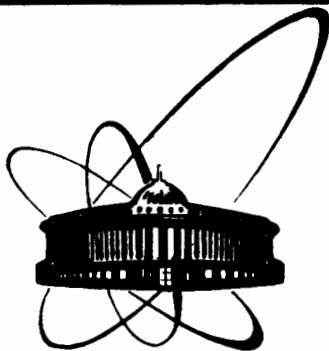


82-889.



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

111/83

P4-82-889

28/2-83

В.Б.Беляев, Е.М.Гандыль,* А.Л.Зубарев*

К ВОПРОСУ О СТРУКТУРЕ СПЕКТРА
МЕЗОМОЛЕКУЛЯРНОГО ИОНА dT_{μ}

Направлено в журнал
"Zeitschrift für Physik A:
Atoms and Nuclei"

* Ташкентский государственный университет

1982

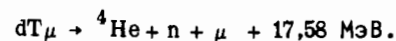
1. В последнее время в ряде работ^{/1,2/} изучалось влияние сильного взаимодействия дейтерия и трития на спектр мезомолекулы $dT\mu^-$. Вопрос здесь, действительно, существует, поскольку известно^{/3/}, что в системе 2-х тел с кулоновским и сильным взаимодействием кулоновский спектр может существенно измениться, если сильное взаимодействие приводит к уровню или резонансу с энергией, близкой к нулю. Похожая ситуация возникает в системе dT , в которой наблюдается известный резонанс в неупругом канале $dT \rightarrow {}^4\text{He}n$. Поэтому вопрос можно сформулировать так: может ли сильное взаимодействие d и T привести к какому-либо существенному изменению спектра мезомолекулы $dT\mu^-$?

В силу очевидной сложности задачи ответ на этот вопрос, даваемый в работах^{/1,2/}, основан на модельных представлениях. Модельность подхода^{/1/} состоит в использовании адиабатического /2-центрового/ базиса. Сходимость соответствующих разложений для волновой функции на малых расстояниях между дейтерием и тритием не является очевидной, так как кинетическая энергия относительного движения ядер в этом случае значительно превышает кинетическую энергию μ^- -мезона. Численное исследование поведения волновой функции мезомолекулы $dT\mu^-$ на малых межъядерных расстояниях, проведенное в работе^{/4/}, не может служить строгим доказательством сходимости адиабатического разложения.

Модельность подхода^{/2/} очевидна с самого начала, так как здесь используется эффективный dT потенциал Морзе.

В связи с этим возникает вопрос: существует ли область значенных параметров эффективного потенциала, в которой оба подхода давали бы одинаковые результаты?

2. Для ответа на этот вопрос рассмотрим реакцию



Если не учитывать внутреннюю структуру частиц, то уравнения, соответствующие этой реакции, можно записать в виде

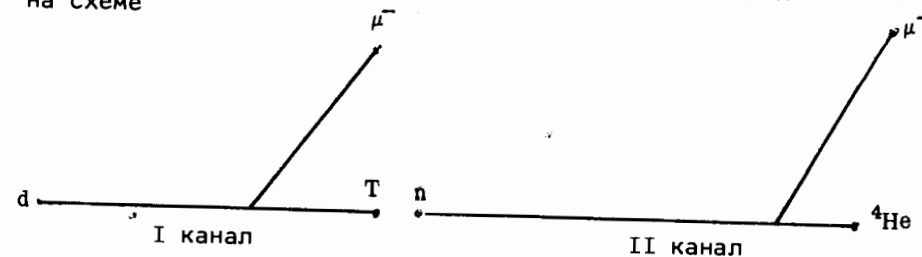
$$[H_{dT}^{\circ}(\vec{r}) + V_{11}(\vec{r}) + V_{d\mu}(\vec{r}, \vec{\rho}) + V_{T\mu}(\vec{r}, \vec{\rho}) + \frac{1}{r} + h_{\mu}^{\circ}(\vec{\rho})] \Psi_1(\vec{r}, \vec{\rho}) + V_{12}(\vec{r}) \Psi_2(\vec{r}, \vec{\rho}) = E \Psi_1(\vec{r}, \vec{\rho}),$$

$$[H_{4\text{He}n}^{\circ}(\vec{r}) + V_{22}(\vec{r}) + h_{\mu}^{\circ}(\vec{r}, \vec{\rho})] \Psi_2(\vec{r}, \vec{\rho}) + V_{21}(\vec{r}) \Psi_1(\vec{r}, \vec{\rho}) = (E+Q) \Psi_2(\vec{r}, \vec{\rho}),$$

где Ψ_1, Ψ_2 - волновые функции 1-го и 2-го каналов; $H_{dT}^{\circ}, H_{4\text{He}n}^{\circ}, h_{\mu}^{\circ}$ - соответствующие операторы кинетической энергии; V_{11}, V_{22} - сильное взаимодействие между dT и ${}^4\text{He}n$ соответственно; V_{12}, V_{21} - межканальные потенциалы; $V_{d\mu}, V_{T\mu}$ - взаимодействие μ^- -мезона с дейтерием и тритием; $1/r$ - электромагнитное dT -взаимодействие; $Q=17,58$ МэВ - энергосвободное;

$$h_{\mu}(\vec{r}, \vec{\rho}) = h_{\mu}^{\circ}(\vec{\rho}) + V_{\mu}({}^4\text{He})(\vec{r}, \vec{\rho}).$$

Системы координат, в которых записаны уравнения, представлены на схеме



В дальнейшем будем считать, что реакция идет из состояния мезомолекулы $dT\mu^-$ с нулевым орбитальным моментом.

