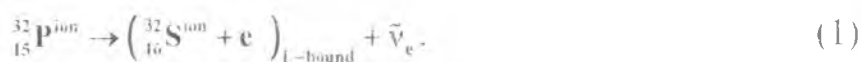


# Experimentum cruces для выяснения физической природы шаровой молнии

Ю.Л. Ратис

## Введение

В работе [1] была высказана и достаточно подробно обоснована гипотеза, согласно которой шаровая молния представляет собой область пространства, в которой содержатся пары радиоактивного фосфора  $^{32}_{15}\text{P}$  и  $^{33}_{15}\text{P}$ , причем концентрация этих паров превышает некоторое критическое значение. Упомянутые вещества сильно радиоактивны, и при определенных условиях в парах радиофосфора может начаться самоподдерживающаяся (при взрыве - неуправляемая) цепная ядерная реакция индуцированного  $\beta$ -распада в связанное состояние:



Кинетика этого процесса подробно описана в [1].

Внутреннее тормозное излучение, испускаемое при девозбуждении атомов  $^{32}_{16}\text{S}$ , воспринимается внешним наблюдателем как свечение объекта, имеющего сферическую форму. Именно этот факт (а также запах серы, всегда сопровождающий «адское пламя») служит косвенным (но очень надежным) подтверждением правильности сформулированной гипотезы.

Однако для того, чтобы окончательно удостовериться в правильности сделанных предположений, необходимо показать, что процесс  $\beta$ -распада в связанное состояние, впервые описанный в работе [3] и подробно исследованный теоретически и экспериментально в работах [4-11], относится к числу весьма распространенных ядерных реакций.

Продолжительное игнорирование большинством физиков этого факта является прискорбным заблуждением, сопряженным с рядом особенностей процессов указанного типа. Описываемые процессы (я бы их назвал «тишайшими») относили к разряду несуществующих по принципу «этого не может быть потому, что этого не может быть никогда». К этому следует добавить, что кроме «эффекта шорности», заставлявшего профессиональных физиков-ядерщиков

скептически относиться к самой возможности низкоэнергетической трансмутации химических элементов, зловещую роль в прохладном отношении профессионалов к излагаемой тематике сыграли различного рода «трансмутаологи», претендовавшие на изобретение нового «философского камня». Непрофессионализм «новых алхимиков» и вызываемое ими раздражение у профессионалов, хорошо знакомых с сутью проблемы, привели к тому, что исследования в перспективной области человеческого знания оказались замороженными на десятилетия.

Дело в том, что в процессах  ${}_Z^AX \rightarrow ({}_{Z+1}^AY + e)_{\text{инт}} + \bar{\nu}_e$  регистрирующие приборы, как правило, могут обнаружить только чрезвычайно медленное (даже по геологическим меркам) самопроизвольное изменение химического состава вещества и очень слабое свечение изучаемого образца в инфракрасном диапазоне (если только вещество не ионизировано). Зарегистрировать низкоэнергетические электронные антинейтрино, рождающиеся в этих процессах, не представляется возможным из-за невообразимо малой величины сечения реакции:



Для того чтобы осознать малость величины этого сечения, достаточно напомнить, что длина свободного пробега нейтрино с энергией 1 МэВ в свинце составляет  $l \sim 10^{18}$  м ( $\sim 100$  световых лет). Для регистрации антинейтрино в реакции типа:



в опытах Ф. Рейнса и К. Коуэна, выполненных в 1953-1956 годах, была использована схема запаздывающих совпадений. В этом опыте, продолжавшемся 57 суток, в среднем регистрировались 3 двойных вспышки в час при условии, что плотность потока антинейтрино была очень высокой. Обнаружение нейтрино в этих экспериментах было отмечено Нобелевской премией по физике и по праву считается одним из важнейших научных открытий XX века.

Зарегистрировать антинейтрино, рождающееся в результате  $\beta$ -распада в связанное состояние можно, если повысить чувствительность установки Ф.

Рейнса и К. Коуэна порядков на 20-30, для чего не хватит всей массы Земли. Именно поэтому описываемое явление, относящееся к процессам «низкоэнергетической трансмутации химических элементов» в течение продолжительного времени объявлялось лженаучным, поскольку стандартными ядернофизическими методами оно не может быть зарегистрировано. Для его изучения требуется создание специальных методов, учитывающих специфику процесса.

