

# ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И МЕХАНИЗМЫ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

*А.В. Косарев, д.т.н.*  
nikita\_kosarev@mail.ru

## **Аннотация**

В работе рассматриваются физические условия, механизмы и характерные излучения низкоэнергетических ядерных реакций. Показано, что в большой совокупности твёрдо установленных экспериментальных фактов по новым явлениям ядерной физике нет ничего загадочного и странного. Всё поддаётся анализу и объяснению в рамках известных знаний ядерной и теплофизики.

## **Введение**

За три десятка лет после сенсационного доклада Флейшмана и Понса в 1989 году за новыми явлениями ядерной физики прочно закрепилось название загадочных. Этим самым подчёркивалось их отличие от накопленных до этого знаний в области ядерной физики. Условия их проявления не соответствовали представлениям сложившимся за многие десятилетия развития ядерной физики. Насчитывается до ста гипотез (Ратис Ю.Л.), претендующих на объяснение новых явлений. Большинство из них противоречат друг другу и устоявшимся знаниям ядерной физики.

Главная задача данной работы показать, что, кажущиеся на первый взгляд загадочными явления LENR, объяснимы в рамках уже известных знаний ядерной физики. Их новизна связана с тем, что в процессе развития практики исследователи столкнулись с физическими условиями, в которых ранее казавшиеся мало значащими ядерные явления стали проявляться интенсивно. Механизмы их проявления в специфических физических условиях понятны и объяснимы в рамках ядерной и теплофизики. Проявление загадочных явлений наблюдаются в условиях гидродинамической и акустической кавитации жидкостей, в условиях дейтерированных металлов и в условиях наводороженных поверхностей никеля и палладия. Ниже рассмотрим их.

Накопленные ядерной физикой знания свидетельствуют о том, что существуют только два канала проникновения вещественной частицы в зону сильного взаимодействия, ведущее к ядерным реакциям, сопровождающихся, в том числе, и выделением тепловой энергии. Первый, это преодоление кулоновского барьера для заряженных частиц высокой энергии и второй, для нейтрального нейтрона вход в ядро всегда открыт. Нужно только в него попасть.

Будем учитывать это при анализе механизмов НЭЯР.

## **1. Механизм НЭЯР в физических условиях кавитирующих жидкостей.**

В многочисленных экспериментах с кавитирующими жидкостями [7, 15] наблюдается дополнительный выход тепловой энергии в сравнении с подведенной в систему электроэнергией. При этом фиксируется нейтронное и гамма излучение (Фоминский, Колдомасов, Талейархан). Совокупность этих фактов говорит о ядерном характере процессов в условиях кавитирующих жидкостей. Покажем, что в условиях кавитации наблюдаются реакции ядерного синтеза.

### **1.1. Механизм НЭЯР в условиях гидродинамической кавитации.**

Ядерная физика для осуществления реакции синтеза лёгких ядер требует выполнения двух условий: наличие у лёгкого ядра энергии достаточной для преодоления кулоновского барьера и плотности обеспечивающей вероятность

попадания высокоэнергетического лёгкого ядра в сечение сил ядерного взаимодействия, радиус действия которых имеет порядок  $10^{-15}$  метра.

Идея термоядерного синтеза была очевидной для преодоления кулоновского барьера и достаточно быстро воплотилась при создании водородной бомбы. Однако проблема управляемого термоядерного синтеза не решена до сих пор.

Температура необходима для обладания лёгкими ядрами (для воды это ядра водорода, возможно и кислорода) величиной кинетической энергии необходимой для преодоления потенциального барьера кулоновских сил отталкивания при сближении лёгких ядер до расстояний, на которых начинают действовать ядерные силы, сильное взаимодействие. Плотность необходима для увеличения вероятности входа частиц в сечение сильного взаимодействия, которое чрезвычайно мало. Ядерные силы являются коротко действующими. Частице необходимо не только преодолеть кулоновский барьер, но и, выражаясь образно, попасть в площадку диаметром  $2 \cdot 10^{-15}$  метра. Так как при этом частицы в тепловой системе движутся хаотически, то единственным способом увеличения вероятности входа частиц в зону сильного взаимодействия является увеличение плотности частиц и размеров системы.

В плазме (например, токамака) достигается высокая температура в десятки и сотни миллионов градусов, но при малой плотности и чрезвычайной неустойчивости плазмы в таком состоянии. Эта проблема, несмотря на несколько десятилетий усилий, не позволяет осуществить управляемую термоядерную реакцию. При холодном ядерном синтезе в физических условиях кавитирующей жидкости лёгким ядрам так же нужна соответствующая величина кинетической энергии. Потенциальный барьер кулоновских сил никуда не делся и его необходимо преодолеть для сближения ядер на расстояния, на которых действует сильное взаимодействие. Холодная среда на первый взгляд с очевидностью не может обеспечить лёгкие ядра подобной энергией. Это и стало причиной неприятия термоядерщиками, а вслед за ними и всей официальной наукой самого понятия холодный ядерный синтез.

