

ОСОБЕННОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЯДЕР ПРИ ИЗОМЕРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

А.В. Косарев, д.т.н., г.Оренбург

Аннотация

В статье рассматриваются особенности излучения ядер в состоянии изомерного возбуждения, открытого Курчатовым И.В. с сотрудниками в 1935 году. Преимущественными каналами излучения изомерно возбуждённых ядер являются бета-распад и канал внутренней конверсии, который дополнительно сопровождается излучением мягкого рентгена. Гамма излучения практически не наблюдается. Изомерное возбуждение вызывается захватом медленных нейтронов (чаще всего холодных и ультрахолодных). Несмотря на недостаточное внимание физиков к изомерным состояниям ядра это широко распространённое явление природы. Например, естественный бета-распад есть следствие и признак изомерного возбуждения ядер.

Введение

Кратко напомним об открытии различных видов излучений и их особенностях известных ко времени выходы работы Флейшмана и Понса. Информация почерпнута из [2].

Были выявлены два принципиально различных вида излучений - вещественные частицы и электромагнитные корпускулы. В 1859 году Плюккером были открыты катодные лучи. В 1895 году Перрен экспериментально доказал, что катодные лучи - это поток отрицательно заряженных частиц, которые могут отклоняться магнитным полем. Затем исследователями была измерена масса электрона, заряд. Луи де Бройль предположил, что электрон имеет волновые свойства. В конце 1895года Рентген, занимаясь изучением катодных лучей, обнаружил неизвестное излучение, названное впоследствии рентгеновским излучением.

Изучение и развитие ядерной физики началось с открытия радиоактивности (Беккерель, 1896г.). На рубеже веков были открыты два типа распадов - α и β распады, часто сопровождавшиеся γ - излучением. Прямое экспериментальное доказательство фотона было дано Миллекеном в 1915 году в его исследованиях фотоэффекта. Электромагнитное излучение (свет) является потоком отдельных фотонов, что хорошо объясняет закономерности фотоэффекта. Открытие протона было сделано Резерфордом в 1919 году, хотя ион водорода к этому времени давно известен. В 1932 году Чедвиком был открыт нейтрон. Состояние изомерного возбуждения было открыто Курчатовым И.В. с сотрудниками в 1935 году. В 1937 году Альваресом был открыт К-захват. В 1938 году открыто конверсионное излучение ядерных изомеров (Русинов, Понтекорво), обнаружено испускание электронов внутренней конверсии веществами, **захватывающими нейтроны** (Гофман, Бэчер). В 1955 году был открыт антипротон. Затем последовали открытия и других частиц и излучений.

Таким образом ко времени открытия НЭЯР были известны практически все виды излучений. Были изучены их характеристики, разработаны приборы их регистрации. [2].

К 70-ым годам прошлого века была закончена теория атома и атомного ядра в общепризнанном сегодня понимании. В основание этой теории положены многочисленные эксперименты и десятилетия практики. Были выявлены три основных типа ядерных превращений, ядерных реакций. Это синтез, слияние лёгких ядер. Деление тяжёлых трансураниевых элементов. И реакции ядерного распада, свойственные практически всем элементам таблицы Менделеева. Были выявлены все типы излучений, характерных для этих ядерных реакций. Основные усилия исследователей были направлены на ядерный синтез и ядерное деление. Эти реакции сопровождались выделением невиданных до сих пор энергий, что сулило энергетическое изобилие. Реакции распада, энергетически более слабые, тоже получили широкое развитие главным образом в технологиях диагностики. Все ядерные реакции сопровождались вредными, в том числе интенсивными излучениями. Технологии ядерной отрасли были на грани возможностей, так как зачастую сопровождались чрезвычайно высокими температурами и давлениями. Предъявили жёсткие требования к материаловедению. Требовали затратных сооружений для защиты от излучений. Всё это и сформировало особое мнение и отношение к ядерной физике и

