

Письма в ЖЭТФ, том 16, вып. 11, стр. 628 – 631 5 декабря 1972 г.

**ПОПРАВКА НА ПОЛЯРИЗУЕМОСТЬ ЯДРА К ЭНЕРГИИ
 μ -МЕЗОАТОМНЫХ УРОВНЕЙ
В АДИАБАТИЧЕСКОМ ПРИБЛИЖЕНИИ**

В. А. Петрунькин, С. А. Старцев.

В ряде случаев при сравнении экспериментальных значений энергии μ -мезоатомных переходов с теоретическими необходимо учитывать поправки на поляризуемость ядра в поле мюона [1]. Простых и достаточно надежных методов вычисления таких поправок пока нет. В нереляти-

вистской теории возмущений поправка на поляризуемость ядра к энергии μ -мезоатомного уровня с квантовыми числами n, ℓ, m имеет вид:

$$\Delta E^{\text{пол}} = - \sum_{\alpha \neq 0, i} \frac{\langle 0, n\ell m | \Delta V | \alpha, i \rangle \langle \alpha, i | \Delta V | 0, n\ell m \rangle}{E_{\alpha} - E_0 + \epsilon_i - \epsilon_{ne}}, \quad (1)$$

где возмущающий потенциал

$$\Delta V = - \sum_k \frac{e^2}{|\vec{r}_k - \vec{r}|} - \langle 0 | - \sum_k \frac{e^2}{|\vec{r}_k - \vec{r}|} | 0 \rangle. \quad (1')$$

В (1) и (1') $|\alpha\rangle, |i\rangle, E_{\alpha}, \epsilon_i$ — состояния, энергии ядра и мюона соответственно, \vec{r}_k и \vec{r} — радиусы-векторы нуклонов в ядре и мюона. Такой расчет требует знания ядерных возбужденных состояний и проведения суммирования как по состояниям дискретного, так и непрерывного спектров. Обычно основной вклад в поправку дает интеграл по непрерывному спектру промежуточных состояний. В некоторых работах (см., например, [2, 3]) такого рода вычисления проводились для различных приближений и ядерных моделей. Как правило, точность полученных результатов невелика и определяется фактором два.

Мы хотели бы здесь отметить, что поправку на дипольную поляризуемость ядра к энергии уровней с $\ell \geq 1$ μ -мезоатомов можно вычислить с помощью более простого адиабатического приближения, если воспользоваться потенциалом поляризационного взаимодействия

$$\text{мюона с ядром } V^{\text{пол}}(\rho) = - \frac{1}{2} \alpha \frac{e^2}{\rho^4} (\rho \geq R, R - \text{размер ядра}), \text{ где}$$

α — коэффициент статической дипольной поляризуемости ядра. Можно строго показать, что для не слишком тяжелых ядер, то тех пор пока орбита мюона в состоянии $|n, \ell \geq 1\rangle$ лежит вне ядра, характерная энергия ядерных дипольных переходов $10 + 20 \text{ Мэв}$ много больше характерной энергии μ -мезоатомных переходов. Пренебрегая в знаменателе формулы (1) энергией $\epsilon_i - \epsilon_{n\ell}$ по сравнению с энергией $E_{\alpha} - E_0$ (адиабатическое приближение) и ограничиваясь в сумме членом дипольного взаимодействия можно вывести формулу [4]:

$$\Delta E^{\text{пол}}_{\text{дип}} = - \frac{1}{2} \alpha e^2 \int_{\rho \geq R} \frac{|\phi_{n\ell m}(\vec{r})|^2}{\rho^4} d^3\rho, \quad (2)$$

где $\phi_{n\ell m}(\vec{r})$ — волновая функция мюона. При вычислении α обычно используют следующую формулу [5]:

$$\alpha = 3,5 A^{5/3} \cdot 10^{-42} \text{ см}^3, \quad (3)$$

где A — атомный вес. Формула (3) для ядер с $A \gtrsim 20$ дает α , совпадающее с экспериментальным с точностью $10 + 30\%$ ¹⁾. В таблице приводятся поправки на поляризуемость к энергии S , P и D — уровней μ -мезоатомов $\mu^{20}\text{Ne}_{10}$, $\mu^{40}\text{Ca}_{20}$ и $\mu^{208}\text{Pb}_{82}$, полученные из (2) и (3). В (2) представлялись волновые функции мюона для точечного ядра.