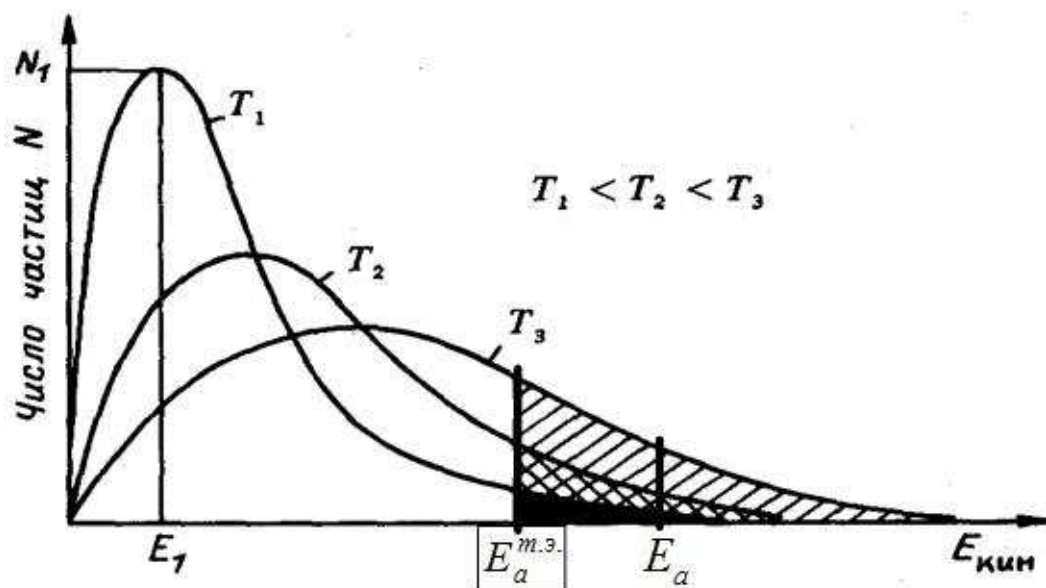


Рис. 1. Распределение Максвелла по энергиям частиц. График распределения по скоростям частиц имеет аналогичный вид.

Однако это только на первый взгляд. Теплофизика [9, 10] подсказывает возможность осуществления ядерного синтеза и в условиях относительно холодной

среды, при этом не противореча требованиям ядерной физики. Рассмотрим график функции Максвелловского распределения по энергиям и скоростям частиц многомолекулярной системы, изображённый на рисунке - 1.

Функция распределения молекул по энергиям и скоростям изображена для разных температур. Функция распределения имеет следующий аналитический вид:

$$f(v) = \frac{dn}{n \cdot dv} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2kT} \right)^{3/2} \cdot v^2 \cdot e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \quad (1)$$

где:  $n$  - количество частиц газа в единице объёма,  $T$ -температура газа в состоянии равновесия,  $k$ -постоянная Больцмана,  $m$  - масса частиц газа,  $v$  - скорость частиц газа,  $dn$  - число частиц скорости которых лежат в интервале от  $v$  до  $v + dv$ .

Функция распределения, как известно, определяет долю молекул единицы объёма газа, скорости которых заключены в интервале скоростей, равном единице, включающем данную скорость. Функция распределения нормируется на единицу.

$$\int_0^{\infty} f(v) dv = 1 \quad (2).$$

Зависимость (2) даёт площадь под графиком функции равную единице. Это означает с одной стороны, что вероятность застать данную частицу во всем интервале значений скорости от 0 до  $\infty$  равна единице, с другой площадь графика в интервале скоростей  $v + dv$  означает вероятность нахождения частицы в этом интервале или долю частиц системы находящихся в интервале заданных скоростей. Из графика на рисунке - 1 видно, что всегда в равновесной термодинамической системе имеется вероятность нахождения частиц обладающих большой скоростью и соответственно кинетической энергией. Концентрация частиц, обладающих энергией для преодоления кулоновского барьера и превышающих её, находится из формулы:

$$n_a = n \cdot \int_{v(E_a)}^{\infty} f(v) dv \quad (3).$$

В (3)  $E_a$  - кинетическая энергия активации ядерного синтеза, необходимая частице (ядру) для преодоления кулоновского барьера. Для преодоления потенциального барьера сталкивающимся протонам (ядрам водорода) должна быть сообщена энергия  $E_a \geq 10 \text{ кэВ}$ , что соответствует температуре  $\geq 10^8 \text{ }^\circ\text{К}$ . [18].

Наглядно место энергии активации и место частиц, обладающих энергией активации, изображено на рисунке - 1 штриховкой. Количество частиц системы обладающих большой скоростью и соответственно кинетической энергией растёт с ростом температуры и находятся они в хвосте Максвелловского распределения.

Отсюда следует основная идея механизма холодного ядерного синтеза. В системе большого числа свободных частиц всегда имеются, с отличной от нуля вероятностью, высокоэнергетичные частицы способные преодолеть кулоновский барьер и инициировать реакцию ядерного синтеза. Необходимо заметить, что и в горячей плазме реализуется Максвелловское распределение по скоростям и в реакцию синтеза вступают наиболее быстрые ядра. Даже в горячей плазме имеются частицы со скоростью близкой к нулю и естественно они не участвуют в реакциях синтеза. Эта идея снимает противоречие между холодным ядерным синтезом и термоядерным синтезом. Но проблема для ядерного синтеза в среде воды, содержащей лёгкие ядра водорода состоит в том, что молекул из хвоста распределения Максвелла с энергией достаточной для преодоления кулоновского барьера, ничтожно мало. Для физиков ядерщиков не является противоречивой возможность появления частицы высокой энергии в хвосте максвелловского распределения в системе свободных частиц, способной преодолеть кулоновский барьер. Однако эта возможность носила столь мало

вероятностный характер, что воспринималась малозначащей экзотикой для ядерных технологий и ядерной энергетики.

Решение проблемы было найдено случайно практиками, наблюдавшими многочисленные эффекты сверхединичности и солюминесценции в условиях кавитирующей воды. [7, 15].

Теоретический механизм решения проблемы видится следующим.

При адиабатном схлопывании пузырьков пара в процессе кавитации его температура резко повышается до 1000 °С и более (по различным литературным данным). Это приводит к увеличению количества высокоэнергетичных частиц из хвоста распределения Максвелла, способных инициировать реакцию синтеза. С другой стороны кавитационных пузырьков большое количество. Совместное действие этих двух эффектов (увеличение быстрых частиц с ростом температуры при схлопывании кавитационных пузырьков и огромного количества последних) приводят уже к реальной вероятности ядерного синтеза. Если увеличивать число кавитационных пузырьков в единице объёма воды и увеличивать температуру пара в схлопывающихся пузырьках, то вероятность ядерной реакции синтеза будет расти.