ядерным технологиям. Поэтому сообщение Флейшмана и Понса в 1989 году об открытии ими холодного ядерного синтеза, сулившего изобилие энергии при низких технологических параметрах, да ещё и без вредного излучения, было воспринято профессиональными ядерщиками с недоумением, сменившимся враждебностью. Но после опубликования, идеи Флейшмана и Понса жили самостоятельной жизнью, привлекая исследователей. А уровень развития технологий, экспериментальной и измерительной техники достигли такого развития, что новые, ранее неизвестные явления ядерной физики буквально проглядывали со всех сторон. В том же 1989 году появились сообщения об экспериментах Пиантелли. Затем эксперименты Фоккарди и А.Росси, Корниловой А.А., Вачаева А.В., Колдомасова А.И., Фоминского Л. П., Бажутова Ю.Н., Пархомова А.Г., большой группы японских исследователей, Климова А.И., Талейархана Р., Урпина К., и многих других. А ведь были и более ранние исследования, например Керврана. Отмахнуться от явно новых явлений ядерной физики стало уже невозможным. Но тут проявилась другая крайность. Теперь уже устоявшаяся ядерная физика исследователями холодного ядерного синтеза (ХЯС) не воспринималась как основа для объяснения новых ядерных явлений. Для объяснения огромного экспериментального материала по низкоэнергетическим ядерным реакциям (НЭЯР) было выдвинуто столь же огромное количество экзотических (по признанию самих авторов) идей и гипотез, которые противоречили устоявшейся ядерной физике и друг другу. Ситуация ещё усложнилась после сообщения Уруцкоева Л.И. об открытии нового вида излучения, названного им "странным". Многие исследователи стали воспринимать "странные" излучения как ключ к пониманию физики НЭЯР. Такой подход окончательно запутал ситуацию.

К числу наиболее загадочных проявлений НЭЯР относят низкий уровень ионизирующих излучений в сравнении с типичными и хорошо изученными реакциями синтеза, распада и деления. Особой разительностью от известных реакций отличаются НЭЯР в реакторах с наводороженными поверхностями. Здесь исследователей удивляет не только низкий уровень ионизирующих излучений, но особенно практически полное отсутствие гамма - излучений.

Мои представления о НЭЯР как о давно известных ядерных реакциях синтеза и распада, неожиданно проявившихся специфических физических условиях, не находят понимания среди коллег по вебинару Климова - Зателепина. При этом они или замалчиваются или от них просто отмахиваются. И только Пархомов А.Г. нашёл время изучить мои работы, высказать конструктивную критику и поставить острые вопросы, требующие разъяснения. Я очень благодарен Пархомову А.Г. и за справедливую критику и за трудные вопросы, которые стимулировали усилия по дальнейшему развитию моих представлений о НЭЯР. Главным среди этих вопросов был вопрос по особенностям излучения в никель-водородных реакторах, связанных с отсутствием гамма излучения при захвате нейтронов ядром.

Цель данной работы ответить на вопрос Пархомова Александра Георгиевича. Попытаться показать, что все наблюдаемые в экспериментах НЭЯР излучения соответствуют известным и хорошо изученным излучениям реакций синтеза и распада. Их низкий уровень вызван малым количеством участвующего в ядерных реакциях вещества, что связано с особыми физическими условиями течения ядерных реакций. А отсутствие гамма излучения в никель-водородных реакторах связано с процессами внутренней конверсии при изомерном возбуждении ядер, давно изученными и хорошо известными.

1. Состояние изомерного возбуждения ядер.

Ядра (нуклиды) в зависимости от энергии находятся в стабильном или возбуждённом состоянии. В стабильном состоянии ядро обладает минимальной энергией, длительно находится в этом состоянии и не подвергается радиоактивному распаду. Ядро в возбуждённом состоянии имеет энергии превышающие энергию основного состояния. В этом состоянии ядро не стабильно и через определённое время подвергается радиоактивному распаду с испусканием одной или нескольких частиц. Возбуждённое состояние ядра может достигаться различными способами. Нас будут интересовать возбуждённые состояния связанные с захватом нейтронов.

“Нуклид - разновидность атома, характеризующаяся числом протонов и нейтронов, а в некоторых случаях энергетическим состоянием ядра. Нуклиды могут быть стабильными или нестабильными,

т.е. радиоактивными”. [2]. Нуклид - это каждый отдельный вид атомов какого-либо химического элемента с ядром, состоящим из строго определённого числа протонов (Z) и нейтронов (N), причём ядро находится в определённом энергетическом состоянии (основном состоянии или одном из изомерных состояний). [Википедия].

