

A. N. ЛАВРЕНОВ

## МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МЮОННОЙ EO-КОНВЕРСИИ

Одним из процессов, изучаемых в настоящее время на мезонных фабриках, является процесс мюонной внутренней конверсии. Он наблюдался лишь в двух случаях: а) в реакциях мюонного катализа синтеза ядер и б) в опытах по мгновенному делению ядер тяжелого мезоатома. Существующие теоретические оценки мюонной EO-конверсии ограничены в основном ядрами  $^{90}\text{Zr}$  и  $^{208}\text{Pb}$  и не вполне согласуются между собой [1, 2]. Поэтому в данной работе выполнен микроскопический расчет абсолютной вероятности процесса в рамках аднабатического, зависящего от времени метода Хартри—Фока (сокращенно АВЗ ХФ-метод) для более широкого диапазона ядер.

Напомним, что выражение для вероятности мюонной EO-конверсии имеет следующий вид [1, 3]:

$$W_\mu(EO) = 8(\alpha\pi)^2 \left| \int_0^\infty dR \rho_{tr}(R) R^2 \int_0^R dr [F_i F_f + G_i G_f] \left[ \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right] \right|^2,$$

где  $\alpha$  — постоянная тонкой структуры;  $G_{i,f}$  и  $F_{i,f}$  — большая и малая компоненты волновых функций начального и конечного состояний мюона, удовлетворяющие уравнению Дирака;  $\rho_{tr}(R)$  — зарядовая переходная плотность ядра. В данной статье мы используем для расчета  $W_\mu(EO)$  АВЗ ХФ-метод, в котором величина  $\rho_{tr}(R)$  определяется соотношением:

$$\rho_{tr}^{(0)}(R) = A \frac{d}{dc} \rho_{ch}(R) + B \frac{d}{da} \rho_{ch}(R).$$

Здесь плотность ядерного заряда в основном состоянии  $\rho_{ch}(R)$  выбирается в виде симметризованной ферми-плотности; равновесные значения радиуса половинной плотности  $c$  и диффузности  $a$ , коэффициенты  $A$  и  $B$  однозначно фиксируются параметрами эффективного  $N\bar{N}$ -взаимодействия. Конкретные значения упомянутых выше величин взяты из работы [4]. Так как микроскопический расчет переходных характеристик ядра сейчас возможен не для всех ядер, то для практических ра-

Результаты вычислений вероятности  $W_\mu(EO)$  ( $\text{с}^{-1}$ ) в микроскопической АВЭ ХФ-модели ядра [4] и в макроскопических моделях ПТ, ОТ и Тасси при энергии перехода  $k_1$  для нескольких химических элементов. Запись «0,118+19» соответствует числу  $0,118 \cdot 10^{+19}$

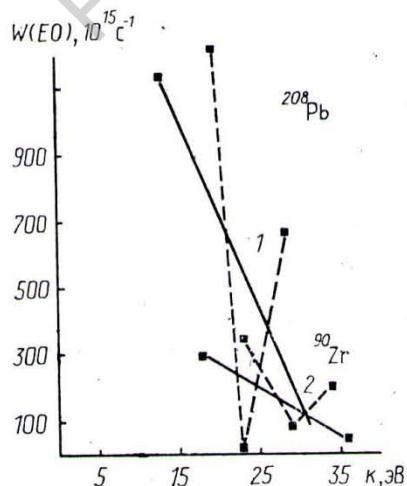
$A_Z X$	Энергия перехода $k_1$ , МэВ	$W(EO)$ , $\text{с}^{-1}$			
		модель ядерного перехода			
		ПТ	ОТ	Тасси	АВЭ ХФ
$^{28}_{14}\text{Si}$	23,1	0,36+18	0,55+18	0,37+18	0,35+18
$^{32}_{16}\text{S}$	20,7	0,14+17	0,18+17	0,14+17	0,13+17
$^{40}_{20}\text{Ca}$	20,8	0,33+17	0,43+17	0,34+17	0,32+17
$^{48}_{20}\text{Ca}$	20,5	0,27+17	0,36+17	0,30+17	0,29+17
$^{56}_{28}\text{Ni}$	20,4	0,89+17	0,13+18	0,11+18	0,10+18
$^{90}_{40}\text{Zr}$	17,8	0,21+18	0,35+18	0,28+18	0,27+18
$^{132}_{55}\text{Cs}$	15,7	0,38+18	0,71+18	0,58+18	0,57+18
$^{208}_{82}\text{Pb}$	13,6	0,59+18	0,14+19	0,11+19	0,11+19

