

Ядерные реакции и трансмутация изотопов в биологических системах (предыстория, текущее состояние, перспективы)

В.И. Высоцкий¹, А.А. Корнилова²

Аннотация—В работе кратко рассмотрена предыстория и текущее состояние проблемы реализации ядерных реакций в растущих биологических системах, включая синтез стабильных изотопов и трансмутацию радиоактивных ядер в стабильные изотопы других элементов. Рассмотрены общие физические и биологические причины этих процессов.

I. КРАТКАЯ ПРЕДЫСТОРИЯ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСМУТАЦИИ ИЗОТОПОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Проблема ядерных превращений в биологических системах принадлежит, вне всякого сомнения, к числу наиболее мистических и мифологизированных в истории человеческой цивилизации и истории развития науки. Ее предтечей является алхимия, которая сама претерпела ряд эволюционных изменений, сыграв роль своеобразного временного моста от примитивных представлений античности и раннего средневековья к “классической” науке, разделившей все области изучения и объекты окружающего мира на отдельные мегаблоки, зачастую мало связанные между собой. По большому счету, вся современная химия, а также атомная и ядерная физика выросли “на почве” алхимии, взяв от нее все рациональные начала и очень быстро перейдя к узкой специализации, образовав мало связанные между собой мегаблоки.

В настоящее время почти аксиомой являются утверждения о том, что “типичный” успешный химик (за исключением радиохимиков) не обязан что-либо понимать в ядерной физике, а биолог должен воспринимать ядерную физику, как некоторый фактор внешнего воздействия (в основном в виде ионизирующего облучения со специально введенным “коэффициентом качества излучения $1 \leq Q \leq 20$ ”, отражающим разную эффективность действия гамма квантов, электронов, тепловых и быстрых нейтронов, протонов, а также

тяжелых ионов на биологические макромолекулы и на другие биообъекты).

Справедливости ради необходимо отметить, что и большинство физиков не имеют ясных представлений о процессах, протекающих в биологических системах.

С течением времени и эти мегаблоки эволюционно разделились на взаимно-изолированные ячейки, мало связанные между собой. Сейчас трудно представить, например, специалиста по гидродинамике, который участвует в конференции по нанoeлектронике или, например, по физике сильных взаимодействий.

Следует отметить, что “развод” биологии и ядерной физики был оформлен с самого начала возникновения последней, как отрасли современной науки. Это было связано, в первую очередь, с тем, что ядерная физика после “младенческого периода” 1913-1938 годов очень быстро повзрослела и сразу перешла в категорию тяжеловесов, тесно завязанных на военные ядерные технологии и на глобальную энергетику в виде широко рекламируемого “мирного атома”. После такого перехода все силы и средства ядерной физики были брошены на достижение больших мощностей и энергий за счет силового метода решения – использование предельно высоких температур, большой плотности энергии и сверхмощных ускорителей частиц. По большому счету ядерные процессы при “нестандартных” для современной ядерной физики условиях (область малых энергий, малых (на уровне комнатной) температур, естественные окружающие объекты) мало кого интересовали и были вне области научных интересов, а значит никак не финансировались.

Вместе с тем исключения всегда имели место и такие исследования с использованием методов, адекватных времени и месту их проведения, осуществлялись силами энтузиастов в течение последних столетий. Еще в 18 и 19 столетиях (соответственно, при участии Antoine Lavoisier, Johann Christian, Carl Schrader, Henri Braconnot, Louis Nicolas Vauquelin, William Prout, Wilhelm Augustus Lampadius, Vogel, Choubard, John Bennet Lawes, Joseph Henry Gilbert, Albrecht Von Herzeele) проводились отдельные исследования, целью которых было выяснение взаимно-

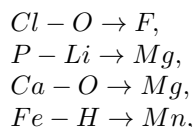
¹Киевский Национальный университет им. Т.Шевченко, Киев, Украина, vivysotskii@gmail.com.

²Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия, prfnart@mail.ru.

го влиянии биологии и ядерной физики, понимаемой тогда, как наука о преобразовании химических элементов. В первой половине 20 века эти разрозненные и не систематизированные исследования были продолжены (Freudler, Augustus Spessar, Rudolph Steiner, Henri Spindle, Rudolf Hauschka, Perrault, Julien George Oshawa, Pierre Baranger, Leendert Willem, Jacob Holleman, J.E. Zünde, Hisatoki Komaki). Краткая предыстория этих разрозненных случаев представлена в [1], [2].

Среди множества предшественников серия работ Л. Керврана (включая единственную книгу, опубликованную на английском языке [3]) занимает особое место в хронологии исследований по трансмутации химических элементов и изотопов в самых разных биологических объектах. Фактически, он был первым ученым “ядерной эпохи”, который пытался проводить систематизированное исследование процессов трансмутации химических элементов в биологических объектах. Среди его пионерских работ можно отметить исследование реакции трансмутации калия в кальций $K^{39} + p^1 = Ca^{40}$ в биологической системе, содержащей водород, связанный в молекулах воды. Он также исследовал многие другие реакции трансмутации изотопов, среди которых следует особо отметить те, которые приводят к образованию жизненно необходимых микро и макроэлементов Ca, K, Mg, P . Многие эксперименты Керврана являются очень убедительными, если рассматривать их без более детального анализа на микроуровне и не вникать в изотопный состав исходных и дочерних изотопов.

