

# DD-синтез в проводящих кристаллах

Э.Н. Цыганов

Cold Fusion Power, International

В работе рассматриваются аспекты атомной физики, приводящие к отбору разрешенных орбиталей атомов при насыщении проводящих кристаллов атомами дейтерия. Наличие свободных электронов проводимости кристалла, группирующихся в области потенциальных ниш кристаллической решетки, приводит к запрету для  $s$ -состояния водорода занимать эти ниши. При этом заполнение этих ниш дейтерием оказывается возможным для возбужденных атомных состояний уровня  $2p$  или выше. В экспериментах по DD синтезу на ускорителях низких энергий было показано, что если атом дейтерия-мишени располагается в проводящем кристалле, эта реакция идет с гораздо большей вероятностью, чем в случае свободных атомов дейтерия. Когда в одну кристаллическую нишу попадают два атома дейтерия, то расстояние между ядрами этих атомов оказывается равным  $1/10 - 1/20$  от номинальных размеров этих атомов. Теоретические расчеты показывают, что для реакции синтеза  $DD \rightarrow {}^4\text{He}^*$  это эквивалентно дополнительной энергии  $300 - 700$  эВ. Мы полагаем, что именно процесс возбуждения атомных состояний до уровня  $2p$  или выше объясняет первую стадию так называемого холодного ядерного синтеза.

PACS 25.45.-z –  ${}^2\text{H}$ -induced reactions.

**Ключевые слова:** синтез дейтронов, кристаллическая решетка, деформация электронных оболочек, прозрачность кулоновского барьера, механизм Ридберга, катализ ядерного синтеза.

## 1. Введение

Уже в течение длительного времени ведутся разговоры о переходе к процессу управляемого термоядерного синтеза. Однако, первоначальные ожидания того что эта проблема будет вскоре решена, так и не материализовались. Технические трудности устойчивого получения сверхгорячей плазмы ( $\sim 10^9$  °C) и разрушающее воздействие громадного нейтронного потока, возникающего вследствие термоядерных реакций, отодвигают решение этой задачи на все более отдаленное и неопределенное будущее.

В 1989 году были доложены результаты опытов М. Флейшмана и С. Понса [1], где утверждалось, что при электролитическом насыщении кристаллов палладия дейтерием наблюдается значительное выделение тепла, которое количественно не может быть объяснено возможными химическими реакциями. Авторы пришли к заключению, что в этих опытах они наблюдают процесс ядерного синтеза, происходящий при комнатной температуре. Опыты Флейшмана и Понса довольно быстро были признаны физическим сообществом ошибочными. Однако, после их последующих многочисленных подтверждений и проверок появилась надежда и даже уверенность в том, что проблема управляемого ядерного синтеза может быть решена именно

этим способом. Наиболее серьезные исследования были проведены группой Мак-Кубре [2]. Тем не менее, эксперименты по холодному синтезу, которые проводятся уже в течение почти 25 лет, попрежнему либо полностью игнорируются сообществом ядерных физиков, либо встречаются ими с большой долей скептицизма. Два основных возражения, которые выдвигаются против этих экспериментов, заключаются в следующем:

1. Нет объяснения, каким образом в процессе холодного синтеза преодолевается так называемый кулоновский барьер.

2. В этих экспериментах, в отличие от термоядерного синтеза, практически не наблюдается других ядерных продуктов, за исключением  ${}^4\text{He}$ .

В экспериментах по DD синтезу на ускорителях низких энергий было показано, что если атом дейтерия-мишени располагается в проводящем кристалле, эта реакция идет с гораздо большей вероятностью, чем в случае свободных атомов дейтерия. Эти эксперименты прямо подтверждают существование явления холодного синтеза, впервые наблюдавшегося по выделению аномально большого количества тепла в палладиевых образцах, насыщенных дейтерием [1]. Таким образом, мы встретились с новым физическим явлением, которое несомненно изменит весь ход человеческой цивилизации. Некоторые из практических применений этого явления (корабли, самолеты, космонавтика) оказываются просто недоступны устройствам с использованием циклопически больших размеров токамаков и других гипотетических установок с использованием термоядерного синтеза.

