

© Серга Э.В.  
Serga E.

## ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР НА ДЕЙТЕРИИ

### NUCLEAR REACTOR ON DEUTERIUM

**Аннотация.** Предлагается концепция реактора, в котором в качестве ядерного топлива используется дейтерий. Теоретической основой концепции является новая теория дейтрона, согласно которой дейтрон состоит из двух спаренных протонов (ядерной пары) и вращающегося относительно пары электрона. Способ получения энергии состоит в воздействии на ядра дейтерия потоком протонов. Вследствие кулоновского взаимодействия налетающих протонов с ядрами дейтерия происходит их возбуждение, вызывающее распад ядерных пар и высвобождение внутренней потенциальной энергии ядер.

**Annotation.** The concept of a reactor in which as nuclear fuel it is used deuterium is offered. A theoretical basis of the concept is the new theory deuteron according to which deuteron consists of two coupled protons (nuclear pair) and rotating concerning pair electron. The way of reception of energy consists in influence on kernels deuterium a stream of protons. Owing to coulomb interactions of flying protons with kernels deuterium there is their excitation causing disintegration of nuclear pairs and liberation of internal potential energy of kernels.

**Ключевые слова.** Реактор, ускоритель, дейтерий, дейтрон, ядерная пара, ядерный электрон, энергия, дефект массы, энергия связи, баланс энергии.

**Key words.** A reactor, the accelerator, deuterium, deuteron, nuclear pair, nuclear electron, energy, defect of weight, energy of communication, balance of energy.

#### Введение

Многие проблемы, возникшие на заре освоения ядерной энергии, не решены до настоящего времени. К ним относятся: растущее количество радиоактивных отходов, низкая эффективность использования природного урана как ядерного топлива, аварийность. В связи с этим ведутся работы по альтернативным вариантам ядерных реакторов нового типа, включая термоядерный реактор и реакторы на быстрых нейтронах. Однако многолетние попытки подтвердить возможность реализации ожидаемых результатов по этим направлениям пока экспериментально не подтверждены.

Трудности решения проблем ядерной энергетики во многом связаны с отставанием теоретической ядерной физики от потребностей практики. Учёные в общих чертах имеют представления об устройстве атомного ядра и происходящих в нём процессах, сопровождающихся выделением энергии. Об этом говорит множество теоретических моделей. Их общим недостатком является большое количество допущений, не подтвержденных экспериментально. В связи с этим трудности реализации проектов в части реакторов нового поколения связаны с тем, что в

их теоретическом обосновании во многом используются предполагаемые, а не достоверные знания. Поэтому необходим критический анализ ряда положений ядерной физики, лежащих в основе альтернативных концепций реакторов нового поколения.

В настоящей работе предлагается концепция создания ядерного реактора на основе использования дейтерия в качестве ядерного топлива. Многие специалисты полагают, что в будущем дейтерий станет основным ядерным топливом. Для решения этой задачи необходимо понимание строения дейтрона и механизма выделения энергии в ядерных реакциях с участием дейтронов. Однако существующие в ядерной физике устаревшие представления о строении ядра и, в частности, дейтрона как простейшего составного ядра, ограничивают возможности реализации идеи использования дейтерия в качестве ядерного топлива.

В работе показано, что создание реактора, в котором в качестве ядерного топлива будет использован дейтерий, – реальная перспектива. Теоретической основой предлагаемой концепции является новая теория строения дейтрона. Согласно этой теории, дейтрон состоит не из протона и нейтрона, как принято считать, а из ядерной

---

Серга Эдуард Васильевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, АНО «СИП РИА» тел. +7 (495)515-26-93.

Serga Edward – Cand.Tech.Sci., the senior scientific employee, ANO "SIP RIA", ph. +7 (495) 515 26 93.

пары протон-протон (обозначение  $\langle pp \rangle$ ) и электрона, вращающегося относительно пары. Таким образом, дейтрон можно представить как систему, структуру которой можно обозначить так:  $d \leftarrow \langle pp \rangle \curvearrowright e$ . Символ « $\leftarrow$ » обозначает тождественность, а символ « $\curvearrowright$ » – объединение.

В основу идеи реактора на дейтерии положено воздействие на ядра потоком заряженных частиц (протонов) с целью возбуждения ядер и нарушения динамического равновесия системы взаимодействующих частиц. При этом должен произойти распад ядерной пары на два протона с высвобождением её внутренней потенциальной энергии. Этот процесс подобен делению ядра урана на два осколка. Общим для этих процессов является высвобождение внутренней запасённой в ядре потенциальной энергии, которая превращается в кинетическую энергию продуктов реакции и затем может быть использована для получения электроэнергии.

### Критический анализ некоторых положений ядерной физики

#### Физический смысл соотношения Эйнштейна $E=mc^2$

Связь между массой и энергией впервые была сформулирована Эйнштейном в 1905 г.: «Масса тела есть мера содержащейся в нём энергии: если энергия изменится на величину  $L$ , то масса тела изменится на величину  $L/c^2$ , где  $c$  – скорость света» [1]. В последующих работах Эйнштейна зависимость между массой и энергией приобрела вид известной формулы  $E=mc^2$ , которую принято считать как зависимость между изменением массы и выделяемой энергией в ядерных реакциях. Действительно, изменение массы в ядерных реакциях, эквивалентное выделяемой энергии, – это экспериментальный факт. Однако это соотношение применительно к связи между выделяемой энергией и изменением массы в ядерных реакциях имеет ошибочное толкование. Как будет показано, это изменение массы продуктов ядерной реакции не связано с превращением ядерного вещества в энергию, а связано с превращением потенциальной энергии ядра в кинетическую энергию продуктов реакции и в энергию излучения.