В то же время научные представления Керврана были достаточно далеки от стандартов и аксиом ядерной физики. Например, он допускал обратимость ядерной реакции и возможность протекания реакций распада



которые никак не совместимы с законами сохранения энергии, поскольку для их реализации необходима гигантская энергия $Q \approx 5...20$ МэВ. Источники такой гигантской энергии отсутствуют в биологической среде. Взгляды Керврана на механизм таких процессов также были достаточно экзотичными, хотя и типичными для микробиологии. Кервран в своих работах трактовал подобные процессы, как специфическую “биологическую трансмутацию”, утверждая, что это совершенно особый процесс, стимулированный неизвестным ферментом. По нашему мнению, нет никаких оснований рассматривать процесс превращения изотопов в растущих биологических системах как “биологическую трансмутацию” и отделять его от общей физической концепции трансмутации, как процесса превращения изотопов, полностью “управляемого” законами физики и стимулированного некоторыми структурными особенностями биологической системы. К сожалению, Кервран не

проводил в своих экспериментах анализ соотношения изотопов в начальном и конечном состояниях и это не позволило отделить реальный процесс трансмутации изотопов от артефактов (в частности – от влияния всегда имеющихся естественных примесей синтезируемых химических элементов).

II. ТРАНСМУТАЦИЯ И СИНТЕЗ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ В РАСТУЩИХ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ

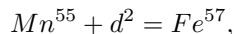
Мы начали экспериментальное исследование процесса трансмутации стабильных изотопов в биологических системах в начале 90-х годов на основе общих идей, относящихся к низкотемпературному ядерному синтезу.

Вначале были определены общие принципы рационального проведения таких исследований. Их можно кратко сформулировать в виде ряда базовых положений:

- синтезируемый изотоп должен входить в число жизненно необходимых микро- и макроэлементов или их биохимических аналогов, а среда, в которой происходит рост биологического объекта, не должна содержать этих элементов, но обязательно должна содержать те изотопы, из которых данные элементы могут образовываться без необратимого использования дополнительной энергии;
- для того, чтобы эксперименты проводились за достаточно короткое время, скорость роста исследуемого биологического объекта должна быть большой, а образуемый изотоп должен быть адаптирован к этому объекту и должен накапливаться в количестве, достаточном для надежной регистрации;
- метод регистрации должен быть максимально чувствительным и селективным по отношению к близким по массе и заряду химическим элементам и изотопам;
- биологический объект, используемый для такой трансмутации, должен быть достаточно не критичным к окружающим условиям и естественным изменениям этих условий, а также должен быть достаточно устойчивым к действию продуктов собственной жизнедеятельности, чтобы избежать явления самоинтоксикации;
- при работе с радиоактивными изотопами живой объект должен быть достаточно устойчив к длительному действию сильных радиационных полей, образованных утилизируемыми изотопами;
- желательна (а для стабильных изотопов – обязательна) возможность проведения анализа изотопного состава биологического объекта до и после процесса трансмутации;
- должны быть выполнены требования, связанные с экологией и с проблемами гуманизма (речь идет о живых объектах, в числе которых могут быть животные и даже человек).

Очевидно, что этим условиям в максимальной степени отвечают микробиологические культуры.

Исходя из этих соображений, мы выбрали реакцию трансмутации



дочерним продуктом которой является мессбауэровский изотоп Fe^{57} , природная концентрация которого среди других изотопов железа очень мала (2.2%), а метод его мессбауэровской регистрации предельно селективный.

Схема этих исследований [4], [5] предусматривала проведение параллельных экспериментов в аналогичных кюветках в присутствии разных микробиологических культур с вариациями состава (в контрольных кюветках отсутствовали соли марганца либо культура росла в среде на основе легкой воды, не содержащей дейтерий, а в экспериментальных кюветках, кроме остальных необходимых микро- и макроэлементов присутствовала соль марганца, а питательная среда готовилась на основе тяжелой воды). Во всех экспериментах использовались солевые компоненты с минимальной примесью железа.

Соответствующий мессбауэровский спектр изотопа Fe^{57} , измеренный в высушенной микробиологической культуре *Saccharomyces cerevisiae*, которая росла в средах оптимального состава в течение $\Delta t=72$ часов, представлен на рис. 1(а).

Из вида этого спектра следует, что в экспериментальной кюветке в присутствии марганца и тяжелой воды происходил синтез изотопа Fe^{57} в количестве, допускающем уверенную регистрацию. Эффективность этого процесса соответствовала скорости трансмутации

$$\lambda = N(Fe^{57})/N(Mn^{55})\Delta t \approx 10^{-8} c^{-1}$$

(синтезируемых ядер изотопа Fe^{57} в секунду в расчете на одно ядро изотопа Mn^{55}).

Сравнительно малая глубина мессбауэровского резонанса ($\Delta J/J \approx 0.2\%$) и, соответственно, малая скорость λ этого процесса были прямыми следствиями эффекта самоторможения эффективного роста культуры из-за процесса самоотравления питательной среды продуктами жизнедеятельности этой культуры. Подобные эксперименты затем проводились на основе других микробиологических культур с примерно такими же результатами.

Дополнительные исследования особенностей этих ядерных превращений были проведены с использованием время-пролетного масс-спектрометра. На рис. 2 представлена схема этого спектрометра, на Рис. 3 – результаты измерения спектра масс для природного железа и марганца, а также для микробиологических культур, выросших в контрольной среде и среде, оптимальной для трансмутации.