Трудности решения рассматриваемой системы уравнений очевидны. Поэтому рассмотрим приближения, позволяющие перейти от трехчастичных к двухчастичным уравнениям:

$$[H_{dT}^{\circ} + V_{11} + V_{\mu}]\Psi_1 + V_{12}\Psi_2 = (E-E_1)\Psi_1,$$

$$[H_{4\text{He}n}^{\circ} + V_{22}]\Psi_2 + V_{21}\Psi_1 = (E+Q-E_{\mu})\Psi_2.$$

Переход в 1-м канале осуществляется заменой

$$V_{d\mu}(\vec{r}, \vec{\rho}) + V_{T\mu}(\vec{r}, \vec{\rho}) + \frac{1}{r} + h_{\mu}^{\circ}(\vec{\rho}) \rightarrow V_{\mu}(\vec{r}) + E_1,$$

где E_1 - энергия основного состояния мезоатома трития, а

$$V_{\mu}(\vec{r}) = D \left[e^{-2\alpha(r-r_0)} - 2e^{-\alpha(r-r_0)} \right]$$

эффективный потенциал с параметрами D, α, r_0 , выбранными так, чтобы воспроизводились уровни мезомолекулы $dT\mu^-$ в состоянии с $L=0$, рассчитанные без учета сильного взаимодействия в работе^{/5/}. Переход к двухчастичному описанию во втором канале можно сделать, исходя из следующих рассуждений.

Найдем формально Ψ_2 из второго уравнения /трехчастичной системы/, подставим в первое и получим

$$[H_{dT}^0 + V_{11} + V_{\mu}] \Psi_1 + \sum \frac{V_{12} |n\rangle \langle n| V_{21}}{E + Q - [H_{He n}^0 + V_{22} + E_n] + i\epsilon} \Psi_1 = (E - E_1) \Psi_1,$$

где

$$h_{\mu} |n\rangle = E_n |n\rangle.$$

Здесь использовано спектральное представление функции Грина и введен эффективный потенциал. Если теперь заменить E_n некоторым средним значением E_{μ}^* и воспользоваться условием полноты

$$\sum |n\rangle \langle n| = 1,$$

то получим

$$[H_{dT}^0 + V_{11} + V_{\mu}] \Psi_1 + \frac{V_{12} V_{21}}{E + Q - E_{\mu} - [H_{He n}^0 + V_{22}] + i\epsilon} \Psi_1 = (E - E_1) \Psi_1.$$

Проделав аналогичную операцию с двухчастичной системой уравнений, получим в точности такое же выражение.

Таким образом, переход от трехчастичного к двухчастичному описанию достигается введением эффективного потенциала в 1-м канале и диссипации энергии во 2-м канале.

Потенциалы сильного взаимодействия выбирались в форме прямоугольных ям с радиусом

$$r_c = 7 \text{ Фм},$$

глубина которых определялась так, чтобы воспроизвести экспериментальные значения полного сечения неупругого dT-рассеяния^{16/}.

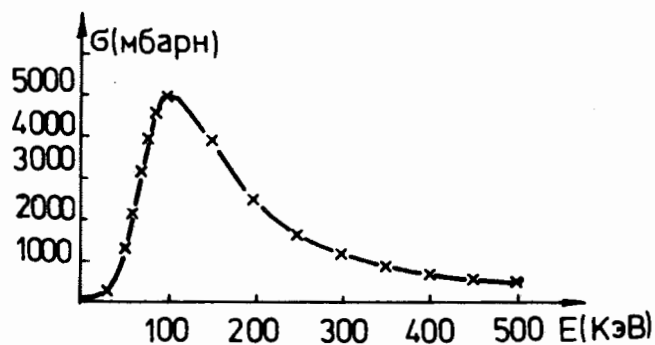


Рис. 1

Для выбранных потенциалов решение системы уравнений выражается через известные функции /экспонента, вырожденная гипергеометрическая функция/. Из условия непрерывности решения при $\Gamma = \Gamma_c$ получаем, как обычно, уравнение для определения собственных значений энергии.

В результате численных расчетов оказалось, что в отличие от расчетов^{1/} при энергии μ -мезона $\sim 1,24$ МэВ в спектре мезомолекулы есть три связанных состояния:

Таблица 1

	E	$\Gamma/2$
N1	321 эВ	0,1 эВ
N2	34 эВ	0,08 эВ
N3	0 эВ	13600 эВ

Т.е. учет сильного взаимодействия приводит к появлению нового уровня в спектре мезомолекулы с энергией $E=0$ эВ, причем если реакция идет из этого состояния, то она должна сопровождаться излучением "жестких" мюонов с энергией ~ 1 МэВ.

