

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВНУТРЕННЕЙ КОНВЕРСИИ ПО
ВТОРИЧНОМУ ЭЛЕКТРОННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ ПРИ ВНУТРЕННЕЙ
КОНВЕРСИИ И БЕТА-РАСПАДЕ**

Н. Ф. Митрохович

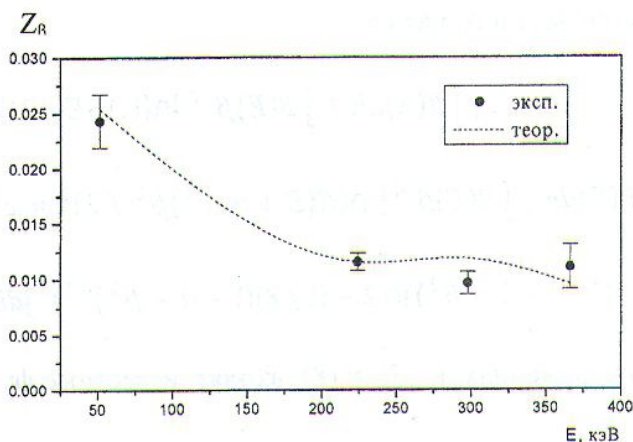
Описано дополнение к методу определения коэффициентов внутренней конверсии по вторичному электронному излучению (e_0) при заполнении вакансии в атомной оболочке, основанное на вычислении выхода e_0 от конверсионного электрона по измерению выхода e_0 -электронов от β -спектра.

Метод определения полных значений коэффициентов внутренней конверсии (КВК) от всех атомных оболочек основан на измерении γ - e_0 и КХ- e_0 совпадений наблюдаемого γ -перехода с e_0 -электронами от конверсии изучаемого нижнего перехода γ - γ каскада. При этом измеряется отношение e_0/N_γ , характеризующее выход e_0 -электронов (с точностью до эффективности регистрации) или вероятность их регистрации на акт распада, обозначаемое Z (от "Zero", "нулевые"). Этот метод подробно изложен автором в работах [1, 2]. Не вдаваясь в детали, можно отметить, что в этих измерениях необходимо получить, кроме измеряемой суммарной Z вероятности регистрации e_0 -электронов (Z выход, для краткости), еще и по отдельности Z вероятности регистрации e_0 -электронов от β -частицы (Z_β в случае β -распада), от вакансии в атомной оболочке ($Z_\varepsilon \cong Z_k$) и от самого конверсионного электрона (Z_e). Тогда полное значение КВК (определяемого $W = N_e/(N_e + N_\gamma)$) от всех оболочек вычисляется по формулам:

$$W_\varepsilon = (Z - Z_k)/Z_k[1 - Z_k + (1 - Z_k)^2 Z_e/Z_k] \quad (\text{для } \varepsilon\text{-захвата}), \quad (1)$$

$$W_\beta = (Z - Z_\beta)/Z_k[1 - Z_\beta + (1 - Z_k)(1 - Z_\beta)Z_e/Z_k] \quad (\text{для } \beta\text{-распада}). \quad (2)$$

Если Z_k и Z_β можно измерить по γ -переходам на основное состояние, то с Z_e связана необходимость дополнительного измерения для перехода с хорошо установленным КВК. Сложность состоит в том, что, как показывают измерения (см. рисунок), зависимость выхода e_0 -электронов от энергии первичных электронов – нелинейная.



Зависимость усредненного выхода Z_β e_0 -электронов на акт распада от средней энергии электронов компонент β -спектра ^{152}Eu : β_{175} , β_{695} , всего β -спектра и β_{1063} кэВ.