## 2. Эксперименты по DD синтезу на ускорителях низких энергий.

При описании столкновений атомов необходимо соответствующим образом модифицировать выражение для вероятности проникновения через потенциальный барьер, написанное для столкновения “голых” ядер, т.к. атомные электроны экранируют эффект отталкивания зарядов ядер. В рамках приближения Борна-Оппенгеймера в работах Ассенбаума и др. [3] и ряда других авторов было показано, что введение так называемого “потенциала электронного экранирования” для случая столкновения атомов эквивалентно в выражении для прозрачности кулоновского барьера дополнительной энергии  $U_e$  в системе центра масс сталкивающихся частиц, т.е.  $E_{eff} = E_{cm} + U_e$ . Экспериментальные результаты могут быть хорошо описаны введением всего одного параметра  $U_e$  – потенциала электронного экранирования. Такой подход эквивалентен способу учета толщины барьера при вычислении квантово-механического расчета вероятности проникновения через потенциальные барьеры.

Как мы уже отметили в кратком содержании этой статьи, потенциал электронного экранирования для реакции DD синтеза в проводящих кристаллах оказался равным 300 – 700 эВ. Если атомы мишени в этом процессе имплантированы в кристаллы изоляторов или полупроводников, то эффекта повышения потенциала экранирования выше 27 эВ, что характерно для столкновений свободных атомов дейтерия, не наблюдается. Это означает, что если в одну кристаллическую нишу в условиях проводящего кристалла попадают два атома дейтерия, расстояние между ядрами этих атомов оказывается равным 1/10 – 1/20 от номинальных размеров этих атомов. Ниже мы покажем, при каких условиях это становится возможным.

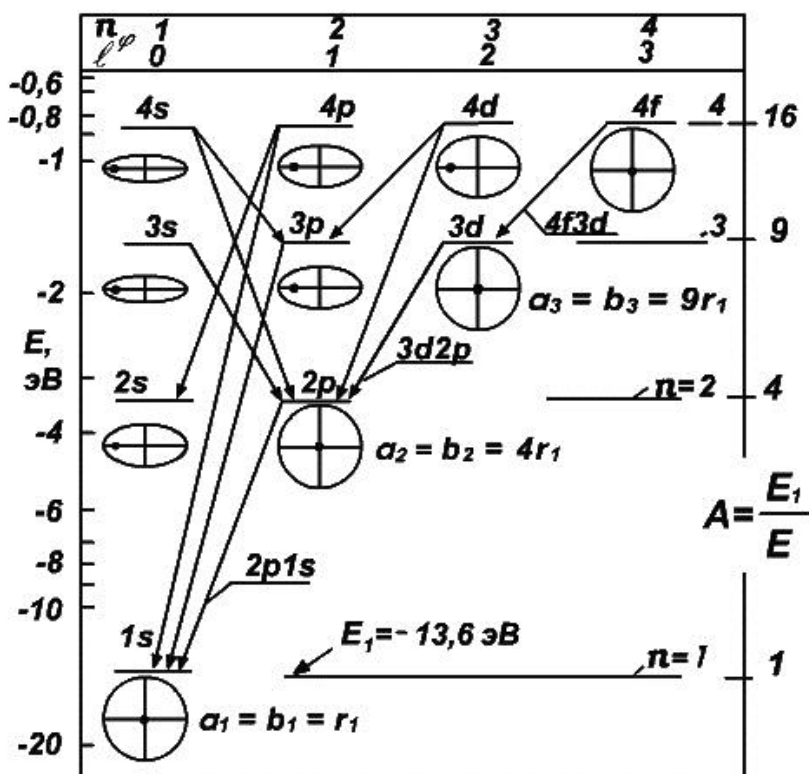
Процессы холодного DD синтеза были рассмотрены нами в работах [4 – 6]. Как отмечалось в этих работах, причиной существования явления холодного синтеза является такая деформация орбиты (орбитали) электрона дейтерия, которая позволяет ядрам дейтерия, попавшим в одну

потенциальную нишу кристаллической ячейки, сблизиться на расстояние в 1/10 – 1/20 от номинальных размеров атомов этого элемента. В этой работе мы рассмотрим более подробно именно этот начальный процесс ядерного синтеза в проводящих кристаллах.