Полная энергия ядра как квантово-механической системы включает в себя кинетическую и потенциальную энергии. Потенциальная энергия – это энергия поля, обусловленная взаимодействием заряженных частиц ядра. Этой энергии отвечает масса, которая не локализована на частицах, а относится к системе взаимодействующих частиц в целом. Она является полевой компонентой массы системы. Согласно современным представлениям, кинетическую энергию принято считать положительной, а потенциальную энергию – отрицательной. Однако это сле-

дует рассматривать только как принятое физиками соглашение, а не как закон природы. Потенциальная энергия может быть положительной или отрицательной в зависимости от знаков зарядов взаимодействующих частиц. Соответственно полевая компонента массы может быть как положительной, так и отрицательной. Это формальное следствие математической записи выражения для потенциальной энергии  $U$ . Для двух взаимодействующих заряженных частиц она определяется так:

$$U = Z_1 Z_2 e^2 / \varepsilon R, \quad (1)$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  – величины зарядов;

$e$  – элементарный электрический заряд;

$\varepsilon = 4\pi\varepsilon_0$ ;

$\varepsilon_0$  – электрическая постоянная;

$R$  – расстояние между зарядами.

Как следует из выражения (1), потенциальная энергия  $U$  не зависит от массы частиц, но сама при этом обладает массой, которая является полевой компонентой массы. Положительному значению  $U$  соответствует положительное значение полевой компоненты массы  $\Delta m$ , а отрицательному значению – соответственно отрицательное значение  $\Delta m$ . Величина  $\Delta m$  определяется так:

$$\Delta m = U/c^2. \quad (2)$$

Таким образом, масса системы взаимодействующих частиц включает в себя суммарную массу составляющих систему частиц и полевую компоненту массы. Вопрос о физической сущности полевой компоненты массы является принципиально важным. В известном соотношении Эйнштейна  $E=mc^2$  потенциальная энергия не присутствует, следовательно, не учитывается полевая компонента массы системы, которая в ядерных реакциях изменяется. Система, состоящая из взаимодействующих частиц, может иметь различные значения массы в зависимости от расстояния между частицами именно из-за отличающихся значений полевой компоненты. В этом случае можно говорить о различных энергетических состояниях одной и той же системы.

#### Об изменении массы и выделяемой энергии в ядерных реакциях деления и синтеза

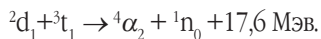
Рассмотрим две характерные для ядерной энергетики реакции: деления ядра изотопа урана U-235 и синтеза ядер дейтерия и трития.

Согласно данным измерений баланса энергии при делении ядра изотопа урана U-235, основная доля выделяемой энергии (~90 %) приходится на кулоновское ускорение образовавшихся осколков [2]. Как следует из формулы (1), оно зависит от величин зарядов осколков и расстояния между ними и не связано с изменением массы ядерного вещества. Здесь происходит превращение внутрен-

ней потенциальной энергии ядра в кинетическую энергию разлетающихся осколков, то есть превращение одного вида энергии в другой вид энергии, а не ядерного вещества в энергию.

Изменение массы продуктов реакции связано с перегруппировкой нуклонов и изменением массы полевой компоненты, которое ошибочно приписывают превращению ядерного вещества в энергию. Таким образом, данные измерений баланса энергии при делении ядра урана U-235 опровергают положение о превращении ядерного вещества в энергию. При определении основных характеристик системы взаимодействующих частиц, включая массу, радиус, энергию связи, необходимо учитывать потенциальную энергию и эквивалентную ей полевую компоненту массы.

Рассмотрим связь между изменением массы и выделяемой энергией в реакции синтеза лёгких ядер. Идея получения энергии в результате слияния ядер дейтерия d и трития t положена в основу концепции термоядерного реактора. В результате этой реакции образуется гелион  $\alpha$  (ядро гелия) и нейтрон n. Эта реакция имеет такой вид:



Разница масс продуктов реакции эквивалентна энергии 17,6 МэВ. Как видим, в реакции количество нуклонов остаётся неизменным: всего 5 нуклонов, из них 2 протона и 3 нейтрона. Значения их масс приводятся в перечне фундаментальных величин с точностью до 9 знаков после запятой. Следовательно, суммарная масса нуклонов остаётся неизменной. Это означает, что ядерное вещество не превращается в энергию, а изменение массы продуктов реакции имеет другую причину, а именно связано с перегруппировкой нуклонов и изменением полевой компоненты массы.

**Об исходных данных, которые используются в расчётах энергетического баланса ядерных реакций**

Одной из главных характеристик атомных ядер считается энергия связи  $E_{\text{св}}$ , которая, согласно современным представлениям, обусловлена дефектом массы  $\Delta m$ . Энергию связи определяют в соответствии с соотношением Эйнштейна  $E=mc^2$ . В справочных таблицах приводится значение дефекта массы  $\Delta m$  как разницы между массой ядра  $m$  и массовым числом  $A$ :  $\Delta m=m-A$ . Величина  $m$  определяется в атомных единицах массы (а.е.м.), а величина  $A$  является безразмерной и представляет собой общее количество нуклонов (протонов и нейтронов). Каждая из этих частиц имеет массу, большую 1, то есть величина  $A$  заведомо меньше суммарной массы нуклонов ядра.