В данной работе описана методика определения Z_e для дискретной энергии конверсионного электрона по измерению выхода для непрерывного β -спектра. Правомочность такой процедуры будет обоснована несколько ниже, а сама методика определения Z_e следующая. Поскольку e_0 -электроны являются электронами вторичной электронной эмиссии, то их интенсивность должна быть пропорциональна интенсивности вторичного электронного компонента, образующегося при неупругих столкновениях первичного электрона в веществе источника, т.е. пропорциональна плотности неупругих потерь $-dE/dx$, описываемой формулами Бете – Блоха для неупругих столкновений [3]. Тогда, принимая $Z = -adE/dx$ и объединяя не зависящие от энергии величины в константы A и A_r , можно записать:

$$Z = A\beta^{-2} \ln(1.16E / 21) \quad (\text{для } \beta = v/c < 0.5), \quad (3)$$

$$Z = A_r\beta^{-2} [\ln(E(E + m_0c^2)\beta^2 / 21^2 m_0c^2) + 1 - \beta^2] - \\ - (2(1 - \beta^2)^{0.5} - 1 + \beta^2) \ln 2 + (1/8)(1 - (1 - \beta^2)^{0.5})^2] \quad (\text{для } \beta = v/c > 0.5). \quad (4)$$

A , A_r – константы, определяемые экспериментально, I – средний потенциал возбуждения. Выражения (3) и (4) описывают выход e_0 -электронов от моноэнергетического электрона с энергией E и могут быть использованы для определения Z для электронов с другой энергией, если Z от электрона с энергией E каким-то образом измерен. В эксперименте этот выход непосредственно измерить нельзя, но часто можно измерить Z_β от непрерывного β -спектра. Z_β является в этом случае взвешенным значением по форме β -спектра $B(E)$ выражений (3) и (4):

$$Z_\beta = A \int B(E)\beta^{-2} \ln(1.16E / 21)dE / \int B(E)dE, \quad (5)$$

$$Z_\beta = A_r \int B(E)\beta^{-2} [\ln(E(E + m_0c^2)\beta^2 / 21^2 m_0c^2) + (1 - \beta^2) - \\ - (2(1 - \beta^2)^{0.5} - 1 + \beta^2) \ln 2 + (1/8)(1 - (1 - \beta^2)^{0.5})^2]dE / \int B(E)dE. \quad (6)$$

Откуда искомые константы A и A_r равны:

$$A = Z_\beta \int B(E)dE / \int B(E)\beta^{-2} \ln(1.16E / 21)dE, \quad (7)$$

$$A_r = Z_\beta \int B(E)dE / \int B(E)\beta^{-2} [\ln(E(E + m_0c^2)\beta^2 / 21^2 m_0c^2) + (1 - \beta^2) - \\ - (2(1 - \beta^2)^{0.5} - 1 + \beta^2) \ln 2 + (1/8)(1 - (1 - \beta^2)^{0.5})^2]dE. \quad (8)$$

В подынтегральных выражениях в (7) и (8) входят известные функции, в том числе и β -спектр:

$$B(E) = F(E,Z)W_p(W_0 - W)^2S(E,j,\pi), \quad (9)$$

где $F(E, Z)$ - кулоновская функция, $W = (E + m_0c^2)/m_0c^2$, $p = (W^2 - 1)^{0.5}$, $S(E, j, \pi)$ - форм-фактор, зависящий от типа β -перехода. Когда β -спектр сложный, $B(E)$ является суммой парциальных $B_i(E)$ спектров. Таким образом, интегралы являются вычисляемыми, что вместе с экспериментально измеряемым выходом e_0 -электронов Z_β позволяет, в принципе, определить из соотношений (7) и (8) константу A (или A_r), из соотношений (3) и (4) вычислить Z выходы e_0 -электронов для моноэнергетических электронов, а из соотношений (5) и (6) вычислить Z_β вообще для любого другого β -спектра. По такому алгоритму была составлена специальная программа, которая реализует описанную вычислительную схему для разрешенных, неуникальных однократно запрещенных и уникальных одно- и двукратно запрещенных β -переходов.