Такие методы были созданы совсем недавно. В прямых экспериментах с многозарядными ионами диспрозия, выполненных на ускорительно-накопительных кольцах коллаборации GSI, реакция  $\beta$ -распада в связанное состояние  ${}^{163}_{66}\text{Dy}^{66+} \rightarrow {}^{163}_{67}\text{Ho}^{66+} + \bar{\nu}_e$  была исследована в 1992 году [8]. В дальнейшем в работе [9] была исследована реакция  $\beta$ -распада 75-кратного иона рения-187 в связанное состояние. При этом рений превращался в осмий-187. В силу того, что вероятность  $\beta$ -распада в связанное состояние для ядер полностью ионизированных атомов пропорциональна  $Z^3$  [4,11], где  $Z$  - заряд дочернего ядра, скорость описываемой реакции существенно зависит от кратности ионизации атомов распадающегося радионуклида. В результате в естественных условиях нейтральный рений «трансмутирует» в осмий с периодом полураспада  $T_{1/2} = 4.2 \cdot 10^{10}$  лет, в то время как в ускорительно-накопительном кольце скорость распада  ${}^{187}_{75}\text{Re}^{75+}$  возрастает более чем на девять порядков (экспериментальное значение периода индуцированного  $\beta$ -распада составляет  $T_{1/2} = 32.9 \pm 2.0$  лет [9]).

Однако упомянутые эксперименты являются очень сложными и дорогостоящими. По самой своей сути доведение техники этих экспериментов до уровня технологических приложений практически невозможно. Альтернативные же схемы проведения экспериментов по изучению процессов  $\beta$ -распада в связанное состояние в настоящее время отсутствуют.

Если говорить о гипотезах и теоретических оценках, сделанных в работе [1] и в настоящей статье, то (если они подтверждаются экспериментально) можно смело говорить о том, что загадки шаровой молнии больше не существует. Да и с проблемой низкоэнергетической трансмутации химических элементов покон-

чено окончательно и бесповоротно. Из разряда лженауки она переходит в разряд более или менее подробно изученного и ни у кого не вызывающего вопросов раздела физики слабого взаимодействия.

Дело в том, что с формальной точки зрения  $\beta$ -распад в связанное состояние представляет собой обращенную ядерную реакцию электронного захвата. Что касается последнего процесса, то он известен с 1937 года и представляет собой ядерную реакцию типа  ${}^A_Z\text{X} + e^- \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{Y} + \nu_e$ , сечение которой отнюдь не мало. Реакция К-захвата была открыта Л.У. Альваресом и подробно исследована во множестве работ. Матричные элементы процессов электронного захвата и  $\beta$ -распада в связанное состояние имеют одинаковую структуру, а двухчастичные фазовые объемы конечных состояний этих реакций не могут различаться на много порядков, если речь идет о каком-либо фиксированном диапазоне энергий. Следовательно соизмеримы и вероятности данных процессов. В связи с этим возникает проблема систематического изучения указанного явления.

Целью настоящей работы является разработка схем относительно недорогих физических экспериментов, позволяющих регистрировать  $\beta$ -распад в связанное состояние в условиях небольшой физической лаборатории.

### Описание принципиальных схем эксперимента

**Эксперимент №1.** Наиболее надежными представляются прямые эксперименты с изотопами радиофосфора  ${}^{32}_{15}\text{P}$  и  ${}^{33}_{15}\text{P}$  (см. [1]). Пары радиофосфора, имеющие достаточно высокую концентрацию, можно поджечь пучком фотонов с энергией  $E_\gamma \approx 440$  эВ. Это наилучший способ установления природы шаровой молнии в решающем физическом эксперименте (**experimentum crucis**). Однако на пути к осуществлению подобного эксперимента стоят многочисленные препятствия. Все они сопряжены с тем, что изотоп  ${}^{32}_{15}\text{P}$  сильно радиоактивен, и эксперименты с ним небезопасны, поскольку существующие оценки для его критической массы недостаточно точны. В работе [2] произведена оценка порядка критической плотности паров радиофосфора. Для проведения решающе-

го эксперимента знание порядка оцениваемой физической величины крайне важно, но абсолютно недостаточно для воспроизведения природного феномена в лабораторных условиях! Поэтому остановимся подробнее на анализе возможности прямого наблюдения индуцированного  $\beta$ -распада радиофосфора в связанное состояние.

