

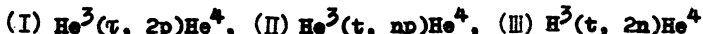
ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПО ПОИСКУ НОВЫХ УРОВНЕЙ  
В ЯДРАХ С  $A = 6$

Д. С. Кошсов, \*) В. Н. Фетисов

В работе /1/ приведены аргументы в пользу существования узких уровней с квантовыми числами  $J^{\pi} = 0^{+}$ ,  $T = 1$  в ядрах  $Be^6$ ,  $Li^6$ ,  $He^6$  вблизи порога образования систем  $He^3 + He^3$ ,  $H^3 + He^3$  и  $H^3 + H^3$ . Поиск резонансов в этих системах при энергии, не превышающей несколько десятков кэв, представляет исключительный интерес для астрофизики. Наличие такого уровня в  $Be^6$  с шириной  $\Gamma \leq 10$  кэв дает возможность наиболее просто объяснить слишком малую скорость счета солнечных нейтрино в экспериментах Дэвиса и др. /2/. С точки зрения теории ядра также было бы очень интересно обнаружить существование столь необычно узких уровней при энергиях возбуждения более десяти Мэв.

В настоящей заметке обсуждаются некоторые экспериментальные возможности поиска указанных резонансов.

I. Измерение сечений реакций



при энергии в системе ц.м. менее 100 кэв.

В экспериментах такого рода очень трудно измерить сечение наиболее важной для астрофизики реакции (I). Наименьшее сечение, которое еще удалось измерить, составляет  $\sim 10^{-30}$  см<sup>2</sup> при энергии  $\sim 80$  кэв /3/. Как видно из рис. 1, сечение этой реакции, экстраполированное в область меньших энергий обычным нерезонансным способом, на интервале 10-20 кэв изменяется от  $\sim 10^{-43}$  до  $10^{-37}$  см<sup>2</sup>. Даже в случае резонанса, при полной ширине  $\Gamma \approx 1$  кэв и резонансной энергии  $E_r = 20$  кэв, сечение в максимуме оказывается весь-

\*) ИЛИ АН СССР.

ма малым, порядка  $10^{-33} + 10^{-34}$  /см<sup>2</sup>.\*) Ситуация несколько более благоприятна в случае реакции (II).

Если уровень в  $Li^6$  при  $E^* \approx 15,8$  Мэв /4/ обладает квантовыми числами  $J^x = 0^+$ ,  $T = 1$ , то сечение реакции (II) при  $E_T \approx 10$  кэв равно  $\sim 10^{-30}$  см<sup>2</sup>. Экспериментально сечение реакции (II) измерено лишь до энергии  $\sim 75$  кэв. При этой энергии ее сечение  $\sim 3 \cdot 10^{-27}$  см<sup>2</sup> /5/.

Вследствие значительного понижения высоты кулоновского барьера имеется вполне реальная возможность обнаружения резонанса в реакции (III), например, с помощью пучка тритонов малой энергии от электростатического генератора. Сечение реакции (III) измерено только до энергии  $\sim 30$  кэв и равно  $\sim 10^{-26}$  см<sup>2</sup> /6/. Как видно из рис. I даже нерезонансное сечение реакции (III) при энергии 10 кэв довольно велико ( $\sim 10^{-28}$  см<sup>2</sup>). В случае резонанса с  $E_T \approx 10$  кэв сечение может быть порядка  $10^{-25} + 10^{-26}$  см<sup>2</sup>.