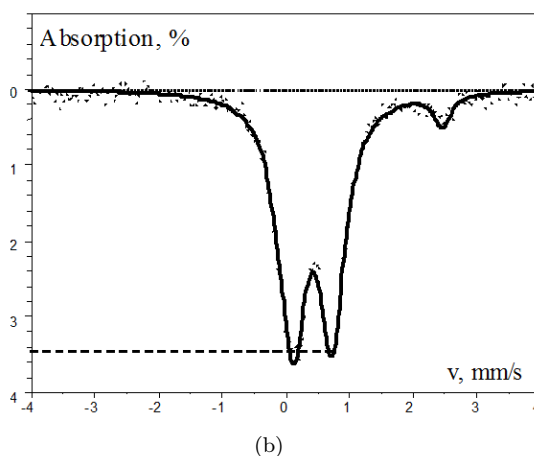
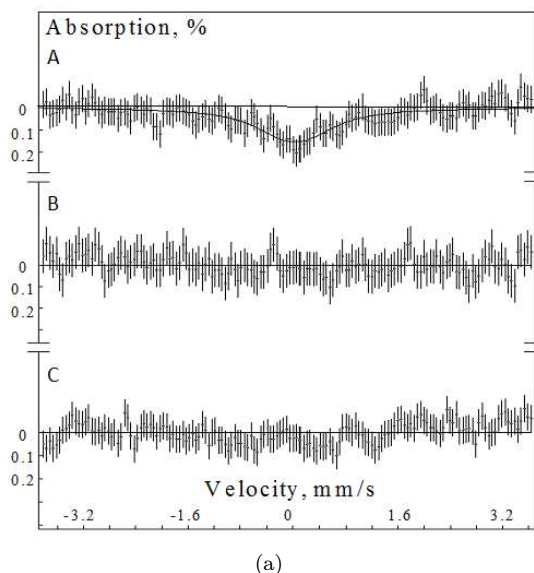


Рис. 1. а) Мессбауэровский спектр высушенной культуры *Saccharomyces cerevisiae*, выросшей в среде, содержащей: А - D_2O и изотоп Mn^{55} ; В - H_2O и тот же изотоп Mn^{55} ; С - D_2O без наличия Mn^{55} . б) мессбауэровский спектр высушенной синтрофной микробиологической ассоциации, выросшей в оптимальной среде при наличии D_2O и изотопа Mn^{55} .

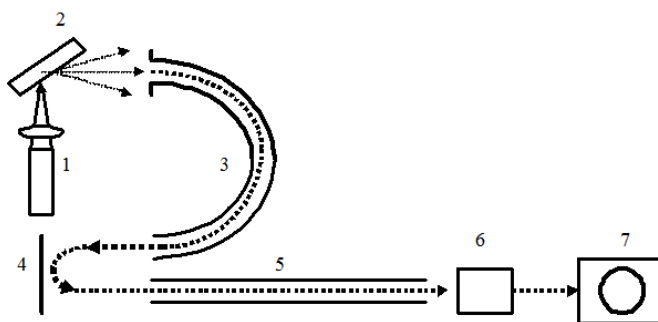


Рис. 2. Схема лазерного время-пролетного спектрометра.

Далее по той же схеме и с близкой эффективностью были проведены аналогичные исследования по синтезу другого редкого изотопа Fe^{54} (природная концентрация около 5.4%) на основе реакции

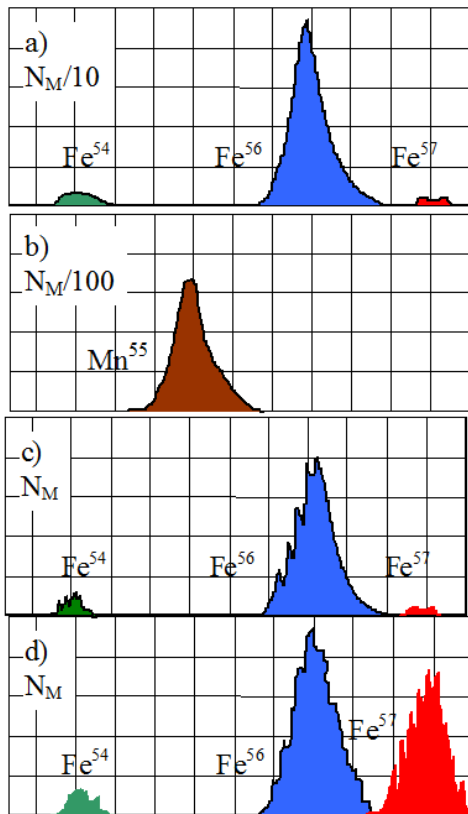
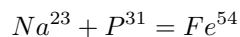


Рис. 3. Результаты измерения спектра изотопов в интервале массовых чисел $A=[54..57]$ для а) – природного железа; б) чистого марганца; в) отмытой и высушенной культуры, выросшей в контрольной среде на основе легкой воды с присутствием марганца; д) отмытой и высушенной культуры, выросшей в среде на основе тяжелой воды, содержащей соли марганца.



В этом случае также использовались солевые компоненты питательной среды с минимально возможной примесью природного железа. Результаты исследования отмытых и высушенных образцов микрокультуры *Escherichia coli*, выросшей в контрольной среде (при наличии натрия и отсутствии соли фосфора в водном растворе) и в оптимальной среде, содержащей и фосфор и натрий, получены в том же лазерном время-пролетном масс спектрометре и представлены на рис. 4. На верхнем графике на каждом из трех рисунков представлен спектр масс природного железа, а на нижнем – спектр масс исследуемой культуры в диапазоне атомных чисел $A=54, 55$. Оба графика поочередно записывались на одном и том же экране спектроскопа с памятью, а затем этот экран фотографировался. В этом спектрометрическом анализе конца 90-х годов не использовалась цифровая техника, но результаты являются очень убедительными.

Из этих снимков видно, что в контрольных экспериментах отношение масс основного (Fe^{56}) и редкого (Fe^{54}) изотопов железа соответствует природному железу и, следовательно, их наличие связано с примесями

