Письма в ЖЭТФ, том 27, вып.1, стр. 73 – 76 *5 января 1978 г.*

ОБ ЭНЕРГИИ СВЯЗИ ТРИТОНА

Д.А.Киржниц, Н.Ж.Такибаев

Получена простая формула для энергии связи тритона, дающая оценку ≈ 8 *Мэв* (опытное значение 8,5 *Мэв*).

В недавних работах авторов [1] был предложен метод решения задачи трех и более тел, основанный на описании эволюции системы с изменением величины константы связи g (gV – потенциал межчастичного взаимодействия). В этих работах было получено решение простейшей задачи трех тел – об упругом рассеянии нейтрона (n) на дейтроне (d) в квартетном (спин 3/2) состоянии, а также для высших орбитальных моментов дублетного (спин 1/2) состояния. Ниже приводятся первые результаты, относящиеся к дублетному s-состоянию, – расчет энергии связи тритона $|E_t|$.

1. Основу используемого метода составляют уравнения для матричных элементов потенциала

$$V'_{\mu\nu} = \sum_{\sigma} V_{\mu\sigma}V_{\sigma\nu}\left[\left(E_\mu - E_\sigma - i\epsilon\right)^{-1} + \left(E_\nu - E_\sigma + i\epsilon\right)^{-1}\right] . \tag{1}$$

Диагональные по энергии матричные элементы определяют в дискретном спектре энергию связанных состояний

$$E'_{\mu} = V_{\mu\mu}, \tag{2}$$

а в непрерывном спектре – фазу рассеяния δ. В частности, для упругого nd-рассеяния

$$\delta'(k) = -\frac{mk}{3\pi} V_{nd,\,nd}(k,\,k), \tag{3}$$

где m – масса нуклона, k – импульс в ц-системе, индексы орбитального и спинового моментов опущены, штрих означает производную по g.

Решение двухнуклонной задачи с использованием расщепленного потенциала Ямагучи

$$-4\pi g\gamma^3 / [m(k_1^2+\gamma^2)(k_2^2+\gamma^2)]$$

дает энергию связи дейтрона

$$|E_d| \equiv \kappa^2/m = (g^{1/2}-1)^2\,\gamma^2/m = 2,23\ \text{Мэв}, \tag{4}$$

где $\gamma^{-1} = 0,69\ ф$ – радиус действия сил, $\kappa^{-1} = 4,34 ф$ – радиус дейтрона, физическое значение константы связи

$$g = (1+\kappa/\gamma)^2. \tag{5}$$

Вывод приведенных формул содержится в работах [1].

2. Малость величины $\kappa^2/\gamma^2 = 0,026$ отражает "мелкость" дейтронного уровня. То же имеет место и для тритона, где, как будет видно из дальнейшего, роль $\kappa^2 = (-mE_d)$ играет величина

$$X^2 = -\frac{4m}{3}(E_t - E_a), \tag{6}$$

составляющая $0,10$ от γ^2. Это позволяет при решении системы (1) использовать полюсное приближение, выделяя наиболее сильную особенность по величине $(k \pm iX)^{-1}$.

В матричном элементе $V_{nd,nd}$ эта особенность находится прямо из условия, что амплитуда nd-рассеяния имеет простой полюс при $k = iX$, отвечающий тритонному промежуточному состоянию. С учетом (3) это дает

$$V_{nd,nd}(k,k) = -\frac{3\pi X'}{m}(k^2+X^2)^{-1} + \ldots \tag{7}$$

Вообще, как видно из (1), матричный элемент $V_{\mu\nu}$, левый (правый) индекс которого есть nd, содержит полюсной фактор $(k+iX)^{-1}$ (соответственно, $(k - iX)^{-1}$). В частности, для перехода в тритонное состояние

$$V_{nd,\,t}(k) = a(k + iX)^{-1} + \ldots, \qquad (8)$$

где константа a будет найдена ниже.

3. В дальнейшем вклад трехнуклонных промежуточных состояний в (1) будет опускаться, так как дополнительное интегрирование по импульсам смягчает полюсную особенность. Энергия связи тритона находится из уравнений (1), (2), (8)

$$E_t'' = V_{tt}' = -\frac{8m}{3}\int\frac{d^3k}{k^2 + X^2}\,|V_{t,\,nd}(k)|^2 = -\frac{m}{3\pi X}|a|^2 . \qquad (9)$$

С другой стороны, уравнения (1) дают

$$V'_{nd,\,nd}(k,k) = \frac{8m}{3}[\,|V_{nd,t}(k)|^2/(k^2 + X^2) + \chi d^3p\,|V_{nd,\,nd}(k,p)|^2/(k^2 - p^2)] .$$

Отсюда с помощью (7), (8) находим $|a|^2 = \frac{9\pi}{2m^2}X(X')^2$, а подстановка этого соотношения в (9) с учетом (4), (6) дает искомое уравнение для $X(g)$

$$XX'' = \frac{2m}{3}E_d'' = -\gamma^2/(3g^{3/2}). \qquad (10)$$

При его решении используется малость отношения κ/γ, т.е. согласно (5), близость константы связи g к единице. Кроме того, с самого начала считалось, что $X^2 << \gamma^2$. Такое решение уравнения (10) действительно имеется

$$X = \sqrt{\frac{2}{3}}\,\gamma(g-1)\,[\ln(C/(g-1))]^{1/2}, \qquad (11)$$

где C – произвольная постоянная, которую с логарифмической точностью можно заменить единицей. С той же точностью, используя (4) – (6) находим окончательное выражение для энергии связи тритона

$$E_t / E_d = \ln(\gamma^2/\kappa^2) - 3{,}68, \qquad (12)$$

из которого и следует приведенная в аннотации численная оценка.

4. Выражение (11), понимаемое буквально, дает тот же порог образования тритона $g = 1$, что и для дейтрона (см. (4)). Между тем, известно, что тритон образуется при меньших хотя и близких к единице значениях g. Дело в том, что уравнение (10) теряет свою применимость в непосредственной окрестности точки $g = 1$, где имеется бесконечное множество уровней, сгущающихся к этой точке (эффект Ефимова) [2].

В действительности решение (11) имеет скорее смысл среднего по всем уровням значения X. При физической величине g, когда есть лишь один уровень, это среднее совпадает с истинным значением X, а при $g \to 1$ оно действительно должно исчезать из-за преобладающего веса сгущающихся к нулю уровней. С этой оговоркой решением (11) можно пользоваться и в самой точке $g = 1$.

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

Поступила в редакцию
28 ноября 1977 г.

Литература

[1] Д.А.Киржниц, Н.Ж.Такибаев. Письма в ЖЭТФ, **23**, 359, 1976; ЯФ, **25**, 700, 1977.

[2] В.Н.Ефимов. ЯФ, **12**, 1080, 1970.