

© Серга Э.В.
Serga E.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ РЕАКТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

FUNDAMENTAL PROBLEMS OF CREATION OF REACTORS OF NEW GENERATION

Аннотация. Работы по созданию реакторов нового поколения насчитывают десятилетия, но полученные результаты не оправдывают ожидания. В долгосрочную стратегию развития ядерной энергетики заложены некоторые теоретические положения, которые не подтверждаются опытом. В настоящей работе проведен критический анализ таких положений. Излагаются новые представления о строении ядра, составляющих его частицах и происходящих внутри ядра процессах. На основе этих представлений теоретически обосновано отсутствие перспективы у основных направлений развития ядерной энергетики, включая работы по созданию промышленного термоядерного реактора и реакторов на быстрых нейтронах.

Annotation. Works on creation of reactors of new generation total decades, but the received results do not justify expectation. In long-term strategy of development of nuclear power some theoretical positions which do not prove to be true experience are incorporated. In the present work the critical analysis of such positions is lead. New representations about a structure of the kernel, particles making it and processes occurring inside of a kernel are stated. On the basis of these representations absence of prospect at the basic directions of development of nuclear power, including works on creation of an industrial thermonuclear reactor and reactors on fast neutrons is theoretically proved.

Ключевые слова. Термоядерный реактор, реакторы на быстрых нейтронах, ядерные частицы, ядерные реакции, энергия поля, полевая компонента массы ядра, внутриядерный синтез, осколочные ядра.

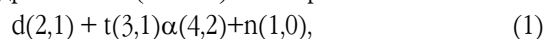
Key words. A thermonuclear reactor, reactors on fast neutrons, nuclear particles, nuclear reactions, energy of a field, field a component of weight of a kernel, intranuclear synthesis, fragmental kernels.

Соотношение Эйнштейна $E = mc^2$ и физическая реальность

Принцип взаимопревращения массы и энергии, известный как соотношение Эйнштейна $E=mc^2$, принято считать одним из основополагающих принципов в ядерной энергетике. Однако в толковании этого соотношения применительно к зависимости выделяемой энергии от изменения массы в ядерных реакциях существуют путаница и неопределенность.

В основе концепции создания термоядерного реактора лежит идея получения энергии в результате превращения в неё ядерного вещества. Полагают, что выделяемая энергия будет эквивалентна разнице масс продуктов реакции, как это следует из соотношения $E=mc^2$. В создаваемом реакторе эту энергию предполагают получать путем слияния легких ядер, а именно, ядер изотопов водорода: ядер дейтерия и трития (дейтрона d и три-

тона t). В результате слияния дейтрона и тритона образуется ядро гелия α (гелион) и нейтрон n.



где в скобках указаны значения массового числа A, соответствующего количеству нуклонов, и заряда Z, соответствующего количеству протонов.

Разница масс продуктов реакции эквивалентна энергии 17,6 Мэв. Для осуществления этой реакции необходимо затратить энергию для преодоления кулоновского отталкивания дейтрона и тритона. Таким образом, этот процесс может быть энергетически выгодным при положительном балансе энергии на выходе реактора и энергии, подаваемой на его вход. То есть в среднем на один акт слияния дейтрона и тритона подводимая энергия должна быть меньше 17,6 Мэв. Эту задачу пытаются решить в работах по созданию международного термоядерного реактора (проект ITER).

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

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

Однако в ядерных реакциях, включая рассматриваемую реакцию (1), количество нуклонов остается неизменным. Не изменяются также массы протона и нейтрона, значения которых приводятся в перечне фундаментальных постоянных с точностью девяти знаков после запятой. Отсюда следует, что масса ядерного вещества не превращается в энергию, как это следует из формального толкования соотношения Эйнштейна. Тогда единственным источником энергии на выходе термоядерного реактора может быть только энергия, подаваемая на его вход. Эта энергия на выходе реактора с учетом неизбежных потерь будет меньше энергии, подаваемой на вход реактора. Следовательно, создаваемый термоядерный реактор в понятиях термодинамики можно рассматривать как вечный двигатель. Принципиальное отличие термоядерного реактора от обычного «теплого» реактора заключается в отсутствии источника запасенной энергии, которым в обычном реакторе является ядерное топливо (обогащенный уран).

Полевая компонента массы ядра

В реакции (1) происходит изменение массы продуктов реакции. Но это изменение массы не связано с превращением ядерного вещества в энергию. Ядро представляет собой систему взаимодействующих заряженных частиц. Эти заряженные частицы образуют поле, обладающее энергией и, соответственно, массой. Связь между массой и энергией впервые была сформулирована Эйнштейном: «Масса тела есть мера содержащейся в нем энергии: если энергия изменится на величину L , то масса тела изменится на величину L/c^2 , где c – скорость света» [1]. Итак, согласно Эйнштейну, энергия первична. Энергия поля ядра – это потенциальная энергия кулоновского взаимодействия заряженных частиц. Этой потенциальной энергии отвечает масса, которая не локализована ни на одной из этих частиц, а распределена в пространстве между частицами и вокруг них. Однако в теории относительности вопрос о связи потенциальной энергии и массы остается неясным. В критическом анализе теории относительности Бриллюэн отмечает: "Этот вопрос часто игнорировали и обходили, потому что не во всех задачах он кажется достаточно ясным" [2].

Рассмотрим систему двух взаимодействующих частиц. Потенциальная энергия может быть положительной или отрицательной. Это зависит от того, совпадают знаки зарядов взаимодействующих частиц или не совпадают. Следовательно, и масса, отвечающая потенциальной энергии, может быть как положительной, так и отри-

цательной. Эту массу следует рассматривать как полевую компоненту массы системы взаимодействующих частиц. В современной физике существует предубеждение против понятия отрицательной массы. Это связано с тем, что массу отождествляют с веществом, можно сказать, с инертной массой тела или частицы. Массу, эквивалентную энергии поля ядра, можно рассматривать как полевую компоненту массы ядра. Следовательно, масса ядра как системы взаимодействующих частиц включает в себя суммарную массу частиц и полевую компоненту массы. В ядерных реакциях происходит перегруппировка нуклонов, соответственно изменяется энергия поля и эквивалентная ей полевая компонента массы продуктов реакции.