Величина  $\Delta m$  является отрицательной, а энер-

гию связи, определяемую по формуле Эйнштейна, принято считать положительной. Но если бы масса превращалась в энергию, то положительному значению энергии должно соответствовать положительное значение величины  $\Delta m$ , то есть не дефект массы, а её избыток. Отрицательное значение величины  $\Delta m$  обусловлено отрицательным значением полевой компоненты массы ядра, которое эквивалентно отрицательной потенциальной энергии (кулоновскому отталкиванию протонов). Но, как уже отмечалось, потенциальная энергия в формуле Эйнштейна не учитывается.

Таким образом, имеющиеся в справочных материалах данные об энергии связи ядра, определяемой с использованием формулы Эйнштейна как эквивалент дефекта массы с обратным знаком, не отражают физическую реальность.

**О нейтроне**

Современная физика рассматривает нейтрон и протон как одну и ту же элементарную частицу, которая может находиться в различных состояниях, отличающихся электрическим зарядом. Однако нейтрон по своим характеристикам не соответствует понятию элементарной частицы. К ним относятся: нестабильность в свободном состоянии; наличие магнитного момента при нулевом электрическом заряде; превышение массы нейтрона суммарной массы протона и электрона, на которые он распадается.

В теории, претендующей на роль правильной теории, не должны быть противоречивыми характеристики изучаемого объекта. Противоречие состоит в том, что нейтрон как частицу, претерпевающую распад на две элементарные частицы, по определению нельзя считать элементарной. Явно противоречивыми характеристиками нейтрона как элементарной частицы являются также нулевой электрический заряд при не равном нулю магнитном моменте.

**О дейтроне и ядерных силах**

Согласно современным представлениям, устойчивость ядра обеспечивают ядерные силы, которые не дают протонам разлететься под действием кулоновских сил отталкивания. Однако при рассмотрении дейтрона как простейшего составного ядра возникает неопределённость. Принято считать, что дейтрон состоит из протона и нейтрона. Но нейтрон не имеет заряда, и между ним и протоном нет кулоновского взаимодействия. Если бы дейтрон состоял из протона и нейтрона, как принято считать в современной теории ядра, то непонятна причина появления у дейтрона дефекта массы. Дефект массы не может быть полевой добавкой к массе системы протон-нейтрон, по-

скольку в ней отсутствует поле, которое образуется в ядрах между заряженными частицами. Ядерная физика не дает также ответа на вопрос, почему не существует ядра, состоящего из двух протонов. В таком ядре кулоновское отталкивание протонов было бы компенсировано ядерными силами. Получается, что ядро, в котором ядерные силы необходимы, не существует, но вместе с тем существует ядро, в котором ядерные силы не нужны.

В связи с этим необходимо рассмотреть другую комбинацию элементарных частиц, образующих систему с характеристиками дейтрона, но без противоречий, присущих дейтрону как системе, состоящей из протона и нейтрона. Такой комбинацией может быть система, состоящая из двух протонов и электрона. Её обоснование будет рассмотрено в дальнейшем.

### **О составе атомного ядра**

В различных теоретических моделях принято считать, что ядра состоят из протонов и нейтронов. При этом изотопы химических элементов отличаются только количеством нейтронов. Однако такое представление о составе ядра является неполным и приближённым. Более полную и точную информацию о составе ядра можно получить на основе анализа радиоактивного излучения ядер. При радиоактивном распаде испускается излучение трёх видов:

- $\alpha$ -излучение ( $\alpha$ -распад). Оно представляет собой гелионы (ядра гелия, альфа-частицы). С испусканием гелионов распадаются только ядра с большим массовым числом  $A$  ( $A > 200$ );
- $\beta$ -излучение ( $\beta$ -распад). Оно представляет собой электроны, обладающие скоростью от  $10^8$  м/с до  $0,999$  с;
- $\gamma$ -излучение. Это электромагнитное излучение с частотой порядка  $10^{20}$  Гц.

*$\alpha$ -излучение.* В ядро легко проникают нейтроны как незаряженные частицы и могут там накапливаться до определённого предела. А из тяжёлых ядер вылетают гелионы. Это означает, что вылетающие гелионы были в составе ядра до того, как покинули его. Таким образом, существующее представление о том, что ядра состоят из протонов и нейтронов, является ошибочным. Поступающие в ядро нейтроны «перерабатываются» в другие частицы и в конечном счёте в гелионы. Гелионы не превращаются в какие-либо другие частицы и в случае превышения определённого предела покидают ядро.

*$\beta$ -излучение* испускают ядра с относительным избытком нейтронов. Принято считать, что электрон возникает в результате превращения нейтрона в протон и электрон. Однако следует исходить из того, что конечным продуктом переработки нейтронов являются гелионы, то есть должны преобладать реакции внутриядерного синтеза

нейтронов и образуемых из них частиц, а не распада. Тогда возникновение электрона возможно в результате образования дейтрона из двух нейтронов:  $2n \rightarrow d + e$ . В дальнейшем происходят реакции превращения нейтронов и других ядерных частиц, завершающиеся образованием гелионов:  $d + n \rightarrow t$ ,  $2n \rightarrow d + e$ ,  $d + t \rightarrow \alpha + n$ .