В ядернофизическом эксперименте радиофосфор можно получить в результате следующих реакций:  ${}_{14}^{29}\text{Si}(\alpha, p){}_{15}^{32}\text{P}$ ,  ${}_{15}^{31}\text{P}(d, p){}_{15}^{32}\text{P}$ ,  ${}_{15}^{31}\text{P}(n, \gamma){}_{15}^{32}\text{P}$ ,  ${}_{16}^{32}\text{S}(d, 2p){}_{15}^{32}\text{P}$ ,  ${}_{16}^{33}\text{S}(p, 2p){}_{15}^{32}\text{P}$ ,  ${}_{17}^{35}\text{Cl}(n, \alpha){}_{15}^{32}\text{P}$ . Особенно хорошо подходят для указанных целей реакция перезарядки  ${}_{16}^{32}\text{S}(n, p){}_{15}^{32}\text{P}$  и реакция  ${}_{29}^{63}\text{Cu} + p \rightarrow 2{}_{15}^{32}\text{P}$ . Поэтому схема прямого эксперимента достаточно проста.

Для изучения индуцированного  $\beta$ -распада в связанное состояние необходимо изготовить мишень для проведения одной из перечисленных выше реакций. Критерием отбора мишеней служит распространенность соответствующего элемента в природе, а также величина сечения ядерной реакции при энергиях, характерных для космических лучей в околоземном пространстве.

После этого, используя пучки прогонов, нейтронов, дейтронов или  $\alpha$ -частиц, необходимо получить некоторое количество радиофосфора, достаточное для регистрации стандартными ядернофизическими методами. По окончании этой стадии эксперимента необходимо измерить количество полученного радиофосфора, после чего облученную мишень следует поместить под пучок мягкого рентгеновского излучения ( $E_{\gamma} \sim 440$  эВ) и исследовать зависимость постоянной  $\beta$ -распада  ${}_{15}^{32}\text{P}$  от интенсивности рентгеновского излучения.

Реакция индуцированного  $\beta$ -распада в связанное состояние должна проявить себя посредством резкого увеличения интенсивности ВТИ. Если же количество радиофосфора в навеске, изготовленной из облученной мишени, слишком мало для надежной регистрации усиления интенсивности ВТИ, то следует использовать рентгенфлуоресцентный анализ для определения постоянной  $\beta$ -распада ядер  ${}_{15}^{32}\text{P}$  по изменению количества радиофосфора с течением времени.

**Эксперимент №2.** Косвенный способ оценки постоянной  $\beta$ -распада в связанное состояние, основанный на измерении скорости счета (числа распадов в 1 времени  $|dN/dt|$ ) для трития двумя способами:

а) стандартная  $\beta$ -активность, определяемая путем подсчета вылетевших электронов, образующихся в реакции  ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + e^- + \bar{\nu}_e$ . При этом измеряется константа  $\lambda_1$  в уравнении:

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_e^{\text{exp}} = -\lambda_1 N^{\text{exp}}. \quad (4)$$

связывающем скорость счета  $\beta$ -частиц с количеством делящегося вещества.

б) интенсивность внутреннего тормозного излучения (ВТИ). При этом измеряется константа  $(\lambda_1 + 2\lambda_2)$  в уравнении

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_\gamma^{\text{exp}} = -(\lambda_1 + 2\lambda_2) N^{\text{exp}}, \quad (5)$$

связывающем скорость счета  $\gamma$ -квантов с энергией

$$E_\gamma \approx (2Z+1) \cdot E_0 = 5 \cdot 13.2 = 66 \text{ эВ} \quad (6)$$

с количеством делящегося вещества. Фактор 2 при константе  $\lambda_2$  возникает из-за того, что при  $\beta$ -распаде в связанное состояние возбужденный атом испускает два энергичных фотона. При обычном  $\beta$ -распаде также вылетает 2 фотона. Один фотон за счет внутреннего тормозного излучения, а второй – за счет захвата электрона из непрерывного спектра. Однако фотон, образующийся при захвате ионом атома гелия электрона из континуума, имеет энергию, существенно меньшую, чем 66 эВ. Кроме того, захват электрона может идти за счет последовательных квантовых переходов. В этом случае вместо одного энергичного фотона образуется множество фотонов с меньшей энергией.

