t \cdot 10^2$ , 5 —  $I_u \cdot 10^2$  ( $L_{III}N_{VI} + L_{III}N_{VII}$ ), 6 —  $I_{\gamma_{11}}$

Результаты вычислений относительных интенсивностей квадрупольных переходов представлены графически на рис. 2, 3, 5, 6, 9. Для сравнения на тех же рис. приведены имеющиеся экспериментальные данные по относительным интенсивностям квадрупольных переходов  $K$ — и  $L$  — спектров. На рис. 9 приведены относительные интенсивности тех переходов, для которых нет экспериментальных данных.

Автор искренне признателен сотрудникам Вычислительного центра Пермского университета — Ибламиновой Н. Ф. и Ботовой Р. Ф. за оказанную помощь в проведении расчетов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ф. А. Бабушкин, *Acta Phys. Polon.*, **28**, 427 (1965).
- [2] G. Burns, *J. Chem. Phys.*, **41**, 1521 (1964).
- [3] *Рентгеновские лучи*, ИЛ, Москва 1960.
- [4] O. Beckman, *Ark. Fys.*, **9**, 495 (1955).
- [5] М. А. Блохин, *Физика рентгеновских лучей*, ГИТГЛ, Москва 1953.
- [6] M. Goldberg, *Ann. Phys.*, **7**, 329 (1962).