*$\gamma$ -излучение.* Ядро как квантово-механическая система стремится к переходу в состояние с меньшей внутренней энергией (релаксация). Указанные реакции внутриядерного синтеза сопровождаются переходом ядра в состояние с меньшей энергией и выделением энергии в виде  $\gamma$ -квантов.

Таким образом, на основании анализа радиоактивных излучений можно утверждать, что атомные ядра состоят не из протонов и нейтронов, как принято считать, а из ядерных частиц, в которых протоны и нейтроны сгруппированы в упорядоченные структуры. Это ядра изотопов водорода и гелия, а также нейтрон.

### **Новая теория нейтрона и дейтрона**

В основе концепции создания реактора на дейтериевом топливе лежит новая теория нейтрона и дейтрона. Согласно этой теории, нейтрон и атом водорода являются одной системой в различных энергетических состояниях. Дейтрон подобен нейтрону и атому водорода с тем отличием, что в центре вместо единичного протона находится пара из двух протонов. Ядерная физика допускает существование спаренных протонов, подобно существованию спаренных электронов, известных в теории сверхпроводимости. Система, состоящая из двух одинаковых элементарных частиц, может быть устойчивой только при наличии внешнего электромагнитного поля. Согласно предлагаемой теории, у дейтрона это поле образуется электроном, вращающимся относительно пары из двух протонов, которая получила название ядерной пары.

### **Основные характеристики нейтрона**

Новая теория нейтрона более подробно изложена в статье [3]. Для обоснования основных характеристик нейтрона как квантово-механической системы  $\langle p^+e^- \rangle$  использовалась боровская теория атома водорода. Было показано, что нейтрон и атом водорода – это одна система в различных энергетических состояниях, характеризующихся квантовыми числами  $n$ . Каждому  $n$  соответствует определённый радиус и скорость электрона на орбите. Для атома водорода  $n=1,2,3...$  Радиус нейтрона меньше минимального радиуса атома водорода. Соответственно для нейтрона  $n$  должно быть целым числом и меньше 1. Таким образом, получаем для нейтрона  $n=0$ . Орбитальная скорость электрона на орбите  $v_0$  при  $n=0$  получается бесконечно



большой. Так как законы квантования не допускают бесконечно больших величин, то скорость  $v_0$  была принята равной предельно допустимой скорости, то есть скорости света  $c$ . С использованием боровской теории атома водорода был получен радиус нейтрона (радиус орбиты электрона), определяемый соотношением

$$r_0 = \alpha \lambda_e \quad (3)$$

где  $\alpha = (e^2/\epsilon)/\hbar c$  – постоянная тонкой структуры;

$\lambda_e = \hbar/m_e c$  – комптоновская длина волны электрона,

$\hbar = h/2\pi$ ,

$h$  – постоянная Планка.

Важно отметить следующее. Величина радиуса нейтрона в свободном состоянии  $r_0$ , определяемая соотношением (3), равна классическому радиусу электрона  $r_e = 2,817 \cdot 10^{-15}$  м, а величина боровского радиуса атома водорода  $r_1 = 5,292 \cdot 10^{-11}$  м ( $n = 1$ ) получается с использованием тех же постоянных  $\lambda_e$  и  $\alpha$

$$r_1 = \alpha^{-1} \lambda_e \quad (4)$$

Таким образом, радиус нейтрона в свободном состоянии  $r_0$  ( $n=0$ ) и боровский радиус атома водорода  $r_1$  ( $n=1$ ) определяются одними и теми же фундаментальными постоянными: комптоновской длиной волны электрона  $\lambda_e$  и постоянной тонкой структуры  $\alpha$ . Их количественное отношение определяется как  $r_0/r_1 = \alpha^2$ . Это означает, что нейтрон и атом водорода можно рассматривать как одну и ту же квантовую систему в различных энергетических состояниях.

Масса нейтрона как системы  $\langle p^+e^- \rangle$  включает в себя суммарную массу протона, электрона и полевую добавку  $\Delta m_n$ , обусловленную энергией связи протона и электрона  $\Delta E_n$

$$m_n = (m_p + m_e) + \Delta m_n, \quad \Delta m_n = \Delta E_n/c^2. \quad (5)$$

Согласно теореме вириала, величина энергии связи протона и электрона  $\Delta E_n$  как полная энергия системы равна половине её потенциальной энергии. Она определяется из выражения

$$\Delta E_n = 1/2(e^2/\epsilon r_0). \quad (6)$$

После подстановки в (6) соотношений для  $r_0$ ,  $\alpha$  и  $\lambda_e$  и получаем энергию связи нейтрона

$$\Delta E_n = 1 m_e c^2 / 2 = 0,256 \text{ МэВ.}$$

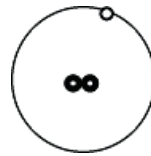
Нейтроны в свободном состоянии распадаются за время  $\sim 16$  мин, а в составе атомных ядер сохраняют стабильность. В ядрах атомов происходит поляризация нейтронов. Поэтому характеристики нейтрона в свободном состоянии и в составе атомного ядра отличаются, что соответствует различным энергетическим состояниям нейтрона как системы  $\langle p^+e^- \rangle$ .

#### Основные характеристики дейтрона

Возможность существования спаренных прото-

нов  $\langle p^+p^+ \rangle$  допускается по аналогии со спаренными электронами  $\langle e^-e^- \rangle$ , известными в теории сверхпроводимости. Пары из двух одинаковых элементарных частиц не могут быть устойчивыми в свободном состоянии. Для сохранения их устойчивости необходимо внешнее электромагнитное поле, которое, даже при наличии слабого притяжения между частицами, препятствует распаду пары под действием кулоновского отталкивания. Устойчивость спаренных электронов обеспечивается электромагнитным полем, создаваемым ионами кристаллической решётки металлов. В случае спаренных протонов такое поле может быть образовано вращающимся относительно пары электроном.