### 3. Физика электронных оболочек атома водорода.

Физика электронных оболочек атома водорода схематически представлена в Таблице 1.

Таблица 1



В этой Таблице приводится схема электронных уровней возбуждения атома водорода. Для нас представляет интерес вторая вертикальная колонка с квантовыми числами  $n=2, l=1$  и, в частности, уровень  $2p$ . На Рис. 1 графически представлена электронная плотность в атоме водорода в состоянии  $1s$  и  $2p$ .

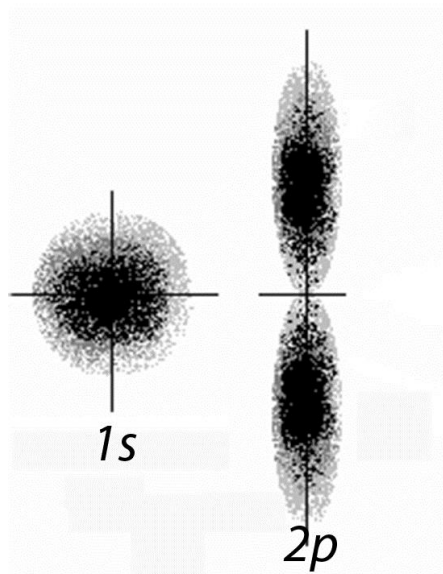


Рис. 1. Электронная плотность для  $1s$  и  $2p$  состояний атома водорода.

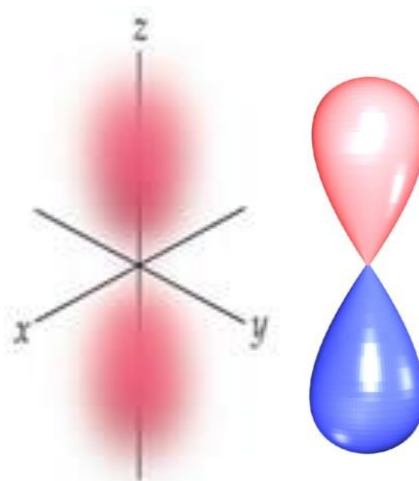
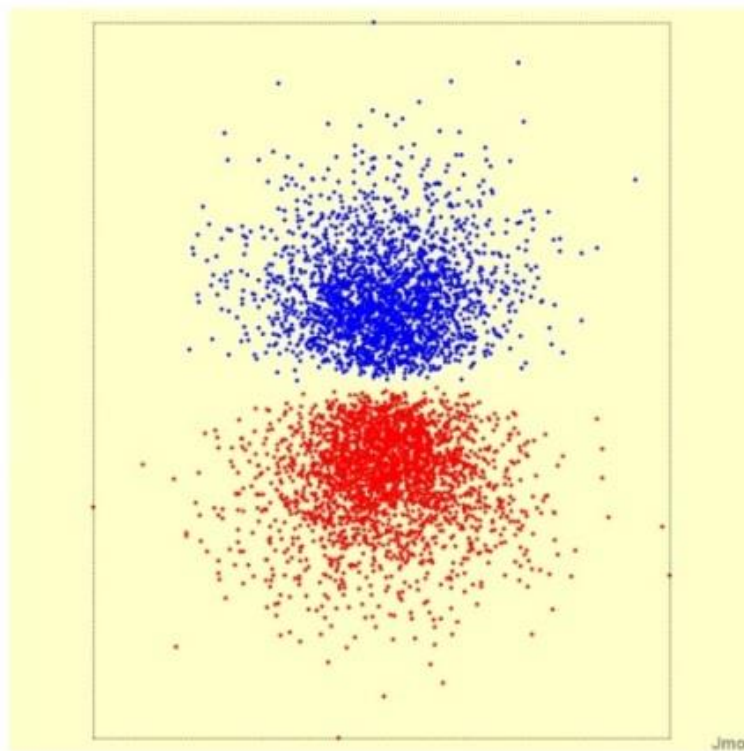


Рис. 2. Слева – графическое представление электронной плотности состояния  $2p$  атома водорода. На правом рисунке изображен контур, содержащий 95% электронной плотности атома. Розовым цветом представлена положительная часть волновой функции электрона, синим – ее отрицательная часть.