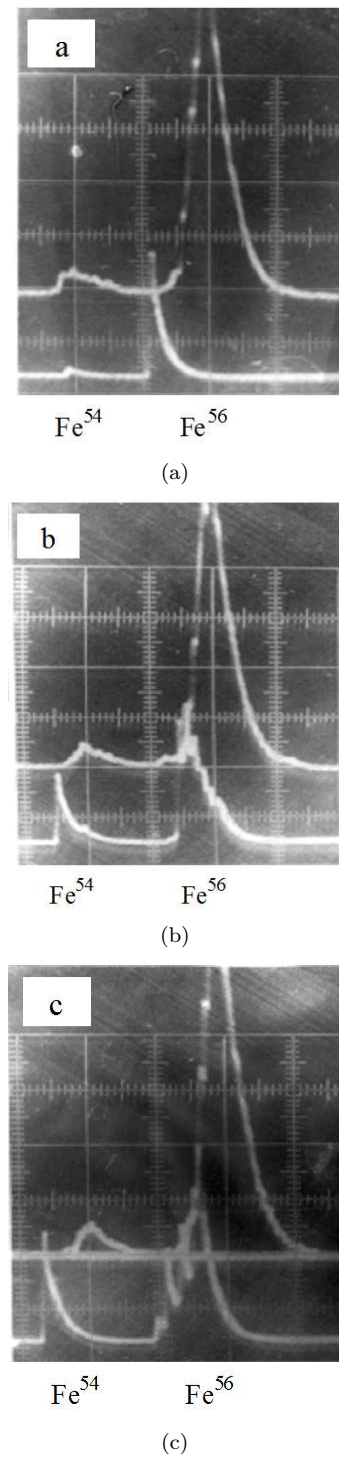


Рис. 4. Спектры масс изотопов железа, полученные от культур, выросших в среде без присутствия фосфора (а) или при его наличии в двух разных экспериментах (б) и (с). Верхние графики соответствуют спектру масс природного железа, получаемому каждый раз перед анализом экспериментального образца.

железа. В экспериментах по трансмутации отношение этих изотопов примерно равно, что свидетельствует о том, что изотоп Fe^{54} был синтезирован с итоговой концентрацией, близкой к концентрации основного изотопа Fe^{56} примесного железа.

Для повышения эффективности процесса трансму-

тации были использованы биологические объекты, более устойчивые к тормозящему влиянию окружающей среды и к изменению ее химического состава. Такими объектами являются синтрофные микробиологические ассоциации, состоящие из многих тысяч разных микробиологических культур, находящихся в состоянии симбиоза и взаимного синергизма. Такие ассоциации очень устойчивы к изменению внешних условий и способны расти даже при очень агрессивном внешнем воздействии. В частности, они могут расти (после достаточно короткого времени адаптации, соответствующего смене 8-10 поколений) в кислой среде с $pH \approx 2$, что близко к концентрированной соляной кислоте или в предельно сильных радиационных полях, не погибая даже при дозах порядка 10 Мрад, что в 300 раз больше, чем летальная доза для, например, культуры *E. Coli*.

Уже первые эксперименты с такими ассоциациями показали, что полная эффективность трансмутации возрастает в 50-100 и более раз. Соответствующий мессбауэровский спектр ассоциации, которая росла в течение 20 дней в оптимальной (при наличии D_2O и Mn^{55}) среде, аналогичной по составу рассмотренным выше экспериментам с культурой *Saccharomyces cerevisiae*, представлен на рис. 1(b). Возрастание эффективности (скорости) процесса трансмутации в этом случае до величины

$$\lambda = N(Fe^{57})/N(Mn^{55})\Delta t \approx 10^{-6} c^{-1}$$

наглядно демонстрирует увеличение глубины и площади мессбауэровского резонанса $\Delta J_{max}/J_{transmut} \approx 3.4\%$.

Эти же результаты были подтверждены при проведении изотопного анализа исходной и выросшей культуры с использованием термоионизационного масс-спектрометра "Finnigan" MAT-262. Соответствующие графики этого анализа представлены на рис. 5.

Очень важным является то обстоятельство, что резко возросшая эффективность процесса трансмутации позволила изучить не только процесс образования (увеличения концентрации) синтезируемого изотопа Fe^{57} , но и аналогичное по величине уменьшение концентрации исходного изотопа Mn^{55} . Динамика изменения соответствующих величин отмечена стрелками на графике.

Дальнейшие исследования были проведены с целью оптимизации трансмутации не только легких и средних по массе изотопов, но и тяжелых изотопов.

На рис. 6 представлены графики, характеризующие динамику изменения концентрации исходного тяжелого стабильного изотопа Cs^{133} в другой стабильный изотоп Ba^{134} как в жидкой среде, содержащей модификацию развивающихся синтрофных микробиологических ассоциаций, так и в высушенной питательной среде.

В этом случае процесс трансмутации был связан с реализацией ядерной реакции

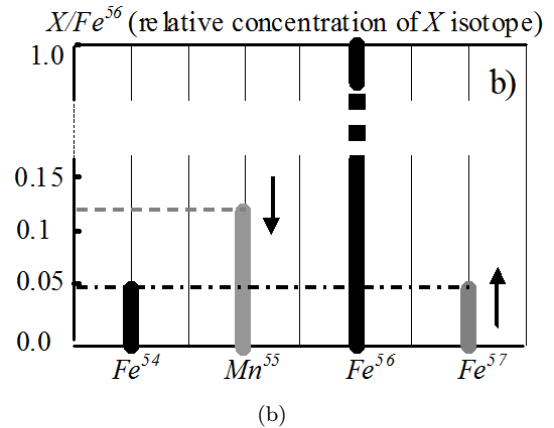
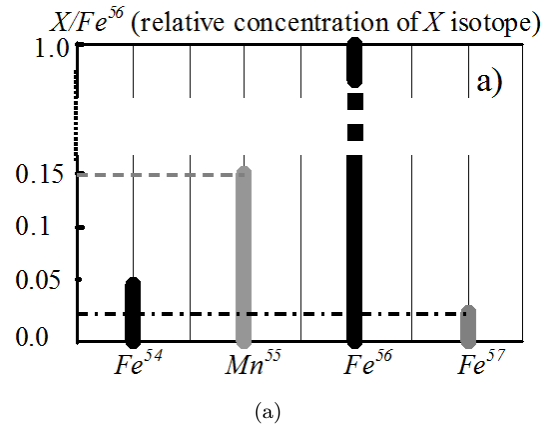
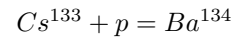


Рис. 5. Спектр масс в области $A=54-57$ высушенной микробиологической ассоциации, выросшей в контрольной среде на основе легкой воды H_2O при наличии изотопа Mn^{55} и исследованной совместно с сухими компонентами питательной среды (а) и в оптимальной среде на основе тяжелой воды D_2O в присутствии того же изотопа Mn^{55} (б).



