

© Серга Э.В.
Serga E.

О НОВОЙ ТЕОРИИ ИЗОТОПОВ

THE NEW THEORY OF ISOTOPES

Аннотация. Излагаются основные положения новой теории изотопов и её приложения. В основе предлагаемой теории лежит гелион-водородная модель атомного ядра и концепция внутриядерного синтеза. Теория объясняет связь состава ядра с его свойствами. Она может найти практическое применение в решении проблем ядерной энергетики и ядерной химии. На основе выполненных исследований показано отсутствие перспективы у термоядерного реактора и реакторов на быстрых нейтронах. Показано также, что проводимые исследования по синтезу долгоживущих далёких трансураниевых элементов не имеют перспективы. Новые возможности в решении проблем ядерной энергетики и ядерной химии открываются при создании устройств нового типа, в которых реактор совмещён с ускорителем протонов.

Annotation. Outlines the main points of the new theory of isotopes and applications. The theory is based Gelion-hydrogen model of the atomic nucleus and the concept of intranuclear synthesis. This theory explains the relationship ended kernel with its properties. She may find practical application in solving the problems of nuclear power and nuclear chemistry. On the basis of the executed research shows the absence of prospects of thermonuclear reactors and fast neutron reactors. It is also shown that the studies on the synthesis of long-lived far transuranium elements do not have perspectives. New opportunities in solving the problems of nuclear power and nuclear chemistry, open during the POPs-Denmark devices of new type, in which the reactor combined with proton accelerator.

Ключевые слова. Изотоп, атомное ядро, радиоактивность, ядерная энергетика, ядерная химия, превращение элемента, внутриядерный синтез, ускоритель протонов.

Key words. Isotope, atomic nucleus, radioactivity, nuclear energy, nuclear chemistry, transformation of element, intranuclear synthesis, proton accelerator.

Введение

Многие проблемы, возникшие в первые годы освоения ядерной энергии, не имеют удовлетворительного решения до настоящего времени, прежде всего, проблемы эффективности и безопасности. Это обусловлено отставанием теоретической ядерной физики от потребностей практики. В связи с этим среди специалистов нет единого мнения о путях дальнейшего развития ядерной энергетики. Многие важные решения в этой области принимаются в условиях неопределённости, на основе предположений, не подтверждённых экспериментально. Ядерная энергетика стала непривлекательной для инвесторов. Некоторые страны прекратили строительство новых реакторов и постепенно выводят из эксплуатации действующие реакторы (например, Германия).

Специалисты в области ядерной физики не знают, как устроено атомное ядро, о чём говорит множество теоретических моделей, которые не дают ответа на вопрос о связи состава ядра с его свойствами. В большин-

стве ядерных моделей принято считать, что ядра состоят из протонов и нейтронов. Состав ядра характеризуется массовым числом A и зарядом Z . По современным представлениям, изотопы химических элементов отличаются только числом нейтронов. Но неизвестно, как количество нейтронов влияет на свойства ядра. Почему, например, распространённый изотоп урана U-238 является стабильным, а редкий изотоп U-235, имеющий в составе ядра на 3 нейтрона меньше, подвержен делению? В ядерном реакторе после выгорания изотопа U-235 процесс горения затухает, а основной компонент U-238 в горении не участвует.

Важную информацию о составе ядер можно извлечь из данных об их радиоактивности. Несомненно, что виды радиоактивных излучений являются следствием происходящих внутри ядра процессов. Вылет из тяжёлых ядер α -частиц (гелионов, ядер гелия) говорит о том, что они были образованы в ядре и находились там до того, как покинули ядро. Составляющие ге-

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.

лион два протона и два нейтрона сгруппированы в упорядоченную систему взаимодействующих частиц, масса которых отличается от суммарной массы двух протонов и двух нейтронов. Однако в современном представлении о составе ядра факт группирования нуклонов в упорядоченные внутри ядра структуры не учитывается. Отсюда следует, что существующие представления о строении ядра являются приближёнными и не позволяют установить зависимость свойств ядра от его состава. Такая зависимость установлена в разработанной автором гелион-водородной модели ядра и созданной на её основе новой теории изотопов. Важное значение для понимания строения ядра и происходящих в нём процессов имеют новые представления о строении нейтрона и дейтрона.

Некоторые материалы по излагаемым вопросам были приведены в прежних публикациях автора. Поэтому здесь они даются в кратком изложении в целях обобщения и целостного восприятия материала по данной теме. В настоящей работе основное внимание уделено возможным приложениям новой теории изотопов.

О гелион-водородной модели атомного ядра

Данная модель является развитием гелион-тригонной модели Л. Полинга [1]. Основные сведения о гелион-водородной модели атомного ядра даны в работах [2, 3, 7, 11]. Согласно предлагаемой модели ядро имеет кристаллическую структуру и состоит из ядерных частиц. Это изотопы водорода и гелия, а также нейтрон. Всего 6 ядерных частиц. Ядро имеет остов и оболочку. Остов состоит из гелионов, а оболочка в основном из тритонов (как в модели Полинга). Остов и оболочка состоят из правильных выпуклых многогранников, вершины которых расположены в сферических слоях и заняты ядерными частицами. Состав ядер наиболее распространённых изотопов определяется по формулам

$$\begin{aligned} \text{число нейтронов: } N_n &\leq 2; \\ \text{число тритонов: } N_t &= A - 2Z - N_n; \\ \text{число гелионов: } N_\alpha &= 1/2 \cdot (3Z - A - N_n). \end{aligned} \quad (1)$$

Значения A в формулах (1) близки к значениям, приведенным в таблице Менделеева.

В качестве исходного положения принимаем, что взаимное расположение ядерных частиц, определяющее конфигурацию ядра, обусловлено принципом минимальной энергии атома как системы в целом: система взаимодействующих частиц в невозбужденном состоянии имеет низший энергетический уровень. Между ядерными частицами действуют силы отталкивания одноименных зарядов, а между ядром в целом и электронной оболочкой атома – силы притяжения. Ядерные частицы в среднем

должны занимать положение, соответствующее наиболее плотной упаковке.

Масса ядра и потенциальная энергия

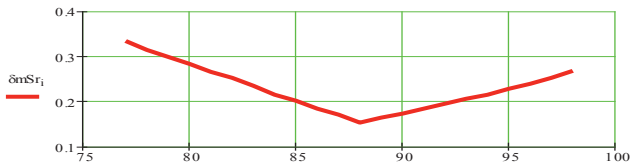
Принцип зависимости массы тела от содержащейся в нём энергии был сформулирован Эйнштейном в 1905 г. [4]. Однако при этом не уточняется, о какой энергии идёт речь и где эта энергия локализована. В критическом анализе теории относительности Бриллюен особое внимание уделил потенциальной энергии и связи её с массой системы взаимодействующих частиц. Он задаётся вопросом о том, где поместить эту массу. И отмечает, что этот принципиальный вопрос часто игнорировали и обходили, потому что не во всех задачах он кажется достаточно ясным [5]. Связь массы ядра и потенциальной энергии рассматривалась в статьях [6, 7]. Заряженные частицы ядра образуют поле. Энергия поля – это потенциальная энергия T , которой соответствует эквивалентная ей масса, определяемая соотношением Эйнштейна: $\delta m = T/c^2$. Энергия поля не локализована на частицах, а распределена в пространстве между ними и вокруг них. Соответственно масса δm , которую будем называть полевой компонентой, относится к системе взаимодействующих частиц в целом. Здесь величина δm – разность между массой ядра и массой составляющих его ядерных частиц. Величина δm получила название мангель (от нем. Mangel – недостаток) [8]. В ядерной физике используется понятие дефекта массы как разности между массой ядра и массой составляющих его нуклонов, обозначаемое как Δm . Величина δm отличается от величины Δm , так как суммарная масса ядерных частиц отличается от суммарной массы нуклонов, определяемой значением A . Величина мангеля для ядерных частиц определяется по формулам

$$\begin{aligned} \delta m_n &= m_n - (m_p + m_e); \\ \delta m_d &= m_d - (2m_p + m_n); \\ \delta m_t &= m_t - (m_d + m_n); \\ \delta m_{\alpha_3} &= m_{\alpha_3} - (m_d + m_p); \\ \delta m_\alpha &= m_\alpha - 2m_d. \end{aligned} \quad (2)$$

Знак потенциальной энергии (энергии поля) совпадает со знаком действующей силы между заряженными частицами, составляющими ядро или ядерную частицу. У нейтрона мангель положительный, так как между частицами, на которые он распадается (протоном и электроном), действует сила притяжения. У других ядерных частиц и атомных ядер мангель является отрицательным, как и дефект массы.