Тогда положительной потенциальной энергии будет соответствовать положительная полевая компонента массы, а отрицательной потенциальной энергии – отрицательная полевая компонента массы. Поэтому следует считать, что так называемый дефект массы ядра определяется отрицательной потенциальной энергией, обусловленной кулоновскими силами отталкивания одноименно заряженных частиц.

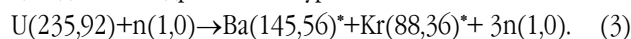
Однако в современной литературе дефект массы ядра Δm связывают с энергией связи E_{cb} (то есть положительной энергией), используя соотношение Эйнштейна:

$$\Delta m = E_{cb} / c^2. \quad (2)$$

Тогда из формальных соображений следует, что ядро должно иметь избыток массы, который превращается в энергию. То есть масса ядра должна быть больше суммарной массы составляющих ядро частиц. Мы же имеем дефект массы, то есть недостаток. Таким образом, применительно к ядерным реакциям толкование соотношения Эйнштейна как превращение массы в энергию не отражает физическую реальность.

Анализ данных о делении ядра U-235

Рассмотрим, например, одну из возможных реакций деления ядра изотопа урана U-235.



*Символ * означает радиоактивность.*

Согласно данным измерений, разность масс делящегося ядра и продуктов реакции эквивалентна энергии, выделяемой при делении ядра U-235. Этот факт принято считать экспериментальным подтверждением превращения массы ядерного вещества в энергию, как определено соотношением Эйнштейна. Однако в этой реакции, как и в реакции (1), суммарные значения A и Z не изменяются. Следовательно, не должна изменяться и масса ядерного вещества. Рассмотрим распределение энергии на один акт деления ядра U-235 на 2 осколка. Данные о распреде-

лении энергии в Мэв приведены в Физической энциклопедии [3]:

кинетическая энергия осколков.....	168
кинетическая энергия нейтронов.....	5
энергия γ -квантов.....	7
энергия β -распада.....	8
полное энерговыделение.....	188

Из этих данных следует, что выделение энергии определяется в основном кулоновским ускорением осколков (~ 90 %), которое никак не связано с превращением массы ядерного вещества в энергию. Потенциальная энергия образующихся осколков U зависит от величин их зарядов и расстояния между ними.

$$U = Z_1 Z_2 / R_u \quad (4)$$

где Z_1 и Z_2 – величины зарядов осколков;

R_u – радиус делящегося ядра U-235.

Эта энергия превращается в кинетическую энергию разлетающихся осколков.

Полная энергия, выделяемая в результате деления ядра U-235, включает кинетическую энергию продуктов реакции (осколочных ядер и нейтронов), энергию мгновенного γ -излучения (в результате превращения ядерных частиц), а также энергию излучения осколочных ядер. Устойчивость атома (как квантово-механической системы) обеспечивается определенной конфигурацией ядра и электронной оболочки атома, при которых возможно динамическое равновесие кулоновских сил притяжения и отталкивания всех взаимодействующих частиц. Реакции внутриядерного синтеза приводят к нарушению равновесия кулоновских сил притяжения и отталкивания. Например, при слиянии дейтрона и тритона ($t+d \rightarrow \alpha+n$) из двух ячеек кристалла оболочки ядра исчезают заряженные частицы. Это приводит к нарушению равновесной структуры ядра и атома в целом. В результате происходит деление ядра U-235 на два осколка, которые разлетаются под действием кулоновских сил отталкивания.

Таким образом, при делении ядра U-235 высвобождается его внутренняя потенциальная энергия, которая преобразуется в другие виды энергии, а именно, в кинетическую энергию продуктов реакции (разлетающихся осколков и нейтронов) и энергию γ -излучения. При этом со скоростью света распространяются только образующиеся γ -кванты, доля энергии которых в полной выделяемой энергии составляет менее 4 %. Превращение внутренней потенциальной энергии делящегося ядра в другие виды энергии происходит в строгом соответствии с законом сохранения энергии. Этой высвобождающейся внутренней потенциальной энергии делящегося ядра соответствует изменение полевой компоненты массы, ко-

торую ошибочно принимают за изменение массы ядерного вещества.

Перейдем к рассмотрению теоретических проблем, связанных со строением ядра и происходящими внутри ядра процессами, сопровождающимися поглощением и выделением энергии.

Новые представления о нейтроне

Согласно современным представлениям, ядра состоят из протонов и нейтронов. Число протонов определяет заряд ядра Z и порядковый номер элемента. Суммарное число протонов и нейтронов (нуклонов) определяет массовое число ядра A . Изотопы отличаются количеством нейтронов. Нейтроны как незаряженные частицы легко проникают в ядро. Для различных элементов число нейтронов в ядре может существенно отличаться. Важно отметить то, что нейтроны являются основным "строительным" материалом, из которого образуются ядра, в том числе ядра тяжелых элементов. Из тяжелых ядер вылетают гелионы (альфа-частицы). Так как в ядро поступают нейтроны, а из ядра вылетают гелионы (альфа-распад), то можно утверждать, что в ядрах происходит "переработка" нейтронов в гелионы. Гелионы не превращаются в какие-либо другие частицы, и поэтому образующиеся избыточные гелионы покидают ядро. Этот процесс можно представить в виде реакции внутриядерного синтеза: $4n \rightarrow \alpha + 2e$. Четыре нейтрона образуют гелион и два электрона, которые покидают ядро (бета-распад). Для понимания механизма превращения нейтронов в гелионы необходимо, прежде всего, понимание строения нейтрона и образующихся из него частиц.