Теперь остановимся на влиянии туннельного эффекта на реакцию синтеза, который снижает температуру протекания ядерного синтеза с  $10^8$  °К до  $15 \cdot 10^6$  °К как в ядре Солнца. Для действия туннельного эффекта быстрой частице необходимо войти в зону сечения сильного взаимодействия и тогда появляется вероятность реакции синтеза уже при энергиях соответствующих температурам  $T \geq 15 \cdot 10^6$  °К (в ядре Солнца). А для вхождения в зону сечения сильного взаимодействия гораздо важнее плотность ядер - мишеней, а не энергия быстрых частиц. В этом и сказывается преимущество для холодного ядерного синтеза в условиях кавитирующей воды в сравнении с горячей плазмой, имеющей очень низкую плотность. С увеличением плотности ядер - мишеней туннельный эффект сказывается всё сильнее. Это связано с тем, что если у нас много частиц - мишеней (высока их концентрация), то дополнительно вступает в реакцию синтеза относительно большое число частиц с энергией от  $15 \cdot 10^6$  °К (в ядре Солнца) до  $10^8$  °К, способных преодолеть кулоновский барьер благодаря туннельному эффекту. Дополнительное количество частиц в единице объёма, способных вступить в реакцию синтеза благодаря туннельному эффекту определится из формулы:

$$\Delta n_a = n \cdot \int_{E_1}^{E_2} f(E) dE \quad (4). \text{ Где: } E_1 - \text{ энергия быстрой частицы, при которой вероятность}$$

туннельного эффекта становится существенно отличной от нуля;  $E_2 = 10^8$  °К, энергия кулоновского барьера.

Число таких дополнительных частиц велико в сравнении с суммой частиц с энергией  $E_a \geq 10^8$  °К из-за экспоненциального закона распределения по скоростям. При снижении температуры число активных частиц растёт по экспоненте.

Наряду с интенсификацией процесса кавитации, есть ещё одно направление. Оно связано с видом кавитирующей жидкости. Это не обязательно должна быть вода.

В кавитаторе можно использовать самые различные жидкости [14] и тем самым иметь различные возможные ядерные реакции. В качестве быстрых ядер и ядер мишеней в кавитирующей воде выступают наиболее вероятно ядра водорода (протоны). В качестве ядер - мишеней могут выступать кроме ядер водорода и ядра кислорода. Отсюда принципиально возможными реакциями холодного синтеза будут реакции протон - протон и протон - ядро кислорода. Однако ядерная физика исключает реакцию синтеза протон - протон в земных условиях. Отсюда возможной реакцией холодного синтеза в кавитирующей воде будет реакция протон - ядро кислорода. Эта

реакция даёт энергосвободное выделение в 0,6 Мэв.  $O^{16} + H^1 \rightarrow F^{17} + \gamma + 0,6 \text{ Мэв}$ . (5). А вот реакция протон - ядро азота даёт гораздо большее энергосвободное выделение.  $N^{14} + H^1 \rightarrow O^{15} + \gamma + 7,3 \text{ Мэв}$ . (6). В качестве азотсодержащей жидкости можно использовать, например, гидразин ( $N_2H_4$ ), который по своим физическим параметрам близок к воде.

К числу наиболее значимых работ в этом направлении относятся работы группы американских учёных, при ведущей роли Талейархана Рузи. Ими проведены успешные эксперименты по инициации холодного синтеза в условиях акустической кавитации. [7]. В частности в своих экспериментах они использовали в качестве кавитирующего агента смесь ацетона ( $CH_3COCH_3$ ) и бензола ( $C_6H_6$ ). Ядерный синтез обнаружен по нейтронному излучению. Однако в этих экспериментах не получено положительного выхода энергии.

### **1.2. Механизм НЭЯР в условиях акустической кавитации.**

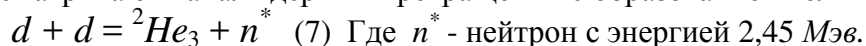
Из понимания физики холодного ядерного синтеза в условиях гидродинамической кавитации легко понять и физику явления сонолюминесценции и синтеза в условиях акустической кавитации. Отметим тот принципиально важный факт, что явление сонолюминесценции возникает в условиях кавитирующей воды. При излучении в жидкость ультразвуковых волн на частоте в полосе 20-ти кГц в воде наблюдается акустическая кавитация. [7, 18]. На основании изложенного выше видна та же картина создания благоприятных условий для реакций ядерного синтеза, что и в условиях гидродинамической кавитации.

## **2. Механизм НЭЯР в физических условиях дейтерированных металлов.**

Другой разновидностью физических условий, при которых наблюдаются низкотемпературные реакции ядерного синтеза, являются дейтерированные металлы. В результате экспериментов датчики показывают выход из дейтерированного металла гамма-излучения и нейтронов. [1, 4].

### **2.1. Эксперименты NASA с дейтерированным эрбием.**

Рассмотрим эксперименты исследовательской группы NASA (Dr. Bruce Steinetz, Dr. Vlad Pines, Dr. Amon Chait и другие) по d - d синтезу в дейтерированном эрбии. [4]. В экспериментальной установке с помощью ускорителя создавался пучок электронов энергией 3 Мэв, который направлялся на танталовую мишень. В момент удара электронов в мишень возникает поток гамма-излучения мощностью 2,9 Мэв. Поток гамма-излучения поступает в кюветы с насыщенным дейтерием эрбием. В результате датчики показывают выход из дейтерированного эрбия гамма-излучения и нейтронов. По мнению исследователей это свидетельствует о реакции синтеза d + d в кристаллической решётке дейтерированного эрбия. Авторы экспериментов рассматривают канал ядерных превращений с образованием гелия -3.



