

## ПОВЫШЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА И ПРОДУКТОВ ЕГО РАСПАДА В ЗОНЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ - ИСТОЧНИК ЛОЖНЫХ ЭФФЕКТОВ НАВЕДЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ

*В.Ф. Зеленский, В.О. Гамов, В.П. Гольченко, С.Г. Боев, В.П. Рыжов*

*Национальный научный центр “Харьковский физико-технический институт”,*

*Харьков, Украина*

*E-mail: vgamov@kipt.kharkov.ua*

Показано, что в ряде случаев при работе с электрическим разрядом в различных средах появление радиоактивности и следов гелия может быть следствием повышения в зоне разряда концентрации природного радона  $^{222}\text{Rn}$  и продуктов его распада.

Начиная с 20-х годов прошлого столетия в литературе публикуются сообщения о наблюдении ядерных реакций (чаще, продуктов ядерных реакций) в условиях, при которых протекание реакции является невозможным или очень маловероятным [1, 2].

Так, в 1926 г. немецкие учёные Fritz Paneth и Kurt Peters сделали сенсационное заявление об осуществлении ими ядерной реакции превращения водорода в гелий в условиях газового разряда [3]. Эти опыты вскоре были успешно повторены в другой лаборатории. Однако последовавшая за этим дискуссия с участием Резерфорда не признала реальности этих результатов и, действительно, до настоящего времени экспериментального подтверждения протекания в условиях газового разряда реакции  $\text{H}+\text{H}+\text{H}+\text{H} \rightarrow \text{He}$  никем не получено. Тем не менее, результаты работы [3] в последнее время всё чаще начинают рассматриваться как первые “успешные опыты превращения химических элементов, которые физики приняли за ошибочные, и поэтому они были забыты” [4].

Интерес к этой области исследований резко возрос после опубликования широкоизвестных работ Флейшмана и Понса [5]. За последние 20 лет в этой области выполнено большое число работ [1, 2]. В целом ряде случаев исследования выполнены на современном научном уровне с привлечением методов и средств ядерной физики, и результаты таких исследований заслуживают полного доверия. Однако истолкование полученных результатов часто остается спорным. Так, в 1992 г. в журнале *Physics Letters A* была опубликована обширная статья [6], в которой авторы сообщали о регистрации ядерных продуктов: заряженных частиц (2...4 МэВ),  $\gamma$ -квантов и характеристического рентгеновского излучения при работе с палладием в тлеющем разряде в дейтерии. В последующих работах этих авторов сообщалось о наблюдении ядерных реакций и при использовании в качестве рабочего газа водорода, а также при использовании мишеней из других материалов (Ti и др.). Факт протекания интенсивных ядерных реакций при энергиях ядер на 3-5 порядков ниже кулоновского барьера этих ядер

необъясним с позиции традиционной ядерной физики и вызвал ожесточённые дискуссии в литературе [1, 2], которые не прекратились и в настоящее время.

В настоящей работе мы попытаемся показать, что в ряде случаев при работе с электрическим разрядом в различных средах появление радиоактивности и следов гелия может быть следствием повышения в зоне разряда концентрации природного радона  $^{222}\text{Rn}$  и продуктов его распада. Впервые механизм такого “сгущения” нами рассмотрен в работе [7]. В настоящей работе этот механизм получил дальнейшее развитие и обоснование.

Радон  $^{222}\text{Rn}$  относится к радиоактивному семейству урана и обладает  $\alpha$ -активностью с периодом полураспада 3,823 дня [8]. Дочерние нуклиды радона  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$  приходят в равновесие с радоном очень быстро и поэтому  $\gamma$ -излучение этих нуклидов обычно используют как источник суждений о наличии радона.

Радон, подобно ксенону, при 400 °С соединяется с фтором, образует устойчивый фторид, что, по мнению автора [9], обусловлено преобладанием ионного характера связей Rn-F. Как показано [9], важную роль в процессе синтеза фторида играет материал сосуда. При 500 °С соединения радона восстанавливаются водородом с выделением радона. Радон можно ионизировать и имплантировать в стенки сосудов, используя высоковольтный газовый разряд. Имплантированный радон очень прочно связывается с матрицей; так в случае использовании кварцевых или пайрекссовых сосудов радон может быть удален только путем расплавления материала, из которого сделан сосуд. В противоположность этому дочерние продукты радона  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$  могут быть дистиллированы из кварца при 600 °С, оставляя радон на месте. Предполагается, что такое различие в подвижности обусловлено образованием силикатов радона [9].

