

ДИПОЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДЫ В L -СЕРИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Electric Dipole Transitions in the L -Series 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 дипольных электрических переходов для L — серии рентгеновского характеристического излучения. Полученные данные сравниваются с имеющимися экспериментальными результатами.

Данная работа является естественным продолжением предыдущей работы автора [1], в которой были проведены вычисления сил осцилляторов и относительных интенсивностей дипольных электрических релятивистских переходов для K -серии рентгеновского характеристического излучения.

Для вычислений была использована формула вероятности электрического мультипольного релятивистского радиационного перехода, полученная автором ранее [2]:

$$W(EL)_{1 \rightarrow 2} = \frac{e^2 \cdot \omega}{\hbar} \cdot \frac{2L(L+1)(2j_2+1)(2l_1+1)}{2L+1} \cdot c^2(l_1 l_2; 00) \cdot w^2 \left((l_1 j_1 l_2 j_2; \frac{1}{2} L) \times \right. \\ \left. \times \left| R_3 - R_4 + \frac{\kappa_1 - \kappa_2}{L} (R_3 + R_4) + R_5 - R_6 - \frac{\kappa_1 - \kappa_2}{L+1} (R_5 + R_6) \right|^2 \right), \quad (1)$$

где L — мультипольность радиационного перехода,

l, j — квантовые числа орбитального и полного моментов количества движения

κ — релятивистское квантовое число = $\begin{cases} -(l+1) & \text{для } j = l+1/2 \\ +l & \text{для } j = l-1/2 \end{cases}$

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

индексы 1 и 2 относятся к начальному и конечному состояниям, „ c “ и „ w “ — коэффициенты Клебша-Гордона и Рака,

$$\begin{aligned} R_3 &= \int_0^\infty g_2 \cdot j_{L-1} \cdot f_1 \cdot r^2 \cdot dr & R_4 &= \int_0^\infty f_2 \cdot j_{L-1} \cdot g_1 \cdot r^2 \cdot dr \\ R_5 &= \int g_2 \cdot j_{L+1} \cdot f_1 \cdot r^2 \cdot dr & R_6 &= \int_0^\infty f_2 \cdot j_{L+1} \cdot g_1 \cdot r^2 \cdot dr \end{aligned} \quad (2)$$

в радиальных интегралах f и g — малая и большая компоненты релятивистской функции Дирака, j_L — сферическая функция Бесселя

$$j_L\left(\frac{\omega r}{c}\right) = \sqrt{\frac{\pi c}{2\omega r}} \cdot J_{L+\frac{1}{2}}\left(\frac{\omega r}{c}\right). \quad (3)$$

Исходя из формулы (1), для сил осцилляторов электрических дипольных переходов L — серии рентгеновского характеристического излучения получаем следующие выражения:

$$\begin{aligned} f_{2s_{1/2} \rightarrow np_{1/2}} &= \frac{2}{9} \cdot \frac{mc^2}{\hbar\omega} \cdot |R_3 + 3R_4 - 2R_5|^2 \\ f_{2p_{1/2} \rightarrow ns_{1/2}} &= \frac{2}{9} \cdot \frac{mc^2}{\hbar\omega} \cdot |3R_3 + R_4 - 2R_6|^2 \\ f_{2p_{1/2} \rightarrow nd_{3/2}} &= \frac{4}{9} \cdot \frac{mc^2}{\hbar\omega} \cdot \left| 2R_4 - \frac{3}{2}R_5 + \frac{1}{2}R_6 \right|^2 \\ f_{2p_{3/2} \rightarrow ns_{1/2}} &= \frac{2}{9} \cdot \frac{mc^2}{\hbar\omega} \cdot \left| 2R_4 - \frac{3}{2}R_5 + \frac{1}{2}R_6 \right|^2 \\ f_{2p_{3/2} \rightarrow nd_{3/2}} &= \frac{2}{45} \cdot \frac{mc^2}{\hbar\omega} \cdot |3R_3 + 5R_4 - 3R_5 - R_6|^2 \\ f_{2p_{3/2} \rightarrow nd_{5/2}} &= \frac{2}{5} \cdot \frac{mc^2}{\hbar\omega} \cdot \left| 2R_3 + \frac{1}{2}R_5 - \frac{3}{2}R_6 \right|^2 \end{aligned} \quad (4)$$