Особенностью этого канала является необходимость преодоления кулоновского барьера для проявления сильного взаимодействия и реакции синтеза (7). По представлениям американских исследователей преодолению кулоновского барьера в реакции (7) способствует экран из свободных электронов, образующийся перед дейтоном. Экран позволяет двум дейтонам сблизиться на расстояние, при котором проявляется туннельный эффект и реакция (7) становится возможной. Профессор Климов А.И. отметил на вебинаре, что роль экранировки у исследователей из NASA стоит на первом месте. При этом он отметил, что наличие достаточно большого по величине экрана установлено в эксперименте Касаги, но природа его пока непонятна. Эксперимент показал величину экрана не в электрон - вольты как по Дебаю, а тысячи электрон - вольт. Под влиянием такого экрана кулоновский барьер дейтона снижается

на 40 порядков. В результате этого туннельный эффект становится основным каналом  $d-d$  реакции. В статье [16], датированной 2011 годом, Цыгановым Э.Н. даётся ссылка на более ранние экспериментальные работы Раиолы и др. по измерению экранирующего потенциала в платине. “Экранирующий потенциал для взаимодействия атомов дейтерия в платине получен равным 675 эВ, что в 25 раз больше, чем для свободных атомов дейтерия. Это может означать, что в кристалле платины атомы дейтерия не испытывают кулоновского отталкивания до расстояний, в 25 раз меньших, чем размер самих атомов дейтерия. Физическая природа возрастания сечения синтеза элементов в том случае, когда данный процесс происходит в кристаллической решётке проводника, пока ещё не выяснена до конца. Очевидно, что это явление вызывается анизотропией электрических полей и избытком электронов проводимости”.

Отметим, что эрбий хорошо насыщается дейтерием. В дейтерированном эрбии дейтонов в 3-и раза больше чем ионов эрбия. В дейтерированном титане на один ион титана приходится два дейтона.

## **2.2. Флуктуационная природа электронного экрана.**

Выскажем предположение о природе электронной "шубы" вокруг дейтона и как следствие формирования электронного экрана, отталкиваясь от закономерностей статистической физики. Кристаллическая решётка металлов состоит из двух подсистем. Подсистемы ионных остовов и подсистемы свободных электронов проводимости. Электроны проводимости представляют в совокупности своеобразный газ. Электроны движутся хаотически, сталкиваются друг с другом и остовами кристаллической решётки, обмениваясь импульсами и энергиями. Но при этом проявляются специфические квантовые свойства системы и в результате взаимодействия электронов в подсистеме свободных электронов устанавливается распределение Ферми-Дирака.

Распределение Ферми-Дирака является энергетическим и определяет распределение совокупности свободных электронов по энергетическим ячейкам. Это распределение накладывает ограничения на процессы взаимодействия свободных электронов между собой и ионными остовами, требуя при обменных процессах соблюдения соотношений накладываемых квантовым распределением. Но сами энергетические ячейки по кристаллу распределены хаотически и постоянно меняются местами в процессе взаимодействия. К тому же энергетическое распределение по ячейкам не накладывает ни каких ограничений на пространственное движение свободных электронов в зоне проводимости. С точки зрения пространственного движения электронов, оно полностью хаотично и подобно кинематике идеального газа. Характерным свойством таких много частичных систем являются флуктуации плотности. Соответственно флуктуации плотности электронов можно оценить закономерностями классической статистики. У электронного газа проявляются характерные статистические свойства. В подсистеме свободных электронов как и в любой подобной системе возникают флуктуации плотности частиц, в нашем случае электронов. Хотя электроны всегда стремятся удалиться друг от друга, но законы кинетической теории приводят к флуктуациям концентрации электронов, возникают области разрежения и области повышенной концентрации. Эти области носят во времени и пространстве случайный характер, постоянно видоизменяясь. Особенность локальных областей повышенной концентрации состоит в том, что они формируются залетающими туда в первую очередь наиболее быстрыми частицами из окрестности, а медленные не успевают вылететь из локальной области. В случае электронов кинетическая энергия быстрых частиц производит работу против кулоновских сил отталкивания и их кинетическая энергия переходит в потенциальную энергию поля. Области повышенной концентрации свободных электронов и представляют собой электронную "шубу". Причём области повышенной концентрации могут создавать поля с очень большим

потенциалом, хотя вероятность таких событий снижается при возрастании величины потенциала. По всему кристаллу дейтерированного эрбия спорадически возникают на короткое время такие флуктуации плотности свободных электронов.

Рассмотрим кристаллическую структуру эрбия. Элемент эрбий - металл имеющий на верхней оболочке два электрона, которые в кристалле теряют связь с ионным остовом и заполняют энергетическую зону свободных электронов проводимости. Энергетической зоне свободных электронов проводимости соответствует пространственная зона, определённой конфигурации. Пространство гексагональной кристаллической структуры эрбия делится на две пространственные зоны. Зону ионных остовов и пространственную зону электронов проводимости, область заполненную электронным газом. Свободных электронов проводимости вдвое больше ионов решётки эрбия. При дейтерировании кристалла эрбия, атомы дейтерия располагаются между ионами эрбия в каналах пространственной зоны электронов проводимости. При этом единственный электрон дейтерия так же коллективизируется и заполняет зону проводимости, а атом дейтерия превращается в дейтон. При дейтерировании эрбия достигается плотность дейтонов втрое превосходящая плотность ионов эрбия. Отсюда на один ион эрбия в кристалле приходится три дейтона, закрепившихся в зоне проводимости и пять электронов проводимости. Три электрона от трёх атомов дейтерия и два электрона от атома эрбия. Примем для простоты количественных оценок не гексагональную, а кубическую решётку.