Процесс трансмутации проводился одновременно в 18 идентичных кюветах в анаэробных условиях, содержащих по 45 мл водно-солевой питательной среды с добавлением соли цезия и по 5 мл высококонцентрированной биологической субстанции. Периодический анализ (с интервалом 48 часов) проводился на основе совместного анализа состава 4 кювет, в которых вначале отделялась биологическая субстанция от жидкой среды, а затем эти составляющие выпаривались (высушивались) для последующего элементного анализа.

Из полученных данных видно, что в процессе эксперимента происходило частичное усвоение цезия биологической субстанцией с одновременным интенсивным преобразованием цезия в барий.

Итоговая эффективность трансмутации цезия в барий определяется величинами

$$\alpha = \frac{(\eta_{Cs}^{Water})_{t=0} - (\eta_{Cs}^{Water} + \eta_{Cs}^{Bio})_{t=t_0}}{(\eta_{Cs}^{Water})_{t=0}} \approx \begin{cases} 0.43 \pm 0.05, t_0=96h \\ 0.50 \pm 0.05, t_0=192h \end{cases}$$

При этом скорость трансмутации

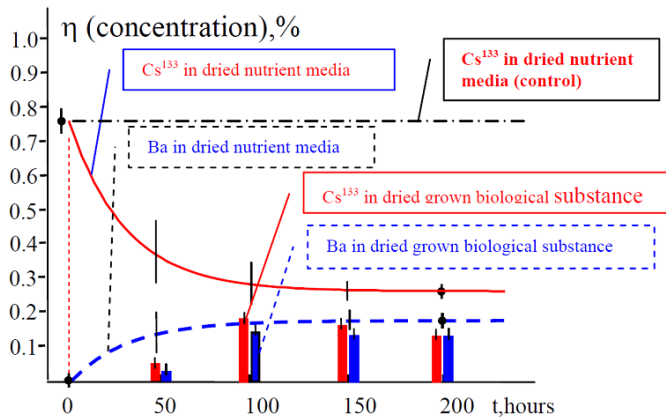


Рис. 6. Изменение концентрации Cs^{133} и Ba^{134} в высушенной биологической субстанции и в высушенной питательной среде.

$$\lambda = N(Fe^{57})/N(Mn^{55})\Delta t \approx 10^{-6} c^{-1}$$

была идентичной с рассмотренным ранее случаем трансмутации более легких изотопов.

Биологическая целесообразность таких реакций обусловлена тем, что химические элементы барий и кальций являются биохимическими аналогами (они имеют одинаковую валентность и близкие одинаковые ионные радиусы ($R_{Ba} \approx 1.2 \text{ \AA}$, $R_{Ca} \approx 1.06 \text{ \AA}$). Это условие позволяет заменять в растущей биологической субстанции кальций (в случае его недостатка) синтезируемым барием. Интересно отметить, что другая возможная замена (необходимого калия на радиоактивный цезий) в составе растущей культуры намного менее эффективна из-за значительной разницы их ионных радиусов ($R_{Cs} \approx 1.7 \text{ \AA}$, $R_K \approx 1.1 \text{ \AA}$), а также из-за того, что калий присутствовал в питательной среде в достаточном количестве.

Рассмотренные выше методы трансмутации стабильных изотопов детально рассмотрены в наших работах [4], [5], [6] и в патенте [7].

III. УПРАВЛЯЕМАЯ ДЕАКТИВАЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ НА ОСНОВЕ ИХ ТРАНСМУТАЦИИ В СТАБИЛЬНЫЕ ИЗОТОПЫ ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Высокая эффективность процесса трансмутации легких и тяжелых стабильных изотопов стимулировала последующие исследования по трансмутации радиоактивных изотопов. Используемый нами «активный» элемент трансмутации (синтрофные микробиологические ассоциации) в силу своей предельной радиационной и биохимической устойчивости представляют почти идеальный инструмент для такой естественной деактивации.

Первые эксперименты, реализующие такую перспективу, были проведены нами совместно с нашими коллегами из Киевского института ядерных исследований

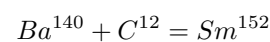
на основе образцов радиоактивной воды, взятых непосредственно из первого контура водо-водяного реактора, работающего в этом институте. Гамма-спектр этих образцов представлен на рис. 7(а).

Схема экспериментов была идентичной проведенным ранее, но с учетом того упрощающего обстоятельства, что анализ процесса трансмутации может быть проведен путем периодического измерения интенсивности гамма-спектра, свидетельствующей о наличии и количестве данного радиоактивного изотопа.

Исходная активность реакторной воды была равной 10^{-4} Кюри/литр. Из вида гамма-спектра следует, что в воде было много разных радиоактивных изотопов (в частности Na^{24} , K^{40} , Co^{60} , Sr^{91} , I^{131} , Xe^{135} , Ba^{140} , La^{140} , Ce^{141} , Np^{239}).

На рис. 7(б) представлено изменение активности изотопов La^{140} и Ba^{140} в контрольных и экспериментальных кюветах, содержащих реакторную воду и микробиологическую субстанцию (синтрофную микробиологическую ассоциацию). Изотоп La^{140} является дочерним изотопом ядра Ba^{140} , которое испытывает β -распад, преобразуясь в другой радиоактивный изотоп La^{140} , который имеет время жизни 40.3 часа. Среднее время жизни Ba^{140} равен 12.7 дней. Начальные удельные активности этих изотопов были равны $Q_{Ba^{140}} \approx 1.46 \cdot 10^{-7} \text{ Curie/l}$, $Q_{La^{140}} \approx 2.31 \cdot 10^{-7} \text{ Curie/l}$.

