

ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В ВОДЕ ПРИ КОНТАКТЕ С МАТЕРИАЛАМИ, СОДЕРЖАЩИМИ РАДИОАКТИВНЫЕ ПРИМЕСИ

Р.Н. БАЛАСАНЯН, И.Г. ГРИГОРЬЯН*, П.Г. МУЖИКЯН, Р.Б. КОСТАНЯН

Институт физических исследований НАН Армении, Аштарак, Армения

*e-mail: irina.g.grigoryan@gmail.com

(Поступила в редакцию 11 ноября 2024 г.)

Экспериментально исследованы изменения интенсивности тормозного излучения электронов при погружении в воду образцов из металлического вольфрама и оптического стекла, содержащих радиоактивные примеси. Измерения интенсивности тормозного излучения проведены на спектрометре гамма-излучения. Для сравнения представлены также результаты экспериментальных измерений, выполненных на беспримесном образце вольфрама. Показано, что при контакте с водой материалов с радиоактивной примесью, подверженной β^- -распаду, возникает рентгеновское излучение с энергией 5.67 кэВ. Однако при аналогичном контакте с водой материалов с радиоактивной примесью, подверженной α -распаду, не наблюдается возникновение тормозного излучения.

1. Введение

В научной литературе имеется много сообщений [1–16], посвященных физическим явлениям, описываемым как низкоэнергетические трансмутации атомных ядер. Среди многообразия этих явлений особое место занимают ядерные преобразования при физическом воздействии на изотопы водорода. Однако некоторые приводимые физические механизмы представляются нам не обоснованными. Возникновение атомных преобразований в воде при определённых условиях электрического воздействия на электролизер представлены в работах [17, 18], где показано значительное изменение концентрации кремния на поверхности катода из алюминия, что является подтверждением возникновения преобразования атомов алюминия в кремний по схеме $\text{Al}(n, \gamma)\text{Si}$. В работах [19–21] показана реализация представленных явлений также под действием крутых механических воздействий на воду при помощи генераторов акустических колебаний. В работе [22] описано явление возникновения рентгеновского излучения при импульсном электрическом воздействии на электролизёр с электролитом из воды. Показано, что это излучение является тормозным излучением электронов в водных растворах. Основываясь на результатах приведенных работ, возникает интерес к исследованию явления возникновения тормозного излучения при импульсном электрическом воздействии на электролизер с использованием электродов из металлических изделий с радиоактивной примесью в качестве источника электронов.

В работе приведены результаты экспериментальных исследований процесса возникновения тормозного излучения при использовании в качестве электродов металлического вольфрама с радиоактивной примесью стронция, подверженной β^- -распаду, и оптических фильтров с примесью урана, подверженных альфа-распаду. Для сравнения приводятся также результаты экспериментальных измерений, выполненных на беспримесном образце вольфрама.

2. Условия эксперимента

Исследовались γ -спектры вольфрама и оптического стекла с радиоактивными примесями как на воздухе, так и в обычной воде. Для этого пластиковый стакан с исследуемым образцом устанавливался в камере γ -спектрометра без воды и после регистрации γ -спектра, повторялись измерения при наличии образцов в стакане с водой. Присутствие радиоактивных примесей в металлическом вольфраме и в оптических фильтрах ЖС-19 и ЗС-7 установлено регистрацией γ -излучения, при помощи γ -спектрометра марки GammPRO. Для регистрации импульсов γ -излучения время накопления выбрано 5 минут.

Измерения по определению примеси в металлическом образце вольфрама, проведенные на электронном микроскопе, показали, что в пределах чувствительности устройства (SEM) VEGA TS 5130MM, радиоактивной примесью является стронций с концентрацией ~ 1.6 вес%. Изотоп стронция ^{90}Sr является радиоактивным с периодом полураспада 28.79 лет и претерпевает β^- -распад, переходя в радиоактивный иттрий ^{90}Y , который также подвержен β^- -распаду с преобразованием в стабильный изотоп циркония ^{90}Zr . Радиоактивной примесью в оптических фильтрах ЖС-19 и ЗС-7 является уран, который подвержен α -распаду. Для определения роли влияния β^- -распада на явление тормозного излучения, проводились также аналогичные измерения с использованием электродов из беспримесных (чистых) образцов металлического вольфрама.