Применительно к рассматриваемой проблеме необходимо правильное представление о взаимодействии нейтрона с ядрами тяжелых элементов. В частности, необходимо ответить на вопрос, почему ядро изотопа урана U-235 при попадании в него нейтрона низкой энергии делится на осколочные ядра, а изотоп U-238 этим качеством не обладает. 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 некоторым 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.

Теория нейтрона, претендующая на роль правильной теории, не должна допускать того, чтобы отдельные его характеристики были противоречивыми. Так, если

нейтрон рассматривать как элементарную частицу, то явно противоречивыми являются нулевой электрический заряд и не равный нулю магнитный момент. Определим основные характеристики нейтрона, полагая, что он является квантово-механической системой $\langle p^+e^- \rangle$, состоящей из протона и электрона – частиц, на которые распадается.

Радиус нейтрона. Нейтрон состоит из тех же элементарных частиц, что и атом водорода. Поэтому для определения его радиуса будем использовать классическую схему, которую использовал Бор при построении модели атома водорода. Согласно этой схеме, электрон вращается (не излучая) относительно неподвижного протона по круговой орбите. Тогда стационарная орбита электрона представляет собой устойчивое состояние системы протон-электрон и определяется тем, что центростремительная сила равна силе электростатического притяжения между электроном и протоном:

$$m_e v^2 / r = e^2 / \epsilon r^2, \quad (5)$$

где m_e , v и r – масса, орбитальная скорость и радиус орбиты электрона;

e – элементарный электрический заряд;

$\epsilon = 4\pi\epsilon_0$;

ϵ_0 – электрическая постоянная.

Согласно первому постулату Бора, электроны могут двигаться только по определенным орбитам, не излучая, определяемым условиями квантования. Это условие состоит в том, что момент количества движения электрона, движущегося относительно протона, кратен величине $\hbar = h/2\pi$ (h – постоянная Планка)

$$L = m_e r v = n\hbar, \quad n - \text{целые числа } 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

Используя выражение для радиуса, вытекающее из условия квантования Бора (6), $r_n = n\hbar / m_e v_n$, получаем выражение для скорости

$$v_n = e^2 / n\hbar\epsilon_0. \quad (7)$$

Если нейтрон подобен атому водорода, то для него квантовое число n должно быть целым и меньше, чем у атома с наименьшим радиусом. Тогда получается, что для нейтрона $n = 0$ и скорость v_n в выражении (7) принимает бесконечно большое значение. Так как законы квантования не допускают бесконечно больших величин, то полагаем, что состоянию с $n = 0$ соответствует предельно допустимая скорость v , то есть равная скорости света c

$$v_0 = c. \quad (8)$$

Тогда из соотношения (5) получаем выражение для определения радиуса нейтрона

$$r_0 = (e^2 / \epsilon) / m_e c^2. \quad (9)$$

Это выражение можно преобразовать, используя известные соотношения для комптоновской длины волны электрона λ_e и постоянной тонкой структуры α :

$$\lambda_e = \hbar / m_e c, \quad \alpha = (e^2 / \epsilon) / \hbar c.$$

Подставив их в (9), получим

$$r_0 = \alpha \lambda_e. \quad (10)$$

Тогда численное значение радиуса нейтрона в свободном состоянии: $r_0 = 2,817 \cdot 10^{-15}$ м.

Как следует из приведенной схемы строения нейтрона, электрон движется относительно протона со скоростью света. Тогда энергия электрона равна его массе покоя ($m_e c^2$). На основе представлений классической электродинамики может быть определен так называемый классический радиус электрона r_e . Им называют радиус шара, электрическое поле которого, обусловленное его элементарным зарядом e , обладает энергией, равной по порядку величины его массе покоя. Значение r_e определяется по формуле

$$r_e = \mu_0 e^2 / 4\pi m_e, \quad (11)$$

где $\mu_0 = 1,256637 \cdot 10^{-11}$ Гн/м – магнитная постоянная.

Подставив в (11) значения констант, получим $r_e = 2,817 \cdot 10^{-15}$ м. То есть радиус нейтрона в свободном состоянии, определённый как радиус атома водорода с квантовым числом $n=0$, равен классическому радиусу электрона

$$r_0 = r_e. \quad (12)$$

Сравним полученное значение r_0 с боровским радиусом атома водорода ($n=1$)

$$r_1 = 5,292 \cdot 10^{-11} \text{ м.}$$

Тогда величину r_1 с использованием постоянных λ_e и α можно определить так

$$r_1 = \alpha^{-1} \lambda_e. \quad (13)$$

Таким образом, радиус нейтрона в свободном состоянии и боровский радиус атома водорода с квантовым числом $n=1$ определяются одними и теми же фундаментальными постоянными: комптоновской длиной волны электрона λ_e и постоянной тонкой структуры α . Отношение радиуса нейтрона к боровскому радиусу определяется соотношением

$$r_0 / r_1 = \alpha^2. \quad (14)$$

Это дает основание утверждать, что нейтрон и атом водорода представляют собой одну и ту же квантовую систему в различных энергетических состояниях. Нейтрон в свободном состоянии является нестабильным и распадается за время ~ 15 мин, а в составе атомных ядер нейтроны сохраняют стабильность. Это означает, что в составе атомного ядра нейтрон находится в энергетическом состоянии, отличающемся от состояния нейтрона в свободном состоянии. Каждому энергетическому состоянию нейтрона как квантовой системы протон-электрон соответствуют определённый радиус. Радиус нейтрона в составе атомных ядер можно определить с использова-

нием данных измерений его массы и определения величины полевой добавки к массе.

Масса нейтрона. Масса нейтрона определяется как разница масс нейтрона и протона по данным измерений энергетического баланса различных ядерных реакций. В табл. 1 даны основные характеристики нейтрона, протона и электрона.

