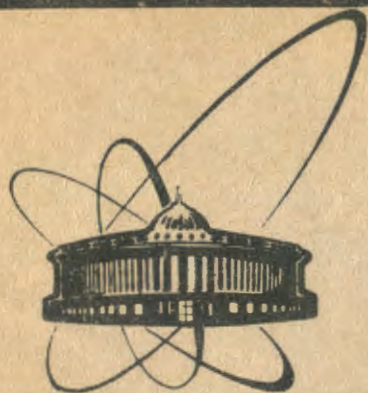


89-338



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P15-89-338

К. Д. Толстов

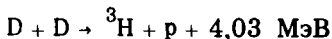
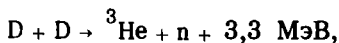
КОММЕНТАРИИ

К "ХОЛОДНОМУ" ТЕРМОЯДЕРНОМУ СИНТЕЗУ

1989

Превратить реакцию слияния ядер дейтерия, описанную в работах ^{1,2/}, при обычных температурах в неограниченный источник энергии — это дело техники, и здесь очевидна полная аналогия с тем, что было после открытия выделения энергии при делении ядер урана. Поэтому значение осуществимости этой реакции фундаментально. Ниже приводятся оценки возможности слияния ядер дейтерия при нормальной температуре в легко создаваемых условиях.

Известно явление поглощения газообразного водорода палладием, которое по более ранним источникам составляет до 2000 объемов водорода при нормальных условиях на объем палладия, а по новым данным ^{3,4/} — около 900 объемов. Различие, возможно, связано с рассмотрением молекулярного или атомарного состояния и поэтому примем для последнего значение 2000. Тогда в 1 см³ палладия на $7 \cdot 10^{22}$ его атомов поглощается $n = 5,4 \cdot 10^{22}$ атомов дейтерия. Заметим, что в 1 см³ жидкого дейтерия содержится $5 \cdot 10^{22}$ атомов. Далее, примем полную упаковку атомов дейтерия, т.е. $\frac{4}{3}\pi R^3 \cdot 5,4 \cdot 10^{22} = 1 \text{ см}^3$, тогда радиус R объема, приходящегося на один атом, равен $R = 1,64 \cdot 10^{-8}$ см и расстояние между ядрами дейтерия $L = 2R = 3 \cdot 10^{-8}$ см. Предполагая независимое от атомов палладия движение атомов дейтерия, т.е. верхнюю оценку их скорости v из $m v^2/2 = 3/2 kT$ при $T = 293^\circ \text{C}$ получим $v = 1,9 \cdot 10^5$ см/с. Число столкновений $m = v/L = 6,3 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$. Число реакций

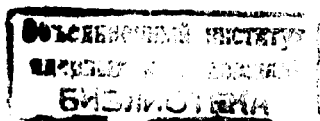


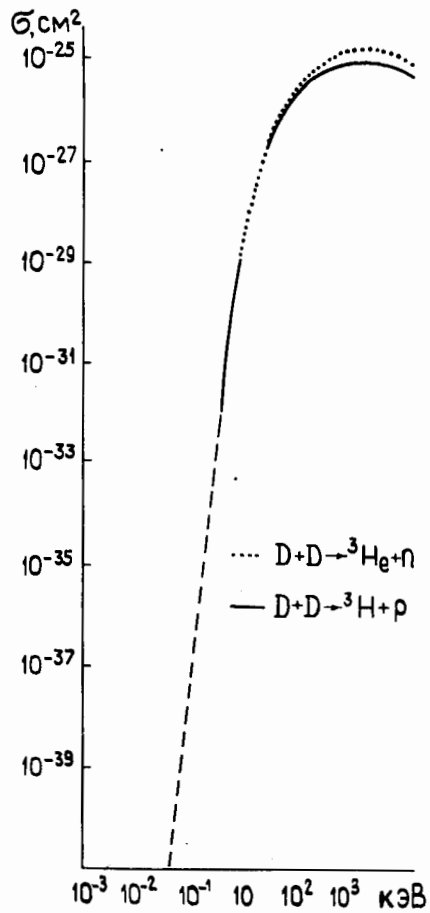
составит в секунду

$$N = n \cdot m \cdot \sigma.$$

Зависимость сечений реакций σ от энергии дейтронов приведена из ^{5/} на рисунке, из которого следует, что если не происходит изменения зависимости σ от энергии при ее уменьшении, то $N \rightarrow 0$.

Оценим условия осуществимости реакций слияния на основе туннельного эффекта. На больших расстояниях потенциальный барьер определен законом Кулона, а с уменьшением расстояния становятся существенными силы ядерного взаимодействия и, таким образом, форма





барьера на всем протяжении неоднозначна. Качественное заключение о расстоянии, на котором ядерные силы начинают превалировать, можно получить из зависимости сечения реакции $D + D \rightarrow {}^3\text{H} + p$, в которой при энергии порядка 1 МэВ выполняется рост сечения с увеличением энергии дейтронов. Кулоновский потенциал в 1 МэВ соответствует расстоянию между двумя единичными зарядами в $1,4 \cdot 10^{-13}$ см, то есть меньшему, чем среднеквадратичный радиус дейтона $1,93 \cdot 10^{-13}$ см.