Наибольшей устойчивостью обладают ядра изотопов с наименьшим значением мангеля, что соответствует

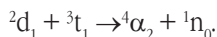
ядру с наименьшей внутренней потенциальной энергией. К ним относятся, в частности, так называемые магические ядра. На рисунке в качестве примера приведена зависимость мангеля от величины A для изотопов стронция Sr_{38} . Наименьшее значение мангеля у ядра с $A = 88$, что соответствует магическому числу $A - Z = 50$. Ядро $^{88}Sr_{38}$ имеет состав $13\alpha\delta + 12t$.



Зависимость величины мангеля δm от массового числа A для изотопов стронция Sr_{38}

В ядерных реакциях происходит перегруппировка заряженных частиц и, соответственно, изменяется энергии поля и эквивалентная ей полевая компонента массы ядра. Это изменение полевой компоненты ошибочно принимается как превращение ядерного вещества в энергию. Покажем это на конкретных примерах.

Рассмотрим реакцию слияния ядер дейтерия и трития, которую намереваются осуществить в термоядерном реакторе. Эта реакция выглядит так:



Согласно соотношению Эйнштейна $E = mc^2$, выделяемая при слиянии ядер дейтерия и трития энергия эквивалентна разнице масс начальных и конечных продуктов реакции

$$\Delta E = [(m_d + m_t) - (m_\alpha + m_n)] \cdot c^2 = 17,61 \text{ МэВ.}$$

Однако энергию, получаемую в соответствии с формулой Эйнштейна, не удаётся получить в экспериментальной установке при условии, что энергия на выходе устройства превышает затраченную энергию. Этот вопрос рассматривался в статьях [3, 8]. Причина в следующем. В реакции количество нуклонов остаётся неизменным: три нейтрона и два протона. Массы этих частиц приводятся в справочниках в перечне фундаментальных величин с точностью 9 знаков после запятой. Следовательно, масса ядерного вещества не изменяется. Это означает, что ядерное вещество не превращается в энергию и само по себе не может быть источником энергии.

Утверждение о превращении ядерной материи в энергию опровергается также данными измерений баланса энергии при делении ядра изотопа урана U-235. Согласно этим данным, основная доля выделяемой энергии это кинетическая энергия осколочных ядер E_k . Она составляет $\sim 90\%$ от полной энергии мгновенного излучения [9]. Эта кинетическая энергия обусловлена кулоновским ускорением осколков, образующихся в резуль-

тате деления ядра урана. Её величина определяется потенциальной энергией T , зависящей от величин зарядов осколков и расстояния между ними

$$T = Z_1 Z_2 e^2 / (R_1 + R_2), \quad (3)$$

где Z_1 и Z_2 – заряды осколочных ядер; e – единичный заряд; R_1 и R_2 – радиусы осколочных ядер.

При делении ядра U-235 внутренняя потенциальная энергия T превращается в кинетическую энергию продуктов реакции W . Величина T не зависит от массы делящегося ядра и массы осколков, то есть основная доля выделяемой энергии не связана с превращением ядерной материи в энергию. Изменение массы продуктов ядерной реакции связано с изменением потенциальной энергии взаимодействующих частиц и, соответственно, изменением массы полевой компоненты. Однако потенциальная энергия в соотношении Эйнштейна не учитывается. Поэтому изменение массы полевой компоненты в ядерных реакциях ошибочно принимается как изменение массы в результате превращение ядерной материи в энергию.

Одной из главных характеристик атомных ядер считается энергия связи E_{cb} , которая, согласно современным представлениям, обусловлена дефектом массы Δm . В справочных таблицах приводится значение Δm как разницы между массой ядра m и массовым числом A : $\Delta m = (m - A)$. Величина E_{cb} определяется из соотношения Эйнштейна: $E_{cb} = \Delta m c^2$. При этом величину E_{cb} полагают положительной, в то время Δm является величиной отрицательной. Если бы масса ядра была больше массы составляющих его частиц, то величина E_{cb} , определяемая соотношением Эйнштейна, имела бы определенный физический смысл: при распаде ядра должна выделяться энергия, эквивалентная этому превышению массы. Однако масса ядра меньше массы составляющих ядро частиц, и тогда получаем величину E_{cb} отрицательную, что не соответствует понятию энергии связи в общепринятом понимании. Особенно явно нарушение зависимости $E_{cb} = \Delta m c^2$ проявляется при рассмотрении изотопов химических элементов.

Поэтому указанные в справочных материалах величины энергии связи, определяемые как $E_{cb} = \Delta m c^2$ с обратным знаком, не отражают физическую реальность.

Внутриядерный синтез

Ядро как квантово-механическая система стремится к состоянию с наименьшей внутренней энергией (релаксация). В связи с этим в ядре происходят реакции внутриядерного синтеза, сопровождающиеся выделением энергии и, соответственно, уменьшением массы ядра на величину, эквивалентную выделяемой энергии. Основные реакции внутриядерного синтеза даны в табл. 1.

Таблица 1

Основные реакции внутриядерного синтеза

Реакции	Формула реакции	Баланс энергии, МэВ
Образование дейтрона	$2n \rightarrow d + e$	2,50
Образование тритона	$d + n \rightarrow t$	6,28
Образование гелиона	$t + d \rightarrow \alpha + n;$ $2t \rightarrow \alpha + 2n$	17,61; 11,33

Приведенные в таблице реакции позволяют объяснить все виды радиоактивных излучений ядер. Нейтроны как незаряженные частицы легко проникают в ядро и могут там накапливаться до определённого предела. При избыточном количестве нейтронов возможна реакция образования дейтрона $2n \rightarrow d + e$, сопровождающаяся вылетом электрона (β -распад). При этом заряд ядра увеличивается на 1. Дейтрон, присоединяя нейтрон, превращается в тритон. Образование гелиона происходит в результате слияния дейтрона и тритона или двух тритонов. При этом массовое число A и заряд Z остаются неизменными, но состав ядра изменяется. Все реакции внутриядерного синтеза сопровождаются выделением энергии в виде γ -излучения. Таким образом, в ядре происходит «переработка» нейтронов в другие ядерные частицы, в конечном счёте, в гелионы.