Основные характеристики нейтрона, протона и электрона при спине $\hbar=1/2$

Наименование	Масса, а.е.м.	Магнитный момент, μ
Электрон, e^-	0,00054858	1 μ_B
Протон, p^+	1,00727647	1 μ_p
Нейтрон, n^0	1,00866501	-1,91315 μ_p

Превышение массы нейтрона суммарной массы протона и электрона составляет $\Delta m_n = 8,4 \cdot 10^{-4}$ а.е.м.

Так как нейтрон, согласно предлагаемой теории, является системой $\langle p^+e^- \rangle$, то его масса включает в себя суммарную массу протона и электрона, а также полевую добавку Δm_n , обусловленную энергией связи протона и электрона ΔE_n

$$m_n = (m_p + m_e) + \Delta m_n; \Delta m_n = \Delta E_n / c^2. \quad (15)$$

Согласно теореме вириала, величина энергии связи протона и электрона ΔE_n как полная энергия системы равна половине её потенциальной энергии. Она зависит от расстояния между зарядами r_n и определяется из выражения

$$\Delta E_n = \Delta m_n c^2 = 1/2 e^2 / \epsilon r_n.$$

Отсюда определяем величину r_n

$$r_n = 1/2 e^2 / \epsilon \Delta m_n c^2. \quad (16)$$

Подставив в (16) значение Δm_n , получим величину $r_n = 0,92 \cdot 10^{-15}$ м.

В полевой теории элементарных частиц определен радиус нейтрона r_n как расстояние от центра до точки, в которой достигается максимум плотности массы. С учетом толщины слоя электромагнитного поля нейтрона его величина составляет $r_n = 0,445 \cdot 10^{-15}$ м. Тогда расстояние между полюсами нейтрона r_{pe} определяется как $r_{pe} \approx 2r_n = 0,89 \cdot 10^{-15}$ м. Это значение отличается от расчетного r_n на величину порядка 3 %.

В ядре атома расстояние между зарядами (полюсами) нейтрона не является радиусом, как у нейтрона в свободном состоянии. Положительно заряженное ядро притягивает к себе отрицательно заряженный электрон и отталкивает положительно заряженный протон, входящие в состав нейтронного диполя. Происходит поляризация нейтронов. У поляризованных нейтронов спины имеют преимущественную ориентацию вдоль какого-либо выделенного направления в пространстве (оси квантова-

ния). Поэтому электрон не вращается относительно протона, и расстояние между полюсами нейтрона определяет его размер.

Спин нейтрона. Непосредственно спин был измерен в опытах по расщеплению пучка очень медленных нейтронов в неоднородном магнитном поле. В общем случае пучок должен расщепиться на $2J_n + 1$ отдель-

Таблица 1

ных пучков, где J_n – спин нейтрона. В опыте наблюдалось расщепление на 2 пучка, откуда следует, что $J_n = 1/2$. Так как нейтрон является связанной системой $\langle p^+e^- \rangle$, то его суммарный спин J_n складывается из трёх частей: спина протона J_p , спина электрона J_e , орбитального момента электрона L_e

$$J_n = J_p + J_e + L_e. \quad (17)$$

Наличие орбитального момента L_e подтверждается тем, что магнитный момент нейтрона является отрицательным (он создается вращением отрицательно заряженного электрона относительно протона). Теперь три слагаемых в выражении (17) дают в результате полуцелый спин $1/2 \cdot \hbar$, поскольку два из них могут иметь разные знаки.

Излагаемая теория нейтрона возвращает нас к протонно-электронной гипотезе строения атомного ядра. Ко времени открытия атомного ядра (Резерфорд, 1911г.) были известны только две элементарные частицы – протон и электрон. В соответствии с этим считали, что ядро состоит из этих частиц. Однако в конце 20-х годов XX века гипотеза столкнулась с серьёзной трудностью, получившей название азотной катастрофы. Ядро азота должно содержать 21 частицу (14 протонов и 7 электронов), спин каждой из которых равен 1/2. Тогда спин ядра азота должен быть полуцелым. Но, согласно опытным данным (полученным по оптическим молекулярным спектрам), он оказался равным 1. После открытия нейтрона (Чедвик, 1922 г.) и определения его спина ($J_n = 1/2$) физики пришли к выводу, что атомное ядро не содержит электронов, а состоит из протонов и нейтронов. Как будет показано в дальнейшем, ядро действительно состоит из протонов и электронов, сгруппированных в так называемые ядерные частицы. Ядро азота состоит из трех гелионов (альфа-частиц) и одного дейтрона. Эти частицы имеют целочисленный спин. Тем самым устраняется противоречие между расчетным и измеренным значениями спина азота (азотная катастрофа).

Строение дейтрона

Нейтроны как незаряженные частицы не только могут легко проникать в ядра атомов, но и, находясь внутри ядра, объединяться в дейтроны в результате реакции $2n \rightarrow d + e$. При этом заряд ядра увеличивается на 1, а лишний электрон покидает ядро (бета-распад). При этом дейтрон подобен нейтрону. Отличие в том, что в центре системы 2 протона, а не 1. Эти 2 протона представляют связанную пару $\langle p^+p^+ \rangle$. Устойчивость пары протонов обеспечивается переменным электромагнитным полем, создаваемым вращающимся электроном (здесь мы используем классическое представление об орбитальном вращении электрона, как и ранее при объяснении строения нейтрона). Это означает, что в рассматриваемой модели электроны входят в состав атомных ядер, а простейшее составное ядро - дейтрон можно представить как систему $\langle 2p^+e^- \rangle$. Электроны, входящие в состав ядра, будем называть ядерными электронами. Следует отметить, что современная физика допускает существование спаренных протонов, подобно спаренным электронам, известным в теории сверхпроводимости.