Изображения, представленные на Рис.1 и Рис. 2, заимствованы из работы [7]. Они схематически иллюстрируют форму электронной плотности в атоме водорода в состояниях  $1s$  и  $2p$ .

Интересное представление расчетов различных орбиталей атома водорода развито в работах Винтера [8]. На Рис. 3 представлена функция электронной плотности водорода в состоянии  $2p$  из этой работы.



**"Dot-density" plot of the  $2p_x$  electron density function  $\psi_{2p_x}^2$ .**

Рис. 3. Распределение электронной плотности в атоме водорода для состояния  $2p$  из работы Винтера [8]. Красным и синим цветом обозначены плотности, полученные для положительного и отрицательного значения волновой функции  $\psi$ , соответственно.

На Рис. 4 графически изображена кристаллическая структура  $fcc$ , которой обладают кристаллы палладия и платины. Большими кружками обозначено расположение атомов кристалла-хозяина, малыми кружками обозначено расположение наиболее глубоких октоэдральных потенциальных ниш в этой структуре. Параметры всех октоэдральных ниш являются идентичными. Пока соотношение примесных атомов дейтерия и атомов кристалла-хозяина не превышает соотношение  $D: Pd \sim 1$ , никакого процесса холодного синтеза не происходит, так как примесные атомы дейтерия расположены в различных октоэдральных нишах достаточно далеко друг от друга. Однако, когда в одну такую потенциальную нишу попадают два атома дейтерия, а это происходит в состоянии уровня возбуждения электрона  $2p$  или выше, вероятность проникновения через потенциальный барьер для процесса  $DD$  синтеза увеличивается примерно на  $\sim 60$  порядков! На Рис. 5 изображена проницаемость кулоновского барьера в процессе  $DD$  синтеза в зависимости от потенциала электронного экранирования (эффективной энергии взаимодействия).

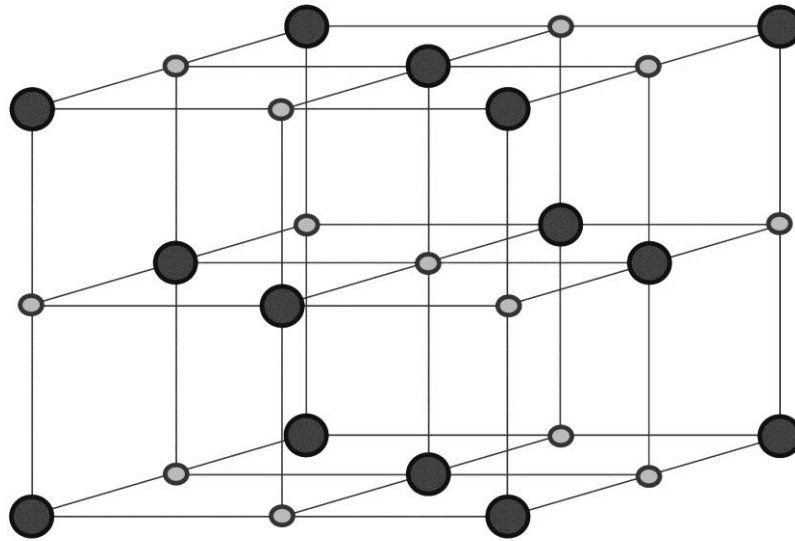


Рис. 4. Кристаллическая структура *fcc* (палладий, платина). Малыми кружками обозначено расположение наиболее глубоких октоэдральных потенциальных ниш в этой структуре.