Отсюда следует, что дейтрон можно рассматривать как систему, подобную нейтрону в свободном состоянии с тем отличием, что в центре вместо единичного протона находится 2 спаренных протона (ядерная пара). Это система  $\langle 2p^+e^- \rangle$  с массовым числом  $A=2$  и зарядом  $Z=1$ , то есть с теми же характеристиками, что дейтрон, состоящий из протона и нейтрона, как принято считать. При определенной конфигурации система  $\langle 2p^+e^- \rangle$  может находиться в состоянии динамического равновесия. Внешнее электромагнитное поле, образуемое вращающимся электроном, не даёт двум протонам разойтись под действием кулоновских сил отталкивания. Это означает, что в рассматриваемой модели электроны входят в состав атомных ядер. Их будем называть ядерными электронами. Структура дейтрона как системы  $\langle 2p^+e^- \rangle$  дана на рисунке.



В центре ядерная пара  $\langle p^+p^+ \rangle$  (спаренные протоны); на орбите ядерный электрон.

#### Структура дейтрона

Подобно нейтрону дейтрон может быть в свободном состоянии и в составе атомных ядер. В составе атомных ядер происходит поляризация дейтронов, подобно поляризации нейтронов.

#### Основные характеристики дейтрона в свободном состоянии

В свободном состоянии радиус дейтрона  $r_{d0}$  равен удвоенному радиусу нейтрона  $r_0$

$$r_{d0} = 2r_0 = 5,634 \cdot 10^{-15} \text{ м.}$$

#### Энергия связи дейтрона

Используя соотношение (6), получаем энергию связи дейтрона в свободном состоянии:  $\Delta E_d = 0,256$  МэВ. Она равна энергии связи нейтрона  $\Delta E_n$ . В ядерной физике энергия связи дейтрона определяется из соотношения

Эйнштейна как эквивалент дефекта массы с обратным знаком. Однако, как было показано, такое определение энергии связи не отражает физическую реальность.

*Основные характеристики дейтрона в составе атомных ядер*

Предлагаемая теория устанавливает связь массы и радиуса дейтрона, определённых по данным измерений. Масса дейтрона  $m_d = 2,0141$  а.е.м., радиус дейтрона  $R_d = 1,96 \cdot 10^{-15}$  м.

Разница между массой дейтрона и суммарной массой его компонентов составляет

$$\Delta m_d = m_d - (2m_p + m_e) = -0,0010 \text{ а.е.м.}$$

Величина  $\Delta m_d$  состоит из двух слагаемых

$$\Delta m_d = \Delta m_{pp} + \Delta m_{de} \quad (7)$$

Слагаемое  $\Delta m_{pp}$  обусловлено отрицательной потенциальной энергией ядерной пары. Слагаемое  $\Delta m_{de}$  обусловлено положительной энергией связи ядерной пары и ядерного электрона. Значение  $\Delta m_{de}$  можно определить из соотношения

$$\Delta m_{de} = e^2 / \varepsilon c^2 R_d \quad (8)$$

После подстановки в (8) значения радиуса  $R_d$  получаем

$$\Delta m_{de} = 0,804 \cdot 10^{-3} \text{ а.е.м.}$$

Теперь из выражения (5) определяем  $\Delta m_{pp}$ :

$$\Delta m_{pp} = \Delta m_d - \Delta m_{de}$$

Значение этой величины:  $\Delta m_{pp} = -1,806 \cdot 10^{-3}$  а.е.м.

Потенциальная энергия  $U_{pp}$  кулоновского взаимодействия ядерной пары  $\langle p^+p^+ \rangle$

$$U_{pp} = e^2 / \varepsilon l_{pp} \quad (9)$$

где  $l_{pp}$  – расстояние между электрическими полюсами ядерной пары.

Она эквивалентна полевой компоненте массы  $\Delta m_{pp}$ . С использованием значения  $\Delta m_{pp}$  определяем расстояние  $l_{pp}$  между электрическими полюсами ядерной пары  $\langle p^+p^+ \rangle$ :

$$l_{pp} = 1/2 \cdot e^2 / \varepsilon \Delta m_{pp} c^2 \quad (10)$$

Определенная из соотношения (10) величина  $l_{pp}$  составляет  $0,421 \cdot 10^{-15}$  м, то есть равна удвоенной комптоновской длине волны протона ( $\lambda_{ph} = 0,2103 \cdot 10^{-15}$  м)  $l_{pp} = 2\lambda_{ph}$ . Используя выражения для комптоновской длины волны протона ( $\lambda_{ph} = h/m_p c$ ) и постоянной тонкой структуры ( $\alpha = e^2 / \varepsilon \hbar c$ ), получаем соотношение для определения дефекта массы ядерной пары  $\langle p^+p^+ \rangle$

$$\Delta m_{pp} = 1/4 \cdot e^2 / \varepsilon \lambda_{ph} c^2 = 1/4 \cdot \alpha m_p \quad (11)$$

Величина  $\Delta m_{pp}$  эквивалентна энергии, равной 1,7 Мэв. При распаде ядерной пары её потенциальная энергия превращается в кинетическую энергию разлетающихся протонов. На каждый из них приходится энергия 0,85 Мэв. Из полученных соотношений (7)–(11) видно,

что дефект массы  $\Delta m_d$  и радиус дейтрона  $R_d$  связаны между собой выражениями, определяющими потенциальную энергию ядерной пары  $\langle p^+p^+ \rangle$  и энергию связи системы  $\langle 2p^+e^- \rangle$ . При этом расстояние между электрическими полюсами пары  $\langle p^+p^+ \rangle$  кратно комптоновской длине волны протона  $l_{pp} = 2\lambda_{ph}$ , а дефект массы ядерной пары определяется через постоянную тонкой структуры  $\alpha$  и массу протона  $m_p$ .