Гелионы не превращаются в другие ядерные частицы и после достижения определённого предела покидают ядро (α -распад). Этот предел определяется как число гелионов в остове ядра урана – самого тяжёлого элемента, встречающегося в природе. Основной по содержанию изотоп природного урана U-238 (99,3 %) имеет такой состав: $U-238 \leftrightarrow 20\alpha + 52t + 2n$. (Символ « \leftrightarrow » означает тождественность). Число гелионов в ядре урана равно 20, что соответствует числу вершин додекаэдра – правильного многогранника с наибольшим числом вершин. Поэтому число гелионов в ядре урана можно считать предельным для стабильных изотопов химических элементов. Следующий за ураном элемент плутоний имеет в своём ядре 21 гелион. Он имеет меньшее время полураспада и не встречается в природе. Плутоний и другие следующие за ураном элементы были получены искусственным путём. Оболочку ядра занимают тритоны. При их избыточном количестве происходит реакция образования гелиона из двух тритонов: $2t \rightarrow \alpha + 2n$.

Новая теория нейтрона

В статье [7] было показано, что нейтрон не является элементарной частицей, как принято считать. Нейтрон в свободном состоянии распадается на протон и

электрон, то есть те же частицы, из которых состоит атом водорода. Это даёт основание считать, что нейтрон и атом водорода – это одна система в различных энергетических состояниях. Энергетическое состояние атома водорода характеризуется квантовыми числами $n=1, 2, 3...$ Показано, что если нейтрон и атом водорода рассматривать как одну систему «протон-электрон», то для нейтрона следует принять $n=0$. При этом орбитальная скорость электрона v_0 в составе нейтрона равна скорости света c как предельно допустимая в электромагнитных взаимодействиях. Радиус нейтрона r_0 определяется как

$$r_0 = \tilde{\alpha} \lambda_e, \tag{4}$$

где $\tilde{\alpha}$ – постоянная тонкой структуры; λ_e – комптоновская длина волны электрона. Численное значение r_0 равно классическому радиусу электрона и составляет $r_0 = 2,817 \cdot 10^{-15}$ м.

Определённая в теории Бора величина радиуса атома водорода в энергетическом состоянии, характеризующимся квантовым числом $n=1$, составляет: $r_1 = 5,292 \cdot 10^{-11}$ м. Её можно определить с использованием тех же постоянных $\tilde{\alpha}$ и λ_e как

$$r_1 = \tilde{\alpha}^{-1} \lambda_e. \tag{5}$$

Нейтрон в свободном состоянии и нейтрон в составе атомного ядра отличаются своими характеристиками. В атомных ядрах происходит поляризация нейтронов: положительно заряженное ядро притягивает к себе отрицательно заряженный электрон и отталкивает положительно заряженный протон, входящие в состав нейтронного диполя $\langle p^+e^- \rangle$. Поэтому электрон не вращается относительно протона, и расстояние между полюсами нейтрона определяет его размер. Радиус нейтрона в составе атомных ядер можно определить с использованием данных измерений его массы и определения величины полевой компоненты массы нейтрона δm_n (здесь $\delta m_n = \Delta m_n$).

Величина полевой компоненты массы нейтрона как системы $\langle p^+e^- \rangle$ определяется как

$$\Delta m_n = \Delta E_n / c^2, \tag{6}$$

где ΔE_n – потенциальная энергия (энергия поля), определяемая как

$$\Delta E_n = \frac{1}{2} \cdot e^2 / \epsilon r_n,$$

где $\epsilon = 4\pi\epsilon_0$ – константа связи; ϵ_0 – электрическая постоянная.

Отсюда получаем зависимость величины r_n от полевой компоненты массы нейтрона Δm_n

$$r_n = \frac{1}{2} \cdot e^2 / \epsilon \Delta m_n c^2. \tag{7}$$

Масса нейтрона определяется как разница масс нейтрона и протона по данным измерений энергетического баланса различных ядерных реакций. Величина

Δm равна разнице массы нейтрона и суммарной массы протона и электрона:

$$\Delta m = m_n - (m_p + m_e).$$

Эта величина составляет: $\Delta m_n = 0,84 \cdot 10^{-3}$ а.е.м. Подставив в (6) значение Δm_n , получим величину $r_n = 0,92 \cdot 10^{-15}$ м. Поляризованный электрон в составе ядра является диполем, поэтому величина r_n – это размер диполя $\langle p^+e^- \rangle$, а не радиус орбиты электрона как у нейтрона в свободном состоянии. 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 равно удвоенному значению R_n , то есть составляет $0,89 \cdot 10^{-15}$ м. Это значение отличается от определённого из соотношения (6) расчетного значения r_n на величину порядка 3 %, что можно считать хорошим согласованием.

Следует рассмотреть также аргументы, на основании которых физики пришли к заключению, что нейтрон элементарная частица. Первый из аргументов связан со спином нейтрона J_n , который равен $\frac{1}{2}\hbar$. Такой же, как у составляющих его частиц: протона и электрона. Тогда, если нейтрон состоит из этих частиц, то его суммарный спин должен быть равным 1, а не $\frac{1}{2}$. Но если учесть вращение электрона относительно протона, то его суммарный спин имеет три составляющие: спин протона, спин электрона и орбитальный момент электрона, который должен быть равен $\frac{1}{2}$. Тогда три равные $\frac{1}{2}$ составляющих спина в сумме дают полуцелый спин.

Другая трудность связана с определением спина ядра азота как суммарного спина составляющих его частиц. Ко времени открытия Э. Резерфордом атомного ядра (1911 г.) были известны две элементарные частицы: электрон и протон. Поэтому учёные считали, что ядра состоят из этих частиц. Однако впоследствии возникла трудность, получившая название азотной катастрофы. Она была связана с открытием нейтрона (Чедвик, 1932 г.) и определения его спина ($J_n = \frac{1}{2}$). Как полагали, согласно протонно-электронной гипотезе, ядро азота должно содержать 21 частицу (14 протонов и 7 электронов), спин каждой из которых равен $\frac{1}{2}$. Тогда суммарный спин ядра азота должен быть полуцелым, а не целым. Но, согласно опытным данным (полученным по оптическим молекулярным спектрам), он оказался целым (равным 1). Если ядро состоит из 7 протонов и 7 нейтронов, то суммарный спин является целым, что соответствует данным измерений. В связи с этим физики пришли к выводу, что атомное ядро не содержит электронов, а состоит из протонов

и нейтронов.

Однако, как следует из предлагаемой гелион-водородной модели, ядро действительно состоит из протонов и электронов, сгруппированных в ядерные частицы. Ядро азота $^{14}\text{N}_7$ содержит три гелиона и один дейтрон. Эти частицы имеют целочисленный спин. Тем самым устраняется противоречие между расчетным и измеренным значением спина азота.

Новая теория дейтрона

Согласно представлениям ядерной физики, внутри ядра действуют ядерные силы, которые компенсируют кулоновские силы отталкивания между протонами. Однако концепцию ядерных сил нельзя считать удовлетворительной. Такой вывод следует из рассмотрения структуры дейтрона как ядра, состоящего, как принято считать, из протона и нейтрона. Между этими частицами нет кулоновской силы отталкивания, но есть ядерная сила, которая не нужна как сила противодействия отсутствующей кулоновской силе. Вместе с тем нет ядра, состоящего из двух протонов, в котором ядерная сила нужна для противодействия кулоновской силе отталкивания протонов. Получается, что нет ядра, в котором ядерные силы необходимы, но есть ядро, в котором они не нужны.

В монографиях [10, 11] и статьях [3, 7] дейтрон был рассмотрен как ядро, состоящее из двух спаренных протонов и электрона, вращающегося относительно пары (система $\langle 2p^+e^- \rangle$). Такое ядро имеет заряд $Z=1$ и массовое число $A=2$, как и ядро, состоящее из протона и нейтрона. Здесь используем аналогию со спаренными электронами (куперовскими парами), известными в теории сверхпроводимости. Существование устойчивой пары из двух одинаковых элементарных частиц возможно при наличии внешнего электромагнитного поля. Для спаренных электронов такое поле создаётся положительно заряженными ионами кристаллической решётки металлов. Для спаренных протонов такое поле может быть образовано электроном, вращающимся относительно протонной пары. Тогда дейтрон подобен нейтрону. Отличие в том, что в центре дейтрона находится не единичный протон, а протонная пара, относительно которой вращается электрон.

