

ОБ ОДНОМ ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ МЕЗОМОЛЕКУЛЯРНОГО ИОНА $(dd\mu)^+$

Э.А.Весман

Между экспериментальными данными скорости образования $(dd\mu)^+$ [1] и теоретическими оценками [2] существует большое разногласие. Нам кажется, что причиной этого является существование у $(dd\mu)^+$ уровня $K = 1, \nu = 1$ с малой энергией связи. В адиабатическом приближении получена [2] энергия связи в этом состоянии $|E_d| \approx 7 \text{ эв}$. Вариационные расчеты [3], хотя и не дали этого уровня, но, на наш взгляд, и не противоречат существованию его.

Предполагая у $(dd\mu)^+$ уровень $K = 1, \nu = 1$, будем рассматривать механизм образования $(dd\mu)^+$ путем EI -перехода с отдачей энергии связи на возбуждение колебательных уровней молекулы D_2 .

Пусть R_1, R_2, R_μ — радиус-векторы, соответственно, двух ядер d — и μ -мезона и ρ_1 — радиус-вектор третьего ядра d . Введем обозначения: $R = R_1 - R_2$; $r_1 = R_\mu - R_1$, $r_2 = R_\mu - R_2$ и $\rho = \rho_1 - R_2$. Тогда дипольный момент системы $dd\mu$: $D = (e/2)(r_1 + r_2)$, а действие на третье ядро $V = e(D\rho/\rho^3)$. Надо иметь в виду, следуя [4], что падающие на молекулу дейтерия частицы $d\mu$ имеют распределение по энергии около средней кинетической энергии \bar{E} :

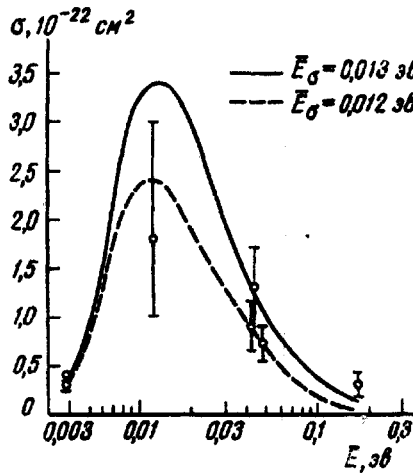
$$\gamma(E) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\bar{E}} \sqrt{\frac{E}{\bar{E}}} \exp\left(-\frac{E}{2\bar{E}}\right) \quad (1)$$

и $\gamma(E)dE$ есть вероятность частице иметь энергию между E и $E + dE$. Получим дифференциальную скорость образования $dd\mu$:

$$dw = \frac{8\pi^2}{27} N a_e^3 \left(\frac{\sigma_\mu}{\sigma_e}\right)^5 \frac{e^4}{a_e^2 \hbar} \gamma(E) \delta(|E_d| + E - E_n) dE. \quad (2)$$

$$\left\{ \int f(R) g(R) R dR \int h_0^0(\rho) h_n^1(\rho) \frac{d\rho}{\rho^2} \right\}^2,$$

где σ_e и σ_μ – боровские радиусы электрона и μ – мезона, $N = 4 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ плотность ядер, E_n – энергия, необходимая для возбуждения n -ого ко-



Зависимость экспериментально измеренных сечений от средней кинетической энергии по [1]. Кривые – зависимость по данной работе

лебательного уровня молекулы D_2 , $f(R)/R$ и $[h_0^0(\rho)]/\rho$ – радиальные части волновых функций $dd\mu$ и D_2 , соответственно, в начальном состоянии; $[g(R)]/R$ и $[h_n^1(\rho)]/\rho$ – то же в конечном состоянии. Как видно в (2) и (3), скорость образования зависит от \bar{E} , имея максимум при $\bar{E}_w = E/3$. Такая зависимость на опыте наблюдалась ранее [1].

Максимум можно установить, нормируя скорость w на экспериментальные данные. Довольно хорошее согласие дает $\bar{E}_w = 0,016 \text{ эв}$. На рисунке приведена зависимость $\sigma = w/(N\bar{v})$ от \bar{E} при двух разных значениях $\bar{E}_\sigma = 3/4 \bar{E}_w$.

$$\text{Интеграл } I_1 = \int f(R)g(R) dR \quad (3)$$

можно вычислить, если взять морзевские волновые функции [2]. Оценить интеграл

$$I_2 = \int h_0^o(\rho) h_n^1(\rho) \frac{d\rho}{\rho^2} \quad (4)$$

можно в двух предельных случаях: 1) если переход совершится с состояния $K = 0, \nu = 0$ на $K = 1, \nu = 0$, то можно получить, исходя из уравнения Шредингера для $K = 0$ и $K = 1$, что

$$I_2 = \frac{m_d}{2} (E_0^o - E_1^1) \int_0^\infty h_0^o(\rho) h_n^1(\rho) d\rho \approx 0,5; \quad (5)$$

2) если переход совершится на высокий колебательный уровень, лежащий на границе диссоциации, то можно взять волновые функции в (4) квазиклассические. Такой интеграл был вычислен [5] и получен $I_2 \approx 10^{-4,5}$.

Предполагая, что $|E_d| < 4,6 \text{ эв}$, получим при \bar{E}_w пределы скорости образования $2 \cdot 10^{12} > w > 3 \cdot 10^2 \text{ сек}^{-1}$. Сравнивая с ожидаемым значением $w = 1,7 \cdot 10^6 \text{ сек}^{-1}$, заключаем, что рассматриваемый механизм объясняет наблюдаемые в эксперименте эффекты, если $(dd\mu)^+$ действительно имеет уровень в несколько эв.

Пользуюсь случаем выразить благодарность С.С.Герштейну за предложение темы и М.Кыйву за обсуждения.

Институт физики и астрономии
Академии наук Эстонской ССР

Поступило в редакцию
19 ноября 1966 г.

Литература

- [1] В.П.Джелепов, П.Ф.Ермолов, В.И.Москалев, В.В.Фильченков. ЖЭТФ, 50, 1235, 1966.
- [2] Я.Б.Зельдович, С.С.Герштейн. УФН, 71, 581, 1960.
- [3] С.W.Scherr, M.Machacek. Phys. Rev., 138, A371, 1965.
- [4] П.А.М.Дирак. Принципы квантовой механики, Физматгиз, М., 1960.
- [5] Э.А.Весман. Тр. Ин-та физ. и астрономии АН ЭССР, № 33 (в печати).