Покажем взаимную связь характеристик дейтрона, определенных по данным измерений. К ним относятся масса и радиус дейтрона. Масса $m_d = 2,0141$ а.е.м., радиус $R_d = 1,963 \cdot 10^{-15}$ 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 Δm_d состоит из двух слагаемых

$$\Delta m_d = \Delta m_{pp} + \Delta m_{de}. \quad (18)$$

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

$$\Delta m_{de} = e^2 / \varepsilon c^2 R_d. \quad (19)$$

После подстановки в (19) значения радиуса R_d получим

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

Теперь из выражения (18) определяем Δm_{pp}

$$\Delta m_{pp} = \Delta m_d - \Delta m_{de}. \quad (20)$$

Значение этой величины равно

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

С использованием значения Δm_{pp} определяем расстояние l_{pp} между электрическими полюсами ядерной пары $\langle p^+p^+ \rangle$

$$l_{pp} = 1/2U_{pp}/\Delta m_{pp}c^2 = 1/2 \cdot e^2 / \varepsilon \Delta m_{pp}c^2. \quad (21)$$

Определенное из соотношения (21) расстояние l_{pp} составляет $0,421 \cdot 10^{-15}$ м, то есть равно 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 $\langle p^+p^+ \rangle$

$$\Delta m_{pp} = 1/4 \cdot e^2 / \varepsilon \lambda_{ph} c^2 = 1/4 \alpha m_p. \quad (22)$$

Из полученных соотношений (18)–(22) видно, что дефект массы Δm_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 $\langle p^+p^+ \rangle$ является кратным комптоновской длине волны протона ($l_{pp} = 2\lambda_{ph}$), а дефект массы ядерной пары определяется через постоянную тонкой структуры α и массу протона m_p .

Если бы дейтрон состоял из протона и нейтрона, как принято считать в современной теории ядра, то не понятна причина появления дефекта массы. В этом случае дефект массы не может быть следствием полевой добавки к массе системы протон-нейтрон, поскольку в этой системе отсутствуют кулоновские силы отталкивания и не учитывается отрицательная потенциальная энергия. В системе протон-нейтрон дефект массы составляет $(-0,00184)$ а.е.м. Однако современная ядерная физика не объясняет связь этого дефекта массы с радиусом дейтрона и с такими характеристиками его частиц, как заряд и комптоновская длина волны. Современная теория не дает также ответа на вопрос, почему не существует ядра, состоящего из двух протонов, если между нуклонами действуют ядерные силы.

Важно отметить, что предлагаемая теория позволяет объяснить физический смысл разницы значений массы системы ядра и суммарной массы составляющих его частиц. В частности, она объясняет, почему эта разность положительна для нейтрона и отрицательна для дейтрона, а также других ядер. Примечательно, что упомянутая разность масс может быть определена теоретически с использованием известных констант, включая комптоновскую длину волны и постоянную тонкой структуры. При этом отпадает необходимость в существовании гипотетических ядерных сил, удерживающих нуклоны.

Гелион-водородная модель ядра

В большинстве моделей принято считать, что ядра состоят из протонов и нейтронов. При этом изотопы элементов отличаются только количеством нейтронов. Это представление о составе ядер противоречит опытным данным, в частности, явлению вылета гелионов (альфа-частиц) из тяжелых ядер. Если гелионы вылетают из ядер, это означает они ранее были в их составе. Кро-

ме того, некоторые изотопы с одинаковыми значениями массового числа A и заряда Z (то есть с одним и тем количеством протонов и нейтронов) отличаются своими свойствами. В частности, как будет показано, осколочные ядра, образующиеся при делении ядра $U-235$, отличаются по составу от относительно стабильных ядер, имеющих те же значения величин A и Z . Это означает, что величины A и Z недостаточно полно определяют состав ядра и зависимость между составом ядра и его свойствами. Принципиально новый подход к строению ядра изложен в гелион-тритонной модели, приведенной в монографии Л. Полинга [4]. Основные отличительные особен-

Формулы (23) являются основными уравнениями состава ядра, они имеют значения A , близкие к приведенным в таблице Менделеева. Ядерные реакции обусловлены превращениями ядерных частиц. В основном это реакции внутриядерного синтеза, сопровождающиеся уменьшением массы ядра, возбуждением ядра и выделением энергии в форме γ -квантов. В табл. 2 приведены основные реакции превращения ядерных частиц.

О составе и свойствах осколочных ядер, образующихся при делении ядра урана U-235

Осколочные ядра являются высокорadioактивны-

Таблица 2

Основные реакции превращения ядерных частиц

Реакция превращения	Формула реакции	Баланс энергии, Мэв
Образование гелиона	$t + d \rightarrow \alpha + n, 2t \rightarrow \alpha + 2n$	17,61; 11,33
Образование и распад тритона	$d + n \rightarrow t, t \rightarrow d + n$	6,28; - 6,28
Образование дейтрона	$2n \rightarrow d + e$	2,50

сти этой модели состоят в том, что ядро имеет кристаллическую структуру, а нуклоны сгруппированы в гелионы и тритоны. Эта модель получила дальнейшее развитие в гелион-водородной модели ядра, описанной в монографии [5]. Согласно этой модели, ядра состоят из ядерных частиц, которыми являются ядра изотопов водорода и гелия, а также нейтрон. Всего шесть ядерных частиц, Ядро имеет остов и оболочку. Остов состоит из частиц (гелионов) с зарядом $Z = 2$, оболочка – из частиц (в основном – тритонов) с зарядом $Z = 1$. Остов и оболочка состоят из правильных выпуклых многогранников, вершины которых расположены в сферических слоях и заняты ядер-

ми продуктами деления. Многие из них являются поглотителями нейтронов. В конечном итоге их количество возрастает до такой степени, что, улавливая нейтроны, они останавливают цепную реакцию даже при полном удалении стержней-поглотителей нейтронов. В табл. 3 приведен примерный состав ядерного топлива в начале и в конце топливного цикла для обычных "тепловых" реакторов.