Известны различные каналы радиоактивного распада, переводящие ядро через определённое время из возбуждённого состояния в стабильное. Чаще всего радиоактивный распад происходит с излучением гамма кванта через несколько пикосекунд (10^{-12} сек). Но “У многих ядер имеются возбуждённые состояния с относительно большим временем жизни - изомерные состояния. ... Периоды полураспада изомерных состояний изменяются в весьма широких пределах - от 10^{-6} сек до многих лет”. [16]. “Изомер - нуклид в возбужденном ядерном состоянии, с измеримой продолжительностью жизни ($>10^{-9}$ с)”. [2]. Изомерное возбуждение нуклидов было открыто Курчатовым И.В. с сотрудниками в 1935 году. Большое время жизни изомерных состояний объясняется затруднённой переходом из изомерного состояния в основное либо из-за большой разницы спинов, либо из-за существенного различия в форме основного и изомерного состояний ядра. Если при этом различие в энергии двух состояний невелико, то вероятность испускания γ - кванта мала. В данной ситуации переход из возбуждённого состояния в стабильное происходит или ко каналу бета - распада или ко каналу внутренней конверсии. Оба канала к настоящему времени хорошо изучены. Канал бета - распада происходит по формуле:

$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu} + 0,78 \text{ МэВ}$. При этом спектр излучаемых при бета - распаде электронов непрерывный. В результате бета - распада возникает новый элемент с большим порядковым номером на единицу. Распад по каналу внутренней конверсии происходит в два этапа. На первом этапе, испускаемый изомерным ядром γ - квант захватывается одним из электронов оболочки атома. На втором этапе этот электрон отрывается от атома и на его месте образуется вакансия (дырка). Так как γ - квант может захватываться электронами из различных оболочек, то спектр излучения конверсионных электронов линейчатый. На место образовавшейся в электронной оболочке дырки перескакивают электроны с более высоких уровней. Этот процесс сопровождается мягким рентгеновским излучением. При распаде по каналу внутренней конверсии нового элемента не образуется. Если изомерное возбуждение, приведшее к процессам внутренней конверсии, произошло при захвате медленного нейтрона, то в результате возникает новый изотоп данного элемента. [2, 14, 15, 16].

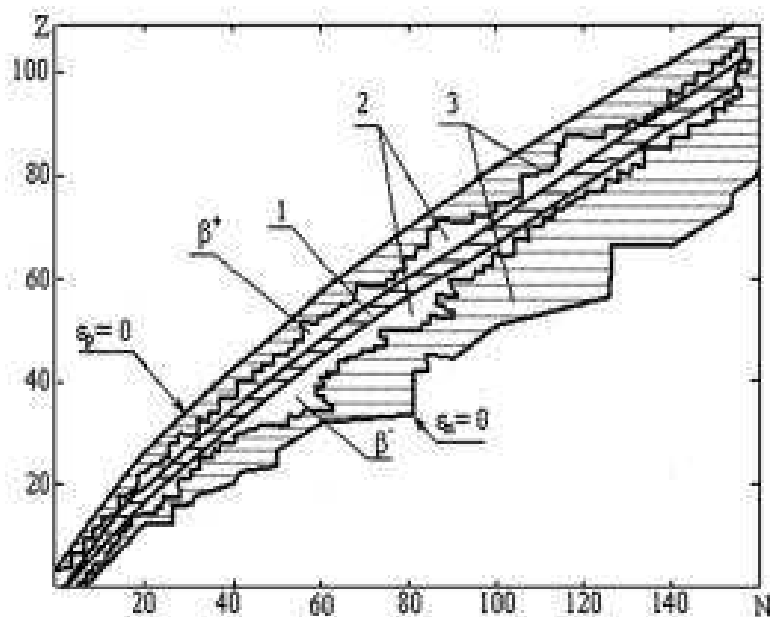


Рис. 1. Протонно - нейтронная диаграмма. (Рисунок из [2]).