Предлагаемая теория позволяет объяснить физический смысл разницы значений массы ядра и суммарной массы составляющих его частиц. В частности, она объясняет положительное значение этой величины для нейтрона и отрицательное для дейтрона и других атомных ядер. Для дейтрона данная величина определяется теоретически с использованием известных констант: комптоновской длины волны и постоянной тонкой структуры. Важно отметить, что на примере строения дейтрона показано, что нет необходимости в существовании гипотетических ядерных сил.

**Научно-технические проблемы создания реактора на дейтерии**

Многолетний опыт освоения ядерной энергии даёт примеры того, что теоретически обоснованные решения часто не удаётся реализовать в действующих устройствах. Поэтому необходимо по возможности заранее определить проблемы, которые могут возникнуть при создании реактора на дейтерии. В дальнейшем необходимо оценить возможность решения выявленных проблем с использованием существующего научно-технического задела. Можно указать следующие основные проблемы, требующие рассмотрения.

1. Экспериментальное подтверждение.
2. Возможности технической реализации.
3. Эффективность.
4. Надёжность.
5. Управляемость.
6. Безопасность.
7. Экономичность.

*Экспериментальное подтверждение*

Экспериментальное подтверждение идеи, положенной в основу предлагаемого способа получения энергии, является первым и обязательным условием дальнейших работ в данном направлении. В этом убеждает опыт многолетних работ по созданию реакторов нового типа, включая термоядерный реактор и реакторы на быстрых нейтронах. Ожидаемые результаты по этим направлениям работ экспериментально не подтверждены.

Идея экспериментальной проверки предлагаемой концепции реактора на дейтерии состоит в том, чтобы,

воздействуя на дейтериевую смесь заряженными частицами, вызвать реакцию распада ядерной пары и определить кинетическую энергию разлетающихся протонов. Для этого можно использовать пучок протонов. При прохождении протонов через ёмкость с дейтерием их энергия будет передаваться ядрам вследствие кулоновского взаимодействия, что должно привести к возбуждению дейтрона и его распад. Продуктами реакции будут: два протона, разлетающиеся вследствие кулоновского ускорения, и два электрона: внутренний ядерный и внешний атомный. Возможен также захват протоном одного из электронов и образование нейтрона. При захвате ядерного электрона произойдёт распад ядерной пары, так как исчезнет электромагнитное поле, создаваемое ядерным электроном. При этом потенциальная энергия ядерной пары преобразуется в кинетическую энергию разлетающихся протонов. Эту энергию можно определить теоретически и сравнить с данными измерений. При захвате налетающим протоном атомного (оболочечного) электрона образуется нейтрон и дейтрон как не связанные между собой частицы.

Заряженные частицы, вступая в реакцию с ядрами вещества, должны преодолеть электростатическое отталкивание их зарядов – так называемый кулоновский барьер. Сечение ядерных реакций под действием протонов  $\sigma_p$  будет заметным, начиная с энергии  $E_p = 0,5E_{кул}$  ( $E_{кул}$  – высота кулоновского барьера), а затем монотонно растёт. Высота кулоновского барьера  $E_{кул}$  при прохождении протонов через дейтерий определяется выражением

$$E_{кул} = Z_p Z_d / (R_p + R_d) = e^2 / R_d \quad (12)$$

где  $Z_p$  и  $Z_d$  – заряды протона и дейтрона,  $R_p$  и  $R_d$  – радиусы протона и дейтрона.

Заряды  $Z_p$  и  $Z_d$  равны единичному заряду  $e$ . Радиус протона не известен, но он пренебрежимо мал по сравнению с радиусом дейтрона в свободном состоянии  $R_d$ . Поэтому суммарный радиус можно считать равным  $R_d$ , который составляет  $5,634 \cdot 10^{-15}$  м. Величина  $e^2$  равна 1,44 МэВ·м. Тогда из выражения (12) получаем

$$E_{кул} = 0,256 \text{ МэВ.}$$

Высота кулоновского барьера равна энергии связи дейтрона в свободном состоянии.

Таким образом, воздействуя пучком протонов с энергией порядка  $(0,5 \div 1,0)E_{кул}$  на емкость с дейтерием, можно нарушить равновесное состояние дейтронов и вызвать распад ядерных пар. При распаде ядерной пары её потенциальная энергия превращается в кинетическую энергию разлетающихся протонов, которая определена теоретически и равна 1,7 МэВ. То есть на один разлетающийся протон приходится кинетическая энергия  $W_p = 0,85$  МэВ, которая может быть определена в результате измерений.