3. Результаты исследований и их обсуждение

Известно, что период полураспада радиоизотопа является постоянной величиной и не зависит от агрегатного состояния вещества, температуры, давления, способа его получения и химического состава соединения. Период полураспада не меняется также при воздействии внешних факторов, за исключением акта прямого взаимодействия, например, соударения с высокоэнергетической частицей в ускорителе [23, 24]. Следовательно, низкоэнергетическое воздействие на радиоактивные материалы не может влиять на процесс распада ядер. Распад радионуклидов сопровождается испусканием γ -квантов, что является следствием снятия возбуждения ядра, переходом из одного возбужденного состояния в другое с меньшей энергией или в основное состояние. На рис.1 представлена γ -спектрограмма исследуемого образца в виде стержня из вольфрама с радиоактивной примесью стронция (W:Sr). Получение спектрограммы выполнено при условии погружения в воду исследуемого образца. Результаты исследования γ -спектрограмм радиоактивного образца на воздухе и в воде выявили незначительные изменения в интенсивностях спектральных линий. Однако исследование спектров

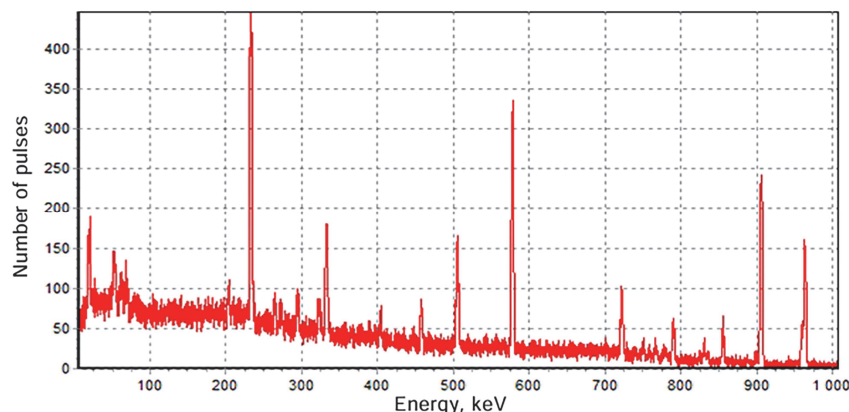


Рис.1. Спектрограмма γ -излучения металлического вольфрама с радиоактивной примесью.

чистого и примесного вольфрамовых образцов в спектральной области 5–6 кэВ выявило значительные различия в интенсивностях рентгеновского излучения.

На рис.2 представлена спектрограмма вольфрама с радиоизотопной примесью в области рентгеновского спектра. Из спектрограммы следует, что на спектре с энергией 5.67 кэВ наблюдается пик с количеством импульсов 40 при времени накопления 5 минут.

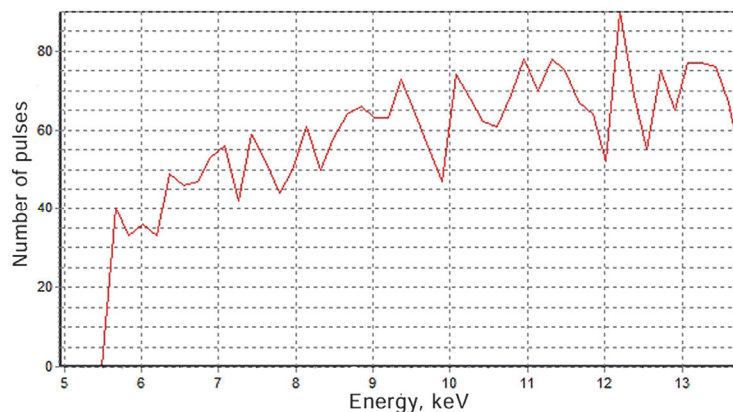


Рис.2. Спектрограмма вольфрама с радиоактивной примесью в области рентгеновского спектра.

Аналогичное измерение спектра проводилось также на образце вольфрама без примесей. На рис.3 представлена спектрограмма чистого вольфрама в области рентгеновского спектра. За время накопления импульсов 5 минут был зарегистрирован один импульс.