Радон является одним из наиболее широко распространённых радиоактивных нуклидов на Земле. Однако из-за исключительно низкого содержания в воздухе (средняя концентрация радона в атмосфере –  $6 \cdot 10^{-18} \%$ ) [8] его влияние на

результаты измерений в опытах по изучению наведенной радиоактивности обычно не рассматривается.

В условиях электрического разряда, в частности разряда в водороде, ситуация может резко измениться. Радон имеет потенциал ионизации более низкий, чем потенциал ионизации водорода (10,75 и 15,42 эВ соответственно) и существенно больше по сравнению с водородом сечение ионизации электронами [10]. Это дает основание ожидать, что в условиях газового разряда в смеси с водородом радоновая составляющая будет находиться в состоянии высокой степени ионизации и, с учетом ранее сказанного,  $^{222}\text{Rn}$  и его продукты распада  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$  будут интенсивно поглощаться стенками сосуда и элементами разрядного участка прибора. Обусловленное этим падение концентрации газообразного радона вызовет процесс восстановления его концентрации в результате развала слабосвязанных поверхностных соединений радона в других частях сосуда: физически адсорбированный радон, его клатратные соединения и т.п. Такое перетекание радона в зону разряда может привести к значительному локальному повышению  $\gamma$ -эмиссии и увеличению выхода гелия в этой зоне, что и может ошибочно восприниматься, как свидетельство протекания инициированных газовым разрядом ядерных реакций.

Рассмотренный нами механизм повышения радиоактивности зоны разряда необходимо учитывать при постановке опытов с газовым разрядом и истолковании полученных результатов. Действительно, подобные опыты часто проводятся в больших, откачиваемых масляными насосами непрогрываемых камерах с резиновыми уплотнениями. В качестве конструкционных материалов часто используются в больших количествах стекло, кварц, керамика и другие материалы. В то же время известно, что вакуумные масла и другие упомянутые выше материалы могут содержать в заметных количествах примеси урана и тория [11]. В таких условиях рассматриваемый нами радоновый эффект может вносить определяющий вклад в наблюдаемую активность и полностью маскировать истинные процессы.

Рассмотрим для примера уже упоминавшуюся выше интересную статью московских авторов [6]. О том, что предложенный нами эффект имел место в этом эксперименте, так же как и в ряде других экспериментов этих авторов, можно заключить из следующего:

1) Приводимый в статье как “наведенная радиоактивность” спектр  $\gamma$ -излучения содержит все присущие этому диапазону энергии линии  $\gamma$ -излучения продуктов распада изотопа радона  $^{222}\text{Rn}$ :

$$^{214}\text{Pb} - \gamma (E_\gamma = 295 \text{ и } 241,6 \text{ кэВ});$$

$$^{214}\text{Bi} - \kappa_{\alpha-1} (E_\gamma = 77,1 \text{ кэВ});$$

$$^{214}\text{Bi} - \kappa_{\beta-1} (E_\gamma = 89,8 \text{ кэВ}).$$

2) Указанный в статье период “затухания” наведенной активности 3...5 дней – качественно совпадает с периодом полураспада  $^{222}\text{Rn}$  – 3,823 дня.

3) Средняя энергия  $\alpha$ -частиц, измеренная с помощью детектора CR-39, – 4...5 МэВ и энергетический спектр, полученный с помощью кремниевого поверхностного барьерного детектора, находятся в качественном согласии со спектром  $\alpha$ -частиц, присущих продуктам распада  $^{222}\text{Rn}$ :

$$^{222}\text{Rn} - \alpha - 5,486(100);$$

$$^{218}\text{Po} - \alpha - 5,998(100);$$

$$^{214}\text{Po} - \alpha - 7,680(100);$$

$$^{210}\text{Po} - \alpha - 5,298(100).$$

С целью подтверждения существования рассмотренного механизма появления сигналов радиоактивности нами были проведены исследования с газовым разрядом. В качестве катода использовался палладий, рабочий газ – водород или дейтерий.

Теплофизический стенд для проведения исследований в газовом разряде представлял собой комплексную цельнометаллическую высоковакуумную прогреваемую установку, обеспеченную оборудованием и приспособлениями для воспроизведения и изучения процессов в условиях газового разряда (рис. 1).

