

А. Н. ЛАВРЕНОВ

К РАСЧЕТУ АБСОЛЮТНОЙ ВЕРОЯТНОСТИ $E0$ -КОНВЕРСИИ

KEY WORDS. Absolute probability $E0$ -conversion, isotopic effect, change of the interaction potential between nuclei and muon.

Рассматривается изменение абсолютной вероятности $E0$ -конверсии, если в начальном и конечном состояниях потенциал взаимодействия ядра с конверсионным электроном (мюоном) различен. Получено, что это изменение и изотопический эффект в $E0$ -конверсии могут достигнуть 10%.

Теория внутренней конверсии при монополярных переходах ядра разработана давно [1]. Абсолютную вероятность процесса $W(E0)$ представляют в виде суммы произведений электронных (мюонных) факторов на ядерные параметры, причем обычно ограничиваются первым членом разложения [2]. Пределы этого приближения для электронной и мюонной $E0$ -конверсии рассмотрены соответственно в [1] и [3]. Отметим работу [4], где впервые проведен микроскопический расчет абсолютных вероятностей ряда γ -процессов в мезоатомах, включая $E0$ -конверсию, но без указанного выше разложения $W(E0)$ в ряд. Однако в работе [4] специально оговорено условие проделанного расчета, а именно статичность потенциала взаимодействия ядра с конверсионным мюоном $V(r)$. Представляет несомненный интерес оценить численно изменение $W(E0)$, если в начальном i и конечном f состояниях потенциал $V(r)$ различен.

Обсуждение данного вопроса начнем, исходя из общей формулы для матричного элемента конверсионного перехода электрона (мюона) после разложения его по мультиполям. Оставляя члены, ответственные за $E0$ -переход, и интегрируя по угловым частям, матричный элемент $E0$ -конверсии можно представить в следующем виде:

$$M(E0) = -\sqrt{4\pi} \alpha i k \int_0^\infty dr [\Phi(r) [F_i F_f + G_i G_f] + i A(r) [G_i F_f - F_i G_f]],$$

где $\Phi(r)$ и $A(r)$ — радиальные части скалярного и векторного потенциалов, причем

$$\Phi(r) = \int_0^\infty dR R^2 h_0(kr_>) j_0(kr_<) \rho_{tr}(R),$$

$$A(r) = \int_0^\infty dR R^2 h_1(kr_>) j_1(kr_<) J(R).$$

Здесь α — постоянная тонкой структуры, r — большее или меньшее из r и R , j_L и h_L — сферические функции Бесселя и Ханкеля первого рода L -порядка, k — энергия перехода, ρ_{tr} — зарядовая переходная плотность, J — ток $E0$ -перехода, F и G — малый и большой компоненты радиальной волновой функции электрона (мюона), являющиеся решением системы радиальных уравнений Дирака:

$$\frac{d}{dr} G = -\frac{\kappa}{r} G + [E - V(r) + 1] F,$$

$$\frac{d}{dr}F = \frac{\kappa}{r}F - [E - V(r) - 1]G. \quad (1)$$

Из формулы (1) нетрудно доказать, что для $E0$ -конверсии выполняется соотношение

$$\frac{d}{dr}[G_i F_f - G_f F_i] = [V_i - V_f - k][F_i F_f + G_i G_f].$$

Учитывая его, свойства сферических функций j_L и h_L , а также уравнение непрерывности, после преобразований получим

$$\begin{aligned} M(E0) = M_0(E0) + \frac{\sqrt{4\pi} i \alpha}{k} \int_0^\infty dR J(R) \times \\ \times \left[\int_0^R dr [F_i F_f + G_i G_f] \frac{[V_i - V_f]}{k} - R^2 h_1(kR) \int_0^R dr j_0(kr) \times \right. \\ \left. \times [F_i F_f + G_i G_f][V_i - V_f] - R^2 j_1(kR) \int_0^\infty dr h_0(kr) [F_i F_f + G_i G_f][V_i - V_f] \right], \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} M_0(E0) = - \frac{\sqrt{4\pi} \alpha i}{k} \int_0^\infty dR J(R) \int_0^R dr [F_i F_f + G_i G_f] = \\ = \sqrt{4\pi} \alpha \int_0^\infty dR \rho_{tr}(R) R^2 \int_0^R dr [F_i F_f + G_i G_f] \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, из формулы (2) видно, что при изменении $V(r)$, т. е. когда $V_i \neq V_f$, возникает дополнительный член и его, вообще говоря, необходимо учитывать в расчетах абсолютной вероятности $E0$ -конверсии $W(E0)$. Однако, с другой стороны, если мы пренебрегаем запаздыванием, то указанный выше дополнительный член следует опустить, а формулу (3) нужно рассматривать как исходную. Тем более, что она обычно служит отправной точкой теоретического анализа и расчетов $W(E0)$. Поэтому дальнейшее рассмотрение нашего вопроса будем ограничивать этим приближением.

В данном случае нестатичность потенциала взаимодействия ядра с конверсионным электроном (мюоном) $V(r)$ приводит к изменению волновой функции электрона (мюона) ψ , в конечном состоянии, которое в свою очередь ведет к изменению $W(E0)$. Также очевидно, что наибольшие изменения как в $V(r)$, так и в ψ , происходят в области ядра. Следовательно, численные оценки обсуждаемого изменения абсолютной вероятности $E0$ -конверсии косвенно будут указывать на вклад области ядра в величину $W(E0)$.

В качестве конкретного примера взят мезоатом ^{90}Zr с кинетической энергией конверсионного мюона $E_{\text{кин}} = 1,5$ МэВ. Получено, что относительное изменение $W(E0)$ может достигать 10%. Аналогичный результат следует при рассмотрении изотопического эффекта в $E0$ -конверсии, т. е. изменения $W(E0)$ в зависимости от атомного веса ядра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Church E. L., Weneser J. // Phys. Rev. 1956. V. 103. P. 1035.
2. Воинова-Елисеева Н. А., Митропольский И. А. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1986. Т. 50. С. 14.
3. Лавренов А. Н. // Прогр. и тез. XXXVII совещ. по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Л.: Наука, 1987. С. 258.
4. Карпешин Ф. Ф., Стародубский В. Е. // ЯФ. 1982. Т. 35. С. 1365.

Научно-исследовательский институт
прикладных физических проблем
им. А. Н. Савченко