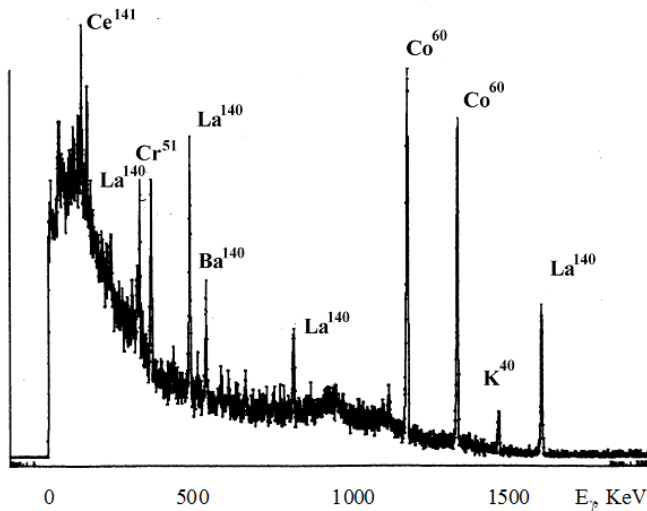
Из данных, представленных на рис. 7а, видно, что в течение первых 10 дней эксперимента закон изменения активности в контрольных и опытных кюветах совпадали между собой и определялись естественным β -распадом, что соответствует периоду адаптации биологической субстанции к нетривиальным условиям (действию радиации). После завершения этого адаптационного периода гамма-активность ячеек с биомассой начинает ускоренно убывать, что вызвано ускоренной трансмутацией радиоактивного изотопа на основе наиболее вероятной реакции



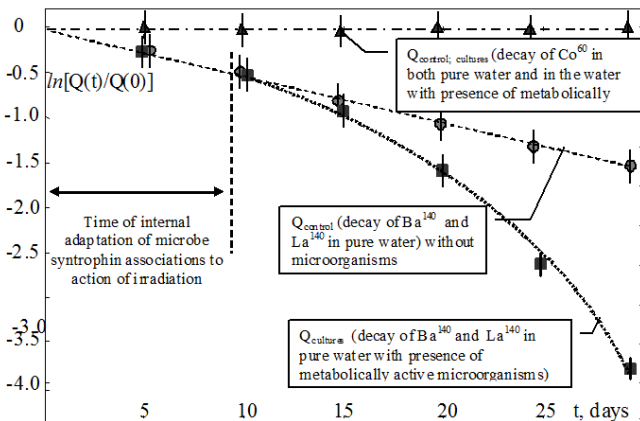
Эта трансмутация была эквивалентна ускорению спонтанного распада изотопа La^{140} примерно в 3 раза.

Последующие эксперименты были проведены с целью поиска механизма ускоренной деактивации одного из наиболее опасных долгоживущих изотопов Cs^{137} . Эти эксперименты проводились на базе объекта «Укрытие» при Чернобыльской АЭС при участии наших коллег В.М.Павловича и А.Одинцова с использованием реальных образцов радиоактивного изотопа Cs^{137} , взятого из реакторного блока. Важно отметить это обстоятельство, поскольку стандартные (коммерческие) изотопные источники Cs^{137} , используемые в дозиметрии, метрологии и технологии, содержат, кроме радиоактивного изотопа Cs^{137} , также гораздо большее количество стабильного изотопа Cs^{133} , что резко снижает эффективность канала деактивации.

Основываясь на результатах наших предыдущих экспериментов по трансмутации стабильного изотопа



(a)



(b)

Рис. 7. а) Гамма-спектр образца воды из активной зоны реактора; б) изменение активности изотопов La^{140} и Ba^{140} в контрольных и экспериментальных кюветах, содержащих реакторную воду и микробиологическую субстанцию.

Cs^{133} , была выбрана аналогичная схема реализации реакции трансмутации для радиоактивного аналога стабильного цезия

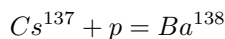


Схема проведения эксперимента предполагала использование дополнительных методов управления процессом трансмутации.

Водный раствор исследуемого реакторного изотопа Cs^{137} помещался в 8 идентичных закрытых кювет объемом по 10 мл с активностью $Q=2 \cdot 10^4$ Бк. В 6 кюветах дополнительно к типовой композиции солей селективно добавлялись разные соли базовых (для роста культуры) химических элементов K , Ca , Na , Fe , Mg , P , а одна из кювет была без такой добавки. В эти кюветы были внесены аналогичные синтрофные ассоциации

(МСТ гранулы). Еще одна из кювет содержала только аналогичную радиоактивную воду.

Такой метод позволял определить степень влияния разных базовых химических элементов на эффективность реакции трансмутации.

Динамика процесса трансмутации изучалась по изменению активности реакторного изотопа Cs^{137} путем периодического измерения параметров соответствующего этому изотопу гамма-излучения с энергией 661.7 КэВ. Для предотвращения влияния размерных факторов (в частности – перераспределения растущей микробиологической субстанции в объеме кювет) были сделаны определенные меры предосторожности – в частности, использованы кюветы малого размера, а для измерения гамма-спектра использовался германиевый детектор с большим размером регистрирующего кристалла.

Результаты экспериментов представлены на Рис. 8.

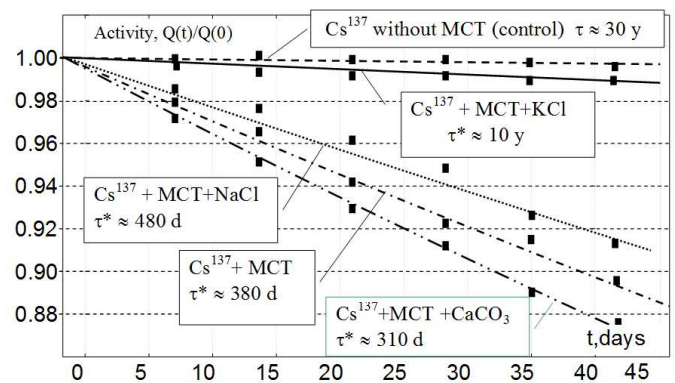


Рис. 8. Результаты экспериментов по трансмутации реакторного изотопа Cs^{137} .