Существование спаренных протонов не противоречит представлениям современной физики. В физической литературе высказываются соображения о необходимости учета влияния гравитации на сверхмалых расстояниях. Если исходить из представлений квантовой теории поля, в гравитационном взаимодействии также должен быть предел локализации, подобно комптоновской длине волны в электромагнитном взаимодействии.

В протонной паре электрические заряды и гравитационные массы образуют поля. Точки, в которых сходятся силовые линии, образуемые электрическими зарядами, можно рассматривать как электрические полюса, в которых сосредоточены электрические заряды. Соответственно, точки, в которых сходятся силовые линии, образуемые гравитационными массами, можно рассматривать как гравитационные полюса, в которых сосредоточены гравитационные массы взаимодействующих частиц. Между протонами действуют противоположно направленные силы гравитационного притяжения и кулоновского отталкивания. Полагаем, что электрические и гравитационные полюса протонов находятся в разных точках. Тогда из условия статического равновесия системы из двух протонов можно найти соотношение между расстояниями для электрических и гравитационных по-

$l_{\text{пл}} = 1,6 \cdot 10^{-33}$ м, так как получена другим способом. В формуле Планка не учитывались величина заряда e и электрическая постоянная ϵ_0 .

Пара из двух протонов получила название ядерной пары. Дейтрон как система $\langle 2p^+e^- \rangle$ образуется в результате реакции $2n \rightarrow d + e$ ($\langle p^+e^- \rangle + \langle p^+e^- \rangle \rightarrow \langle 2p^+e^- \rangle + e$).

Изложенная теория строения нейтрона и дейтрона подтверждает концепцию внутриядерного синтеза и даёт новое объяснение явлению β -распада. В ядро попадают извне нейтроны, которые «перерабатываются» первоначально в дейтроны, затем в тритоны и, в конечном счёте, в гелионы. Теория объясняет все виды радиоактивного излучения. Важным следствием теории является вывод о том, что в гипотетических ядерных силах нет необходимости.

В табл. 2 приведены данные о составе и структуре составляющих ядро частиц, включая элементарные и

Таблица 2

Состав и структура составляющих ядро частиц

Частица	Состав			Заряд	Структура	Δm	δm
	e	p	$\langle pp \rangle$				
Электрон	1	0	0	-e	-	-	-
Протон, p	0	1	0	+e	-	-	-
Нейтрон, n	1	1	0	0	$p \cap e$	0,00084	0,00084
Дейтрон, d	1	0	1	+e	$\langle pp \rangle \cap e$	-0,0018	-0,0010
Тритон, t	2	1	1	+e	$d \cap n$	-0,0086	-0,0067
Гелион-3, α	1	1	1	+2e	$d \cap p$	-0,0029	-0,0053
Гелион, α	2	0	2	+2e	$d \cap d$	-0,0089	-0,026

Обозначения: $\langle pp \rangle$ связанная протонная (ядерная) пара, « \cap » означает объединение

люсов. Используя известные формулы для законов гравитационного и кулоновского взаимодействия масс и зарядов, определим это соотношение:

$$l_g/l_e = m/e \cdot (\epsilon G)^{1/2}, \quad (8)$$

где l_g и l_e – соответственно расстояния между гравитационными и электрическими полюсами; m и e – соответственно масса и заряд протона; $\epsilon = 4\pi\epsilon_0$ – константа связи; ϵ_0 – электрическая постоянная; G – гравитационная постоянная.

Если в качестве l_e принять комптоновскую длину волны протона $\lambda_p = h/mc$, то с использованием выражения для постоянной тонкой структуры $\tilde{\alpha} = e^2/4\pi\epsilon_0 \hbar c$ ($\hbar = h/2\pi$) выражение (8) приводится к такому виду

$$l_g = \pi^{-1/2} h/e c \cdot (\epsilon_0 G)^{1/2}. \quad (9)$$

Подставив в формулу (9) значения констант, получим $l_g = 1,9 \cdot 10^{-34}$ м.

Значение l_g является таким же и для пары, состоящей из двух электронов, так как входящие в (9) величины являются постоянными. Поэтому l_g можно считать фундаментальной длиной.

Величина l_g отличается от планковской длины

ядерные частицы, а также значения величин Δm и δm .

Рассмотрим возможные приложения предлагаемой теории.

Нейтронные технологии

Существуют различные источники нейтронов. Самые мощные источники нейтронов – ядерные реакторы, испускающие 10^{18} – 10^{19} нейтронов/сек. Легко проникающие в ядро нейтроны приносят с собой вещество и энергию. В результате «переработки» нейтронов в другие ядерные частицы происходит превращение ядер химических элементов. Эти процессы происходят в природе, но могут быть осуществлены также искусственным путем. Так, например, при облучении урановой мишени мощными потоками нейтронов были синтезированы трансурановые элементы с $Z = 93$ – 100 . Таким же способом можно осуществить превращение одних элементов в другие.

Получение золота и платины из серебра

В табл. 3 приведен определённый по формулам (1) состав ядер изотопов серебра, золота и платины со значениями массового числа A , близким к указанному в та-

Таблица 3

Состав ядер изотопов серебра, золота и платины

Элемент	Состав ядра			Баланс ядерных частиц		
	α	t	n	α	t	n
Серебро, $^{107}\text{Ag}_{47}$	17	13	–	–	–	–
Золото, $^{197}\text{Au}_{79}$	20	39	–	3	26	0
Платина, $^{195}\text{Pt}_{78}$	20	38	1	3	25	1

блице Менделеева.

Получение золота и платины из серебра можно осуществить путём обработки мишени из серебра потоком нейтронов, которые в результате внутриядерного синтеза будут переработаны в гелионы и тритоны. Превращение нейтронов в гелионы и тритоны можно представить так



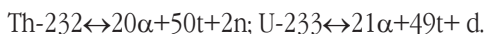
Тогда количество нейтронов, попавших в ядра атомов серебра и переработанных в гелионы и тритоны, составит:

- $4n \times 3 + 3n \times 26 = 90$ – для золота;
- $4n \times 3 + 3n \times 25 + 1 = 87$ – для платины.

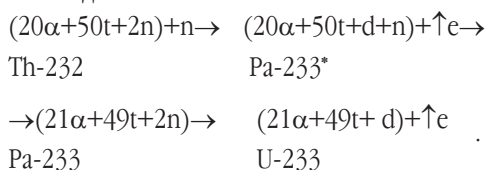
Здесь рассматривается принципиальная возможность получения золота и платины из серебра без оценки технологических трудностей и экономической эффективности.