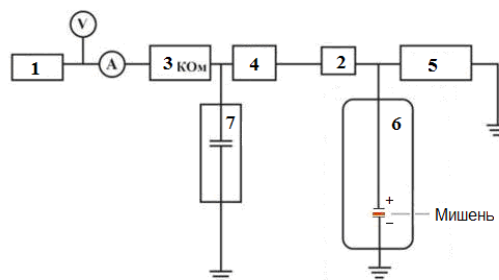


Рис. 1. Схема теплофизического стенда:  
1 – высоковольтный источник питания;  
2 – электронный ключ; 3 –  $R = 3 \text{ кОм}$ ;  
4 –  $R = 300 \text{ кОм}$ ; 5 –  $R = 15 \text{ кОм}$ ;  
6 – экспериментальная камера;  
7 – батарея конденсаторов  $C = 220 \text{ мкФ}$

Разрядный узел установки размещается в кварцевой трубе с внутренним диаметром 20 мм и длиной до 400 мм, которая, в свою очередь, помещается в металлическую высоковакуумную камеру объемом около 3,5 л. Камера имеет водяную рубашку, одновременно служащую проточным колориметром, позволяющим регистрировать тепловой баланс в разряде с точностью  $\pm 3\%$  от вводимой электрической мощности. Предусмотрена возможность работы установки в режиме охлаждаемого и неохлаждаемого катода. В первом случае катод представляет собой охлаждаемый водой медный стержень с головкой для укрепления съёмных мишеней диаметром 10 мм и толщиной 0,1...0,5 мм из изучаемого материала. Неохлаждаемый катод обычно представляет собой стержень, лопатку, спираль, кольцо и т.п., из изучаемого материала, общей площадью поверхности 0,3...2 см<sup>2</sup>. В качестве анода в обоих случаях использовался молибденовый диск диаметром 10 мм.

Для придания току импульсного характера использовался импульсно-периодический источник тока [12], позволяющий получать следующие параметры тока:

амплитуда импульса, В.....300...1500  
 длительность импульса, мкс.....10...100  
 частота, кГц.....0,5...100  
 крутизна переднего фронта, мкс.....5...7  
 ток в импульсе, А.....2...5

Была проведена серия опытов по обработке палладиевой мишени в импульсном газовом разряде в водороде и дейтерии при указанных выше электрических параметрах и давлении газа 1100 Па. Продолжительность опыта примерно 4 ч. После выключения разряда с небольшим разрывом во времени (примерно 7 мин) палладиевая мишень укреплялась на германиевом  $\gamma$ -детекторе Inspector-2000 фирмы Canberra и вместе с детектором помещалась в защитный свинцовый бокс. После этого начиналась регистрация эмитируемого мишенью  $\gamma$ -излучения. Регистрация спектров высвечивания продолжалась в течение трех часов. Спектры записывались в виде отдельных файлов, продолжительностью в 10 мин. Это позволяло обрабатывать спектры для выявления  $\gamma$ -линий нуклидов с распадающейся активностью. Природа нуклидов устанавливалась с использованием таблиц

нуклидов [14]. На рис. 2-3 приведены полученные в этих опытах типичные спектры  $\gamma$ -излучения (на рис. 2 – исходный одночасовой спектр фона в боксе, на рис. 3 – также одночасовой спектр, но после установки на детекторе палладиевой мишени, подвергнутой до этого обработке в течение часа в газовом разряде в водороде при режиме, указанном выше). Бросается в глаза существенное различие этих спектров.

Обработка полученных спектрограмм позволила выявить большое количество распадающихся пиков, среди которых самыми яркими оказались пики: 295,0; 351,6; 609,3; 1120,4 и 1765. Установлено, что и по энергии, и по периоду полураспада эти линии принадлежат нуклидам  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$  - продуктам распада  $^{222}\text{Rn}$ .

Показано, что при обработке в водороде из трех природных изотопов радона:  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$ ,  $^{219}\text{Rn}$  в образовании активности принимает участие только долгоживущий изотоп  $^{222}\text{Rn}$  и продукты его распада  $^{214}\text{Pb}$  ( $\beta^-$ ; 26,800 м) и  $^{214}\text{Bi}$  ( $\beta^-$ ; 19,900 м). Из сравнения участков спектра, показанных на вставках рис. 2 и 3, видно, что принадлежащая  $^{214}\text{Pb}$  линия 241,6 кэВ в результате обработки в разряде палладиевой мишени увеличилась в 4-5 раз, в то время как активность  $^{212}\text{Pb}$  ( $\beta^-$ ; 10,640 ч), линия 238,5 кэВ, осталась при этом, практически, неизменной.