### Возможности технической реализации

Возможности технической реализации определяются наличием научно-технического задела, включая различные устройства и технологии, которые можно использовать при создании реактора на дейтерии. Есть основания считать, что существующий научно-технический задел является достаточным для проведения необходимых исследований, опытно-конструкторских работ и создания демонстрационного образца. Отличительной особенностью предлагаемого реактора является его конструктивное совмещение с протонным ускорителем. При этом в связи с малой необходимой энергией налетающих протонов размеры ускорителя будут небольшими.

Ядра занимают очень малую часть объёма атома. Поэтому для уменьшения расстояния между ядрами можно использовать существующую технологию нагрева смеси из дейтерия до состояния ионизированной плазмы с последующим её сжатием и удержанием в рабочей зоне реактора. Эта технология используется в исследованиях по термоядерному синтезу. Там требуемое расчётное значение нагрева дейтерий-тритиевой плазмы составляет  $T = 2 \cdot 10^8$  К, то есть порядка 10 КэВ. На начальной стадии нагрева используют выделение джоулева тепла при пропускании электрического тока через плазму. Этот способ позволяет нагреть плазму до температуры  $T = 10^7$  К, что в нашем случае может быть вполне достаточно.

### Оценка эффективности реактора

В качестве оценки эффективности реактора можно использовать два показателя: выделяемую энергию на один нуклон  $E_n$  и коэффициент усиления  $K_{вр}$ , под которым понимаем отношение выделяемой энергии  $E_v$  к энергии инициирования реакции распада дейтрона, то есть энергии налетающих протонов  $E_p$ :  $K_{вр} = E_v / E_p$ .

Энергия, выделяемая при распаде ядерной пары  $\langle p^+ p^+ \rangle$ , определяется её полной энергией  $E_v$ , которая, согласно теореме вириала, равна половине потенциальной энергии  $U_{pp}$ . Эта энергия определяется кулоновским ускорением разлетающихся протонов и составляет 1,7 МэВ. Таким образом, получаем

- энергия, приходящаяся на 1 нуклон  $E_n = 1/2 \cdot E_v = 1/4 \cdot U_{pp} = 0,85$  МэВ;

- коэффициент усиления  $K_{вр} = E_v / E_p = 1,7 / 0,256 = 6,64$ .

Следует отметить, что в одном акте деления ядерной пары  $\langle p^+ p^+ \rangle$  и деления изотопа урана U-235 имеем одинаковый показатель выделяемой энергии на нуклон, который составляет 0,85.

### Надёжность

В конструкции предлагаемого реактора возможно использование в основном устройств, которые имеют

многолетний опыт применения. Это должно гарантировать достаточно высокую надёжность ядерного реактора на дейтерии. Ещё одним важным фактором является высокий коэффициент усиления. Это обеспечивает возможность работы реактора в режиме, при котором нагрузки на устройства системы будут далеки от критических нагрузок.

*Управляемость*

Процесс получения энергии в реакторе на дейтерии может быть хорошо управляемым. Это обусловлено тем, что пучком заряженных частиц легко управлять. В случае необходимости нагрева смеси дейтерия до состояния ионизованной плазмы с последующим её сжатием и удержанием в рабочей зоне реактора можно управлять также температурой нагрева и степенью сжатия смеси с применением технологии, отработанной в исследованиях по термоядерному синтезу.

*Безопасность*

Одним из важных требований к реактору на дейтерии является безопасность. Налетающий протон вызывает распад ядерной пары с образованием двух протонов с энергией, многократно превышающей энергию кулоновского барьера для ядер дейтерия. Это может вызвать цепную реакцию распада ядерных пар, что в конечном счёте может привести к взрыву смеси и разрушению реактора. Для предотвращения такого развития событий необходимо разбавить смесь дейтерия веществом, способным поглощать избыточную энергию разлетающихся протонов. При этом расчётная высота кулоновского барьера должна быть выбрана из условия

$$E_{кул} = Z_p Z_x / R_x > W_p,$$

где  $Z_x$  и  $R_x$  – заряд и радиус ядер компонента, который можно использовать в качестве разбавителя дейтерия;

$W_p$  – кинетическая энергия протона после распада ядерной пары ( $W_p = 0,85$  МэВ).

В качестве таких компонентов можно использовать, например, литий  ${}^7\text{Li}_3$  или бериллий  ${}^9\text{Be}_4$ , которые используются в ядерных технологиях. Для них высота кулоновского барьера составляет

$$E_{кул}(\text{Li}) = 1,6 \text{ МэВ}; E_{кул}(\text{Be}) = 2,0 \text{ МэВ}.$$

При прохождении протонов через литий и бериллий возможны ядерные реакции



Так как энергия протонов, образующихся после распада ядерной пары, меньше  $0,5 E_{кул}$  для ядер разбавителя, то наряду с распадом ядерных пар должны происходить процессы поглощения ядрами разбавителя энергии разлетающихся протонов. Важно отметить, что процессом

можно управлять, используя отработанные методы регулирования энергии протонов на входе реактора в зависимости от получаемой энергии на выходе реактора.

Дейтериевое топливо является экологически безопасным, а производство электроэнергии на таком реакторе будет безотходным. Если допустить какие-либо мыслимые нарушения в управлении, которые могут вызвать неконтролируемую цепную реакцию распада ядерных пар, то это может привести к взрыву реактора, подобно взрыву парового котла. Авария будет иметь локальный характер без ущерба для экологии, как в случае с авариями на современных АЭС.