Получение делящегося изотопа урана U-233 из тория

В настоящее время в качестве ядерного топлива используют обогащённый уран, содержащий ~3% делящегося изотопа U-235. В природном уране доля U-235 всего 0,7%. Россия располагает большими запасами тория. Поэтому представляет интерес использование тория для получения делящегося компонента ядерного топлива. При облучении природного тория Th-232 нейтронами он путём захвата нейтрона и двух последующих β -распадов превращается в изотоп урана U-233, который способен к делению подобно U-235 и Pu-239. Поэтому целесообразно рассмотреть возможность использования природного тория для обогащения природного урана с использованием потока нейтронов. Рассмотрим последовательность ядерных превращений при облучении изотопа Th-232 нейтронами. По формулам (1) определяем состав Th-232 и U-233



В развёрнутом виде последовательность ядерных реакций выглядит так



Ядро природного тория Th-232 отличается от ядра природного урана U-238 только количеством тритонов в оболочке (у изотопа тория на 2 меньше). Поэтому они обладают близкими свойствами, прежде всего, большим временем полураспада. Близкими свойствами обладают также получаемые изотопы U-233 и Pu-239, которые также отличаются количеством тритонов в оболочке (у изотопа урана на 2 меньше). Они являются легко делящимися изотопами. Изотоп U-233 имеет период полураспада $T_{1/2} = 1,6 \cdot 10^5$ лет (у изотопа U-235 $T_{1/2} = 7,4 \cdot 10^8$ лет). Таким образом, торий может быть использован в технологии создания ядерного топлива путём обогащения природного урана делящимся компонентом.

О реакторах на быстрых нейтронах

Используемые в ядерной энергетике технологии имеют два существенных недостатка:

- низкую эффективность использования ядерного топлива (горит только легко делящийся компонент, доля которого составляет ~3% загружаемого в реактор топлива);
- образование большого количества радиоактивных отходов. К указанным недостаткам следует добавить опасность аварий на атомных электростанциях. В табл. 4 приведен примерный состав ядерного топлива в начале и после завершения топливного цикла в обычных («тепловых») реакторах на урановом топливе.

Таблица 4

Примерный состав ядерного топлива

Стадия топливного цикла	Доля, %			
	U-235	U-238	Pu-239	Осколочные ядра
Начало	3	97	–	–
Окончание	0,3	96	1	2,7

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 превращается в изотоп плутония Pu-239. Кроме плутония, в отработанном ядерном топливе содержится очень малое количество других трансураниевых элементов. Следует обратить внимание на то, что процесс горения затухает при образовании определенного количества осколочных ядер, несмотря на присутствие в ядерном топливе делящихся компонентов (U-235 и Pu-239). Выгружаемое из реактора отработанное топливо является источником радиоактивного излучения и требует специальных мер для его хранения.

Проблему повышения эффективности и безопасности ядерной энергетики предполагают решить с ис-

пользованием реакторов на быстрых нейтронах (быстрых реакторах) нового поколения. В таких реакторах доля делящегося компонента ядерного топлива (U-235 или Pu-239) доводится до 30 % и более. Полагают, что в этих реакторах будет происходить деление не только легко делящегося компонента, но и основного компонента природного урана изотопа U-238. При этом большую часть актов деления будут вызывать быстрые нейтроны с энергией более 0,1 Мэв. Сторонники этого направления полагают, что в таких реакторах удастся резко повысить эффективность использования загружаемого в реактор ядерного топлива, прежде всего, за счёт участия в процессе горения изотопа U-238. Они уверяют, что реакторы нового поколения, создание которых предусмотрено федеральным проектом «Прорыв», позволят реализовать замкнутый ядерный топливный цикл и выведут Россию к 2020 году на передовые энергетические рубежи в мире.

Проблема эффективности реакторов на быстрых нейтронах рассматривалась ранее в статьях [7, 12]. Первый демонстрационный реактор на быстрых нейтронах был введён в строй в СССР в 1973 г., а более совершенная реакторная установка БН-600 работает с 1980 г. Тем не менее возможность решения главной проблемы – заставить «гореть» основной компонент ядерного топлива изотоп урана U-238 – экспериментально не подтверждена. Инженерные сложности создания быстрых реакторов связаны с рядом присущих им особенностей. К ним относятся: большая энергетическая напряженность топлива; необходимость обеспечить его интенсивное охлаждение; высокие рабочие температуры теплоносителя, элементов конструкции реактора и оборудования; радиационные повреждения конструкционных материалов, вызванные интенсивным облучением быстрыми нейтронами. Большинство стран, ранее активно работавших в части создания реакторов этого типа, в настоящее время свертывают работы в этом направлении. В настоящее время Россия – единственная страна с действующим быстрым энергетическим реактором. Это реактор БН-600, 3-й энергоблок Белоярской АЭС.

Анализ данных табл. 4 позволяет сделать следующий вывод: образующиеся в процессе деления осколочные ядра способны поглощать нейтроны в количестве, превосходящем количество образующихся нейтронов при делении ядер легко делящихся компонентов. Процесс горения прекращается, несмотря на наличие в топливе делящихся компонентов. Отработанный ядерный топливный элемент нельзя повторно использовать в результате его обогащения делящимся изотопом, если не удалить осколочные ядра. Таким образом, можно утверждать, что су-

ществует некоторое критическое количество осколочных ядер, при котором процесс горения ядерного топлива невозможен.

Осколочные ядра имеют состав, отличающийся от состава стабильных ядер. Они обладают большей массой и, соответственно, большей внутренней энергией по сравнению с относительно стабильными ядрами изотопов с теми же значениями массового числа A. Изотопы с наименьшей внутренней энергией при заданном значении A получили название изотопов главной последовательности (ИГП) [12]. В табл. 5 приведен состав осколочных ядер и ядер ИГП.

Таблица 5

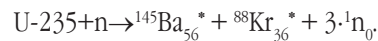
Состав осколочных ядер и ядер ИГП с одинаковым массовым числом

Ядра	Состав ядра				$\Delta m_{\text{оск}}$	Реакции
	α	t	d	n		
$^{145}\text{Ba}_{56}^*$	11	33	1	0	0,080	$7 \cdot (2\alpha \rightarrow +2n) + (t+d \rightarrow \alpha+n)$
$^{145}\text{Ba}_{56}$	19	18	0	15		
$^{88}\text{Kr}_{36}^*$	10	16	0	0	0,065	$2 \cdot (2t \rightarrow \alpha+2n)$
$^{88}\text{Kr}_{36}$	12	12	0	4		

Примечание: величина $\Delta m_{\text{оск}}$ – это превышение массы осколочного ядра массы ядра ИГП.

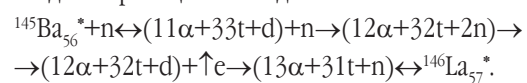
Как видно из табл. 5, у осколочных ядер аномальный состав: избыток тритонов и недостаток гелионов. Они не имеют в составе нейтронов, но могут их поглощать, накапливать и перерабатывать в другие ядерные частицы. После окончания топливного цикла осколочные ядра в результате реакций внутриядерного синтеза с течением времени переходят в состояние с наименьшей внутренней энергией (соответственно с наименьшим значением мангеля). В этом причина радиоактивности осколочных ядер. В последнем столбце приведены реакции превращения осколочных ядер в ядра ИГП.

Рассмотрим процесс поглощения нейтронов осколочными ядрами с учётом их состава. В качестве примера возьмём превращение ядра $^{145}\text{Ba}_{56}^*$, образующегося в одной из возможных реакций деления ядра U-235.



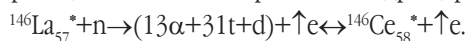
(Символ * означает радиоактивность).

При попадании в ядро $^{145}\text{Ba}_{56}^*$ одного из нейтронов происходит образование ядра лантана $^{146}\text{La}_{57}^*$ в результате реакции $t+d \rightarrow \alpha+n$ и далее $2n \rightarrow d+e$. В развёрнутом виде эта реакция выглядит так



Ядро $^{145}\text{Ba}_{56}^*$, не содержащее нейтронов, превращается в ядро лантана $^{146}\text{La}_{57}^*$, содержащего один нейтрон. В дальнейшем при попадании в ядро $^{146}\text{La}_{57}^*$ нейтрона воз-

можно реакция $2n \rightarrow d + e$ и образование ядра церия:



Этот процесс может продолжаться и далее. Осколочные ядра могут переработать все поступающие в них нейтроны в результате реакций внутриядерного синтеза. Образующиеся при делении ядра U-235 нейтроны поглощаются осколками. Основная реакция, которая сопровождается поглощением нейтронов: $2n \rightarrow d + e$. Избыточные тритоны и попадающие в осколочные ядра нейтроны перерабатываются в гелионы. Процесс переработки нейтронов в другие ядерные частицы может происходить вплоть до образования тяжёлых ядер. Следовательно, после выгорания легко делящихся изотопов процесс горения в быстрых реакторах должен неизбежно затухать, как и в обычных реакторах.