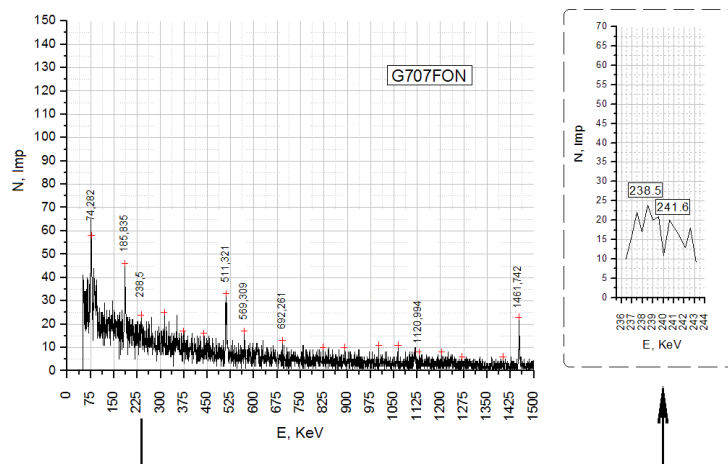


Рис. 2. Спектрограмма фона

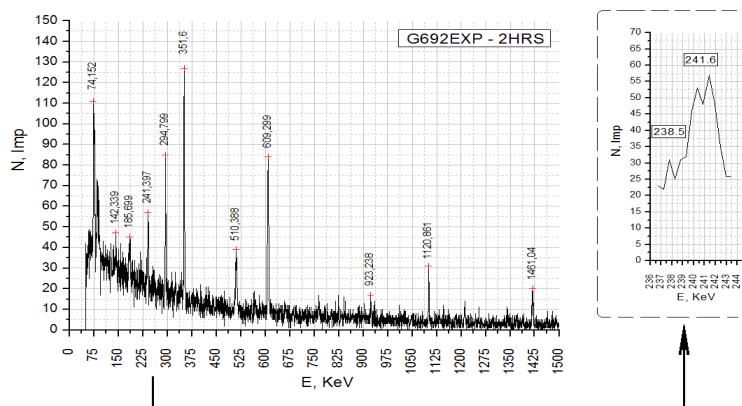


Рис. 3. Спектрограмма опыта Pd-H<sub>2</sub>

Это подтверждает предложенный радоновый механизм образования  $\gamma$ -активности в наших опытах. Действительно, повышение концентрации радона определяется временем существования

соответствующего элемента и поэтому, как и наблюдалось в опытах, должно быть существенно более выраженным для  $^{222}\text{Rn}$ , имеющего период полураспада 3,823 дня, чем это может наблюдаться

для короткоживущих изотопов  $^{220}\text{Rn}$  ( $T/2=55,6$  с) и  $^{219}\text{Rn}$  ( $T/2=3,95$  с).

Качественно рассмотренная выше картина повышения  $\gamma$ -активности повторяется и при работе с дейтерием. Следовательно, эффекты ложной наведённой радиоактивности должны иметь место и в случае работы с дейтерием.

Рассмотренные выше опыты по газовому разряду проводились без предварительного обезгаживания системы. Система откачивалась масляными и форвакуумными насосами до давления  $\sim 0,2$  мм рт. ст., после чего заполнялась рабочим газом.

Во второй серии опытов система в течение 3 ч подвергалась горячему обезгаживанию при температуре  $\sim 200\text{--}300^\circ\text{C}$  в высоком вакууме ( $10^{-6}\text{--}10^{-7}$  мм рт. ст.) при откачке турбомолекулярными насосами с азотными ловушками. Как и следовало ожидать, после такой подготовки опыта эффект ложной активации резко подавлялся. Эти результаты можно рассматривать как прямое доказательство существования предложенного механизма повышения  $\gamma$ -активности в опытах с газовым разрядом.

В связи с этим необходимо обратить внимание на своеобразную закономерность в ранних опытах по холодному синтезу, на которую было указано в одной из наших работ [13]: чем более серьезные меры принимались при подготовке и проведении опытов по холодному синтезу, тем труднее и реже появлялись эффекты наведённых  $\gamma$ - и  $\alpha$ -радиоактивностей, свидетельствующие в пользу существования явления холодного синтеза. Указанная “закономерность” легко объясняется рассмотренным радоновым эффектом, так как тщательная подготовка опытов по холодному синтезу, как правило, связана с устранением условий для появления эффекта.