Теоретические оценки, выполненные в работе [4] показывают, что

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 6.9 \cdot 10^{-3}. \quad (7)$$

Как уже упоминалось выше, постоянные распада можно искать на основе измерения скорости счета  $\beta$ -электронов и на основе измерения интенсивности

излучения ВТИ- фотонов. Сопоставляя результаты этих экспериментов, легко оценить вклад процессов  $\beta$ - распада в связанное состояние на основе соотношения

$$\left| \frac{\left( \frac{dN}{dt} \right)_e^{\text{exp}} - \left( \frac{dN}{dt} \right)_\gamma^{\text{exp}}}{\left( \frac{dN}{dt} \right)_e^{\text{exp}}} \right| = 2 \frac{\lambda_2}{\lambda_1}. \quad (8)$$

Согласно имеющимся экспериментальным данным [12] период полураспада для трития равен  $T_{1/2} = 12,262 \pm 0,004$  года. То есть статистическая погрешность измерения этой величины составляет менее 0,04%. Величина  $\lambda_1 = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$  известна с той же степенью точности. Очевидно, что относительная «погрешность» порядка 1,5% много больше статистической погрешности 0,04%, имеющей место в ядернофизическом эксперименте по определению периода полураспада трития.

В свете изложенного выше имеется две возможности организации эксперимента по обнаружению  $\beta$ - распада трития в связанное состояние.

Во-первых, это эксперимент, в котором одновременно регистрируются и  $\beta$ - электроны и ВТИ- фотоны, возникающие за счет процессов  $\beta$ - распада. В этом случае количество делящегося вещества фиксировано и сопоставление скорости счета электронов и фотонов осуществляется напрямую.

Во-вторых, это анализ литературных источников и сопоставление величин  $\lambda_1$ , полученных на основе данных по скорости счета  $\beta$ -электронов и данных по ВТИ.

**Эксперимент №3.** Определение скорости счета (числа распадов в 1 времени) для радиоуглерода  $^{14}_6\text{C}$  двумя способами. Схема опыта с радиоуглеродом  $^{14}_6\text{C}$  полностью аналогична схеме эксперимента с  $^3_1\text{H}$ . Однако эксперимент с  $^{14}_6\text{C}$  имеет ряд существенных преимуществ.

Во-первых, согласно оценкам, выполненным в работе [4], для радиоуглерода величина

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 10^{-2}, \quad (9)$$

то есть несколько больше, чем для трития.

Во-вторых,  $E_\gamma \approx (2Z+1) \cdot E_0 = 15 \cdot 13.2 = 198$  эВ. Но  $\gamma$ -кванты с такой энергией имеют большую проникающую способность и существенно меньше поглощаются веществом, чем  $\gamma$ -кванты с энергией 66 эВ, образующиеся при  $\beta$ -распаде трития. То есть систематическая погрешность экспериментов, выполненных с радиоуглеродом, намного меньше, чем для экспериментов с тритием.

**Эксперимент №4.** Облучение рентгеновским излучением фольги, изготовленной из изотопа рутения  ${}_{44}\text{Ru}^{106}$ . Этот изотоп замечателен тем, что, согласно расчетам, выполненным в работе [4], для него величина

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 7. \quad (10)$$

Указанная оценка получена в [4] в предположении о том, что атом рутения полностью ионизирован. Поэтому схема эксперимента тривиальна. Фольга из  ${}_{44}\text{Ru}^{106}$  должна облучаться потоком  $\gamma$ -квантов с энергией в диапазоне:

$$\frac{(Z-2)^2}{n^2} \cdot E_0 \leq E_\gamma \leq \frac{(Z-1)^2}{n^2} \cdot E_0, \quad (11)$$

где  $n=1$  - главное квантовое число,  $Z=45$  - заряд дочернего ядра, а  $E_0 = 13.2$  эВ - энергия связи электрона в атоме водорода. Под действием фотонов с энергией в  $E_\gamma \approx 25.6$  КэВ выбиваются электроны с К-оболочки атома рутения и открывается канал  $\beta$ -распада в связанное состояние. При этом резко возрастает интенсивность ВТИ, причем энергия подлежащих регистрации фотонов составляет  $E_\gamma \approx (2Z+1) \cdot E_0 = 1.2$  КэВ. Тот факт, что изотоп  ${}_{44}\text{Ru}^{106}$  распространен в природе ( $2 \cdot 10^{-3}$ , [12]) и имеет период полураспада  $T_{1/2} = 366,8 \pm 1,7$  дней, делает его крайне интересным объектом исследования.