Протонные технологии

Концепция совмещения ядерного реактора и ускорителя

Одна из ранее выдвинутых физиками идей состоит в совмещении ядерного реактора и ускорителя элементарных частиц. Потоки протонов из ускорителя играют роль активатора-запала. Получается реактор, где нет взрывоопасной сверхкритической массы делящихся продуктов. Такой реактор может работать на природном уране, на тории, а также на уране из отходов радиохимических предприятий. В таких реакторах можно «дожигать» радиоактивные отходы, облучённое ядерное топливо. Здесь можно перерабатывать долгоживущие продукты-актиноиды тепловыделяющих элементов (ТВЭЛы) атомных подводных лодок и старых АЭС в короткоживущие изотопы. То есть объём радиоактивных отходов падает в разы. Как утверждают идеологи этого направления, реализация идеи совмещения реактора и ускорителя позволит создать безопасную атомную энергетику нового типа.

Проблема практической реализации этой концепции была в ускорителях: они очень велики и потребляют много энергии. Но к 1986 г. в СССР были созданы так называемые линейные ускорители протонов на обратной волне, вполне компактные и эффективные. Работы велись в Сибирском отделении АН СССР А.С. Богомоловым в рамках создания пучкового оружия. Эти машины помещались в грузовой отсек транспортного самолёта «Руслан». Кроме применения в ядерной энергетике, они могли быть использованы для вывода из строя на большом расстоянии боеголовок или атомных силовых установок. После распада СССР это новое направление в ядер-

ной энергетике не получило государственной поддержки в части финансирования продолжения работ.

О совмещении реактора и ускорителя малой мощности

В предлагаемой концепции используется уже известная идея совмещения реактора и ускорителя. Отличие состоит в том, что вместо протонов высокой энергии предлагается использовать протоны относительно малой энергии. Соответственно, потребуется ускоритель малой мощности с малыми габаритами. Способ инициирования реакций деления основан на возбуждении ядер при прохождении пучка протонов через ядерное топливо. При этом энергия протонов передаётся ядрам вследствие кулоновского взаимодействия. Чтобы инициировать деление ядер природного урана (изотопа U-238) протоны должны обладать энергией E_p , необходимой для преодоления кулоновского отталкивания. Эта энергия зависит от кулоновского барьера $E_{кул}$, величина которого определяется выражением

$$E_{кул} = Z_p Z_u e^2 / (R_p + R_u),$$

где Z_p – заряд протона; Z_u – заряд ядра; e – единичный заряд; R_p – радиус протона; R_u – радиус ядра.

Здесь $Z_p = 1$, а R_p можно принять равным 0, так как его величина мала по сравнению с зарядом ядра R_u . Тогда величину $E_{кул}$ определяем по формуле

$$E_{кул} = Z_u e^2 / R_u. \quad (10)$$

Радиус ядра R определяется по эмпирической формуле: $R = 1,4 \cdot A^{1/3} \cdot 10^{-15}$ м. Величина e^2 составляет 1,44 МэВ·м. Тогда с использованием входящих в (10) величин получаем $E_{кул} = 15,3$ МэВ.

Сечение ядерных реакций σ_p под действием протонов будет заметным, начиная с энергии $E_p = 0,5 E_{кул}$, а затем монотонно растёт. Следовательно, можно управлять процессом деления ядер изотопа U-238, используя поток протонов с энергией порядка 8 МэВ. Если учесть, что в одном акте деления ядра урана выделяется энергия порядка 200 МэВ, то процесс должен быть энергетически эффективным. При этом может быть использован природный уран, а не обогащённый.

В природном уране легко делящийся изотоп U-235 составляет всего 0,7%. Поэтому будем рассматривать только деление изотопа U-238. Ядро U-238 имеет состав $U-238 \leftrightarrow 20\alpha + 52t + 2n$. Вследствие возбуждения ядра возможна реакция внутриядерного синтеза: $2t \rightarrow \alpha + 2n + 11,3$ МэВ. При этом изменяется состав ядра ($U-238 \rightarrow U-238^* \leftrightarrow 21\alpha + 50t + 4n$): стабильный изотоп U-238 превращается в радиоактивный изотоп U-238* и выделяется энергия в виде γ -излучения. Число нейтронов в новом ядре становится избыточным и возможна реак-

ция образования дейтрона: $2n \rightarrow d + e$. Электрон покидает ядро (β -распад), заряд ядра увеличивается на 1 и $U-238^*$ превращается в изотоп плутония: $U-238^* \rightarrow Pu-238$. Этот изотоп имеет такой состав: $Pu-238 \leftrightarrow 21\alpha + 50t + d + 2n$.

Наличие дейтрона в оболочке ядра $Pu-238$ признак его принадлежности к легко делящимся ядрам. Процесс деления изотопа $U-238$ включает в себя три стадии:

- 1) превращение стабильного изотопа $U-238$ в радиоактивный изотоп $U-238^*$;
- 2) превращение изотопа $U-238^*$ в легко делящийся изотоп $Pu-238$;
- 3) деление изотопа $Pu-238$ на осколочные ядра.

Размеры ускорителя будут определяться необходимой энергией налетающих протонов, то есть энергией порядка 8 МэВ. Этому требованию удовлетворяют линейные резонансные ускорители заряженных частиц на малые энергии, в основном до 10-20 МэВ. Эти ускорители в последние десятилетия привлекают внимание специалистов в различных областях, включая промышленность и медицину. В подмосковном Протвино под руководством В.Е. Балакина создаётся уникальный по своим параметрам ускоритель протонов для медицины. Однако эти работы сдерживаются отсутствием финансирования. Важно также отметить, что кроме урана для получения электроэнергии указанным способом могут быть использованы богатые запасы тория в России.

Об утилизации отработанного ядерного топлива

Необходимость переработки отработанного ядерного топлива (ОЯТ) обусловлена:

- возможностью регенерирования оставшихся после окончания топливного цикла делящихся изотопов в тепловыделяющих элементах;
- возможностью уменьшения количества высокоуровневых радиоактивных отходов.

При современных технологиях происходит лишь частичная утилизация ОЯТ. Основная масса загружаемого в реактор ядерного топлива не используется в топливном цикле и после его окончания превращается в радиоактивные отходы. После извлечения из реактора топливные стержни поступают на перерабатывающий завод. Переработка ОЯТ позволяет повторно использовать ценные компоненты ядерного топлива, сохраняя приблизительно до 30% естественного урана. После специальной химической обработки из ОЯТ выделяют плутоний $Pu-239$ и остатки изотопа $U-235$.

Радиоактивные отходы классифицируются как отходы низкого, промежуточного и высокого уровней в соответствии с их радиоактивностью. Примерно 3% топли-

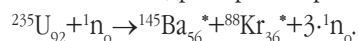
ва это отходы высокого уровня, представляющие собой осколочные ядра. После битумирования (цементирования) эти высокорadioактивные компоненты подлежат длительному захоронению. Они преобразуются в компактные, устойчивые, неразрушимые твердые капсулы, которые удобно хранить.