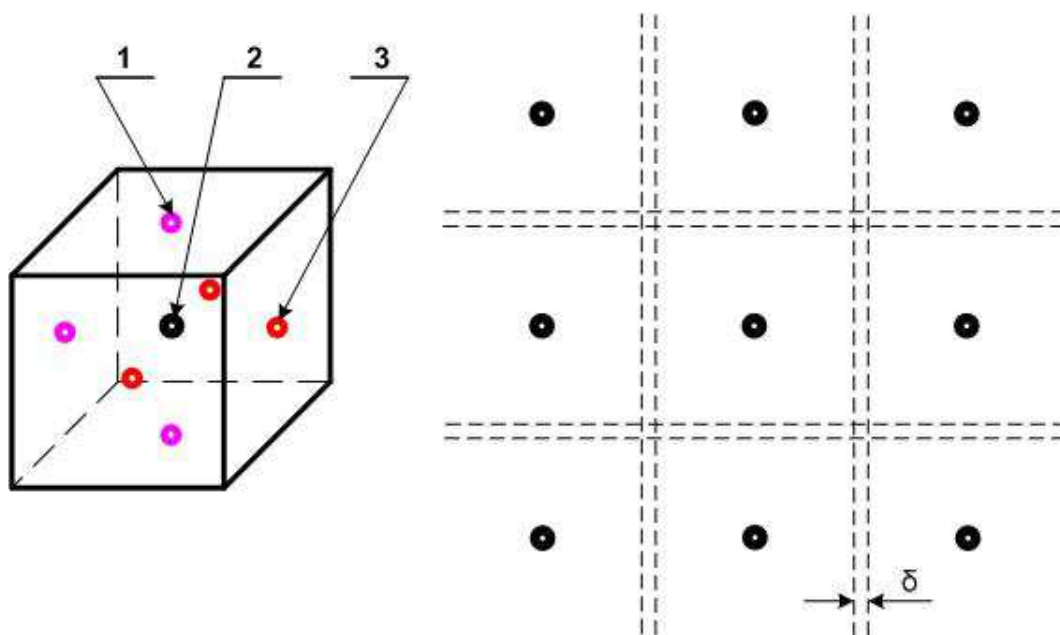


Рис. 2.

На рисунке - 2 слева изображена такая элементарная ячейка кристалла, возникающая вокруг иона эрбия. Цифрой - 2 обозначен ион эрбия, образовавший ячейку. Зоны электронов проводимости располагаются по граням кубической ячейки. В этих же зонах располагаются дейтоны. Три дейтона относятся к данному иону эрбия (на Рис. 2 они обозначены фиолетовым цветом и цифрой - 1), а три дейтона (обозначены красным цветом и цифрой - 2) относятся к ионам эрбия соседних ячеек. Зоны проводимости соседних ячеек эрбия для них общие. На каждый ион эрбия приходится 5-ть электронов проводимости. Отсюда, учитывая, что зоны проводимости по граням общие для соседних ячеек, получается в пяти гранях (элементарных ячейках зоны проводимости) находится по два электрона проводимости, а шестая грань пустая.

Или в четырёх гранях по два электрона, а в двух по одному. Примем для простоты оценок по два электрона во всех 6-ти гранях.

На рисунке - 2 справа изображена плоскость зоны проводимости, охватывающая 9-ть ионов эрбия. Пунктирными линиями обозначена толщина  $\delta$  щели зоны проводимости. Таким образом для численных оценок принимаем, что в элементарной ячейке зоны проводимости размером  $10^{-8}$  см. \*  $10^{-8}$  см. \*  $\delta$ , расположенной по грани элементарной ячейки кристалла находятся в среднем один дейтон и два электрона проводимости.  $10^{-8}$  см. - размер атома. Вокруг дейтона, закрепившегося в данной элементарной ячейке зоны проводимости, могут возникать флуктуации электронов проводимости из зоны проводимости соседних ячеек данной плоскости проводимости. В результате флуктуации формируется электронный экран возле данного дейтона.

Оценим исходя из модели идеального электронного газа потенциал электронного экрана через флуктуацию плотности электронов. Зная плотность электронного газа в области повышенной флуктуации, по закону Гаусса можно определить потенциал в локальной области флуктуации.

Величину флуктуации определим для зоны проводимости, охватывающей 9-ть ячеек решётки как изображено на Рис. 2 справа. Согласно статистике величина флуктуации (отклонение от среднего) определяется формулой  $\Delta N = N - \langle N \rangle$ ; [2, 17]. Где:  $\Delta N$  - величина флуктуации,  $N$  число частиц в искомом объёме в момент флуктуации,  $\langle N \rangle$  - среднее число частиц в искомом объёме.

Флуктуация частиц в искомом объёме определяется формулой  $\Delta N = \sqrt{\langle N \rangle}$ ; В 9-ти ячейках зоны проводимости  $\langle N \rangle = 18$  электронов. Отсюда  $\Delta N = \sqrt{18} = 4,24$ ; Следовательно в результате флуктуации электронов проводимости в 9-ти ячейках зоны проводимости окажется 22 электрона.

Но эти 22 электрона в результате искомой флуктуации распределяются в зоне 9-ти ячеек вовсе не равномерно. С различной вероятностью их плотность может меняться в локальных зонах (например, вокруг дейтона). Чем больше локальная плотность, тем меньше вероятность события. Для оценки величины локального поля примем, что пространственные размеры электронного экрана вокруг (возле) дейтона составляют шар диаметром 0,1 диаметра атома. То есть толщина щели зоны проводимости  $\delta = 10^{-11}$  м. Отметим, что размеры дейтона и электрона имеют порядок  $10^{-15}$  м. И пусть в этом локальном шаре вокруг дейтона в результате флуктуации оказалось 4-е электрона проводимости. Оценим величину потенциала на границе указанного шара электронного экрана:  $\phi = q / 4\pi\epsilon_0 \cdot r$ ; [5]. Где:  $\phi$  - потенциал поля в вольтах на границе шара радиусом  $r = 0,5 \cdot 10^{-11}$  м.;  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  а<sup>2</sup>·сек<sup>2</sup>/н·м<sup>2</sup> - диэлектрическая проницаемость вакуума;  $q$  - суммарный заряд 4-х электронов в кулонах.  $q = 4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$  кулон. Находим численное значение потенциала:

$$\phi = q / 4\pi\epsilon_0 \cdot r = \frac{4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 1151 \text{ вольт} \approx 4600 \text{ эв.}$$