**Эксперимент №5.** Пластина из природной смеси изотопов палладия используется в качестве электрода в тлеющем разряде в аргоне [13]. Атомы, входящие в состав электродов, ионизируются. При этом открывается канал  $\beta$ -распада в связанное состояние и начинают образовываться изотопы серебра.



Результаты анализа процессов  ${}_{46}^{A}\text{Pd} \rightarrow {}_{47}^{A}\text{Ag} + e^{-} + \bar{\nu}_e$  и  ${}_{46}^{A}\text{Pd} \rightarrow ({}_{47}^{A}\text{Ag} + e^{-})_{\text{bound}} + \bar{\nu}_e$

представлены в таблице 1.

Таблица 1\*

Изотоп Pd	Распространенность (%)	$T_{1/2}$	Распад Pd в $({}_{47}^{A}\text{Ag} + e^{-})_b$	Изотоп Ag - активность	$T_{1/2}$
${}_{46}^{98}\text{Pd}$		$T_e = 17.5$ м	запрещен	-	-
${}_{46}^{99}\text{Pd}$		$T_{\beta} = 21.6 \pm 0.6$ м	запрещен	-	-
${}_{46}^{100}\text{Pd}$		$T_{\epsilon, \beta} = 3,7$ д	запрещен	-	-
${}_{46}^{101}\text{Pd}$		$T_{\epsilon, \beta} = 8.4$ ч	запрещен	$\epsilon, \beta^+$	$11.2 \pm 0.1$ м
${}_{46}^{102}\text{Pd}$	0.96	стабилен	запрещен	$\epsilon, \beta^+$	$16.3 \pm 0.7$ м
${}_{46}^{103}\text{Pd}$		$T_e = 17.0 \pm 0.4$ д	запрещен	$\epsilon, \beta^+$	68.4 м
${}_{46}^{104}\text{Pd}$	$10.95 \pm 0.96$	стабилен	запрещен	$\epsilon, \beta^+$	$66 \pm 1$ м
${}_{46}^{108}\text{Pd}$	$22.02 \pm 0.06$	стабилен	запрещен	$\epsilon$	$40.0 \pm 0.7$ д
${}_{46}^{106}\text{Pd}$	$27.17 \pm 0.40$	стабилен	запрещен	$\epsilon, \beta^+$	23,96 м
${}_{46}^{107}\text{Pd}$		$T_{\beta} = 7 \cdot 10^6$ г	разрешен	стабилен	
${}_{46}^{108}\text{Pd}$	$26.80 \pm 0.06$	$T_{2\beta} > 1.1 \cdot 10^{18}$ г	разрешен	$\epsilon, \beta, \beta$	$2.42 \pm 0.02$ м
${}_{46}^{109}\text{Pd}$		$T_{\beta} = 14$ ч	разрешен	стабилен	
${}_{46}^{110}\text{Pd}$	$12.08 \pm 0.06$	стабилен	запрещен	$\beta^-$	$24.93 \pm 0.22$ с
${}_{46}^{111}\text{Pd}$		$T_{\beta} = 22$ м	разрешен	$\beta^-$	7.5 д
${}_{46}^{112}\text{Pd}$		$T_{\beta} = 21.0 \pm 0.5$ ч	разрешен	$\beta^-$	3.14 ч
${}_{46}^{113}\text{Pd}$		$T_{\beta} = 1.5 \pm 0.1$ м	разрешен	$\beta^-$	5.3 ч
${}_{46}^{114}\text{Pd}$		$T_{\beta} = 2.4 \pm 0.1$ м	разрешен	$\beta^-$	4.5 с
${}_{46}^{115}\text{Pd}$		$T_{\beta} = 45$ с	разрешен	$\beta^-$	21.1 м

\*В таблице 1 электронный захват обозначен символом  $\epsilon$ ,  $\beta^+$  - распад есть процесс  ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{Y} + e^+ + \bar{\nu}_e$ , а прочерки означают, что соответствующий изотоп не существует.

Особый интерес в этой таблице представляет изотоп  ${}_{46}^{108}\text{Pd}$ . Процесс  $\beta^-$ -распада  ${}_{46}^{108}\text{Pd} \rightarrow ({}_{47}^{108}\text{Ag} + e^-)_{\text{bound}} + \bar{\nu}_e$  приводит к образованию радиоактивного изотопа  ${}_{47}^{108}\text{Ag}$ , а в результате его распада образуется стабильный изотоп  ${}_{48}^{108}\text{Cd}$ .