При сближении дейтронов на расстоянии их удвоенного среднеквадратичного радиуса потенциал кулоновского отталкивания равен 370 кэВ.

Таким образом, за максимальную ширину ℓ барьера можно принять расстояние $2 \cdot 10^{-13} < \ell < 2 \cdot 10^{-8}$ см. Вероятность прохождения через прямоугольный барьер шириной ℓ и высотой u , если кинетическая энергия частицы E , равна $^{1/6}$:

$$W = \frac{16 \exp(-2p_2 \cdot \ell / \hbar)}{\left[1 + \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^2\right] \cdot \left[1 + \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^2\right]}$$

где

$$p_1 = \sqrt{2m_D E}, \quad p_2 = \sqrt{2m_D (u - E)}$$

При 20°C средняя энергия дейтерия 0,025 эВ, а доля частиц с $E = 0,1$ эВ составляет 0,02. Следовательно, $p_1/p_2 \rightarrow 0$ и знаменатель в формуле равен $1 + u/E = u/E$. W — обратно пропорционально U , а ширина барьера входит к экспоненту, т.е. W в большей мере зависит от ширины барьера.

Если принять условие $n \cdot m \cdot W = 1$ и $E = 0,1$ эВ, то соотношение между высотой и шириной барьера будет иметь следующие значения (см. табл.). Из таблицы следует, что качественно возможна замена кулоновского барьера на прямоугольный при широком варьировании его высоты. (Известная формула для проницаемости W кулоновского барьера при интегрировании до $R_0 = 2 \cdot 10^{-13}$ см, и даже от $R = 10^{-9}$ см, дает $W = 10^{-68}$).

Таблица

Высота барьера, эВ	10^6	$5 \cdot 10^5$	10^5	$5 \cdot 10^4$	10^4	$5 \cdot 10^3$	10^3
Ширина барьера, см	10^{-11}	$1,5 \cdot 10^{-11}$	$3,5 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-11}$	10^{-10}	$1,6 \cdot 10^{-10}$	$3,7 \cdot 10^{-10}$

Таким образом, отличную от нуля вероятность проникновения через прямоугольный барьер можно ожидать только при сближении ядер дейтерия на расстояния $\sim 10^{-10}$ см, когда потенциал кулоновского отталкивания ~ 1400 эВ. Конечно, при рассмотрении не были учтены структурные особенности дейтона, его кварковый состав, распределение заряда и соответственно эффекты, с этим, возможно, связанные. Однако большое отличие расстояния между дейтронами в палладии от минимального, при котором возможно прохождение барьера, требует введения неизвестных факторов для объяснения "холодного" синтеза. Возможно, наших знаний для этого не хватает, так же как и для объяснения давно известной шаровой молнии.

Остановимся на данных работы $^{1/2}$, в которой есть утверждение о четырехкратном превышении энерговыделения от затрачиваемого при электролизе тяжелой воды с применением палладиевых электродов. Используя данные статьи, имеем: напряжение 3 ± 25 В, ток в отдельной ячейке в диапазоне $0,01 \pm 0,5$ А, число ячеек 8. Беря минимальные значения напряжения и тока, получим затрачиваемую мощность 0,24 Вт. Следовательно, при четырехкратном выигрыше 1 Вт энерговыделение в реакции $D + D \rightarrow {}^3\text{He} + n$ составляет 3,3 МэВ, то есть должно выделяться $2 \cdot 10^{13}$ нейтронов в секунду, что неправдоподобно. Сами авторы дают значение $\sim 10^{-23}$ реакций в секунду на пару дейтронов. Возможно, тепловыделение обуславливалось экзотермической реакцией в палладии дейтерия, который выделяется при электролизе.

Остановлюсь на эксперименте, который может служить достаточно простой проверкой роли решетки палладия в "холодном" синтезе, а в случае успеха опыта он будет иметь самостоятельный интерес.

В материале, в котором не диффундирует газообразный водород, создается небольшой герметизируемый объем. Наружу из него выведена тонкая металлическая трубка, соединяемая с резервуаром газообразного дейтерия. Образец материала охлаждается гелием до температуры ожигения дейтерия, поступающего из резервуара. После заполнения объема трубка герметизируется. После отключения охлаждения гелием давление в образце поднимается до 2000 атм, но объем мал и такое давление выдерживает трубка со стенками менее 1 мм. Расстояние между атомами дейтерия в объеме будет практически одинаковым с расстоянием в палладии при поглощении 2000 объемов газообразного атомарного дейтерия.

В заключение автор выражает признательность за дискуссию участникам семинара в ЛВЭ ОИЯИ 26 апреля 1989 г. и Б.Н.Калинину за критические замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журнал "Эхо планеты", 1989, №15, с.44.
2. Jones S.E. et al. — Preprint BY and PHYS. 888-38, 1989.
3. Физический словарь. М.: Энциклопедия, 1988, т.4, с.18.
4. Свойства элементов. Справочник (под ред. М.Е.Бриц), М.: Металлургия, 1985.
5. Таблицы физических величин. Справочник (под ред. И.К.Кикоина), М.: Атомиздат, 1976, с.947.
6. Бом Д. Квантовая теория. М.: Наука, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 мая 1989 года.