Из рис.2 и рис.3 следует, что активность рентгеновского излучения с энергией 5.67 кэВ в образце вольфрама с радиоактивной примесью существенно превосходит активности излучения чистого вольфрама. Эта разница обусловлена β^- -распадом радиоактивной примеси вольфрама.

Полученные результаты находятся в полном согласии с механизмом возникновения тормозного излучения, представленного в работе [22]. Канал образования тормозного излучения и квазинейтронов представляется в следующем виде:

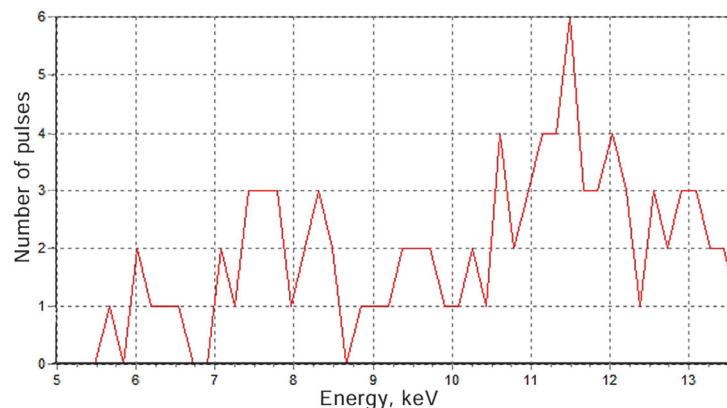


Рис.3. Спектрограмма чистого вольфрама в рентгеновской области спектра.



где e^{-} — электрон, H^{+} — ион водорода, n^{*} — квазинейтрон, ν — нейтрино, X — фотон рентгеновского излучения с энергией 5.67 кэВ.

Из механизма образования рентгеновского излучения (1) следует необходимость в наличии электронов и протонов, т. е., в данном случае диссоциированных ионов H^{+} в воде. Если в приведенных работах [17–22] источниками электронов были катоды электролизеров, подключенные к внешнему источнику электрического поля, то в данном случае источником электронов стала β^{-} -распадающаяся примесь вольфрама.

Для подтверждения механизма возникновения тормозного излучения в воде к образцам из вольфрама прикладывались короткие электрические импульсы с амплитудой 5 В. При приложении электрического поля гамма-спектрометр регистрировал повышение интенсивности тормозного излучения у обоих образцов. В табл.1 представлены сравнительные изменения интенсивности тормозного излучения в зависимости от условий измерения спектра образцов.

Табл.1. Зависимость интенсивности тормозного излучения электронов в воде при приложении к исследуемым образцам электрического поля и без него

Образец	Интенсивность излучения с энергией 5.67 кэВ, имп/сек.	
	Без приложения поля	Приложение импульсов с амплитудой 5 В
W:Sr	0.133	0.152
W чистый	0.003	0.017

Из Табл.1 следует, что без приложения электрического поля к вольфрамовым образцам интенсивность тормозного излучения примесного вольфрама существенно превышает интенсивности чистого образца вольфрама. При приложении внешнего электрического поля к образцам наблюдается повышение интенсивности тормозного излучения для обоих образцов. Из результатов измерений следует, что каждый источник электронов независимо друг от друга создает тормозное излучение в воде.

Для подтверждения радиоактивного излучения оптических фильтров марки

ЖС-19 и ЗС-7, где имеются примеси урана, проводилась γ -спектроскопия исследуемых образцов. На рис.4 показан γ -спектр фильтра ЖС-19 в виде пластины с поверхностью $40 \times 40 \text{ мм}^2$.

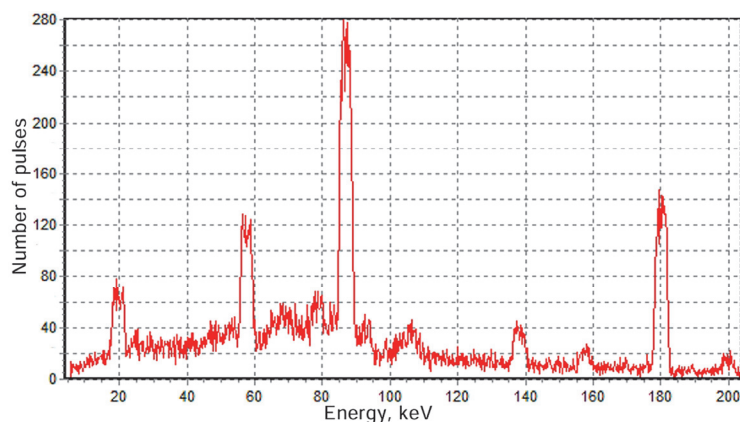


Рис.4. Спектрограмма γ -излучения оптического фильтра с примесью урана.