Рассмотрим Рис. 1, на котором изображена протонно - нейтронная диаграмма. На рисунке - 1: 1 - дорожка $\beta^{(-)}$ - стабильных ядер (265 ядер); 2 - область $\beta^{(-)}$ - активных ядер (1700 ядер); 3- область $\beta^{(+)}$ - активных ядер.

“Из 2500 нуклидов, известных в настоящее время, стабильными являются только 271. Остальные нуклиды нестабильны; они превращаются путём одного или нескольких последовательных распадов, сопровождающихся испусканием частиц или гамма - квантов, в стабильные нуклиды. Радиоактивный распад может происходить, если данное превращение энергетически выгодно, т.е. если разность между массой исходного ядра и суммарной массой продуктов распада положительна”. [2]. Как видно из последнего абзаца большинство нуклидов это радиоактивные нуклиды, значительное число которых находится в изомерном, метастабильном состоянии. В определённых областях значений числа нуклонов существуют острова изомерии. [15]. Изомерные состояния ядер широко распространённое явление и их распад происходит главным образом по каналам с подавленным гамма излучением. Что и наблюдается в реакторах с наводороженными поверхностями.

Теперь рассмотрим возбуждённые состояния ядер, вызванные захватом нейтронов различной энергии от холодных до быстрых. При этом процессы возбуждения и последующего распада будем рассматривать в рамках закона сохранения энергии, энергии связи ядра и дефекта масс.

Пархомов А.Г. утверждает: “Жёсткое гамма излучение возникает практически всегда, когда нейтрон захватывается ядром. Дочернее ядро возбуждается не только и не столько из-за того, что нейтрон передаёт свою кинетическую энергию, а в основном, потому, что нейтрон имеющий массу 939 Мэв, сильно изменяет энергию связи ядра. При захвате теплового или холодного нейтрона ядро возбуждается ничуть не хуже, чем при захвате быстрого нейтрона. С той лишь разницей, что сечение взаимодействия с веществом у тепловых нейтронов значительно больше, чем у быстрых”. [6, комментарий Пархомова А.Г.]. При этом Пархомов А.Г. ссылается на [4]. Такое объяснение о исключительном гамма излучении ядром при захвате нейтрона не выглядит для меня убедительным. Ответ ядра как и всякой материальной структуры зависит от силы и энергии воздействия. Всякая материальная структура испытывает тем большие изменения, чем сильнее на неё воздействие. Для ядра воздействие быстрых нейтронов вызывает сильное возбуждение порядка 5 - 6 Мэв и быстрое (в течении пикосекунд, 10^{-12} сек) излучение γ -квантов. Воздействие медленных нейтронов (холодных и ультрахолодных) вызывает изомерное возбуждение длительностью от миллисекунд (10^{-3} сек) до многих лет. При этом излучение более слабое: β -распад с энергией 0,78 Мэв или излучение внутренней конверсии, сопровождающееся в том числе мягким рентгеном. Если артиллерийское ядро с определённой массой ударяет в крепостную стену с разной скоростью (энергией), то эффект возбуждения стены с очевидностью будет различным. Конечно, тут же поступит возражение, что я привёл пример их классической динамики, а при нейтронном захвате работает квантовая динамика. Но и в квантовой физике из неоткуда ничего не берётся. А в [3] профессор Бекман И.Н. пишет: “Нуклоны в ядре не статичны, однако средняя скорость движения нуклонов в ядре не превышает десятой части скорости света, это означает, что для описания движения можно использовать нерелятивистскую механику”. И ещё из работ проф. Бекмана И.Н. [2]: “Масса ядра и его устойчивость определяются тем, насколько величина энергии притяжения между нуклонами превышает суммарную кинетическую энергию движения нуклонов в ядре”. Энергия в микромире передаётся порциями, квантами $h\nu$. Это формирует структуру энергетических уровней в квантовых системах. Электроны на энергетических уровнях (орбитах) атома, нуклоны на энергетических уровнях (орбитах) ядра находятся в состоянии динамического равновесия между силами ядерного (сильного) притяжения, силами кулоновского отталкивания и центробежными силами. Это равновесие формирует энергетические уровни и их множество. Конкретные энергетические уровни формируются переданными суммарными порциями энергии. Да, захват нейтрона повлияет и на спин нуклида и на его форму (квадриупольный момент). Но энергетический уровень при захвате нейтрона определяется привнесённой энергией.