Результаты вычислений сил осцилляторов данных переходов представлены графически на рис. 1, 2, 3. Вычисления проводились только для переходов с полностью заполненными оболочками, как и в работе [1]. В качестве волновых функций в радиальных интегралах использовались водородоподобные релятивистские функции Дирака с учетом экранирования по Бернсу [3]. Экранирование проводилось по Бернсу потому, что следует из предыдущей работы автора [1], оно приводит к лучшему согласию с экспериментальными данными по сварнению с применением других поправок на экранирование. Для энергии перехода использовались экспериментальные данные [4].

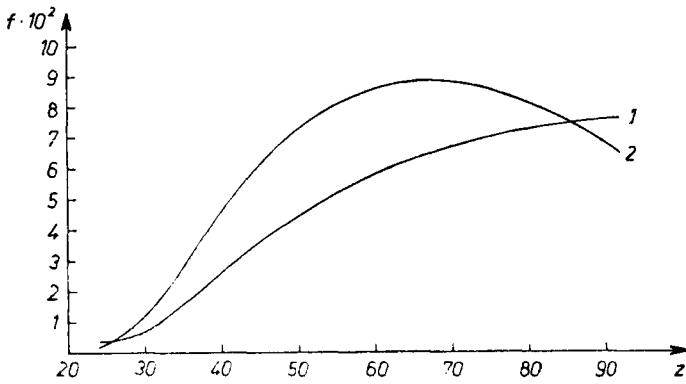


Рис. 1. Теоретические значения сил осцилляторов: 1) для переходов $2s_{1/2} \rightarrow 3p_{1/2}$, 2) для переходов $2s_{1/2} \rightarrow 3p_{3/2}$

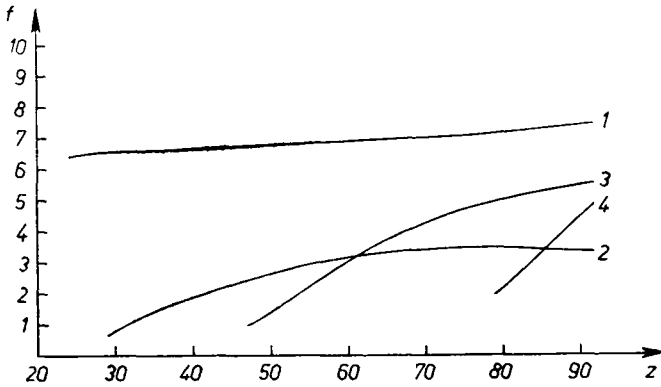


Рис. 2. Силы осцилляторов: 1 — переход $2p_{1/2} \rightarrow 3s_{1/2} \cdot 10^3$, 2 — переход $2p_{1/2} \rightarrow 3d_{1/2} \cdot 10$, 3 — переход $2p_{1/2} \rightarrow 4d_{1/2} \cdot 10^2$, 4 — переход $2p_{1/2} \rightarrow 5d_{1/2} \cdot 10^3$