Таким образом, можно считать установленным, что локальное повышение в зоне разряда концентрации радона и продуктов его распада («радоновый эффект») может служить одной из причин появления сигналов радиоактивности в опытах с газовым разрядом.

В заключение необходимо отметить, что как при работе в водороде, так особенно и при работе с дейтерием вместе с  $\gamma$ -активностью, обусловленной радоновым эффектом, в  $\gamma$ -спектрах обнаруживаются линии, яркость которых существенно ниже яркости

линий продуктов распада радона и которые в связи с этим пока нами не идентифицированы. Существование этих линий, если оно будет достоверно подтверждено, может свидетельствовать о протекании в условиях разряда ядерных реакций. Мы продолжаем исследования в этом направлении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В.А. Царев. Новые данные по низкотемпературному ядерному синтезу // *УФН*. 1991, т. 161, №4, с. 152-177.
2. Е.К. Storms. *The science of low energy nuclear reaction*. Singapore, World Scientific, 2007, p. 312.
3. F. Paneth, K. Peters // *Nature*. 1926, v. 118, p. 526.
4. В.И. Высоцкий, А.А. Корнилова. *Ядерный синтез и трансмутация изотопов в биологических системах*. М.: «Мир», 2003, 304 с.
5. M. Fleischmann, S. Pons // *J. Electroanal. Chem.* 1989, v. 261, p. 301.
6. А.В. Karabut. Nuclear product ratio for glow discharge in deuterium // *Phys. Lett.* 1992, v. A170, p. 265-272.
7. В.Ф. Зеленский, Р.Ф. Поляшенко, Г.П. Опалева, В.П. Рыжов, С.Г. Боев, В.О. Гамов, В.П. Гольченко. Радоновый эффект в работах с газовым разрядом // *Труды 18 Международной конференции по физике радиационных явлений и радиационному материаловедению, 8-13 сентября 2008, Алушта, Крым*. Харьков: «Талант-Трейдинг», 2008, с.72-73.
8. М. Гайсинский, Ж. Адлов. *Радиохимический словарь элементов*. М.: «Атомиздат», 1968.
9. В.В. Аврорин и др. Современное состояние химии радона // *Успехи химии*. 1982, т. 51, в. 1, с. 23-29.
10. И. Мак-Даниель. *Процессы столкновений в ионизированных газах*. М.: «Мир», 1967.
11. F. Knoll Glenn. *Radiation detection and measurement*. N.Y.: John Wiley & Sons, 1989, 754 p.
12. В.П. Гольченко, С.Г. Боев, В.О. Гамов // *Наст. журнал*, с.165-168.
13. В.Ф. Зеленский // *ВАНТ. Сер. ФРП и РМ*. 1991, в. 2(56), с. 34-45.
14. F.Z. Vakhetrov, E.G. Romanov, V.A. Tarasov. Software: “Nuclide Explorer” Freeware. Copyright lab 10110 ORIP RIAR Dimitri ovgrad city, Russia, 2001-2003.

Статья поступила в редакцию 16.01.2010 г.

#### ПІДВИЩЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ РАДОНА ТА ПРОДУКТІВ ЙОГО РОЗПАДУ В ЗОНІ ЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗРЯДУ В РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ – ДЖЕРЕЛО ПОМИЛКОВИХ ЕФЕКТІВ НАВЕДЕНОЇ РАДІОАКТИВНОСТІ

*В.Ф. Зеленський, В.О. Гамов, В.П. Гольченко, С.Г. Боев, В.П. Рижов*

Показано, що в ряді випадків при роботі з електричним розрядом у різних середовищах поява радіоактивності і слідів гелію може бути наслідком підвищення в зоні розряду концентрації природного радону  $^{222}\text{Rn}$  і продуктів його розпаду.

#### INCREASE OF RADON CONCENTRATION AND ITS DECAY PRODUCTS IN THE ZONE OF ELECTRIC DISCHARGE IN DIFFERENT MEDIA - THE SOURCE OF FALSE EFFECTS OF INDUCED RADIOACTIVITY

*V.F. Zelensky, V.O. Gamov, V.P. Golchenko, S.G. Boev, V.P. Rizhov*

It is shown that in some cases when working with electrical discharges in different environments the appearance of radioactivity and helium traces may be a result of increase concentration of  $^{222}\text{Rn}$  natural radon and its decay products in the discharge area.