Бета распад не всегда сопровождается гамма излучением. Существуют ядерные батарейки на бета распаде, которые не создают опасных уровней излучения.

Не вызывает возражений, что при захвате медленных (холодных) нейтронов так же происходит возбуждение ядра. Но это не сильное, а изомерное возбуждение, которое сопровождается β -распадом или процессом внутренней конверсии. Если при этом происходит β -распад, то возникает новый элемент. Если при захвате холодного нейтрона происходит процесс внутренней конверсии, то возникает новый изотоп данного элемента.

Ссылка Пархомова А.Г. на [4] не выглядит убедительной. В справочнике рассматриваются энергии нейтронов от 1 кэВ до 14 МэВ и даже не упоминается об изомерных возбуждениях ядер. Тоже касается и ссылки на [5].

Эксперименты с процессами на наводороженных поверхностях говорят как раз о изомерных состояниях ядер и их соответствующих излучениях. В никель водородных реакторах (и вообще в реакторах с наводороженными поверхностями) одновременно протекают процессы бета распада и внутренней конверсии. Об этом свидетельствует появление новых изотопов и элементов и мягкое рентгеновское излучение. Тепло в никель водородных реакторах выделяется при бета распаде с энергией бета распадных электронов и при процессах внутренней конверсии с энергией конверсионных электронов. Излучение изомеров по каналу внутренней конверсии характеризуется коэффициентом внутренней конверсии равным отношению числа испускаемых электронов конверсии (ϵ') к числу испускаемых гамма-квантов. Он изменяется от нуля (при испускании только гамма квантов) до бесконечности (при испускании только электронов). Коэффициент тем больше, чем **меньше** разность энергий и чем больше разность спиновых квантовых чисел двух возбуждаемых состояний ядра, т.е. чем больше Z и время жизни. С увеличением энергии перехода величина коэффициента внутренней конверсии падает. [2, 14].

Теперь об энергии связи и дефекте масс. В докладе «НЭЯР без экзотики» на вебинаре Климова - Зателепина от 1.06.2022 г. возражение вызвало положение о том, что при захвате медленных нейтронов возбуждение ядра не сопровождается излучением гамма квантов. В качестве контр аргументов мне напомнили об энергии связи в ядре и дефекте масс. Но здесь нет противоречия уже потому, что изомерные состояния возбуждения и сопровождающие их запаздывающие излучения бета распада и конверсионного излучения электронов реально существующее и широко распространены. Следовательно в этих процессах и с энергией связи и с дефектом масс всё в порядке. Но всё же остановимся на понятиях энергии связи нуклонов в ядре и дефекте масс при излучении ядра, в том числе в состоянии изомерного возбуждения.

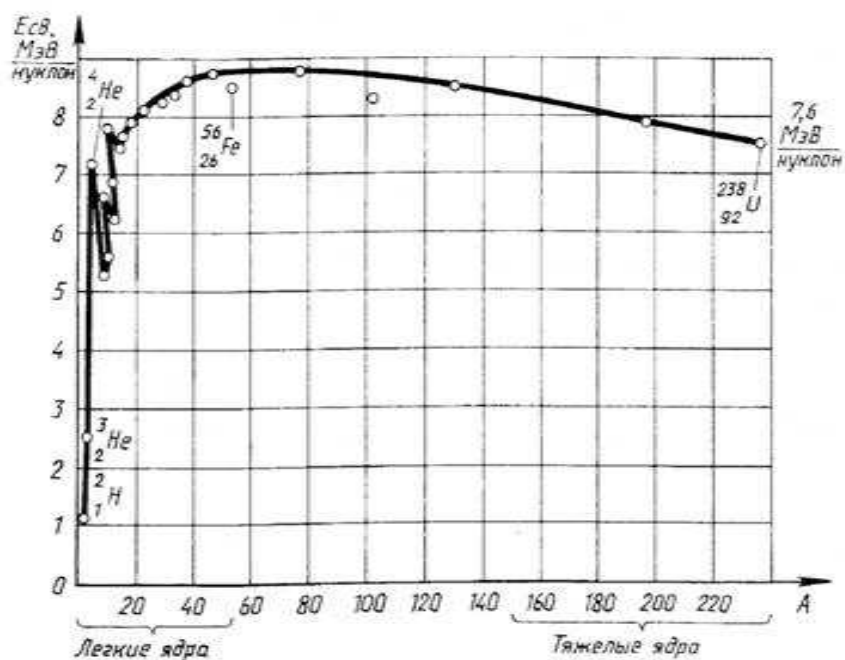


Рис. 2.