Если в локальном шаре указанных размеров окажется в результате флуктуации 3-и электрона, то потенциал электронного экрана составит примерно 2590 эв, но вероятность его будет выше. Для 5-ти электронов величина потенциала составит примерно 7200 эв., но вероятность его будет ниже. Как видим численные оценки соответствуют эксперименту. [4, 16]. Конечно, автор отдаёт себе отчёт в том, что оценки очень грубые и не точные. Не учитывалась, например, относительная диэлектрическая проницаемость среды металла и анизотропия полей зоны проводимости. Но я ставил задачу показать принципиальную возможность возникновения флуктуационного экрана. И такая возможность просматривается. И



главное эта принципиальная возможность уже многократно подтверждена экспериментом.

Необходимо отметить, что флуктуации свободных электронов в зоне проводимости происходят и без дейтерирования. Однако в случае дейтерирования возрастает плотность электронного газа и соответственно возрастает величина потенциала электронного экрана и вероятность его возникновения. Преимущество эрбия по сравнению с другими металлами, например, титаном в том, что у него высокая плотность дейтерирования (три дейтона на один ион эрбия). Это приводит к высокой, относительно других металлов, плотности дейтонов и электронов проводимости.

Таким образом экспериментально выявлена основная причины, способствующая течению реакций синтеза в дейтерированных металлах. Это спорадическое возникновение по всей зоне проводимости кристалла флуктуаций электронов проводимости, создающих с определённой вероятностью вокруг (рядом) дейтона электронный экран, нейтрализующий кулоновский барьер дейтона на многие десятки порядков. Это создаёт благоприятные условия для лёгкого проникновения движущегося дейтона через кулоновский барьер покоящегося дейтона.

В ЖФНН №27(8) за 2020 год опубликована рукопись 1989 года [1], представленная Цветковым С.А., с описанием эксперимента по идентификации реакции низкотемпературного синтеза дейтерия в титане. По описаниям эксперимент был хорошо оснащён измерительной техникой и результаты эксперимента представляются убедительными. В связи с вышеизложенным выпишем интересный абзац из статьи. «Анализ проведённых результатов позволяет идентифицировать признаки реакции низкотемпературного синтеза изотопов водорода при неравновесных состояниях системы «металл-дейтерий (третий)». Эти ранние эксперименты с дейтерированным титаном так же объясняются флуктуационным экраном электронов проводимости.

### **3. Механизм НЭЯР в физических условиях наводороженных поверхностей.**

Третьей разновидностью физических условий, в которых проявляются НЭЯР, являются наводороженные поверхности. Здесь достигнуты наибольшие успехи. Так реакторы А.Г. Пархомова, А.И. Климова, Т. Мизуно уже могут служить прототипами для опытно-промышленных установок. [8]. Экспериментальные работы А. Росси, А.Г. Пархомова, А.И. Климова, Т. Мизуно, работавшими с наводороженным никелем, а также большой группы японских исследователей, работавших с наводороженными композитными наноплёнками на основе никеля и палладия, свидетельствуют о нейтронном характере НЭЯР в этих физических условиях. Это и кардинальное изменение изотопного и элементного состава в результате проведения экспериментов (Росси, Пархомов, Климов). Это регистрация нейтронного излучения (Климов). Это выделение в системе дополнительного тепла (Росси, Пархомов, Климов, Мизуно). Ещё одной особенностью ядерных реакций в условиях наводороженных поверхностей является очень низкий уровень излучений.

Но чтобы протекали нейтронные реакции необходимы свободные нейтроны в экспериментальных установках. Возникает вопрос откуда они берутся? Ядерная физика предлагает несколько каналов образования свободных нейтронов. Это:

- Образование нейтронов в результате воздействия на ядро жёсткого гамма излучения или удары по ядру вещественными частицами высоких энергий. В обоих случаях ядро раскалывается на части, в том числе и с выделением нейтронов.
- Образование свободных нейтронов в реакциях деления трансураниевых элементов.
- Образование свободных нейтронов в реакциях синтеза лёгких ядер.

В экспериментах выше указанных авторов этих процессов нет.

В ядерной физике обнаружен и изучен ещё один канал образования нейтронов. Это образование нейтрона в результате электронного захвата одним из протонов ядра. Установлено, что электронный захват протоном происходит при  $k$  - захвате, т.е. в многоуровневом атоме содержащем большое количество протонов. Но нейтрон в этом случае не свободный. Он остаётся в ядре и не вызывает каскад нейтронных превращений. При этом порядковый номер ядра уменьшается, а не увеличивается как в экспериментах на наводороженных поверхностях. А вот единственный из всех элементов вариант с электронным захватом в атоме водорода порождает свободный нейтрон и даёт ход нейтронным реакциям. Это принципиальный момент. Этот канал видимо и реализуется в физических условиях наводороженных поверхностей. Исходя из этого нами высказано предположение, что в условиях наводороженной поверхности под воздействием поверхностного заряда возникает электронный захват в атоме водорода, приводящий к образованию свободного нейтрона. Начинают работать закономерности нейтронной физики по трансмутации новых изотопов и элементов. Выделению в системе избыточного тепла вследствие бета-распада.

Большинство исследователей ядерных эффектов в физических условиях наводороженных поверхностей отмечают важность плотности поверхностного наводороживания и пороговый характер активации ядерных реакций от температуры (Росси, Фоккарди, Просвирнов, Пархомов, МакКубри и др.). Во всех успешных экспериментах создавались условия большой удельной поверхности на единицу массы наводороживаемого агента. Пархомов А.Г использовал мелкодисперсный порошок, японские исследователи нано плёнки, а А. Росси использовал наноструктуры с развитой поверхностью.

