

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}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), γ -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}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}Rn относится к радиоактивному семейству урана и обладает α -активностью с периодом полураспада 3,823 дня [8]. Дочерние нуклиды радона ^{214}Pb и ^{214}Bi приходят в равновесие с радоном очень быстро и поэтому γ -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}Pb и ^{214}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}Rn и его продукты распада ^{214}Pb и ^{214}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 γ -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 γ -излучения содержит все присущие этому диапазону энергии линии γ -излучения продуктов распада изотопа радона ^{222}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}Rn – 3,823 дня.

3) Средняя энергия α -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 α -частиц, присущих продуктам распада ^{222}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).

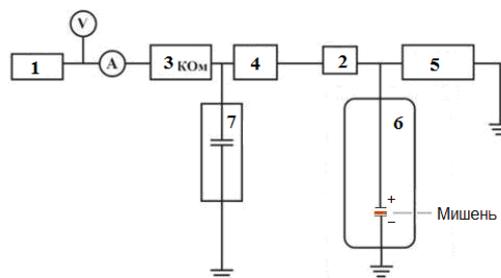


Рис. 1. Схема теплофизического стенда:
1 – высоковольтный источник питания;
2 – электронный ключ; 3 – $R = 3 \text{ кОм}$;
4 – $R = 300 \text{ кОм}$; 5 – $R = 15 \text{ кОм}$;
6 – экспериментальная камера;
7 – батарея конденсаторов $C = 220 \text{ мкФ}$

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 см². 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 γ -детекторе Inspector-2000 фирмы Canberra и вместе с детектором помещалась в защитный свинцовый бокс. После этого начиналась регистрация эмитируемого мишенью γ -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 γ -линий нуклидов с распадающейся активностью. Природа нуклидов устанавливалась с использованием таблиц

нуклидов [14]. На рис. 2-3 приведены полученные в этих опытах типичные спектры γ -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}Pb и ^{214}Bi - продуктам распада ^{222}Rn .

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

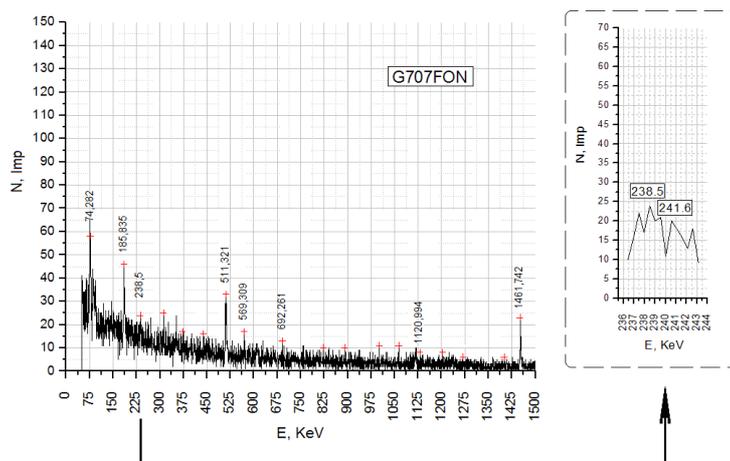


Рис. 2. Спектрограмма фона

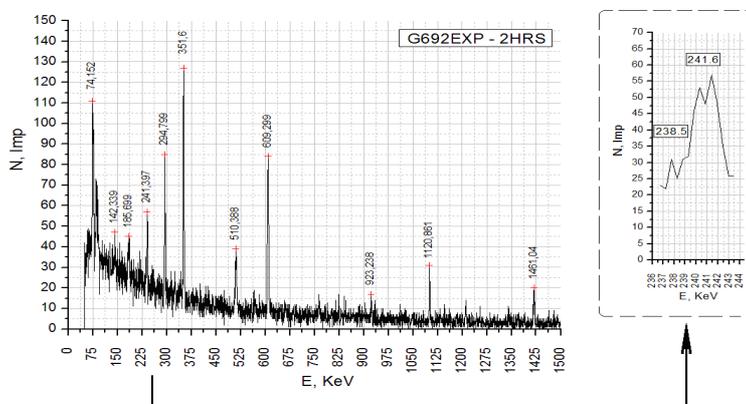


Рис. 3. Спектрограмма опыта Pd-H₂

Это подтверждает предложенный радоновый механизм образования γ -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}Rn , имеющего период полураспада 3,823 дня, чем это может наблюдаться

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

Качественно рассмотренная выше картина повышения γ -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 γ -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 γ - и α -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 γ -активностью, обусловленной радоновым эффектом, в γ -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}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}Rn natural radon and its decay products in the discharge area.