На рисунке - 2 представлен график удельной связи для различных ядер в основном состоянии. Ряд дефекта масс соответствующий этому графику тоже составлен для основных состояний нуклидов, которых всего 271. Общее же число нуклидов 2500, из них только $\beta^{(-)}$ - активных ядер 1700. Отсюда между основными состояниями нуклидов существует множество промежуточных изомерных состояний и множество малых дефектов масс, соответствующих переходам между этими изомерными состояниями. Из малых промежуточных (изомерных) дефектов масс вытекают и слабые излучения в форме бета распада и внутренней конверсии. При захвате холодных нейтронов и формируются энергетические условия для множества малых дефектов масс изомерных состояний в промежутках дефектов масс основного состояния нуклидов. Да, внутренние энергетические ресурсы ядер в ядерных процессах проявляются и большим избытком выделения энергии и соответственно сильным возбуждением. На этом основывается утверждение Пархомова А.Г. о том, что всегда ядерные процессы сопровождаются опасным уровнем гамма излучения. Но это только в области синтеза лёгких ядер и в области деления тяжёлых. При захвате быстрых нейтронов так же возникают сильные возбуждения. Но эти возбуждения вызваны не внутренними энергетическими ресурсами ядер, а принесённой извне энергией. А вот при захвате холодных нейтронов возникают только изомерные состояния, промежуточные состояния с малыми возбуждениями и малыми дефектами масс.

Существует так же радиоактивный α - распад. В естественных условиях он протекает в основном в радиоактивных рядах (в 4-х радиоактивных семействах). Процессы α - распада тоже протекают за счёт внутренних энергетических ресурсов ядра. Но эти процессы не имеют отношения к процессам в никель - водородных реакторах. В радиоактивных рядах α - распад идёт со снижением массы и порядкового номера элементов. В никель - водородных реакторах, напротив, процессы идут с ростом массы и порядкового номера ядер. В естественных условиях существуют ядра до номера 92 (уран). Ядра с большими номерами получены искусственным путём. Существованию в природе ядер с порядковым номером > 92 препятствуют именно процессы α - распада в радиоактивных рядах.

НЭЯР ничем не отличается от известных ядерных реакций синтеза и нейтронного захвата. В каждом отдельном акте реакции выделяется всё тоже известное количество энергии, возникает тоже излучение, что и у известных ядерных процессов. Особенность в том, что НЭЯР проявляются в особых физических условиях, при которых течение известных ядерных реакций возможно при низких параметрах (температуре в первую очередь) среды. При этом относительно малая мощность ядерных процессов связана с малым числом взаимодействующих ядер в единицу времени. С этим связана и относительная слабость излучения НЭЯР в сравнении с известными ядерными процессами и установками. А особо низкое излучение в физических условиях наводороженных поверхностей дополнительно связано с изомерными состояниями, возникающих при захвате ядром холодного нейтрона. При этом возникает отложенное во времени излучение. В совокупности это даёт излучение близкое к фоновому. Но общее (интегральное во времени) излучение тоже, что и у известных процессов.

Затяжка во времени с началом реакции в наводороженных реакторах связана не столько с необходимым временем наводороживания поверхности до необходимой поверхностной плотности, а главным образом со временем существования возбуждённого изомерного состояния (от миллисекунд до многих лет). Отсюда примерно 70 суток до начала реакции у Флейшмана и Понса.

2. Нуклеосинтез тяжёлых элементов.

Несмотря на почти столетний период после открытия состояния изомерного возбуждения, его значение для явлений природы не оценено по настоящему до сих пор. Изомерные возбуждения широко распространённое явление природы, о чём свидетельствует естественная радиоактивность, вызванная процессами геонуклеосинтеза.