Удаленные из реактора отработанные топливные сборки помещают в резервуары, наполненные водой. В таком состоянии они остаются (в реакторном отделении или на перерабатывающем заводе) в течение нескольких лет. За это время ядерные отходы становятся менее опасными и более удобными для последующей обработки. Для большинства видов ядерного топлива его переработка начинается приблизительно через пять лет после выгрузки из реактора. Высокоуровневые отходы содержат продукты деления и некоторые трансурановые элементы. Они активно испускают α -, β - и γ -излучение, выделяют много тепла. Поэтому высокоуровневые отходы представляют значительную опасность и требуют большой осторожности в обращении, размещении и хранении. Переработка ОЯТ, транспортировка, размещение и хранение отходов после переработки связаны со значительными затратами и обязательными специальными мерами, гарантирующими безопасность персонала и населения.

О новом подходе к утилизации отработанного ядерного топлива

Утилизация ОЯТ является ключевой проблемой, которая ограничивает возможности дальнейшего развития ядерной энергетики и её конкурентоспособность. Решение проблемы должно обеспечить создание технологии, которая сведёт к минимуму количество радиоактивных компонентов в ОЯТ и, соответственно, затрат на его переработку. Есть основания считать, что реализация идеи совмещения обычного теплового реактора и протонного ускорителя позволит создать технологию, в которой ОЯТ можно будет использовать как полноценное топливо. Тем самым будет решена проблема утилизации ОЯТ, прежде всего, использование уже имеющихся запасов. При реализации этой технологии радиоактивные компоненты ОЯТ, выгружаемые сейчас из реактора в составе ОЯТ, можно будет перерабатывать в стабильные изотопы до выгрузки ОЯТ из реактора. Рассмотрим этот вопрос более обстоятельно.

В качестве примера возьмём уже упоминавшуюся реакцию деления ядра $U-235$, в результате которой образуются осколочные ядра бария и криптона.



В табл. 5 приведены данные о составе осколочных ядер и ядер изотопов главной последовательности (ИГП). Там же приведены реакции превращения ядерных частиц в результате внутриядерного синтеза (релаксация).

Как видно из данных табл. 5, релаксация происходит в основном в результате «переработки» избыточных тритонов в гелионы: $2t \rightarrow \alpha + 2n$. В этой реакции выделяется энергия 11,33 Мэв в виде γ -излучения. Это радиоактивное излучение осколочных ядер происходит в течение длительного времени и требует специальных мер по обеспечению безопасности. Применяемые в настоящее время меры являются пассивными, не предусматривающими непосредственное воздействие на осколочные ядра с целью снижения их радиационной активности.

При совмещении реактора с ускорителем уничтожение радиоактивных отходов может быть осуществлено непосредственно в реакторе. При прохождении пучка протонов через ОЯТ они будут передавать энергию компонентам ОЯТ, включая осколочные ядра, вследствие кулоновского взаимодействия. В связи с этим процесс внутриядерного синтеза ($2t \rightarrow \alpha + 2n$) будет проходить ускоренным темпом и сопровождаться выделением энергии. Величина кулоновского барьера для осколочных ядер $E_{кул}$ будет составлять от $1/3$ до $2/3$ ранее определённой аналогичной величины для ядер урана (15,3 Мэв), то есть её можно принять порядка 10 Мэв. Для инициирования процесса ускоренной переработки тритонов в гелионы и тем самым превращения осколочных ядер в ядра стабильных изотопов может быть достаточной энергия протонов $E_{ин} = 0,5E_{кул}$, то есть порядка 5 Мэв. В этом случае энергия, выделяемая в одном акте внутриядерного синтеза 11,3 Мэв, будет более чем вдвое превышать энергию инициирования реакции $2t \rightarrow \alpha + 2n$. То есть процесс переработки ОЯТ может быть энергетически выгодным. Таким образом, использование протонов для воздействия на осколочные ядра позволяет решить две задачи:

- уничтожение радиоактивных отходов;
- использование внутренней энергии осколочных ядер для получения электроэнергии.

Процесс может быть легко управляемым путем регулирования энергии пучка протонов.

О реакторе на дейтерии

Концепция реактора на дейтерии была изложена в монографии [10] и более обстоятельно в статье [13]. Теоретической основой предлагаемой концепции является новая теория строения дейтрона. Как было показано, дейтрон состоит из ядерной пары протон-протон и электрона, вращающегося относительно пары. В основу идеи

реактора на дейтерии положено воздействие на ядра потоком протонов с целью возбуждения ядра и нарушения динамического равновесия системы взаимодействующих частиц – протонной пары и ядерного электрона. 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 используется затем для получения электроэнергии.

Идея создания реактора на дейтерии может быть проверена экспериментально. При пропускании через мишень из дейтерия протонов с энергией порядка 0,3 Мэв должен наблюдаться выход протонов с энергией порядка 1,7 Мэв в результате распада ядерной пары $\langle pp \rangle$.

О синтезе далёких трансурановых элементов

Трансурановые элементы не сохранились в земной коре из-за относительно малого времени жизни. Элементы с $Z = 93 \div 100$ были синтезированы в экспериментах по облучению урановой мишени мощными потоками нейтронов. Эти методы не позволяют получить элементы с $Z > 100$. Причины – недостаточная плотность нейтронных потоков, малая вероятность захвата большого числа нейтронов и (что наиболее важно) очень быстрый радиоактивный распад ядер. Более тяжёлые элементы удалось синтезировать при помощи потоков гелионов или других лёгких ядер.

Согласно теоретическим предположениям, основанным на оболочечной модели ядра, возможно существование областей («островов стабильности») сверхтяжёлых ядер, обладающих повышенной стабильностью по сравнению с соседними ядрами. Однако следует учитывать, что оболочечная модель – это полупирическая схема, не способная последовательно количественно описать основные свойства ядра. Согласно предлагаемой теории изотопов, получить стабильные ядра далёких трансурановых элементов с большим временем полураспада (порядка 10^8 лет, как полагают теоретики) не удастся и в будущем. Это обусловлено, прежде всего, тем, что эти ядра содержат избыточное число гелионов ($N_\alpha > 21$). Такие ядра имеют склонность к α -распаду за относительно короткое время, что подтверждается опытными данными. Ещё одним фактором нестабильности ядер с $Z > 100$ является их неспособность накапливать свободные нейтроны. Относительно стабильными могут быть ядра трансурановых элементов с $Z = 93 \div 98$, которые имеют

остов из 21 гелиона. При увеличении числа гелионов вероятность α -распада резко возрастает. В табл. 6 даны значения числа гелионов и свободных нейтронов для некоторых трансурановых элементов и периоды их полураспада. Для определения состава ядер использовались формулы (1).

Таблица 6

Количество гелионов и период полураспада некоторых трансурановых элементов

Элемент	Pu ₉₄	Es ₉₉	Fm ₁₀₀	Md ₁₀₁	No ₁₀₂	Lr ₁₀₃	Rf ₁₀₄
N_α	21	21	22	23	24	25	26
N_n	2	1	1	1	1	1	1
$T_{1/2}$	1010 лет	1,3 г.	94 дня	1,5 час	0,8 с	3 мин	10-13 час

В табл. 6 указаны времена полураспада, количество гелионов и нейтронов для наиболее долгоживущих изотопов.

Из данных табл.6 видно, что относительно стабильными можно считать элементы, в ядрах которых находится не более 21 гелиона. При возрастании их числа явно просматривается тенденция уменьшения времени полураспада. Отсюда следует, что все синтезированные ядра с числом гелионов $N_\alpha > 21$ не могут быть долгоживущими. Поэтому попытки синтезировать тяжёлые ядра с периодом полураспада порядка $\sim 10^8$ лет не имеют реальной перспективы.