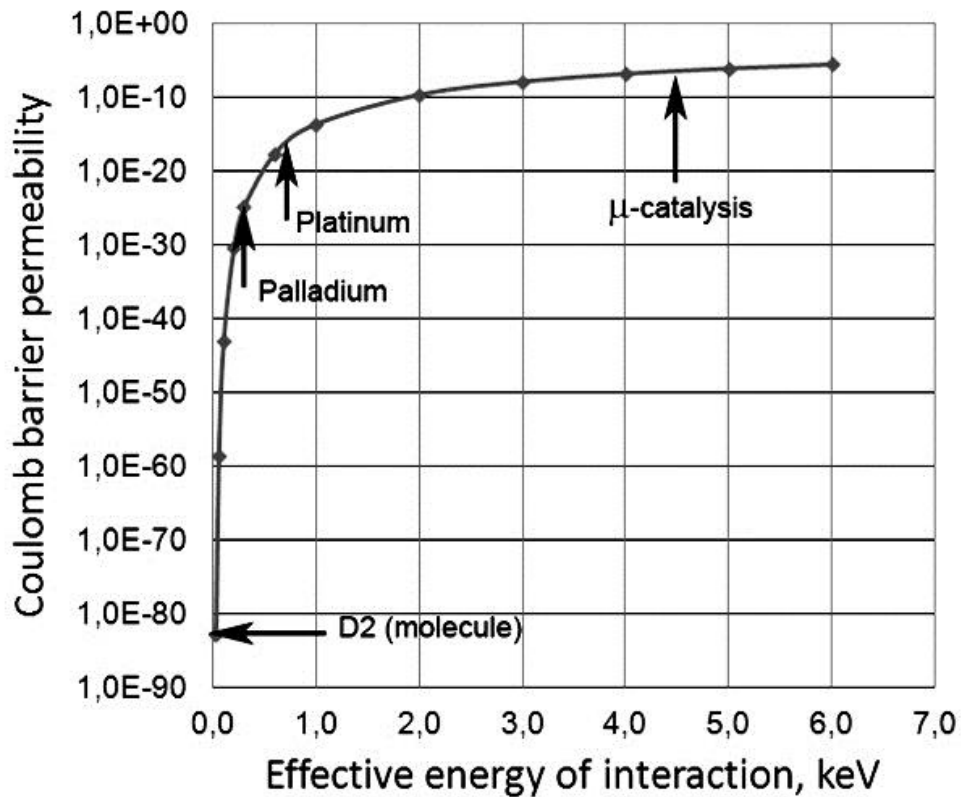


Рис. 5. Проницаемость кулоновского барьера в процессе DD синтеза в зависимости от потенциала электронного экранирования (эффективной энергии взаимодействия).

На Рис. 6 приведена форма октохедральной потенциальной ниши в кристалле платины.

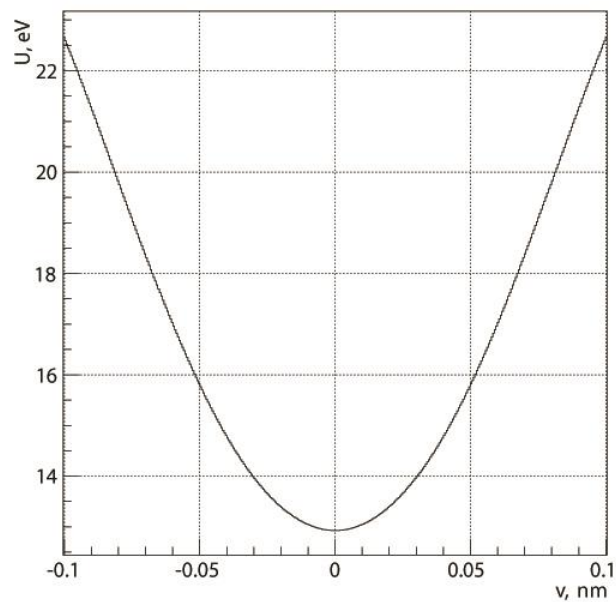


Рис. 6. Форма октохедральной потенциальной ниши в кристалле платины.

На Рис. 7 схематически изображены позиции двух атомов дейтерия в состоянии  $2p$ , расположенных в одной октохедральной потенциальной нише. Именно ортогональное взаимное расположение  $2p$  орбиталей обеспечивает наиболее быстрый процесс DD синтеза.