Астрофизика связывает образование элементов тяжелее водорода с процессами термоядерного синтеза в недрах звёзд. Но в процессах синтеза образуются элементы до железа. Проблема образования элементов тяжелее железа полностью не решена в космологии до сих пор. Есть идеи

связанные с нейтронными звёздами, выбрасывающими при взрыве огромное количество нейтронов в космическое пространство. И уже нейтронные реакции приводят к образованию всех тяжёлых элементов. Но эта идея очень спорная. Во-первых, взрывы нейтронных звёзд явление редко наблюдаемое. Во-вторых, нейтроны в свободном состоянии быстро распадаются.

Идея о нуклеосинтезе в недрах планет, выдвинутая авторами [1, 10], является новым словом в теоретической космологии и геофизике. Я впервые услышал эту идею из доклада Савинкова Г.К. на РКХТЯ и ШМ-26, 2.10.2020г. Сама идея является новаторской, однако последовавшее за этим обоснование идеи опирается у авторов [1, 10] на непроверенные и сомнительные гипотезы.

По нашим представлениям физика этого явления та же, что и эффекта Росси на наводороженных поверхностях и к настоящему времени убедительно доказана экспериментально. Процесс нуклеосинтеза тяжёлых элементов в недрах планет объясним в рамках нейтронной физики и связан с электронным захватом в физических условиях насыщенных лёгким водородом поверхностей.

Идея геонуклеосинтеза получает обоснование из теоретических представлений о холодной трансмутации в физических условиях наводороженных поверхностей и таким образом даёт второй механизм нуклеосинтеза в дополнение к звёздному, принятому сегодня в космологии. Атомарный водород поднимаясь к поверхности Земли через толщи минералов сопровождается наводороживанием их поверхностей. Это приводит при температурных условиях земных недр к электронному захвату в атоме водорода и возникновению свободных нейтронов. Закономерности нейтронной физики приводят к накоплению тех или иных элементов в зависимости от конкретного состава минералов, как в экспериментах Росси, Пархомова, Корниловой, Евдокимова, Савватимовой, Климова и др. Формируются рудные залежи. Геонуклеосинтез тяжёлых элементов - это синтез (возникновение) новых элементов в недрах Земли, но не в результате слияния ядер как в звёздах, а в процессе нейтронных реакций.

Кроме недр планет нуклеосинтез тяжёлых элементов, протекающий по механизму физических условий наводороженных поверхностей, может реализовываться и в пылегазовых туманностях космического пространства. Пылегазовые туманности в космосе являются наводороженными по причине большой распространённости водорода во вселенной. [13]. Так как реакции ХТЯ имеют температурный порог инициирования, то в пылегазовых туманностях они должны наблюдаться в зонах нагрева вблизи (по космическим меркам) звёзд.

Такой подход к обоснованию идеи геонуклеосинтеза лежит в рамках устоявшейся ядерной физики, вписывается в уже накопленные знания космологии и астрофизики и не подменяет, а дополняет их. Образование тяжёлых элементов (тяжелее железа) связано именно с изомерными возбуждениями (геонуклеосинтез).

Выводы

1. Излучение изомерно возбуждённых ядер протекает по двум каналам:

а) канал бета излучения и

б) канал процесса внутренней конверсии с излучением гамма кванта, который захватывается одним из орбитальных электронов.

Таким образом при излучении изомерно возбуждённых ядер гамма излучение подавлено. Это ответ на вопрос Александра Георгиевича Пархомова.

2. При захвате гамма кванта одним из орбитальных электронов в процессе внутренней конверсии, электрон срывается с орбиты атома и на его месте образуется дырка. Последовательный перескок электронов с более высоких орбит на место образовавшейся дырки сопровождается излучением мягкого рентгена. В этом природа мягкого рентгеновского излучения в реакторах с наводороженными поверхностями.

3. Излучение изомерно возбуждённых ядер происходит с запаздыванием от миллисекунд до нескольких лет в сравнении с сильно возбуждённым состоянием. Этим объясняется начало выделения тепла в эксперименте Флейшмана и Понса примерно через 70-т дней после запуска установки.