Как следует из данных таблицы, процесс горения завершается после выгорания легко делящегося изотопа $U-235$, а основной компонент ядерного топлива $U-238$ не принимает активного участия в процессе горения и в небольшом количестве трансформируется в изотоп плуто-

Таблица 3

Примерный состав ядерного топлива

Стадия топливного цикла	Доля, %				
	U-235	U-238	Pu-239	Осколочные ядра	Изотопы ТУЭ
Начало	3	97	-	-	-
Окончание	0,3	95	1	3	0,7

ными частицами. Нейтроны могут быть в составе других ядерных частиц или находиться в ядре как отдельные частицы. Состав ядер наиболее распространенных изотопов определяется по формулам:

число тритонов $N_t = A - 2Z - N_n$;
 число гелионов $N_\alpha = 1/2 (3Z - A - N_n)$; (23)

число дейтронов: $N_d = 0$, если N_α целое число, $N_d = 1$, если N_α дробное число,
 где N_n – число свободных (не связанных в ядре) нейтронов. Для многих стабильных ядер (включая магические) число $N_n = 0$ или 2.

ния $Pu-239$ и другие изотопы трансурановых элементов (ТУЭ). Итак, процесс горения затухает при образовании определенного количества осколочных ядер, несмотря на присутствие в ядерном топливе делящихся компонентов ($U-235$ и $Pu-239$).

Отработанное ядерное топливо (ОЯТ) не может быть в дальнейшем использовано за счет его обогащения, если не удалить осколочные ядра. В настоящее время нет эффективных технологий регенерации ОЯТ. Таким образом, применяемые в обычных тепловых реакторах технологии не обеспечивают достаточно эффек-

тивное использование ядерного топлива, так как сгорает только легко делящийся изотоп U-235, доля которого в начале топливного цикла составляет ~ 3 %. После почти полного его выгорания процесс горения затухает, несмотря на образование в реакторе легко делящегося изотопа Pu-239 и наличие остатка изотопа U-235.

Этот главный недостаток обычных "тепловых" реакторов, состоящий в том, что основной компонент ядерного топлива изотоп U-238 не задействован в процессе горения, предполагают устранить в реакторах на быстрых нейтронах. При этом полагают, что нейтроны, обладающие большей энергией, чем нейтроны в обычных реакторах, обеспечат деление ядер изотопа U-238. Однако есть основания полагать, что и в быстрых реакторах процесс горения будет затухать по мере выгорания легко делящихся компонентов (U-235 и Pu-239), доля которых в составе ядерного топлива в таких реакторах составляет ~ 30 % и более. А основной компонент U-238 так и не будет принимать активного участия в процессе горения. Следует отметить, что для деления изотопов U-235 и Pu-239 достаточно энергии тепловых нейтронов (~ 0,025 эв), а для деления изотопа U-238 необходима энергия нейтрона ~ 3 Мэв.

Для решения вопроса о целесообразности и масштабах дальнейших работ в этом направлении необходимо решить проблему, связанную с пониманием механизма размножения и поглощения нейтронов в таких реакторах. Речь идет о балансе образования и поглощения нейтронов в процессе деления ядер урана. Если поглощение нейтронов осколочными ядрами будет преобладать над их образованием, то процесс горения завершится в основном после выгорания легко делящихся изотопов, как и в "тепловых" реакторах. В связи с этим необходимо понять причину высокой способности осколочных ядер поглощать нейтроны, как основной причины затухания процесса горения ядерного топлива. Для этого необходимо, прежде всего, сравнить составы осколочных ядер и относительно стабильных ядер с теми же значениями A и Z.

С использованием формул (23) можем определить состав делящегося ядра изотопа урана U-235 и основного изотопа природного урана U-238. Они имеют такие составы

$$U-235 \leftrightarrow 20\alpha + 51t + d; \quad U-238 \leftrightarrow 20\alpha + 52t + 2n.$$

Гелионы не превращаются в другие ядерные частицы, поэтому ядра могли бы состоять в основном из гелионов. Например, в ядрах U-238 все тритоны могли бы превратиться в гелионы в результате реакции $2t \rightarrow \alpha + 2n$. Однако этого не происходит потому, что число гелионов $N_\alpha = 20$ является предельным для стабильных ядер, встречающихся в земной коре. Лишний гелион, появившийся в ядре, через какое-то время покидает ядро (α -распад). Выброс гелионов – это одна из реакций деления тяжелых ядер. Другая реакция, которая может произойти в результате реакции внутриядерного синтеза, – деление тяжелого ядра на осколочные ядра.

Рассмотрим механизм этой реакции на примере деления ядра U-235. При попадании нейтрона в ядро урана U-235 могут наблюдаться реакции:

- 1) $U(235,92) + n(1,0) \rightarrow Ba(145,56)^* + Kr(88,36)^* + 3 \cdot n(1,0);$
- 2) $U(235,92) + n(1,0) \rightarrow Xe(139,54)^* + Sr(95,38)^* + 2 \cdot n(1,0);$
- 3) $U(235,92) + n(1,0) \rightarrow La(145,57)^* + Br(87,35)^* + 4 \cdot n(1,0).$

Кроме указанных пар осколочных ядер, продуктами деления могут быть и другие пары. В табл. 3 приведены определенные по формулам (22) составы осколочных ядер, а также баланс ядерных частиц для указанных реакций деления ядра U-235.

Составы осколочных ядер и баланс ядерных частиц даны в табл. 4.