### ***3.1. Электронный захват в атоме водорода на наводороженной поверхности.***

Атом водорода и нейтрон роднит тот факт, что оба они в своём составе имеют один протон и один электрон. Отличие в том, что атом водорода формируется силами электромагнитного взаимодействия и имеет орбитальную структуру, а структура нейтрона формируется силами спин-спинового взаимодействия и взаимодействие происходит по оси спинов.

Электроны в атомных оболочках из-за взаимного отталкивания стремятся избежать сближения друг с другом. Так же движутся и свободные электроны в кристаллическом теле. По этой причине траектории движения электронов на своих энергетических уровнях имеют настолько запутанные, непредсказуемые траектории, что физики-атомщики предпочитают говорить о вероятности нахождения электрона в той или иной области и отказываются от понятия траектории. Даже единственный электрон атома водорода под воздействием соседних атомов и других случайных обстоятельств имеет столь же запутанную траекторию. Именно из атомной физики (физики электронных оболочек) и распространилось на всю квантовую физику представление об отсутствии траектории движения у элементарных частиц. По этой причине физики говорят о квантовом скачке в том числе и в процессе электронного захвата. [3].

Но хаотичность движения электронов может частично меняться под воздействием внешних факторов. Например, хаотически движущиеся свободные электроны в кристаллическом электропроводном теле, при наложении на них внешнего электрического поля, обретают определённую степень упорядоченности, совместное движение. Возникает электрический ток. Так и в условиях контакта с поверхностью на движение орбитального электрона накладывается ограничение от отрицательного поля поверхностного заряда. Орбитальное движение электрона на своём энергетическом уровне становится более упорядоченным. Микро поверхность охватываемая орбитой электрона практически идеально гладкая.

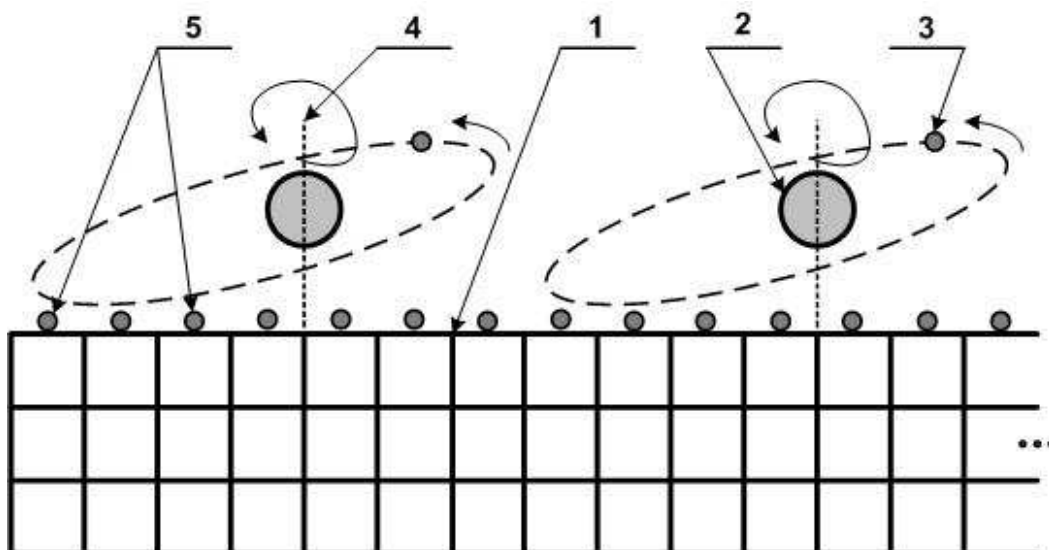


Рис. 3. Наводороженная поверхность.

Рассмотрим физическую ситуацию изображённую на Рис. 3. Здесь изображена наводороженная поверхность nano плёнки никеля. Цифрами на рисунке обозначены: 1 - поверхность никеля; 2 - атом (протон) водорода в силу химических связей закрепившийся на поверхности; 3 - электрон, совершающий орбитальное движение по разрешённому энергетическому уровню в закрепившемся на поверхности никеля атоме водорода. На рисунке отмечено спиновое движение (вращение) протона вокруг спиновой оси - 4; 5 - электроны формирующие поверхностный отрицательный заряд на nano плёнке никеля.

Поверхностный заряд никеля не позволяет орбитальному электрону атома водорода двигаться в плоскостях перпендикулярных поверхности. Орбитальный электрон может двигаться только в плоскостях параллельных поверхности и совершать колебательные движения плоскости орбиты возле срединного значения.

А теперь выясним для чего необходим разогрев активной зоны реактора Росси до относительно высоких температур (у Пархомова А.Г. до  $>1200^{\circ}\text{C}$ ) что бы запустить реакцию. Но предварительно выскажем главную по мнению автора идею лежащую в основе эффекта Росси. В условиях наводороженной поверхности механизм перехода связанной системы протон - электрон из состояния атома в состояние нейтрона, механизм электронного захвата, проявляется интенсивно. Это происходит по причине захвата орбитального электрона протоном, когда орбитальное движение становится относительно упорядоченным. Связанное состояние нейтрона осуществляется по оси спина. Если нет предварительного подогрева активной зоны реактора Росси, то орбитальный электрон практически не попадает под действие сил по оси спинов протона и электрона. Ось протона ориентирована перпендикулярно поверхности, а орбитальный электрон движется в плоскости параллельной плёнке и их оси параллельны и разнесены в пространстве. А вот при нагревании, связанные с поверхностью атомы водорода (протоны) начинают совершать хаотические колебательные движения вместе с колебаниями ионов поверхности никеля. Спиновая ось протона так же совершает колебательное движение. Положение орбиты электрона практически не реагирует на температуру, так как во-первых, подчиняется действию поверхностного заряда, а во-вторых, даже свободные электроны в кристаллах очень слабо реагируют на температуру, подчиняясь статистике Ферми-Дирака. В такой ситуации (при подогреве) орбитальный электрон начинает часто сближаться с