На основании данных таблицы можно сделать также вывод о том, что период полураспада связан с числом свободных нейтронов. У элементов с малым периодом полураспада всего один свободный нейтрон. Это означает, что при попадании в ядро такого элемента ещё одного нейтрона происходит реакция $2n \rightarrow d + e$, а за ней реакция $d + t \rightarrow \alpha + n$. Ядра этих элементов уже содержат избыточные гелионы, а появление ещё одного гелиона ещё более увеличивает их нестабильность.

Заключение

Среди специалистов в области ядерной энергетики нет единства мнений о путях её дальнейшего развития и правильности проводимой научно-технической политики в этой области. Отставание теории от потребностей практики в области ядерной энергетики приводит к негативным последствиям. Во-первых, до настоящего времени не решены проблемы, возникшие на начальном периоде освоения ядерной энергии, то есть в середине XX века. Это проблемы эффективности использования ядерного топлива и безопасности, включая аварии на АЭС. Во-вторых, некоторые масштабные проекты и программы осуществляются в условиях неопределённости без

необходимого экспериментального подтверждения и на основе теоретических предположений, а не достоверных знаний. Речь идёт, в частности, о таких направлениях работ как термоядерный реактор и новое поколение реакторов на быстрых нейтронах. Работы ведутся многие десятилетия без видимых обнадеживающих результатов, вопреки оптимистическим прогнозам некоторых ответственных лиц. Многолетний опыт неудач не получил должной объективной оценки, включая критический анализ некоторых положений ядерной физики, используемых при обосновании направлений развития ядерной энергетики.

Выполненные автором исследования показали, что работы по термоядерному реактору и новому поколению реакторов на быстрых нейтронах не имеют реальной перспективы, так как положенные в их основу концепции являются ошибочными. В реакторах на быстрых нейтронах образующиеся осколочные ядра способны поглощать нейтроны в количестве, многократно превосходящем количество образуемых нейтронов при делении легко делящихся компонентов. Поэтому процесс горения ядерного топлива будет неизбежно затухать после выгорания легко делящихся компонентов топлива, а основной компонент изотоп U-238 не будет принимать активного участия в горении. В термоядерном реакторе нет источника запасённой энергии, как в обычных реакторах. Поэтому единственным источником энергии на выходе такого реактора является энергия, поступающая на вход. Принципиальная ошибка заключается в толковании изменения массы в ядерных реакциях как превращения ядерного вещества в энергию. В действительности в ядерных реакциях количество нуклонов и их массы остаются неизменными, а изменение массы продуктов реакции обусловлено изменением потенциальной энергии (энергии поля) заряженных частиц ядра и, соответственно, полевой компоненты массы. Однако в соотношении Эйнштейна $E=mc^2$, которое лежит в основе идеи получения энергии в результате синтеза лёгких ядер, потенциальная энергия не учитывается.

Ещё одним бесперспективным направлением являются исследования по синтезу далёких трансурановых элементов. Согласно теоретическим представлениям, должны существовать стабильные изотопы далёких трансурановых элементов с периодом полураспада порядка 10^8 лет. Выполненные автором исследования показали, что ядра далёких трансурановых элементов имеют в своём составе избыточное число гелионов, превышающее допустимый предел для стабильных ядер. Поэтому они не могут иметь период полураспада больше, чем у

синтезированных элементов с меньшим числом гелионов, то есть больше долей секунды.

Результаты выполненных исследований дают основания считать, что в ядерной энергетике будущего нейтронные технологии будут использоваться как вспомогательные, а основную роль будут играть протонные технологии, в основе которых лежит идея совмещения ядерного реактора с ускорителем протонов. При этом можно будет использовать ускорители малой мощности и, соответственно, небольших габаритов. Поток протонов будет инициировать возбуждение ядер компонентов ядерного топлива вследствие кулоновского взаимодействия. При этом энергия протонов будет меньше энергии, выделяемой в результате ядерных реакций, что должно обеспечить положительный баланс энергии.

Протонные технологии открывают новые возможности решения основных проблем ядерной энергетике – эффективности и безопасности. В устройстве, совмещающем реактор и ускоритель, процесс горения ядерного топлива может быть легкоуправляемым. Получается реактор, где нет взрывоопасной сверхкритической массы делящихся продуктов. В таких реакторах может быть реализована концепция создания безотходных технологий, так как в них можно заставить гореть основные природные компоненты ядерного топлива (изотопы урана U-238 или тория Th-232). Важно отметить, что протонные технологии дают возможность избирательного воздействия на компоненты ядерного топлива. В таких реакторах можно «дожигать» радиоактивные отходы. Можно перерабатывать долгоживущие продукты-актиноиды тепловыделяющих элементов (ТВЭ-Лы) атомных подводных лодок и старых АЭС в короткоживущие изотопы. То есть объём радиоактивных отходов падает в разы. Реализация идеи совмещения реак-

тора и ускорителя открывает реальные возможности создания безопасной ядерной энергетике.

В качестве отдельного направления можно выделить концепцию создания ядерного реактора на дейтерии. Теоретической основой концепции создания такого реактора 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. Распад ядерной пары можно инициировать, воздействуя на дейтерий потоком протонов. 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.

Есть основания утверждать, что будущее ядерной энергетике за протонными технологиями. Имеется определённый научно-технический задел в части создания реакторов, совмещённых с ускорителем протонов. Но продолжение работ в этом перспективном направлении сдерживается отсутствием финансирования.

Выводы и рекомендации основаны на результатах выполненных автором исследований с использованием новой теории изотопов, которая устанавливает связь состава ядра с его свойствами. Ядерная физика в основном наука экспериментальная. Поэтому положения предлагаемой концепции развития ядерной энергетике на основе протонных технологий могут быть подтверждены или опровергнуты на основании результатов экспериментальных исследований.

Литература

1. Полинг Л. *Общая химия*. Пер. с англ. – М., 1974.
2. Серга Э.В. *Управляемый внутриядерный синтез*. // *Двойные технологии*. – М., 2007, № 2. С. 62-66.
3. Серга Э.В. *Проблемы ядерной энергетике: эффективность и безопасность*. // *Двойные технологии*. – М., 2011, № 4. С. 29-34.
4. Эйнштейн А. *Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии?* *Собр. Научных трудов*. – М., 1965. Т.1. С.38.
5. Бриллюэн Л. *Новый взгляд на теорию относительности*. Пер. с англ. – М., 1972. С. 33.
6. Серга Э.В. *Масса ядра и потенциальная энергия*. // *Сб. трудов секции инженерных проблем РИА*. Вып. 16. 2008. С. 155-159.
7. Серга Э.В. *Фундаментальные проблемы создания реакторов нового поколения*. // *Двойные технологии*. – М., 2013, № 1. С. 26-36.
8. Серга Э.В. *Новый взгляд на проблему ядерного синтеза*. // *Двойные технологии*. – М., 2009, № 1. С. 59-66.
9. *Физическая энциклопедия*. С.Э. – М., 1988. Т.1. С.580.
10. Серга Э.В. *Гравитация и электромагнетизм. Принципы единой теории*. – М., 2005.
11. Серга Э.В. *Строение материи: основы единой теории вакуума и вещества*. – М., 2006.
12. Серга Э.В. *Переработка ядерных отходов: новый подход*. // *Двойные технологии*. – М., 2009, № 3. С. 57-64.
13. Серга Э.В. *Ядерный реактор на дейтерии*. // *Двойные технологии*. – М., 2013, № 4.

Материал поступил в редакцию 19. 01. 2014 г.