## 2. Столкновения трехнуклонных ядер в лазерной плазме.

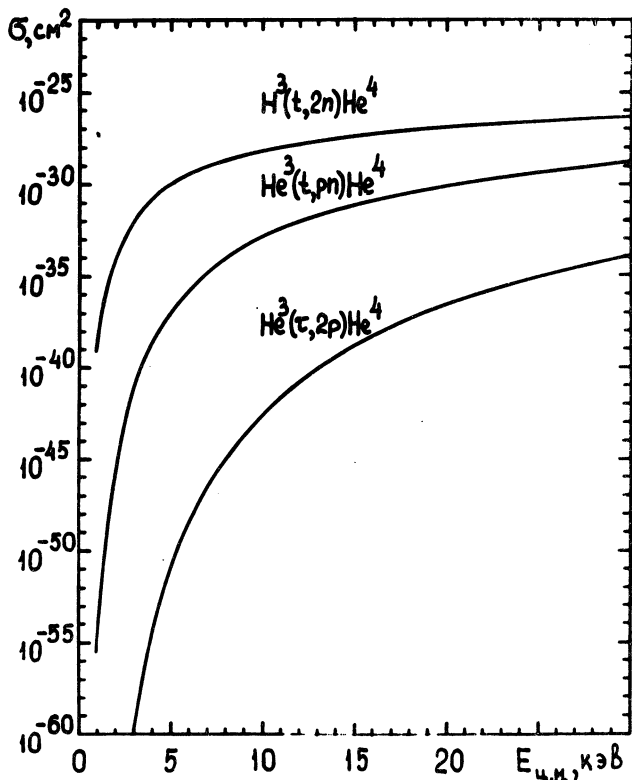
Возможность изучения в лазерной плазме реакции (I) представляется в настоящее время крайне проблематичной. Действительно, пусть образец из жидкого  $He^3$  размером  $l \approx 10^{-2}$  см нагревается лазерным излучением до температуры  $T = (1,0 + 1,5) \cdot 10^7$  °К. Такая температура может сохраняться в течение времени  $\tau \approx 10^{-9}$  сек /7/. Оценим полное количество быстрых протонов  $N_p$  (с энергией  $\sim 5$  Мэв), вылетающих за время одного импульса:

$$N_p \approx \langle \sigma v \rangle \left( \frac{n}{n_0} \right)^2 n_0^2 l^3 \tau, \quad (I)$$

где  $n_0$  - начальная плотность ядер  $He^3$ ,  $n$  - плотность ядер в момент наибольшего нагрева. Полагая  $n_0 \approx 10^{23}$  см<sup>-3</sup>,  $\langle \sigma v \rangle_{рез} \approx 10^{-31}$  см<sup>3</sup> сек<sup>-1</sup> /1/, получим  $N_p \approx 1(n/n_0)^2$ . Очевидно, можно надеяться зарегистрировать поток протонов только в том случае, если  $n \gg n_0$ . При определенных условиях в лазерной плазме, по-видимому, можно получить  $n/n_0 \approx 10^4$  /8/. Если это так, то поиск резонанса в  $Be^6$  посредством регистрации вторичных протонов не совсем безнадежен. Следует отметить, что увеличивать температуру плазмы выше  $\sim 1,5 \cdot 10^7$  °К нет смысла, так как влияние резонанса на скорость реакции может исчезнуть с ростом температуры.

\*) Приводимые здесь и ниже резонансные сечения вычислены при тех же предположениях, что и в /1/.

Интересная возможность обнаружения резонанса в системе  $\text{H}^3 + \text{H}^3$  может быть реализована в экспериментах с тритиевой плазмой. Для этого достаточно измерить отношение потока нейтронов  $\Phi_{tt}$



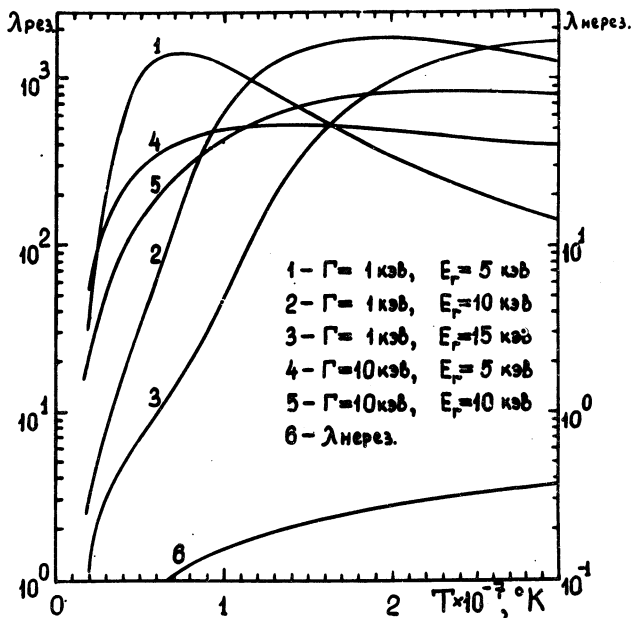
Р и с. 1. Сечения реакций (I), (II), (III), вычисленные по нерезонансным экстраполяционным формулам /3/, /9/.

из реакции (III) к потоку нейтронов  $\Phi_{dd}$  из реакции  $\text{H}^2(d, n)\text{He}^3$  при  $T \sim 10^7$  °К. Это отношение определяется отношением скоростей соответствующих реакций

$$\frac{\Phi_{tt}}{\Phi_{dd}} = 2\lambda \frac{n_t^2}{n_d^2}, \quad (2)$$

где  $n_t$  и  $n_d$  - плотности тритонов и дейтронов.