4. При излучении изомерно возбуждённых ядер энергия (тепло) выделяется в форме кинетической энергии электронов бета распада или кинетической энергии электронов, получивших энергию в процессе внутренней конверсии. При этом канал бета распада сопровождается возникновением новых элементов, а внутренняя конверсия приводит к возникновению нового изотопа и сопровождается мягким рентгеном. Таким образом бета распад и мягкий рентген есть признак и следствие изомерного возбуждения.

5. Естественная радиоактивность есть следствие возникновения изомерного состояния ядер в процессе геонуклеосинтеза. Физика геонуклеосинтеза та же, что и в никель наводороженных реакторах Пархомова А.Г.

Литература

1. Андреев Е.А., Савинков Г.К. Следы и проявления первичного нуклеосинтеза в Земной коре (Геонуклеосинтез). О роли холодного ядерного синтеза в глобальном нуклеосинтезе. // Доклад Савинкова Г.К. на РКХТЯ и ШМ-26, 2.10.2020г. Режим доступа: <http://lenr.seplm.ru/konferentsii/rkkhtyaishm-26-video-zasedanii>
2. Бекман И.Н. Радиоактивность и радиация. Радиохимия. Том-1. – МО, Щёлково: Издатель Мархотин П.Ю. 2011г. - 398с.
3. Бекман И.Н. Ядерная физика. Курс лекций. МГУ. Москва, 2010г.
Режим доступа: <http://profbeckman.narod.ru/YadFiz.htm>
4. Беланова Т.С., Игнатюк А.В., Пашенко А.Б., Пляскин В.И. Радиационный захват нейтронов: Справочник. – М.: “Энергоатомиздат”, 1986г. - 248с.
5. Комар Д.И., Гузов В.Д., Кутень С.А. Источник захватного гамма - излучения с энергиями до 7 и 10 Мэв на основе поверочной установки нейтронного излучения. // Экологический вестник, 2017, № 1 (39).
6. Косарев А.В. Холодная трансмутация и холодный синтез в свете известных законов ядерной физики. Материалы РКХТЯ и ШМ-26 «Проблемы холодной трансмутации ядер химических элементов и шаровой молнии». – М.: “ДеЛибри”, 2020г., С. 316 - 336.
7. Косарев А.В. НЭЯР без экзотики. Доклад на вебинаре Климова - Зателепина 1.06.2022 г. // Сайт: «ХТЯ и ШМ». Режим доступа: <http://lenr.seplm.ru>. Дата публикации - 29.05.2022г.
8. Косарев А.В. Не странные излучения низкоэнергетических ядерных реакций. // Сайт: «ХТЯ и ШМ». Режим доступа: <http://lenr.seplm.ru>. Дата публикации - 15.04.2021г.
9. Косарев А.В. Возможная природа нуклеосинтеза в недрах планет. // Сайт: «ХТЯ и ШМ». Режим доступа: <http://lenr.seplm.ru>. Дата публикации - 10.09.2021г.
10. Кривицкий В.А., Мышинский Г.В., Старостин В.И. Планетарный нуклеосинтез и рудообразование. Спиновый конденсат Бозе - Эйнштейна из атомных электронов и атомных ядер. – М.: ООО “МАКС Пресс”, Смирновский сборник, 2019г., С. 246 - 265.
Сайт ХТЯ и ШМ. Дата публ. 22.04.21г. Режим доступа: <http://lenr.seplm.ru/?pg=2>.
11. Лутовинов А.А. Как вселенная создавала элементы?
Режим доступа: <https://scientificrussia.ru/articles/kak-vselennaya-sozdaet-elementy>
12. Пархомов А.Г. Новый подход к созданию LENR - реакторов. Материалы 26-й РКХТЯ и ШМ.
13. Шимбалёв А.А. Атлас звёздного неба. Под ред. И.А. Малевича. – М.: АСТ, Мн.: Харвест, 2006г. – 320с.
14. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика. – М.: “Наука”, 1972г. - 672с.
15. Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983г. – 945с.
16. Физика микромира. М-я энциклопедия. [Гл. ред. Д.В. Ширков]. - М.: “Советская энциклопедия”, 1980г. - 528с.