Приведенная методика значительно упрощает определение W по измеренным Z , Z_k , Z_β и формулам (1) - (4), (7) и (8), однако в данной работе решалась обратная задача - проверялась степень точности разработанного метода вычисления Z_e . Для проверки были использованы измерения с ^{152}Eu , который имеет и ветвь ϵ -захвата, и ветвь β -распада. Это позволило по измеренным Z_ϵ ($\cong Z_k$), Z_γ и по известному значению $\alpha = 1.167$ [4] ($W = \alpha/(1 + \alpha)$) для $\gamma_{122} \text{ E2}$ экспериментально определить Z_e от его К-конверсионного электрона с энергией 73 кэВ из уравнения (1), с одной стороны, а с другой - по измеренным Z_β и по описанному выше методу это Z_e вычислить. Результаты сравниваются в таблице в колонках $(Z_e)_{\text{эксп.}}$ и $(Z_e)_{\text{теор.}}$. В таблице также приведены Z -выходы e_0 -электронов на акт распада (эффективность регистрации e_0 -электронов, составляющая около 50 %, не учтена) от различных компонент излучения ^{152}Eu : конверсии и электронного захвата - Z_γ , электронного захвата - Z_e , компонента β -спектра - $Z_{\beta_{695}}$.

Z_γ ($\gamma \rightarrow 122 \rightarrow 0$)	Z_ϵ	$Z_{\beta_{695}}$	$(Z_e)_{\text{эксп.}}$	$(Z_e)_{\text{теор.}}$
0.06155(71)	0.0352(13)	0.0103(9)	0.0161(18)	0.0158(14)
0.04910(48)	0.02716(82)	0.0070(4)	0.0151(13)	0.0107(16)
0.05712(57)	0.0316(13)	0.0121(11)	0.0179(21)	0.0186(16)
0.05641(88)	0.0290(17)	0.0137(15)	0.0242(27)	0.0209(23)
0.06468(78)	0.0358(14)	0.0152(14)	0.0205(23)	0.0234(22)
0.06091(51)	0.03428(91)	0.01170(75)	0.0175(15)	0.0179(11)

Можно видеть, что вычисленные и экспериментальные значения Z_e совпадают в пределах экспериментальной погрешности. То же самое можно отметить и для вычисленных значений Z_β для β -спектров, которые представлены на рисунке прерывистой линией. Средневзвешенное значение $(Z_e)_{\text{эксп.}}/(Z_e)_{\text{теор.}}$ по приведенным в таблице результатам составляет 1.05(5). Можно надеяться, что с увеличением точности экспериментальных данных будет получено еще более весомое свидетельство точности предложенного метода определения Z_e и полных (суммарных от всех атомных оболочках) значений КВК в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митрохович Н.Ф. // Изв. РАН. Сер. физ. - 2000. - Т. 64, № 3. - С. 567 - 571.
2. Митрохович Н.Ф. // Збірник наукових праць Інституту ядерних досліджень. - Київ, 1999. - С 71.
3. Альфа-, бета- и гамма-спектроскопия / Под ред. К. Зигбана. - М., 1969. - Т. 1. - С. 36.
4. Nuclear Data Sheets. - 1989. - Vol. 58, No. 1. - P. 93.

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ВНУТРІШНЬОЇ КОНВЕРСІЇ ЗА ВТОРИННИМ ЕЛЕКТРОННИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ ПРИ ВНУТРІШНІЙ КОНВЕРСІЇ ТА БЕТА-РОЗПАДІ

М. Ф. Митрохович

Описано доповнення до методу визначення коефіцієнтів внутрішньої конверсії за вторинним електронним випромінюванням (e_0) при заповненні вакансії в атомній оболонці, яке полягає в обчисленні виходу e_0 від конверсійного електрона на основі вимірювання виходу e_0 -електронів від β -спектра.

THE DETERMINATION OF INTERNAL CONVERSION COEFFICIENTS ON THE SECONDARY ELECTRON RADIATION AT INTERNAL CONVERSION AND BETA-DECAY

N. F. Mitrokhovich

The supplement to the method of determination internal conversion coefficient on the secondary electron radiation (e_0) from transitions in atomic shell is described. It is based on the calculation output e_0 from conversion electron on the base of measurement output e_0 -electrons from β -spectrum.

Z	α	β	γ	δ
10	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
11	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
12	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
13	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
14	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
15	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
16	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
17	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
18	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
19	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
20	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000