Из спектрограммы следует, что максимальная интенсивность γ -излучения регистрируется при энергии $\sim 87 \text{ кэВ}$. Измерение спектрограмм, исследуемых образцов проводилось на воздухе и при контакте с водой. В табл.2 представлены результаты изменений интенсивности γ -излучения при контакте исследуемых образцов с водой.

Из Табл.2 следует, что интенсивность γ -излучения исследуемых образцов несколько уменьшается при контакте с водой. Возможно, это связано с некоторым поглощением исследуемых спектров γ -излучения обычной водой. Уменьшение интенсивности γ -излучения при контакте с водой наблюдается как на образцах с примесью урана, который подвержен α -распаду, так и на образце, где наблюдается β^- -распад. Однако результаты исследования влияния контакта образцов с водой в области рентгеновского излучения с энергией 5.67 кэВ несколько отличается от результатов, представленных в Табл.2.

В Табл.3 приведены результаты изменений интенсивностей рентгеновского излучения при контакте исследуемых образцов с водой.

Табл.2. Изменение интенсивностей γ -излучения при контакте исследуемых образцов с водой

	Интенсивность излучения с энергией 87 кэВ имп/сек		Интенсивность излучения с энергией 233 кэВ, имп/сек
Условие измерения	Оптический фильтр ЖС-19	Оптический фильтр ЗС-7	Вольфрам с радиоактивной примесью (W:Sr)
Без контакта с водой	0.064	0.983	1.934
При контакте с водой	0.062	0.948	1.782

Табл.3. Изменение интенсивностей рентгеновского излучения при контакте исследуемых образцов с водой

Образец	Интенсивность излучения с энергией 5.67 кэВ, имп/сек	
	Без контакта с водой	При контакте с водой
Оптический фильтр ЖС-19	0.017	0.016
Оптический фильтр ЗС-7	0.034	0.024
Вольфрам с радиоизотопной примесью (W:Sr)	0.196	0.222

Из результатов измерений, представленных в Табл.3, следует, что для исследуемых образцов светофильтров ЖС-19 и ЗС-7, где радиоактивная примесь подвержена α -распаду, качественно повторяется закономерность, показанная в Табл.2. Однако для образца вольфрама с радиоактивной примесью, которая подвержена β^- -распаду, наблюдается противоположное изменение при контакте образца с водой. Интенсивность излучения с энергией 5.67 кэВ при контакте с водой повышается, т. е. возникают дополнительные условия для повышения интенсивности тормозного излучения в воде в соответствии с закономерностью (1), где требуется наличие источников электронов и диссоциированных ионов водорода.

4. Заключение

Таким образом, показано, что активность рентгеновского излучения с энергией 5.67 кэВ в образце вольфрама с радиоактивной примесью существенно превосходит активность излучения чистого вольфрама. Эта разница обусловлена β^- -распадом радиоактивной примеси вольфрама. При контакте с водой материалов с радиоактивной примесью, подверженных β^- -распаду, повышается рентгеновское излучение с энергией 5.67 кэВ. Однако при аналогичном контакте с водой материалов с радиоактивной примесью, подверженной α -распаду, не наблюдается повышение тормозного излучения. Следовательно, для генерации тормозного излучения электронов в воде необходим поток электронов, направленных к диссоциированным ионам водорода, независимо от источника электронов.