В свете вышесказанного представляется интересной перепроверка результатов эксперимента [13], поскольку данные этой работы не согласуются с известными законами сохранения. Вопрос о том, какие примеси могли привести к образованию  ${}_{46}^{109}\text{Pd}$ , обнаруженного в этой работе, остается открытым, по-

сколькx изотоп  $^{109}_{47}\text{Ag}$  стабилен, а изотоп  $^{109}_{45}\text{Rh}$  имеет период полураспада около 1 часа и не встречается в природе.

Единственная логическая возможность объяснения результатов работы [13] состоит в том, что ядра атомов  $^{109}_{47}\text{Ag}$ , присутствующие в виде примеси в электроде, изготовленном из Pd, взаимодействуют с электронами из непрерывного спектра. Однако для обоснования подобного утверждения необходимо исследовать энергетическую зависимость сечения реакции:



имеющей достаточно высокий энергетический порог. Очевидно, что сечение этого процесса (не запрещенного законами физики) при не слишком высоких энергиях электронов строго равно нулю, а при незначительном превышении порога чрезвычайно мало. И если в экспериментах [13] было зафиксировано появление  $^{109}_{46}\text{Pd}$ , то необходимо разобраться в том, почему степень загрязнения палладиевых электродов была чудовищно высока и каковы механизмы резонансного усиления сечения реакции (12) при тех энергиях, которые имеют электроны в плазме тлеющего разряда.

**Эксперимент №6.** По сути дела этот эксперимент, как и эксперимент №5, навеян результатами работы [13]. Уникальность этой работы в ряду работ различных «трансмутологов» состоит в том, что она выполнена исключительно аккуратно и степень доверия к ее результатам достаточно высока. Исследователи из нескольких крупных научных центров вряд ли могли ошибаться, экспериментально регистрируя трехкратное превышение радиоактивного фона при анализе палладиевых электродов, побывавших в плазме тлеющего разряда. Как показано в рамках анализа эксперимента №5, единственная возможность для появления в использовавшихся электродах микропримесей  $^{109}_{46}\text{Pd}$  сопряжена с возможностью существенного ускорения процесса  $e^- + ^{109}_{47}\text{Ag} \rightarrow ^{109}_{46}\text{Pd} + \tilde{\nu}_e$ , если энергия налетающих электронов достаточно высока. В связи с этим возникает простейшая схема нового эксперимента. Мишень, изготовленную из стабильного изотопа серебра  $^{109}_{47}\text{Ag}$  (распространенность в природе  $(48.65 \pm 0.07)\%$ ), следу-

его поместить под электронный пучок с энергией  $E_e \geq 1$  МэВ (в плазме тлеющего разряда энергия электронов на порядки меньше, но нецелесообразно проводить какие-либо эксперименты, не будучи абсолютно уверенным в их воспроизводимости, а соотношения  $M_n - M_p \approx 1.29332$  МэВ еще никто не отменял) на достаточно продолжительное время, после чего исследовать облученный образец методом автордиографии, как и в работе [13]. В этом плане гораздо более эффективными мишенями могут служить изотопы  $^{109}_{48}\text{Cd}$ . Для него порог реакции типа (12) отсутствует, распространенность в природе составляет  $4.3 \cdot 10^{-2}$ , период полураспада составляет  $T_{1/2} = 453$  дня, наблюдается реакция электронного захвата, и для его трансмутации можно использовать пучки электронов с энергией порядка  $E_e = 100$  КэВ. Поскольку образующийся при этом изотоп  $^{109}_{47}\text{Ag}$  стабилен, то следы соответствующей реакции можно искать либо путем регистрации ВТИ, либо с помощью рентгенфлюоресцентного анализа поверхности мишени.