Приведенные в табл. 4 ядерные реакции сводятся к реакциям превращения ядерных частиц:

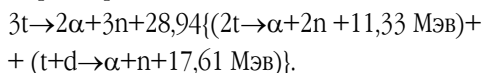
- первая реакция
 $2t \rightarrow \alpha + 2n + 11,33 \text{ Мэв} \{ (t \rightarrow d + n - 6,28 \text{ Мэв}) + (t + d \rightarrow n + 17,61 \text{ Мэв}) \};$
- вторая реакция
 $t \rightarrow d + n - 6,28 \text{ Мэв};$

Таблица 4

Состав осколочных ядер, образующихся при делении ядра U-235

Ядро	Состав ядра			Баланс ядерных частиц			
	N_α	N_t	N_d	α	t	d	n
U(235,92)	20	51	1	–	–	–	–
Ba(145,56)	11	33	1	+1	-2	0	+2
Kr(88,36)	10	16	0				
Xe(139,54)	11	31	1	0	-1	+1	+1
Sr(95,38)	9	19	1				
La(145,57)	13	31	0	+2	-3	-1	+3
Br(87,35)	9	17	0				

• третья реакция



Первая и третья реакции – это реакции внутриядерного синтеза. Они сопровождаются выделением энергии. Вторая реакция – это реакция распада тритона. Она сопровождается поглощением энергии. Выделение и поглощение энергии сопровождаются эквивалентным изменением массы продуктов реакции. Это изменение массы обусловлено превращениями ядерных частиц и связано с перегруппировкой нуклонов. В целом состав осколочных ядер определяется двумя реакциями превращения ядерных частиц: синтеза гелиона $t+d \rightarrow \alpha + n$ и распада тритона $t \rightarrow d + n$, которые в результате сводятся к реакции $2t \rightarrow \alpha + 2n$.

Осколочные ядра являются радиоактивными. Это обусловлено их аномальным составом: избытком тритонов и недостатком гелионов по сравнению со стабильными ядрами, состав которых приведен в табл. 4. Изотопы с относительно стабильными ядрами получили название изотопов главной последовательности (ИГП). Они имеют состав ядра, отвечающий минимальной внутренней энергии. Их состав определялся так. По формулам (23) определялся состав наиболее стабильного изотопа, который имеет массовое число A^* , близкое к приведенному в таблице Менделеева. Изотопы с большими значениями A отличаются по составу только количеством нейтронов. В табл. 5 приведены составы ядер ИГП, а также отличия в составе осколочных ядер и ядер ИГП (баланс ядерных частиц).

Осколочные ядра претерпевают ряд изменений, в результате которых переходят в состояние с наименьшей энергией (релаксация). Это происходит в основном в результате реакции $2t \rightarrow \alpha + 2n$, сопровождающейся выделением энергии, в том числе в форме γ -излучения. Другой особенностью осколочных ядер является отсутствие в их составе свободных нейтронов. Поэтому они обладают способностью активно поглощать нейтроны. Кроме того, по мере накопления свободных нейтронов происходит образование дейтронов в результате реакции $2n \rightarrow d + e$. При этом осколочное ядро превращается в ядро изотопа со следующим порядковым номером, а образовавшийся лишний электрон покидает ядро (β -распад).

Механизмы поглощения нейтронов

Поглощение нейтронов происходит ядрами изотопа U-238 и осколочными ядрами. При этом нейтроны могут накапливаться в ядрах до определенного предела (насыщение), и перерабатываться в дейтроны и, в конечном счете, в гелионы. Переработку нейтронов в гелионы можно представить в виде реакции $4n \rightarrow \alpha + 2e$, которая включает в себя промежуточные реакции: $2n \rightarrow d + e$, $t + d \rightarrow \alpha + n$.

Поглощение нейтронов ядрами изотопа U-238

Ядра U-238 могут накапливать попадающие в них нейтроны

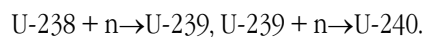


Таблица 5

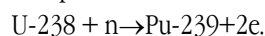
Состав ядер изотопов главной последовательности

Ядро	Состав ядра				Баланс ядерных частиц			
	N_α	N_t	N_d	N_n	α	t	d	n
Ba(145,56)	19	18	0	15(16)	8	-15	-1	15
Kr(88,36)	12	12	0	4(6)	2	-4	-1	4
Xe(139,54)	16	22	0	9(12)	5	-9	-1	9
Sr(95,38)	13	12	0	6(8)	4	-7	-1	6
La(145,57)	16	25	0	6(8)	3	-6	0	6
Br(87,35)	13	9	0	6(7)	4	-8	0	6

Примечание. В скобках указано число нейтронов для изотопов с максимальным значением числа A .

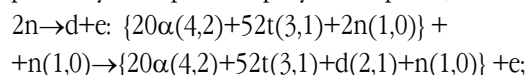
Осколочные ядра образуются в результате деления ядра U-235, а ядра элементов с теми же порядковыми номерами, как и у осколочных ядер, образуются в результате внутриядерного синтеза при попадании нейтронов извне и переработки их в другие ядерные частицы. Поэтому состав осколочных ядер отличается от состава ядер относительно стабильных изотопов с теми же значениями массового числа A .

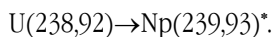
Поглощение нейтронов происходит также в результате образования изотопа плутония Pu-239.



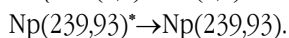
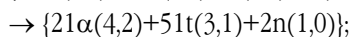
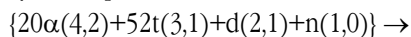
Эта реакция включает в себя 3 стадии.

1) При попадании нейтрона в ядро U-238 образуется ядро нептуния Np-239* в результате реакции



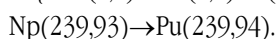
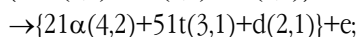
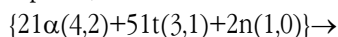


2) В ядре Np-239 происходит образование гелиона в результате реакции $t+d \rightarrow \alpha+n$



При этом массовое число A и заряд Z ядра не изменяются.