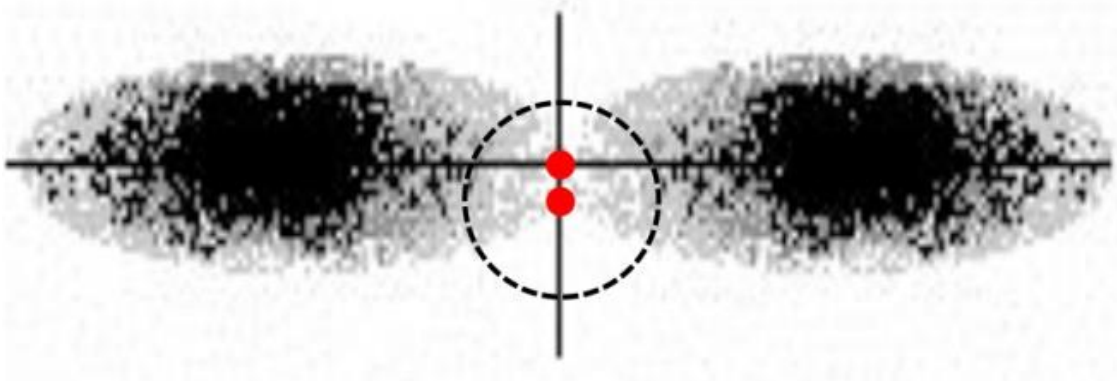


Рис. 7. Схематическое изображение  $2p$  позиций двух атомов дейтерия, расположенных в одной и той же октохедральной потенциальной нише кристалла палладия. Пунктиром условно изображена позиция второго атома дейтерия, расположенного перпендикулярно плоскости рисунка. Ядра атомов дейтерия изображены красным цветом.

#### 4. Заключение

Как оказалось, к настоящему времени существуют надежные методы описания атомных орбиталей, основанные на численных расчетах уравнения Шрёдингера. Эти методы хорошо разработаны и широко используются для расчетов в химии. Применение этих методов для расчетов механизма катализа ядерного синтеза в проводящих кристаллах может оказаться весьма плодотворным. Автору хотелось бы отметить высокий уровень профессионализма профессора Марка Винтера из университета в г. Шеффилд, Великобритания.

#### Литература

- [1] M. Fleischmann, S. Pons, M. W. Anderson, L. J. Li, and M. Hawkins, *J. Electroanal. Chem.* 287, p. 293 (1990).
- [2] M.C.H. McKubre, F. Tanzella, P. Tripodi, et al., in: F. Scaramuzzi (Ed.), *Proceedings of the 8th International Conference on Cold Fusion Lerici (La Spezia), 2000*, Italian Physical Society, Bologna, Italy, 2001, p. 3; M.C.H. McKubre, in: P.L. Hagelstein, S.R. Chubb (Eds.), *Condensed Matter Nuclear Science: Proceedings of The 10th International Conference on Cold Fusion, Cambridge, MA, USA, 21–29 Aug., 2003*, World Sci., Singapore, 2006.
- [3] Assenbaum H.J., Langanke K., Rolfs C. *Z. Phys. A – Atomic Nuclei.* 1987. Vol. 327. Pp. 461 – 468.
- [4] E.N. Tsyganov, *Physics of Atomic Nuclei*, 2012, Vol. 75, No. 2, pp. 153–159; Э.Н. Цыганов, *ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА*, 2012, том 75, №2, с. 174–180.
- [5] E.N. Tsyganov, V.M. Golovatyuk, S.P. Lobastov, M.D. Bavizhev, S.B. Dabagov, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 309 (2013) 95-104.
- [6] Цыганов Э.Н., Бавижев М.Д., Головатюк В.М., Дабагов С.Б., Лобастов С.П., *Инженерная Физика*, №9, (2013), сс. 3-17.
- [7] Смирнов С.В., *Лекции по атомной и ядерной физике*, Тверь. <http://www.twirpx.com/file/311221/>
- [8] Prof. Mark J. Winter, Department of Chemistry, The University Sheffield S3 7HF, UK, <http://winter.group.shef.ac.uk/orbitron/>