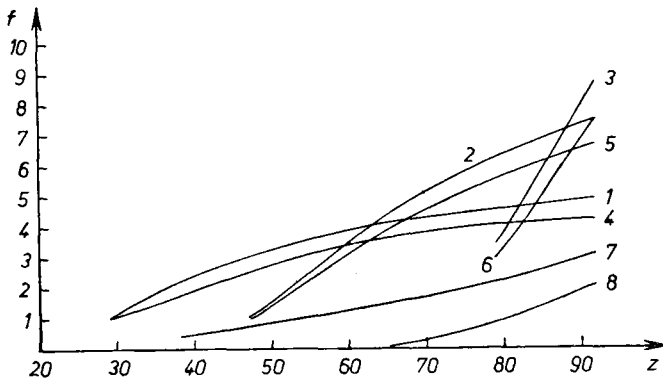


Рис. 3. Силы осцилляторов: 1 — переход $2p_{3/2} \rightarrow 3d_{3/2} \cdot 10^2$, 2 — переход $2p_{3/2} \rightarrow 4d_{3/2} \cdot 10^3$, 3 — переход $2p_{3/2} \rightarrow 5d_{3/2} \cdot 10^4$, 4 — переход $2p_{3/2} \rightarrow 3d_{5/2} \cdot 10$, 5 — переход $2p_{3/2} \rightarrow 4d_{5/2} \cdot 10^2$, 6 — переход $2p_{3/2} \rightarrow 5d_{5/2} \cdot 10^3$, 7 — переход $2p_{3/2} \rightarrow 3s_{3/2} \cdot 10^2$, 8 — переход $2p_{3/2} \rightarrow 4s_{3/2} \cdot 10^3$

Относительные интенсивности переходов вычислялись по известной формуле

$$\frac{I_i}{I_{100}} = \left(\frac{\omega_i}{\omega_{100}} \right)^3 \cdot \frac{f_i}{f_{100}}. \tag{5}$$

Для переходов с уровня L_I за 100 принималась интенсивность перехода $2s_{1/2} \rightarrow 3p_{3/2}$ (I_{β_3}), для переходов с L_{II} — интенсивность $2p_{3/2} \rightarrow 3d_{3/2}$ (I_{β_1}), с L_{III} — $2p_{3/2} \rightarrow 3d_{5/2}$ (I_{α_1}).

Результаты вычислений представлены графически на рис. 4—13. Для сравнения на тех же рис. приведены имеющиеся экспериментальные данные по относительным интенсивностям линий L — спектра.

Последние экспериментальные данные для тяжелых элементов взяты из работ Гольдберга [5] (на рис. этим данным соответствует знак +), для легких элементов — из работы Вайскоффа и Давидсона [6] (на рис. \odot), ранние результаты взяты из книги Блохина [7] (на рис. \times). Результаты Гольдберга пересчитаны на относительные интенсивности потоков энергии, т. к. у него экспериментальные данные относятся к потоком частиц.

Теоретические кривые удовлетворительно согласуются с имеющимися экспериментальными данными.

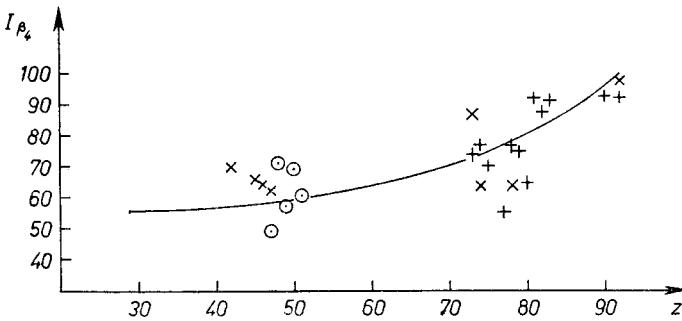


Рис. 4. Относительная интенсивность перехода $2s_{1/2} \rightarrow 3p_{3/2}$. За 100 принимается интенсивность перехода $2s_{1/2} \rightarrow 3p_{3/2}$ (I_{β_3}), + — экспериментальные значения Гольдберга [5], \odot — экспериментальные значения Вайскоффа и Давидсона [6], \times — экспериментальные значения, взятые у Блохина [7]