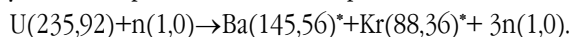
3) Ядро Np-239 превращается в ядро Pu-239 в результате реакции $2n \rightarrow d+e$:



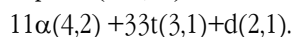
Таким образом, в результате реакции превращения ядра U-238 в ядро Pu-239 имеем такой баланс частиц $-3n, +d, -t, +\alpha$. В результате исчезают 3 нейтрона: 1 налетающий и 2 содержащихся в ядре U-238.

Поглощение нейтронов осколочными ядрами

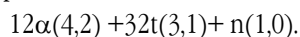
Рассмотрим в качестве примера ядро радиоактивного бария $Ba(145,56)^*$ как одно из осколочных ядер, образующихся в реакции деления ядра U-235



Ядро $Ba(145,56)^*$ имеет состав



В результате реакции $t+d \rightarrow \alpha+n$ оно превращается в ядро с таким составом



Выделившаяся при этом энергия 17,6 Мэв расходуется на возбуждение ядра, энергию нейтрона и γ -излучение. Так как ядро находится в возбужденном состоянии и в нем нарушен баланс гелионов и тритонов, то в дальнейшем наиболее вероятна реакция $2t \rightarrow \alpha+2n$, сопровождающаяся выделением энергии 11,3 Мэв. Эта переработка тритонов в гелионы может продолжаться, пока ядро не придет в состояние, соответствующее наименьшей внутренней энергии, то есть в стабильное состояние. Этому стабильному состоянию отвечает состав ядра, характерный для изотопов главной последовательности. Образующиеся в результате реакции $2t \rightarrow \alpha+2n$ нейтроны могут накапливаться в ядре и перерабатываться в дейтроны ($2n \rightarrow d+e$) и другие ядерные частицы, в конечном счете, в гелионы. После образования дейтрона изотоп Ba превращается в изотоп элемента со следующим порядковым номером La, который также может накапливать нейтроны и перерабатывать их в другие ядерные частицы. Поэтому образующиеся при делении ядер легко делящихся изотопов U-235 и Pu-239 нейтроны, включая быстрые, будут перерабатываться в другие ядерные частицы, находясь в основном внутри осколочных

ядер. Этот процесс может продолжаться вплоть до образования тяжелых ядер.

Заключение

Результаты выполненных исследований дают основания считать, что реализуемые в настоящее время программы создания ядерных реакторов нового поколения не имеют перспективы.

Концепция получения энергии в результате термоядерного синтеза является теоретически несостоятельной, что подтверждается безуспешными попытками её экспериментального подтверждения на протяжении шести десятилетий. Принципиальное отличие термоядерного реактора от действующих "тепловых" реакторов состоит в том, что в последнем используется природный источник энергии - урановое топливо, а в термоядерном реакторе такого источника нет. Показано, что во всех ядерных реакциях ядерное вещество не превращается в энергию, как это следует из упрощенного толкования соотношения Эйнштейна $E=mc^2$ как принципа эквивалентности массы и энергии. В ядерных реакциях происходит превращение внутренней потенциальной энергии (энергии поля) ядра в другие виды энергии при строгом выполнении закона сохранения энергии. Единственным источником энергии для термоядерного реактора может быть только энергия, поступающая на его вход, которая с учетом неизбежных потерь должна быть больше энергии на выходе реактора.

Концепция создания безотходных технологий на основе реакторов на быстрых нейтронах предусматривает сжигание основного компонента ядерного топлива - природного урана (изотопа U-238), который в обычных реакторах почти не участвует в процессе горения. Однако опыт создания и эксплуатации таких реакторов не подтверждает эти ожидания. Образующиеся в процессе деления легко делящихся компонентов (U-235 и Pu-239) осколочные ядра способны в большом количестве поглощать и перерабатывать нейтроны. В связи с этим после выгорания легко делящихся компонентов процесс горения неизбежно затухает. Как показано, осколочные ядра отличаются аномальным составом и обладают в силу этого избыточной внутренней энергией. С использованием новых представлений о нейтроне и дейтроне показано, что образовавшиеся нейтроны могут накапливаться в осколочных ядрах и "перерабатываться" внутри их в другие ядерные частицы, в конечном счете в гелионы. Таким образом, нейтроны высокой энергии, образовавшиеся при делении ядра U-235 (или Pu-239), остаются в основном внутри осколочных ядер,

а основной компонент загружаемого в реактор ядерного топлива U-238 почти не принимает участия в процессе горения. При этом одной из наиболее характерных реакций является образование дейтрона из двух нейтронов: $2n \rightarrow d + e$. В результате образуется изотоп элемента

со следующим порядковым номером. Процесс переработки нейтронов в другие ядерные частицы можно представить в таком виде: $2n \rightarrow d + e$, $3n \rightarrow t + e$, $4n \rightarrow \alpha + 2e$. Этот процесс может происходить в осколочных ядрах вплоть до образования тяжелых ядер.

Литература

1. Эйнштейн А. Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии? Собр. Научных трудов. – М., 1965. Т.1. С. 38.
2. Бриллюэн Л. Новый взгляд на теорию относительности. Пер. с англ. – М., 1972.
3. Физическая энциклопедия. С.Э. – М., 1988. С.580.
4. Л. Полинг Л. Общая химия. Пер. с англ. – М., 1974.
5. Серга Э.В. Строение материи: основы единой теории вакуума и вещества. – М., 2006.
6. Серга Э.В. Переработка ядерных отходов новый подход // Двойные технологии. – М., 2009. С. 57-64.
7. Серга Э.В. Масса ядра и потенциальная энергия // Сборник трудов секции инженерных проблем РИА. Вып. 18. 2008. С.154-158.
8. Физические величины. Справочник. «Энергоатомиздат». – М., 1991.

Материал поступил в редакцию 02. 11. 2012 г.