Из этих данных видно, что процесс жизнедеятельности микробиологической субстанции (МСТ гранул) очень существенно влияет на активность изотопа за счет разной скорости его преобразования в стабильный изотоп другого элемента при разных условиях роста этой субстанции. Измерения на основе контрольных кювет (содержащих аналогичную радиоактивную воду без добавки биологической субстанции) показали визуальную неизменность активности за малый срок эксперимента и подтвердили стабильность работы регистрирующей аппаратуры.

Эксперименты показали, что процесс метаболизма, зависящий от наличия разных солей, существенно влияет на темп трансмутации. Наиболее оптимальные результаты соответствовали рабочим кюветам, содержащим соль кальция. Эти результаты для более длительного периода измерений (100 дней) представлены в таблице I.

Из полученных результатов следует, что в оптимальных условиях процесс трансмутации на основе используемой микробиологической технологии позволяет ускорить деактивацию изотопа Cs^{137} в 35 раз по сравнению с природным распадом.

Таблица I
СТАТИСТИКА ПРОЦЕССА ТРАНСМУТАЦИИ В ОПТИМАЛЬНОМ РЕЖИМЕ

| Начало эксперимента N1, Регистрируемых событий за 10^3 с | Промежуточный результат, 100 дней | | Природный распад за 100 дней | Результат эксперимента (N2-N1)/N2 |
|--|--|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| | N2, Регистрируемых событий за 10^3 с | Абсолютная (относительная) ошибка | | |
| 266900 | 216800 | ± 478 ($\pm 0.2\%$) | -0.6 % | -24 % |

Рассмотренные выше эксперименты проводились нашей научной группой в период 1994-2010 годов и их результаты отражены в работах [5], [6], [8] и в патенте [9].

В последнее время мы при участии наших коллег провели ряд дополнительных оптимизированных экспериментов, которые не только подтвердили предыдущие данные, но позволили существенно оптимизировать процесс трансмутации за счет использования более оптимальных биологических субстанций и оптимизации режимов их роста.

Проведенные недавно эксперименты показали, что процесс утилизации можно ускорить во много раз [10]. В частности, среднее (по данным параллельных экспериментов, проведенных в Институте имени Бочвара) уменьшение концентрации Cs^{137} за 14 дней составило 23%, что соответствует ускорению деактивации более чем в 200 раз. В ряде случаев уменьшение концентрации Cs^{137} в этих экспериментах достигало 40% и даже 70% (Рис. 9) [10].

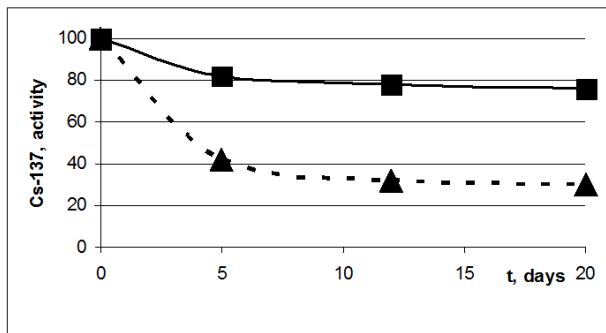


Рис. 9. Уменьшение активности водного раствора Cs^{137} в присутствии оптимизированной синтрофной ассоциации (верхний график – средние данные по серии экспериментов, нижний – наиболее оптимальный случай).

Остановка (точнее, существенное замедление) процесса трансмутации при достижении некоторого итогового уровня, который на приведенных графиках соответствует интервалу 75-30% от начальной активности, может быть отменена при условии оперативной корректировки химического состава жидкой среды, в которой находится утилизируемый радиоизотоп и преобразующая его биологическая субстанция. Такое замедление связано, в первую очередь, с очень су-

щественным изменением начальных (оптимальных для процесса метаболизма) биохимических условий из-за процессов естественного метаболизма.

Полученные результаты свидетельствуют о реальности эффективной деактивации водных растворов реакторных радионуклидов за приемлемое время, не превышающее 30 дней, что в случае трансмутации радиоактивного цезия соответствует ускорению процесса в 1000 раз по отношению к “стандартной” природной деактивации, длительность которой равна (примерно) 3 периодам полураспада, чему в случае изотопа Cs^{137} соответствует 100 лет.

Биологические предпосылки процесса трансмутации связаны с реализацией механизма эффективного восполнения отсутствующего (или находящегося в малой концентрации) химического элемента тем элементом (или его прямым биохимическим аналогом), который образуется в результате трансмутации.

Хорошо известно, что отсутствие хотя бы одного из жизненно необходимых макро- или микроэлементов в составе питательной среды почти полностью останавливает рост биологических объектов. По этой причине любой такой биообъект мгновенно фиксирует необходимый ему синтезируемый химический элемент, образуемый в процессе трансмутации, если аналогичный элемент отсутствует в этой системе, и встраивает его в растущую биологическую среду. Эти процессы детально рассмотрены в наших базовых публикациях [4], [5], [6], [8].

Физические предпосылки процесса трансмутации относятся к общим вопросам реализации ядерных реакций при низкой энергии. По нашему мнению, подтвержденному расчетами и многократным сравнением с успешными экспериментами, такой механизм связан с формированием когерентных коррелированных состояний, образуемых в нестационарных потенциальных ямах наноразмера, формируемых и трансформируемых в зоне роста биологических объектов (например, в области деления клеток, при репликации ДНК, на поверхности биологических мембран и т.д., Рис. 10). Фактически каждый такой объект при определенных условиях формирования нестационарной потенциальной ямы и при наличии в объеме этой ямы подходящих атомов или ионов может выполнять роль разового микрореактора ядерного синтеза.