На рис. 2 приведены отношения  $\lambda_{рез} = \langle \sigma v \rangle_{рез} / \langle \sigma v \rangle_{дд}$  и  $\lambda_{нерез} = \langle \sigma v \rangle_{нерез} / \langle \sigma v \rangle_{дд}$  для случаев резонансного и нерезонансного поведения сечения реакции (III). При разумных параметрах



Р и с. 2. Температурная зависимость отношений  $\lambda_{рез}$  и  $\lambda_{нерез}$ .

рах резонанса  $\Gamma$  и  $E_r$  величина  $\lambda_{рез}$  и, следовательно, отношение потоков нейтронов на два-три порядка превосходит соответствующие величины при отсутствии резонанса. Как и в работе /I/, скорость резонансной реакции вычислялась с помощью ЭМ. Проницаемость кулоновского барьера рассчитывалась по квазиклассическим формулам /10/.

В принципе можно было бы исследовать и реакцию (II), если измерить отношение числа протонов из этой реакции к числу дейтронов из реакции  $He^3(t, d)He^4$ . К сожалению, при одинаковых концентрациях  $He^3$  и  $H^3$  в образце эффект резонанса полностью маскируется потоком протонов от реакции  $He^3(n, p)H^3$ , выход которой составляет  $\sim 10^{-3}$  протонов на один нейтрон от реакции (III).

3. Поиски уровней в  $\text{Li}^6$  с помощью неупругого рассеяния электронов.

В этих экспериментах в первую очередь следует уточнить положение уровня положительной четности при  $E^* = 15,8$  Мэв, открытого Барбером и др. /4/. Для определения квантовых чисел и структуры волновой функции уровня представляет интерес измерить форм-фактор перехода на этот уровень.

4. Изучение процессов образования  $\text{Ne}^6$ ,  $\text{Li}^6$  и  $\text{Be}^6$  в столкновениях ядер с энергиями в несколько десятков Мэв.

В качестве примера можно рекомендовать реакции  $\text{Li}^6(\text{He}^3, \text{n}^3)\text{Be}^6$ ,  $\text{He}^3(\text{He}^4, \text{n})\text{Be}^6$ ,  $\text{H}^3(\text{He}^4, \text{p})\text{He}^6$ ,  $\text{Li}^7(\text{p}, \text{d})\text{Li}^6$ ,  $\text{Li}^6(\text{p}, \text{n})\text{Be}^6$ . Поскольку ширина уровня  $\Gamma$ , по-видимому, не более десятка кэв, необходимо обеспечить высокую монохроматизацию первичного пучка и прецизионное измерение энергий вторичных частиц.

Авторы выражают глубокую благодарность Г. Т. Зацепину за ценные обсуждения в процессе работы.

Поступила в редакцию  
4 сентября 1972 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Ю. С. Копысов, В. Н. Фетисов. Письма в ЖЭТФ, 16, 58 (1972); Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Ядерные реакции при высоких энергиях", Тбилиси, 19-23 июня 1972 г., стр. 87, М., 1972 г.
2. D. E. Thomsen. Science News., 100, 210 (1971).
3. M. R. Dwarakanath, H. Winkler. Phys. Rev., 94, 1532 (1971).
4. W. C. Barber, J. Goldemberg, G. A. Peterson, Y. Torizuka. Nucl. Phys., 41, 461 (1963).
5. Ли Га Ен, Г. М. Осетинский, Н. Содном, А. М. Говоров, И. В. Сизов, В. И. Салацкий. ЖЭТФ, 39, 225 (1960); Препринт ОИЯИ, P-764, Дубна, 1961 г.
6. А. М. Говоров, Ли Га Ен, Г. М. Осетинский, В. Н. Салацкий, И. В. Сизов. ЖЭТФ, 41, 703 (1961).
7. Н. Г. Басов, Ю. С. Иванов, О. Н. Крохин, Ю. А. Михайлов, Г. В. Склизков, С. И. Федотов. Письма в ЖЭТФ, 15, 589 (1972).

8. Э. Теллер. Доклад на VII Международной конференции по квантовой электронике, Монреаль, 7-11 мая 1972 г.
9. W. A. Fowler, G. R. Coughlan, B. A. Zimmerman. *Ann. Rev. of Astr. and Astrophys.*, 5, 525 (1967).
10. I. Perlman, J. Rasmussen. *Handbuch der Physik*, XII, 148 (1957).