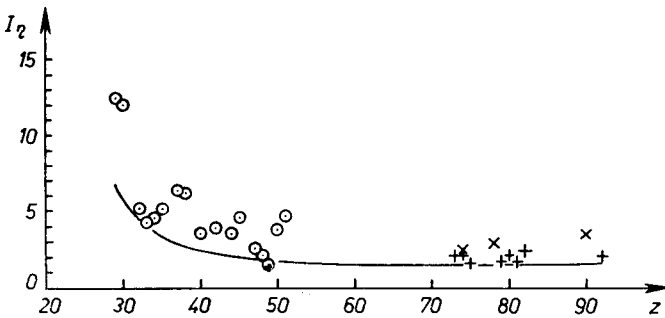


Рис. 5. Относительная интенсивность перехода $2p_{1/2} \rightarrow 3s_{1/2}$, $I_{\beta_1} = 100$

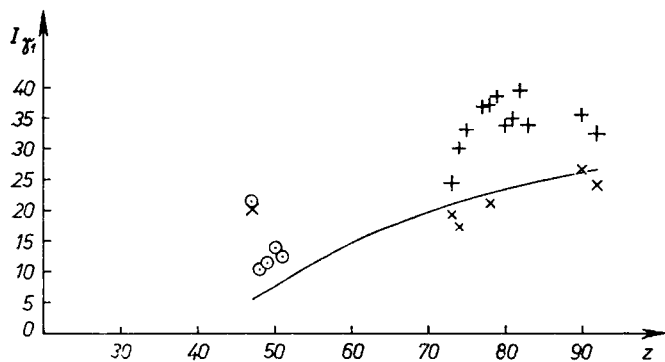


Рис. 6. Относительная интенсивность перехода $2p_{1/2} \rightarrow 4d_{3/2}$, $I_{\beta_1} = 100$

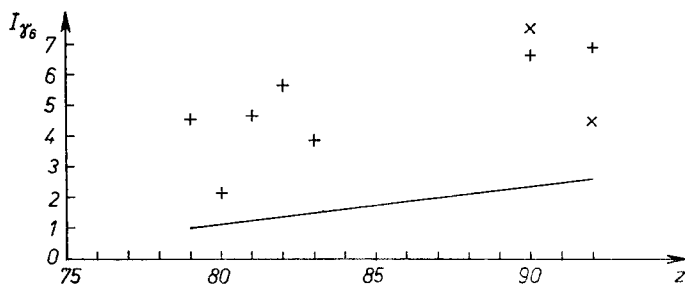


Рис. 7. Относительная интенсивность перехода $2p_{1/2} \rightarrow 5d_{3/2}$, $I_{\beta_1} = 100$

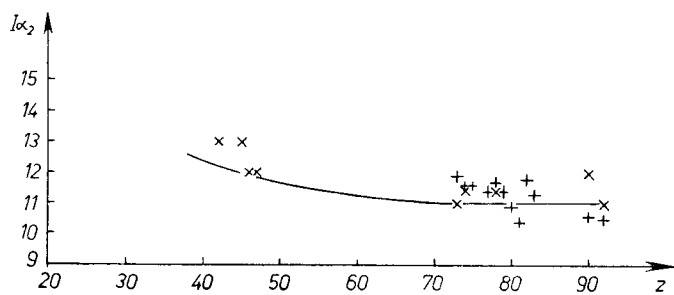


Рис. 8. Относительная интенсивность перехода $2p_{3/2} \rightarrow 3d_{3/2}$, $I_{\alpha_1} = 100$