Формирование таких состояний сопровождается синхронизацией и взаимной фазировкой квантовых состояний частиц (например, протонов), находящихся в их объеме, что приводит к генерации очень больших флуктуаций импульса и кинетической энергии. Нижний порог амплитуды этих флуктуаций определяется соотношениями неопределенностей Шредингера-Робертсона

$$\delta p \delta q \geq \hbar/2 \sqrt{1 - r_{pq}^2}, \quad \delta E \delta t \geq \hbar/2 \sqrt{1 - r_{Et}^2}, \quad 0 \leq |r_{pq}|, |r_{Et}| \leq 1,$$

характеристики которого зависят от соответствующих

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

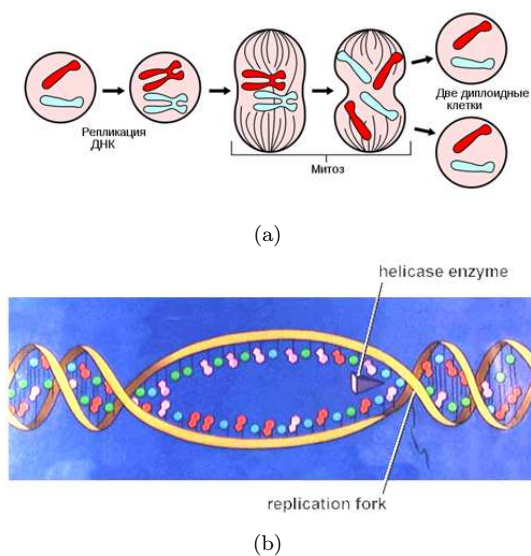


Рис. 10. Примеры формирования нестационарных потенциальных ям в биологических макромолекулах в пространстве между разделяющимися клетками (а) и в области расщивания ДНК в процессе репликации (б), в пределах которых реализуются условия формирования когерентных коррелированных состояний.

коэффициентов корреляции r_{pq} и r_{Et} между, соответственно, координатой и импульсом частицы или между ее энергией и временем существования этой флуктуации.

В частности амплитуда флуктуаций кинетической энергии частиц может достигать и превышать десятки кэВ (при средней тепловой энергии этих же частиц на уровне 0.025 эВ), что достаточно для реализации эффективного ядерного синтеза.

Эти процессы детально рассмотрены в наших статьях, опубликованных в ведущих и специализированных ядерно-физических журналах (например, [11], [12], [13]).

Исходя из такого механизма очевидно, что явление, которое традиционно называется “биологической трансмутацией”, представляет собой “обычный” ядерный синтез, условия реализации которого обеспечиваются за счет гигантских флуктуаций энергии одной из взаимодействующих частиц, а сама возможность таких флуктуаций реализуется за счет естественных нестационарных топологических процессов, автоматически реализуемых в зоне роста биологических объектов. Очень важным является то обстоятельство, что подобные реакции, реализуемые за счет таких виртуальных флуктуаций энергии, не приводят к формированию радиоактивных ядер, что принципиально отличает их от реакций, реализуемых за счет реально ускоренных частиц.

- [1] Biberian J. P. Biological transmutations. *Current science*, 108(4):633, 2015.
- [2] Biberian J. P. Biological transmutations: historical perspective. *Journal Condens. Matter Nucl. Sci.*, 7(11), 2012.
- [3] Kervran C. L. *Biological Transmutations*. Happiness Press, USA, Magalia, California, 1998.
- [4] Высоцкий В.И., Корнилова А.А. *Ядерный синтез и трансмутация изотопов в биологических системах*. Мир, М., 2003.
- [5] Vysotskii V.I., Kornilova A.A. *Nuclear transmutation of stable and radioactive isotopes in biological systems*. Pentagon Press, India, 2010.
- [6] Vysotskii V.I., Kornilova A.A. Transmutation of stable isotopes and deactivation of radioactive waste in growing biological systems. *Annals of Nuclear Energy*, 62:626, 2013.
- [7] Высоцкий В.И., Корнилова А.А. Способ получения стабильных изотопов за счет ядерной трансмутации типа низкотемпературного ядерного синтеза элементов в микробиологических культурах, Патент RU2052223C1, 1995 (<https://patents.google.com/patent/RU2052223C1/ru>).
- [8] Vysotskii V.I., Kornilova A.A. Microbial Transmutation of Cs-137 and LENR in growing biological systems. *Current Science*, 108:142, 2015.
- [9] Kornilova A.A., Vysotskii V.I. Method for purifying water of radionuclides, Intern. patent WO 2015156698 A1, 11 April 2014.
- [10] Vysotskii V.I., Kornilova A.A., Gaidamaka S, Kashcheev V, Zhura E, Tserbaev A. Biotransmutation of Cs133 and Biodeactivation of Cs137 by Aerobic Microorganisms of Methanogenic Sea Ooze. 20th Int. Conf. on Condensed Matter Nuclear Science, (ICCF-20), 2-7 Oct 2016, Japan, Sendai. Book of Abstracts, p. A91.
- [11] Vysotskii V.I., Adamenko S.V., Vysotskyy M.V. Acceleration of low energy nuclear reactions by formation of correlated states of interacting particles in dynamical systems. *Annals of Nuclear Energy*, 62:618, 2013.
- [12] Vysotskii V.I., Vysotskyy M.V. Coherent correlated states and low-energy nuclear reactions in non stationary systems. *European Phys. Journal*, A49:99, 2013.
- [13] Vysotskii V.I., Vysotskyy M.V. Coherent correlated states of interacting particles - the possible key to paradoxes and features of LENR. *Current Science*, 108:30, 2015.