Прежде чем перейти к дальнейшим результатам, следует сказать, что условие воспроизводимости двух мезомолекулярных уровней позволяет однозначно определить лишь два из трех параметров эффективного потенциала: D , a , тогда как r_0 может меняться в довольно широких пределах /500-700 Фм/ без заметного изменения в положении уровней N1 и N2.

Величина r_0 влияет на поведение волновой функции на малых расстояниях, что, в свою очередь, должно приводить к изменениям в положении уровня N3, который возник при включении сильного взаимодействия, имеющего малый радиус.

Численные расчеты показали, что такая зависимость, действительно, имеет место.

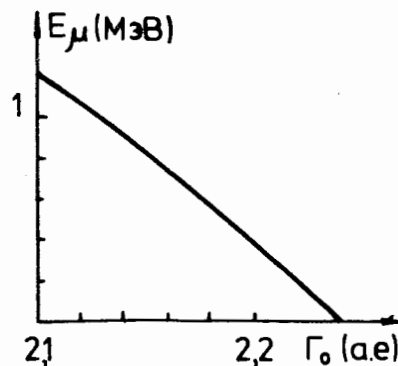


Рис. 2

На рис. 2 приведена зависимость энергии μ -мезонов, излучаемых при ядерной реакции, идущей из состояния мезомолекул с уровня N3 ($\text{Re} E_3 = 0$), от величины r_0 /размер мезомолекулы/.

Зависимость других уровней спектра от величины r_0 видна из табл. 2. Надо отметить, что ширины уровней с $\text{Re} E = -321$ эВ и -34 эВ при $r_0 = 2,5$ а.е. близки к значениям, полученным в^{1/}. Т.е. можно сказать,

Таблица 2

r_0	Уровень N1 /основной/	Уровень N2 /возбужденный/
2,1 а.е.	-321-i0,1 /эВ/	-34-i0,08/эВ/
2,5 а.е.	-321-i0,001 /эВ/	-34-i0,0008 /эВ/

что поведение волновой функции на малых расстояниях в нашей модели при $r_0 \approx 2,5$ а.е. согласуется с поведением волновой функции, построенной в $1/r$. Новый уровень в нашей модели в этом случае/при $r_0 = 2,5$ а.е./ все же существует и имеет значение порядка +1 кэВ с полушириной -13 ~ 14 кэВ.

Таким образом, спектр мезомолекулы с учетом сильного и электромагнитного взаимодействия существенно зависит от поведения волновой функции системы на малых расстояниях. Если поведение волновой функции соответствует значению размера мезомолекулы порядка 2,1 ~ 2,3 а.е., то ядерная реакция с высокой долей вероятности должна идти с излучением "жестких" μ -мезонов с энергией порядка 0,5 - 1 МэВ. Если же поведение волновой функции соответствует большим значениям r_0 , то таких мезонов не будет.

Следовательно, для решения вопроса о спектре мезомолекулы dT_{μ}^{-} необходимы расчеты, в которых бы не использовались ни модельный эффективный потенциал, ни адиабатический базис.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданова Л.Н. и др. ЯФ, 1981, 5, с.1197.
2. Belyaev V.B. et al. J.Phys.G: Nucl.Phys., 1982, 8, p.903.
3. Кудрявцев А.Е. и др. ЖЭТФ, 1978, 74, с.432.
4. Виноцкий С.И. и др. ОИЯИ, Р4-80-775, Дубна, 1975.
5. Виноцкий С.И. и др. ОИЯИ, Р4-1306, Дубна, 1980.
6. Liskien H., Paulsen A. Nuclear Data Tables, 1973, vol.11, No.7.

Ру

Беляев В.Б., Гандыль Е.М., Зубарев А.Л. Р4-82-889
К вопросу о структуре спектра мезомолекулярного иона dT_{μ}^{-}

Мезомолекулярная система dT_{μ}^{-} в состоянии с полным орбитальным моментом $L=0$ рассматривается в двухканальном приближении в соответствии с двумя каналами по сильному взаимодействию $dT \rightarrow dT$
 $\downarrow \quad \uparrow$
 $\downarrow \quad \uparrow$
 ${}^4\text{He } n$

. Кулоновское взаимодействие $V_{d\mu} + V_{T\mu}$ учи-

тывается введением эффективного потенциала V_{μ} , который выбирается в форме потенциала Морзе. В работе исследуется зависимость спектра системы от параметров эффективного потенциала.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Belyaev V.B., Gandyl E.M., Zubarev A.L. Р4-82-889
On the Structure of μ -Mesic Molecular dT_{μ}^{-} Ion Spectrum

dT_{μ}^{-} mesic molecular system in a state with total orbital momentum $L=0$ is considered in two-channel approximation in

accordance with two channels on strong interaction $dT \rightarrow dT$
 $\downarrow \quad \uparrow$
 $\downarrow \quad \uparrow$
 ${}^4\text{He } n$

Coulomb interaction $V_{d\mu} + V_{T\mu}$ is taken into account by introducing the effective potential V_{μ} which is chosen in the form of Morse potential. The spectrum of the system is investigated as a function of effective potential parameters.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.