**Эксперимент №7.** В сущности, это тот же эксперимент №6, также направленный на анализ возможности ускорения реакции электронного захвата. Реакцию электронного захвата интересно исследовать экспериментально, используя для этого пучки электронов с энергией порядка  $E_e = 100$  КэВ (холодная трансмутация). Регистрация ускорения счета фотонов детекторами ВТИ либо рентгенфлюоресцентный анализ поверхности мишени могут служить указанием на то, что реакция  $e^- + {}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{Y} + \nu_e$  имеет достаточно большое сечение и может использоваться в технологических целях. Критерий отбора интересных мишеней достаточно прост. В качестве мишеней необходимо использовать нейтроннодефицитные изотопы, для которых либо открыт канал электронного захвата, либо порог реакции  $e^- + {}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{Y} + \nu_e$  не слишком высок ( $< 100$  КэВ). Именно поэтому, на наш взгляд, кроме упомянутой выше реакции



определенный интерес представляет реакция



которая может протекать с заметной вероятностью; реакция ионизации электронным пучком изотопа циркония-93



с последующим  $\beta$ - распадом в связанное состояние:



а также реакция



реализующая «мечту алхимика» сотворить что-нибудь из свинца, и



которая особенно интересна тем, что изотоп  ${}_{72}^{180}\text{Hf}$  является стабильным, используется в некоторых технологиях и стоит очень дорого.

Наконец, необходимо отметить, что при отборе изотопов-мишеней для экспериментов №6 и №7 использовался еще один не упомянутый выше критерий. Предпочтение отдавалось радиоактивным изотопам, которые и без вмешательства человека испытывают «низкоэнергетическую трансмутацию химических элементов» (электронный захват) и, тем не менее, распространены в природе и присутствуют в виде примесей в естественной смеси изотопов соответствующих химических элементов. Именно этот факт позволяет надеяться на то, что в лабораторных условиях в прямом физическом эксперименте удастся зарегистрировать ускорение соответствующих  $\beta$ - процессов.

## Заключение

Резюмируем вышесказанное следующим образом:

- 1) предложена схема решающего эксперимента для определения природы шаровой молнии;
- 2) предложено 7 схем экспериментального исследования  $\beta$ - распада в связанное состояние и ускоренного электронного захвата, позволяющих получить косвенное подтверждение правильности гипотезы о том, что шаровая молния представляет собой облачко паров радиофосфора, в котором протекает само-

поддерживаемая цепная ядерная реакция индуцированного  $\beta$ -распада в связанное состояние;

3) перечисленные эксперименты по «низкоэнергетической трансмутации химических элементов» не противоречат известным законам физики;

4) при обсуждении различных  $\beta$ -процессов и перспектив их обнаружения в эксперименте автор ясно отдавал себе отчет, что речь может идти только о регистрации физического эффекта, а не о наработке технологически интересных веществ в весовых количествах, ибо для всех обсуждавшихся процессов сечения реакций и вероятности распадов крайне малы (за исключением радиофосфора);

5) в рамках настоящей работы обсуждались только принципиальные схемы различных экспериментов по обнаружению  $\beta$ -распада в связанное состояние и «ускорению» электронного захвата. Аккуратный расчет сечений реакций (12)-(17) безусловно должен предшествовать реальному физическому эксперименту. Решение этой задачи будет представлено в следующей работе.

Автор выражает благодарность Ф.А. Гарееву, В.С. Казакевичу, В.В. Ленивкину, Л.В. Туманову за многочисленные стимулирующие дискуссии, в результате которых на свет появилась эта работа, а также предыдущие работы [1,2].

#### Список литературы

1. Ратис Ю.Л. Естествознание. Экономика. Управление. Специальный выпуск. Самара. СГАУ, 2003. с. 4.
2. Ратис Ю.Л. Естествознание. Экономика. Управление. Специальный выпуск. Самара. СГАУ, 2003. с. 17.
3. Daudel R., Jean M., and Lecoïn M., J. Phys. Radium **8**, 238 (1947).
4. Bahcall J.N., Phys. Rev. **124**, 495 (1961).
5. Takahashi K. and Yokoi K., Nucl. Phys. **A404**, 578 (1983).
6. Takahashi K. and Yokoi K., At. Data Nucl. Data Tables **36**, 375 (1987).
7. Takahashi K. *et al.*, Phys. Rev. **C36**, 1522 (1987).
8. Jung M. *et al.* Phys. Rev. Lett., **69**, №15, 2164 (1992).
9. Bosh F., *et al.* Phys. Rev. Lett., **77**, №26, 5190 (1996).
10. Klepper O. *et al.* Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. **B70**, 427, (1992).
11. Меменов Л.Л. ЯФ. **31**, вып. 1, 1980, с. 221.
12. Селинов И.П. Изотопы, т.1, М.: Наука, 1970, 623 с.
13. Савватимова И.Б., Карабут А.Б. Радиоактивность наладиевых катодов после облучения в тлеющем разряде// Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, №1, 1996