

ВСПЛЫВАНИЕ ДЫРКИ В ЭЛЕКТРОННОЙ ОБОЛОЧКЕ АТОМА И ЭНЕРГИЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ЛИНИИ, ВОЗБУЖДАЕМОЙ ПРИ КОНВЕРСИОННОМ КАСКАДЕ

Н.М.Мифтахов, А.С.Рыльников, Ю.П.Смирнов,
В.В.Федоров

Экспериментально обнаружено энергетическое смещение рентгеновской K_{α_1} -линии Те, возбуждаемой в конверсионном каскаде. Эффект объяснен наличием остаточных вакансий в электронной оболочке атома при временах рекомбинации, больших времени жизни промежуточного состояния ядра.

1. При электронном захвате ¹ и внутренней конверсии ² возможно нестатистическое заселение компонент сверхтонкой структуры возбуждаемого состояния атома. Это приводит к энергетическому смещению рентгеновских линий, сопровождающих указанные процессы, пропорциональному магнитному моменту ядра. Данный эффект был экспериментально обнаружен ^{1, 2} и использован как метод измерения магнитных моментов ядерных состояний ³. В экспериментах такого рода очень важным является правильный учет ряда других механизмов, также приводящих к смещению рентгеновских линий, таких как химический сдвиг, изотопический и изомерный сдвиги ³, "встряска" электронов и др. ⁴.

2. В настоящей работе мы обращаем внимание на еще один механизм, приводящий к энергетическим сдвигам рентгеновских линий, возбуждаемых в каскадных процессах, и связанный с конечным временем релаксации атомной оболочки.

Рассмотрим, например, каскад из двух последовательных K -конверсионных переходов в изолированном атоме. В результате первого из них ядро переходит в промежуточное состояние с временем жизни τ_i , и рождается дырка в K -оболочке, которая очень быстро перемещается во внешнюю оболочку. Сначала это продвижение происходит за счет радиационных переходов с временами $10^{-17} \div 10^{-15}$ с, затем главную роль играют оже-процессы (с временами $10^{-14} - 10^{-15}$ с), которые создают дополнительные вакансии, также выходящие на периферию атома. Если атом находится в веществе, дырочные состояния рекомбинируют, причем их времена жизни τ_p существенно зависят от свойств атомного окружения. В металлах они малы ($\tau_p \lesssim 10^{-12}$ с), в изоляторах велики ($\tau_p > 10^{-8}$ с) ⁵.

Таким образом, если $\tau_i < \tau_p$, то второй конверсионный переход происходит в присутствии дырок в электронной оболочке атома, что приводит к смещению возбуждаемой K -линии, которое зависит от того, в каких состояниях имеются вакансии.

3. Для экспериментального изучения указанного эффекта выбран изомер ^{125m}Te , который каскадом из двух конверсионных переходов разряжается в основное состояние с временем жизни промежуточного состояния $\tau_i = 1,48 \cdot 10^{-9}$ с. Измерения выполнены на кристалл-дифракционном спектрометре по методике, описанной в работах ^{3, 6}. Проведены два опыта. В первом измерялось смещение K_{α_1} -линии Те, сопровождающей конверсионный каскад в изомере ^{125m}Te , взятом в виде металла, относительно K_{α_1} -линии, возбуждаемой фотоионизацией в металлическом образце Те. Экспериментальное значение смещения оказалось равным:

$$\Delta E_1^{K_{\alpha_1}} ({}^{125m}\text{Te}_{\text{мет}} - \text{Te}_{\text{мет}}^{\text{фото}}) = - 43,3 \pm 2,1 \text{ мэВ.} \quad (1)$$

Во втором опыте изомер ^{125m}Te и возбуждаемый фотоионизацией образец Те взяты в виде двуокиси (TeO_2), которая является изолятором. Соответственно, экспериментальное значение смещения равно:

$$\Delta E_2^{K_{\alpha_1}} ({}^{125m}\text{TeO}_2 - \text{Te}_{\text{O}_2}^{\text{фото}}) = - 64,9 \pm 2,2 \text{ мэВ.} \quad (2)$$

В смещения (1) и (2) дают вклад несколько эффектов: сверхтонкое смещение, которое является наиболее существенным, а также изотопическое и изомерное смещения. Поскольку эти эффекты ядерной природы, они не зависят от химического состояния вещества и следовательно, одинаковы в обоих опытах. Химический сдвиг в обоих случаях отсутствует, так как сравниваемые образцы брались в идентичной химической форме. Единственным отличием является то, что во втором опыте (изомер ^{125m}Te в виде TeO_2) время рекомбинации "всплывающих" дырок больше времени жизни промежуточного состояния ядра $\tau_p \gg \tau_i$ (в первом опыте $\tau_p \ll \tau_i$). Поэтому во втором опыте должен быть дополнительный энергетический сдвиг, связанный с наличием дырок во внешних оболочках атома.

Таким образом, разность

$$\delta(\Delta E^{K\alpha_1}) = \Delta E_2^{K\alpha_1} - \Delta E_1^{K\alpha_1} = -21,6 \pm 3,0 \text{ мэВ} \quad (3)$$

можно интерпретировать как вклад в смещение $K\alpha_1$ -линии от тех рентгеновских переходов, которые происходят в присутствии вакансии в электронной оболочке атома Te, ядро которого распадается в изоляторе.

4. Так как смещение (3), обусловленное всплыванием дырок, сравнимо по величине со сверхтонкими сдвигами (1), исследование данного эффекта является важным с точки зрения исключения дополнительных сдвигов как в экспериментах по измерению магнитных моментов ядер, так и в других, связанных с точным измерением смещений рентгеновских линий. С другой стороны, оно может представить и самостоятельный интерес, поскольку в принципе, позволяет изучать релаксационные процессы в атомах.

Литература

1. Borchert G.L., Hansen P.G., Jonson B., Ravn H.L., Schult O.W.B., Tidemand-Petersson P. Phys. Lett., 1977, 63A, 15.
2. Егоров А.И., Родионов А.А., Рьльников А.С., Совестнов А.Е., Сумбаев О.И., Шабуров В.А. Письма в ЖЭТФ, 1978, 27, 514.
3. Грушко А.И., Кирьянов К.Е., Мифтахов Н.М., Рьльников А.С., Смирнов Ю.П., Федоров В.В. ЖЭТФ, 1981, 80, 120.
4. Hansen P.G., Jonson B., Borchert G.L., Schult O.W.B. Atomic Inner-Shell Physics, ser. Physics of Atoms and Molecules, Plenum Publishing Co., 1983.
5. Сб.: Альфа-, бета- и γ -спектроскопия, под ред. К.Зигбана, вып. 3, Атомиздат, 1969.
6. Сумбаев О.И. УФН, 1978, 128, 281.