протоном по спиновой оси, что в конечном итоге приводит к захвату его протоном. Процесс заканчивается новым связанным состоянием системы протон - электрон в форме нейтрона. Образовавшийся нейтрон будет холодным, так как протон, являющийся главным носителем кинетической энергии нейтрона, был в связанном состоянии с поверхностью и обладал ничтожной кинетической энергией. Это в реакциях ядерного деления выделяющийся нейтрон обладает энергией орбитального движения внутри ядра и соответственно является быстрым. Реакции с холодными нейтронами не вызывают сильного возбуждения ядра, что и приводит к слабым по интенсивности излучениям.

После преобразования атома водорода в нейтрон, последний теряет электромагнитную связь с поверхностью никеля и получает возможность вступать во взаимодействие с окружающими ядрами. Осуществляются реакции трансмутации изотопов и элементов. Это давно изученные ядерной физикой реакции и превращения.

Изменение нуклонного состава вещества в экспериментах Пархомова А.Г., приводящее к появлению новых элементов с большим атомным номером [11, 12], возможно при течении НЭЯР (LENR) только если в ядре происходит распад нейтрона и следовательно в ядре появляется дополнительный протон. Этот процесс распада так же сопровождается выделением энергии.

Самым важным для проявления НЭЯР является наводороженность поверхности, запускающая процесс образования холодных нейтронов. Наводороженные поверхностные структуры можно разумеется изготавливать из различных материалов и тем самым получать необходимые НЭЯР требуемой технологической задачи. НЭЯР производят не только тепловую энергию, но и могут служить технологической основой ядерной химии. О такой возможности упоминается в докладе Пархомова А.Г. и у других исследователей. Важнейшим направлением интенсификации НЭЯР в данных условиях является увеличение удельной поверхности на единицу массы наводороженного агента.

Добавлю что автор данной статьи говорит не о нейтроноподобных образованиях, а об образовании именно нейтронов. При наличии процесса преобразования атома водорода в нейтрон проблема кулоновского барьера НЭЯР снимается.

## **Заключение**

Анализ многочисленных экспериментальных фактов по новым явлениям ядерной физики позволяет утверждать:

- 1). НЭЯР наблюдаются в 3-х разновидностях специфических условий. Это кавитирующие жидкости, дейтерированные металлы, наводороженные поверхности.
- 2). НЭЯР в первых двух - это реакции синтеза. На наводороженных поверхностях - это нейтронные реакции.
- 3). НЭЯР во всех 3-х разновидностях специфических физических условий - это ядерные реакции с обязательным участием водорода.
- 4). Интенсификация НЭЯР исходя их механизмов их проявления и учёт закономерностей прикладной теплофизики - это путь к практическому внедрению.

## **Литература**

1. Буньков В.В., Бондаренко Н.Б., Власов В.И. и др. Экспериментальная идентификация реакции низкотемпературного синтеза в системе Ti-D. // ЖФНН №27(8), стр. 2-4, 2020.
2. Васильев А.М. Введение в статистическую физику.-М.:“Высшая школа”, 1980, 272 с.
3. Вихман Э. Берклиевский курс физики. Том 4. Квантовая физика. – М.: “Наука”, 1977, 416 с.

4. Зателепин В.Н. Программа NASA “Перспективные методы преобразования энергии. Ядерный синтез в дейтерированных металлах”. Доклад на вебинаре Климова-Зателепина 25.11. 2020г.
5. Зильберман Г.Е. Электричество и магнетизм. – М.: “Наука”, 1970, 384с.
6. Вонсовский С.В., Кацнельсон М.И. Квантовая физика твёрдого тела. – М.: “Наука”, 1983, 336с.
7. Колтовой Н.А. Книга - 12-ч2-03- Трансмутация хим. элементов. Книга - 12-ч2-04- Регистрация излучения при ХЯС. Режим доступа: <https://koltovoi.nethouse.ru>
8. Косарев А.В. Теплового коэффициент LENR-реактора. Сайт: ХТЯ и ШМ.  
Режим доступа: <http://lenr.seplm.ru>. Дата публикации 13.02.2021г.
9. Морс Ф. Теплофизика. – М.: “Наука”, 1968, 416 с.
10. Ноздрёв В.Ф., Сенкевич А.А. Курс статистической физики.- М.: “Высшая школа”, 1969, 288 с.
11. Пархомов А.Г. Холодная трансмутация ядер: странные результаты и попытки их объяснения. // ЖФНН №1, 2013. С. 71 - 76.
12. Пархомов А.Г., Алабин К.А., Андреев С.Н., Забавин С.Н., Соболев А.Г., Тимербулатов Т.Р. Анализ изменений изотропного и элементного состава в высокотемпературных никель-водородных реакторах. // Доклад на 24-й Российской конференции по холодной трансмутации ядер и шаровой молнии РКХТЯ и ШМ-24 (17-24.09.2017, Сочи-Дагомыс, "Олимпийский").  
Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=DAnAp4m5LRI>
13. Просвирнов А.А. Эволюция никель - водородных теплогенераторов.  
Режим доступа: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=7403>
14. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. Изд-во Химия, Ленинградское отделение, 1978, 392 с.
15. Урпин К.В. О возможности создания «сверхединичных» теплогенераторов.  
Режим доступа: <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0023/001a/00231090.htm>
16. Цыганов Э.Н. Холодный ядерный синтез. // Ядерная физика, 2012, том 75, №2, с. 174 - 180.
17. Шиллинг Г. Статистическая физика в примерах. – М.: “Мир”, 1976, 432с.
18. Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983, 945 с.