счетов представляют интерес и более простые модели [1, 5]: модель Тасси, модели поверхностных и объемных токов перехода (сокращенно ПТ и ОТ модели). Сравнение с микроскопическим расчетом  $W_\mu(EO)$  позволит уточнить степень адекватности данных макромоделей. Свободные параметры в них выберем из условия соответствия значений приведенного матричного монополя:

$$\rho_0(EO) = [4\pi]^{1/2} R_0^{-2} \int_0^\infty dR R^4 \rho_{\text{tr}}(\dot{R}) = \frac{\langle R^2 \rangle_{\text{tr}}}{R_0^2}, \quad (1)$$

определенного в рамках этих моделей, и микроскопического подхода. В формуле (1)  $R_0$  — эквивалентный электромагнитный радиус ядра. Обсуждение методики вычислений  $W_\mu(EO)$  более подробно сделано в [5—7]. Для получения собственных значений мюона  $E_i$  и нормировки функций  $G$  и  $F$  использованы обычные стандартные методы [8]. Сравнение с точными аналитическими результатами в случае кулоновского поля показывает малую (менее 3%) величину погрешности расчета  $E_i, F, G$ .

В таблице представлены результаты расчета абсолютной вероят-



Значения абсолютной вероятности мюонной EO-конверсии  $W_\mu(EO)$  ( $\text{с}^{-1}$ ) для  $\text{Pb}^{208}$  и  $\text{Zr}^{90}$  при соответствующей энергии ядерного перехода  $k$ . Результаты для кривых 1, 2 (см. штриховые линии) взяты из работы [1]

ности мюонной  $EO$ -конверсии  $W_\mu(EO)$ . Из них видно, что при энергии перехода  $k_1$  абсолютная вероятность в рамках микромодели ядерного перехода близка к значению  $W_\mu(EO)$  для легких атомов (до  $Z=20$ ) в модели ПТ и для других атомов в модели Тасси. В то же время оценки вероятности, полученные в макромоделях, отличаются друг от друга до двух раз. Сравним полученные результаты с имеющимися теоретическими и экспериментальными оценками данного процесса. В опытах по мюонному катализу синтеза ядер измерена вероятность мюонной  $EO$ -конверсии для  $Z=2$ . Согласно работе [9], для малых  $Z$   $W_\mu(EO)$  определяется в основном ядерным параметром  $\langle R^2 \rangle_{tr}$ . В этом случае наличие свободных параметров в макромоделях позволяет подогнать значение абсолютной вероятности мюонной  $EO$ -конверсии, а данных работы [4] недостаточно для проведения микроскопического расчета  $W_\mu(EO)$ . Мгновенное деление тяжелого мезоатома слабо изучено экспериментально, чтобы оценить величину вероятности процесса мюонной  $EO$ -конверсии. Для больших значений  $Z$  в теоретических расчетах необходимо учитывать вклад нескольких ядерных параметров при вычислении  $W_\mu(EO)$ . Поэтому в случае тяжелых атомов представляют интерес результаты расчетов вероятности процесса в макромоделях и имеется возможность оценки  $W_\mu(EO)$  в микроскопическом подходе для ядерного перехода в рамках АВЗ ХФ-метода. В качестве примера на рисунке дано сравнение теоретических оценок  $W_\mu(EO)$  согласно работе [1] и микроскопического расчета. Из него видно, что имеется удовлетворительное согласие результатов.

Таким образом, получены значения абсолютной вероятности мюонной  $EO$ -конверсии на  $K$ -оболочке  $W_\mu(EO)$  в рамках АВЗ ХФ-метода и макромоделях ПТ, ОТ и Тасси по всей таблице Менделеева. Проведено сравнение между ними и уже имеющимися теоретическими и экспериментальными оценками процесса других авторов.

### Summary

Microscopic calculations of muon EO-conversion probability by the adiabatic time-dependent Hartree-Fock method have been done for some nuclei. The probability of this process was also found in the following macroscopic models: models of cover and volume currents, model of Tassie. Experimental and theoretical results of other authors were compared.

### Литература

1. Карпешин Ф. Ф., Стародубский В. Е. // ЯФ. 1982. Т. 35, вып. 6. С. 1365—1373.
2. Муравьев С. Е., Урин М. Г. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1984. Т. 48, № 2. С. 344—349.
3. Борисоглебский Л. А. // УФН. 1963. Т. 81, вып. 2. С. 271—334.
4. Стоицов М. В., Петков И. Ж., Димитрова С. С. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1986. Т. 50, № 10. С. 2071—2075.
5. Лавренов А. Н. // Вестн. БГУ. Сер. 1. 1987. № 3. С. 3—6.
6. Лавренов А. Н. // Изв. РАН. Сер. физ. 1992. Т. 56, № 5. С. 165—167.
7. Лавренов А. Н. Мюонная внутренняя конверсия при монопольных переходах ядра: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Минск, 1993.
8. Rose M. E. Relativistic electron theory. N. Y.—London, 1961.
9. Лавренов А. Н. // УФЖ. 1989. Т. 34, № 5. С. 647—649.