$n\ell$	$\Delta E_{\text{дип}}^{\text{пол}}, \text{эв}$	$\Delta E_{\text{дип}}^{\text{пол}}, \text{эв} [2]$	$\Delta E_{\text{мон}}^{\text{пол}}, \text{эв} [2]$	$\Delta E_{\text{кв}}^{\text{пол}}, \text{эв} [2]$
1S	-12 (-11)	-8,0	$\mu^{20}\text{Ne}_{10}$ -2,0	-3,7
2S	-1,4	-1,00	-0,3	-0,6
2P	-0,032	-0,027	-	$-3,2 \cdot 10^{-3}$
3D	$-4,8 \cdot 10^{-4}$	$-4,4 \cdot 10^{-4}$	-	-
1S	-110 (-77)	-94	$\mu^{40}\text{Ca}_{20}$ -40	-35
2S	-13	-11	-5	-4
2P	-1,3	-1,1	-0,018	-0,2
3D	-0,025	-0,023	-	-10^{-3}
1S	-620 (-480)	-800	$\mu^{208}\text{Pb}_{82}$ -3000	-1000
2S	-360	-100	-600	-120
2P	-860 (-650)	-730	-100	-400
3D	-87	-62	-	-40

Такое приближение не сказывается на поправках к P и D уровням μ -мезоатомов $\mu^{20}\text{Ne}_{10}$ и $\mu^{40}\text{Ca}_{20}$. Поправки полученные при грубом учете влияния неточности ядра (однопараметрическое вариационное приближение) на волновую функцию приведены там же в скобках. В таблице приведены также поправки на монопольную, дипольную и квадрупольную поляризуемости, вычисленные в [2]. Сравнение поправок, вычисленных в адиабатическом приближении с поправками, учитывающими отклонение от адиабатичности, показывает согласие в пределах 20% для уровней с $\ell > 1$. В адиабатическом приближении можно получить более надежные цифры для поправки $\Delta E_{\text{дип}}^{\text{пол}}$, если вместо (3) воспользоваться экспериментальными значениями α . Что касается поправок к S -уровням, то здесь имеются расхождения на фактор 1+4. Как видно из таблицы, для тяжелых μ -мезоатомов нельзя пренебрегать поправками на монопольную и квадрупольную поляризуемости. Формула (2) дает сильно завышенный верхний предел (на фактор 10) для поправок к S -уровням самых легких μ -мезоатомов ($A < 2$), когда характерные энергии μ -мезоатомных переходов составляют $\approx 10 + 100 \text{ Мэв}$. В этом случае необходимо учитывать образование $\mu^- \mu^+$ -пар в промежуточном состоянии. Изложенное выше может быть с незначительными

¹⁾ Фактически так вычисленное α сравнивают с интегралом $(1/2\pi) \int \sigma(E)/E^2 dE$, где σ — полное сечение фотопоглощения на ядре. Некоторые данные [6] указывают на то, что коэффициент 3,5 в (3) нужно уменьшить до 2,5+3.

изменениями отнесено к вычислению поправок на поляризуемость π -мезона (K -мезона и т.д.) к уровням энергии π -мезоатомов и других экзотических атомов¹⁾.

В заключение авторы благодарят С.Ф.Семенко за полезные дискуссии.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
20 октября 1972 г.

Литература

- [1] H.L.Anderson et al. Phys. Rev. Lett., 22, 221, 1969.
 - [2] R.K.Cole. Phys. Rev., 177, 164, 1969.
 - [3] F.Scheck. Z. Phys., 172, 239, 1963.
 - [4] В.А.Петрунькин, С.Ф.Семенко. ЯФ, 3, 489, 1966.
 - [5] Дж.Левинджер. Фотоядерные реакции М., ИИЛ, 1962.
 - [6] F.W.K.Firk. Annual Review of Nuclear Science, 20, 39, 1970.
 - [7] F.Iachello, A.Lande. Phys. Lett., 35B, 205, 1971.
 - [8] М.В.Терентьев. Письма в ЖЭТФ, 15, 290, 1972.
-