ЛИТЕРАТУРА

1. V.A. Klyuev, A.G. Lipson, Y.P. Toporov, B.V. Deryagin, V.I. Luschikov, A.V. Strelkov, E.P. Shabalin. Letters to ZhTF, **12**, 1333 (1986).
2. A.G. Lipson, D.M. Sakhov, V.A. Klyuev. Letters to ZhTF, **49**, 588 (1989).
3. A.G. Lipson, B.V. Deryagin, V.A. Klyuev, Y.P. Toporov, O.B. Khavroshkin. Technical Physics, **62**, 121 (1992).
4. R. Knapp, J. Dale, F. Hemmitt. Cavitation. Moscow, Mir, 1974.
5. B.V. Deryagin, N.A. Krotova, V.P. Smilga. Adhesion of Solids. Moscow, Nauka, 1973.
6. R.P. Taleyarkhan, C.D. West, R.T. Lahey Jr, R.I. Nigmatulin, R.C. Block, Y.Xu. Phys. Rev. Lett., **96**, 101 (2006).

7. **T.J. Matula, R.A. Roy, P.D. Mourad, W.B. McNamara III, K.S. Suslick.** Phys. Rev. Lett., **75**, 2602 (1995).
8. **W.C. Moss, D.B. Clarke, J.W. White, D.A. Young.** Physics Letters A, **211**, 69 (1996).
9. **C. Eberlein.** Phys. Rev. Lett, **76**, 3842 (1996).
10. **W.B. McNamara III, Y.T. Didenko, K.S. Suslick.** Nature, **401**, 772 (1999).
11. **K. Yasui.** Phys. Rev. Lett, **83**, 4297 (1999).
12. **I.K. Gimaltdinov, R. Nigmatulin, V.S. Shagapov.** Fluid Dynamics, **36**, 458 (2001).
13. **R. Nigmatulin, V.S. Shagapov, I.K. Gimaltdinov, M.N. Galimzyanov.** Doklady Physics, **46**, 445 (2001).
14. **R.I. Nigmatulin, I.S. Akhatov, A.S. Topolnikov, R.K. Bolotnova, N.K. Vakhitova, R.T. Lahey, R.P. Taleyarkhan.** Physics of Fluids, **17**, 107106 (2005).
15. **R.T. Lahey Jr, R.P. Taleyarkhan, R.I. Nigmatulin.** Nuclear Engineering and Design, **237**, 1571 (2007).
16. **R.I. Nigmatulin, R. Lahey, R.P. Taleyarkhan, C. West, R.C. Block.** Physics-Uspekhi, **57**, 877 (2014).
17. **G.R. Badalyan, R.N. Balasanyan, I.A. Grammarian.** Armenian J. Phys., **8**, 85 (2015).
18. **R.N. Balasanyan, R.B. Kostanyan.** Phys. J., **2**, 45 (2016).
19. **V.S. Arakelyan, R.N. Balasanyan, S.G. Minasyan, R.B. Kostanyan.** Armenian J. Phys., **12**, 17 (2019).
20. **R.N. Balasanyan, S.G. Minasyan, V.S. Arakelyan, R.B. Kostanyan.** Applied Physics, **2**, 15 (2019).
21. **V.S. Arakelyan, R.N. Balasanyan, I.G. Grigoryan, R.B. Kostanyan, S.G. Minasyan.** J. Contemporary Physics **57**, 218 (2022).
22. **V.S. Arakelyan, R.N. Balasanyan, I.G. Grigoryan, P.H. Muzhikyan, R.B. Kostanyan.** J. Contemporary Physics, **58**, 129 (2023).
23. **И.С. Шапиро.** УФН, **40**, 190 (1950).
24. **Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин.** Частицы и атомные ядра. Москва, издательство ЛКИ, 2007.

BREMSSTRAHLUNG OF ELECTRONS IN WATER IN CONTACT WITH MATERIALS CONTAINING RADIOACTIVE IMPURITIES

R.N. BALASANYAN, I.G. GRIGORYAN, P.H. MUZHIKYAN, R.B. KOSTANYAN

This study experimentally examines variations in the intensity of bremsstrahlung radiation produced by electrons when metallic tungsten and optical glass samples containing radioactive impurities are immersed in water. The bremsstrahlung intensities were measured using a gamma-ray spectrometer. For reference, experimental data were also obtained for a pure tungsten sample devoid of radioactive impurities. It is demonstrated that the interaction of materials containing radioactive impurities undergoing β^- -decay with water generates X-ray radiation with an energy of 5.67 keV. However, similar interactions involving materials with radioactive impurities undergoing α -decay do not result in the generation of bremsstrahlung radiation.