*Экономичность*

Дейтерий можно считать самым дешёвым и распространённым ядерным топливом. Его содержание по массе в природном водороде составляет 0,0156%. Для сравнения отметим, что содержание урана в земной коре составляет  $2 \cdot 10^{-5}\%$ . При этом доля делящегося компонента изотопа урана U-235 в природном уране составляет всего 0,7%. Таким образом, дейтерий как ядерное топливо будущего имеет неоспоримое преимущество перед используемым в настоящее время ураном.

Кроме дешевизны топлива, можно отметить и другие факторы, обеспечивающие экономическое преимущество предлагаемого способа получения энергии. Это безотходное производство, управляемость и безопасность.

**Заключение**

Теоретической основой предлагаемой концепции создания реактора на дейтерии является новая теория дейтрона. Согласно этой теории, дейтрон состоит не из протона и нейтрона, как принято считать, а из ядерной пары «протон-протон» и ядерного электрона. Ядерная пара является источником внутренней запасённой энергии, выделяемой при её распаде. Этот процесс подобен выделению энергии при делении ядра урана U-235 на два осколка. В том и другом случае выделяемая энергия определяется кулоновским ускорением продуктов деления: осколочных ядер при делении ядра U-235 и двух протонов при распаде ядерной пары. Распад ядерной пары можно инициировать, воздействуя на дейтерий потоком заряженных частиц. Предлагается использовать протоны с энергией, необходимой для нарушения связи ядерной пары и ядерного электрона. Согласно расчётам, энергия кулоновского ускорения разлетающихся протонов ядерной пары будет многократно превышать энергию протонов, поступающих в ёмкость с дейтерием.

Работы по созданию реактора можно разделить на следующие основные этапы.



На первом этапе должна быть экспериментально подтверждена идея получения энергии предлагаемым способом. Суть экспериментальной проверки заключается в следующем:

- фиксация факта распада ядерной пары при взаимодействии на дейтерий пучком протонов определённой энергии;
- сравнение теоретически определённой кинетической энергии разлетающихся протонов при распаде ядерной пары с данными измерений.

Ожидаемыми результатами выполнения работ на этом этапе являются:

- подтверждение возможности получения энергии предлагаемым способом;
- подтверждение новой теории дейтрона как системы, состоящей из ядерной пары из двух протонов и ядерного электрона;
- доказательство отсутствия гипотетических ядерных сил.

На втором этапе предполагается отработка различных операций, связанных с процессом получения энергии с использованием реактора на дейтерии. Одной из ключевых проблем на этом этапе является определение способа обеспечения безопасной работы реактора. Для этого необходимо предотвратить неуправляемую цепную реакцию распада ядерных пар. Возможным способом решения проблемы является разбавление дейтерия компонентом, способным поглощать энергию разлетающихся протонов после распада ядерных пар. В качестве таких веществ рассматриваются литий и бериллий. Возможно использование и других компонентов в смеси с дейтерием.

На третьем этапе должна быть осуществлена отработка технологии получения энергии в едином замкнутом цикле. При этом, согласно предварительным оценкам, можно будет использовать в основном существующий научно-технический задел, включая готовые изделия и применяемые технологии. Относительно новым решением является конструктивное совмещение реактора и протонного ускорителя.

В случае реализации предлагаемой концепции создания ядерного реактора на дейтерии будут решены проблемы, появившиеся на заре освоения ядерной энергии и не решённые эффективно до настоящего времени. К ним

относятся:

- низкая эффективность использования ядерного топлива в действующих реакторах;
- постоянно растущее количество радиоактивных отходов;
- аварийность АЭС.

В действующих «тепловых» реакторах на урановом топливе выгорает только легко делящийся компонент U-235. Отработанное ядерное топливо представляет собой радиоактивные отходы, количество которых постоянно растёт. Крупные аварии на АЭС (Чернобыль, Фукусима) случаются редко. Но их последствия для экологии столь существенны, что многие страны отказываются от строительства АЭС или ограничивают до минимума их долю в общем балансе производимой энергии.

Создание реактора на дейтерии позволит решить указанные проблемы. Вместо дорогостоящего и неэффективно используемого урана будет использоваться дешёвый дейтерий. Работа реактора не связана с образованием радиоактивных отходов. Процесс получения энергии может быть хорошо управляемым, что должно обеспечить надёжность и безопасность реакторов на дейтерии. Если допустить неблагоприятное стечение обстоятельств, при которых станет возможным неуправляемая цепная реакция распада ядерных пар и взрыв смеси дейтерия, то масштабы аварии будут иметь локальный характер. Никаких вредных выбросов в атмосферу или заражения местности не произойдёт.

На данном этапе исследований трудно дать достаточно полное описание технического облика реактора на дейтерии и дать точную оценку его эффективности. Тем не менее есть основания полагать, что это направление открывает новые возможности развития ядерной энергетики. Ожидаемые преимущества такого реактора очевидны. Это высокое удельное выделение энергии, дешевизна ядерного топлива, безопасность. Предварительные оценки дают основание считать, что реактор на дейтерии может быть создан с использованием в основном существующего научно-технического задела и без предъявления повышенных требований к техническим устройствам при отработке технологии и создании демонстрационного образца.

#### Литература

1. Эйнштейн А. Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии? *Собр. научных трудов.* – М., 1965. Т.1. С.38.
2. *Физическая энциклопедия.* С.Э. – М., 1988. Т.1. С.580.
3. Серга Э.В. *Фундаментальные проблемы создания реакторов нового поколения // Двойные технологии.* - М., 2013, № 1. С. 26-36.

Материал поступил в редакцию 19. 05. 2013 г.