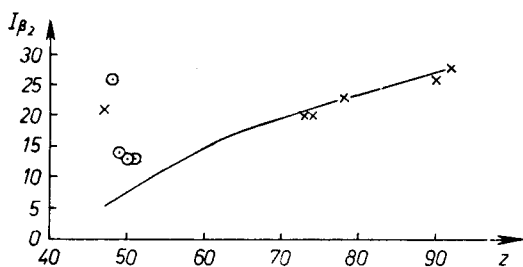
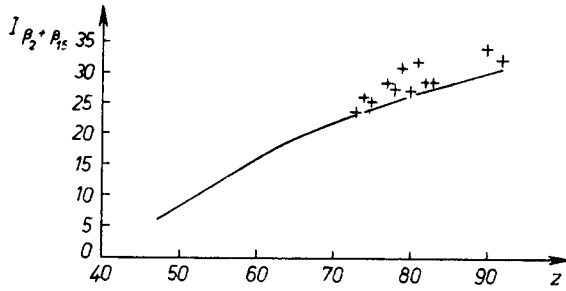
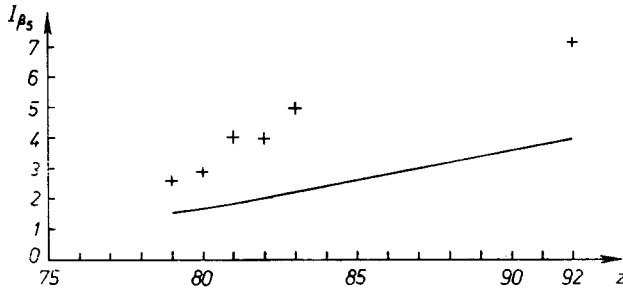
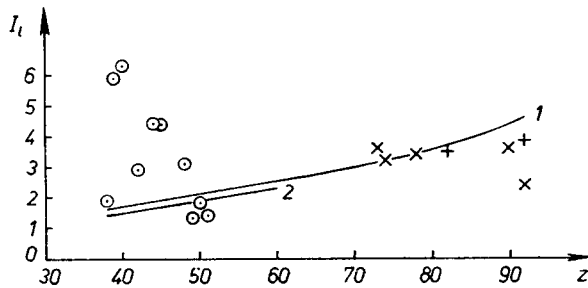
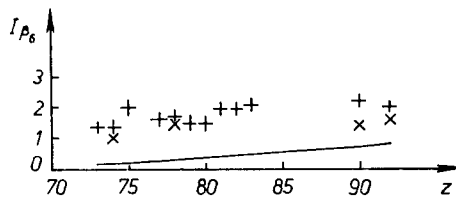


Рис. 9. Относительная интенсивность перехода $2p_{3/2} \rightarrow 4d_{5/2}$, $I_{\alpha_1} = 100$

Рис. 10. Относительная интенсивность перехода $2p_{3/2} \rightarrow 4d_{5/2} + 4d_{3/2}$, $I_{\alpha_1} = 100$ Рис. 11. Относительная интенсивность перехода $2p_{3/2} \rightarrow 3d_{5/2} + 5d_{3/2}$, $I_{\alpha_1} = 100$ Рис. 12. Относительная интенсивность перехода $2p_{3/2} \rightarrow 3s_{1/2}$: 1) $I_{\alpha_1} = 100$, 2) $I_{\alpha_1 + \alpha_2} = 100$ Рис. 13. Относительная интенсивность перехода $2p_{3/2} \rightarrow 4s_{1/2}$, $I_{\alpha_1} = 100$

Вычисления были проведены на ЭВМ „Минск-1“ Вычислительного центра Петрозаводского университета. Автор искренне признателен М. А. Суни за оказанную помощь в проведении расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ф. А. Бабушкин, *Acta Phys. Polon.*, **31**, 459 (1967).
- [2] Ф. А. Бабушкин, *Acta Phys. Polon.*, **28**, 427 (1965).
- [3] G. Burns, *J. Chem. Phys.*, **41**, 1521 (1964).
- [4] *Рентгеновские лучи*, ИЛ, Москва 1960.
- [5] M. Goldberg *Ann. Phys.*, **7**, 329 (1962).
- [6] R. Wyckoff, F. Davidson, *J. Appl. Phys.*, **36**, 1883 (1964).
- [7] М. А. Блохин, *Физика рентгеновских лучей*, ГИТТЛ, Москва 1953.