

02

Высокоэнергетическое излучение при электрическом взрыве проводника в продольном магнитном поле

© Ю.Э. Адамьян, П.В. Резниченко, Г.А. Шнеерсон

С.-Петербургский государственный технический университет

E-mail: integr@delfa.net

Поступило в Редакцию 24 ноября 2005 г.

В экспериментах по исследованию вакуумного электрического взрыва проводника в сильном продольном магнитном поле было обнаружено излучение, проникавшее через слои металла значительной толщины. Высокая интенсивность излучения позволяла надежно регистрировать его за пределами вакуумной камеры на расстоянии более 3 м от области взрыва с помощью фотопленки с усиливающим экраном на основе ZnS [1]. В этой же серии экспериментов была обнаружена остаточная активность элементов установки, находившихся в момент разряда вблизи от области взрыва проводника. В частности, была зарегистрирована засветка фотопленки в бумажной кассете с усиливающим экраном при помещении ее в щель соленоида после разряда. В аналогичных экспериментах при отсутствии внешнего магнитного поля наведенная активность в пределах чувствительности использованной методики не обнаружена. Эти результаты стимулировали изучение наведенной радиоактивности. В качестве активационного детектора был использован образец из золота, располагавшийся в момент взрыва проводника на расстоянии около 0.2 м от оси взрываемого проводника.

В данной статье описаны первые результаты этих исследований.

PACS: 52.80.Qj

Эксперимент. Установка для взрыва проводника в продольном магнитном поле в вакууме описана в работе [2]. Магнитное поле создавалось разрядом конденсаторной батареи на одновитковый соленоид. В проведенной серии экспериментов исследовался взрыв медной проволоки диаметром 0.2 мм в вакуумной камере. Длина взрываемого проводника — 10 мм, внутренний диаметр вакуумной камеры — 12 мм. Вакуумная камера размещалась внутри толстостенного одновиткового соленоида с внутренним диаметром 26 мм и длиной 30 мм. Для

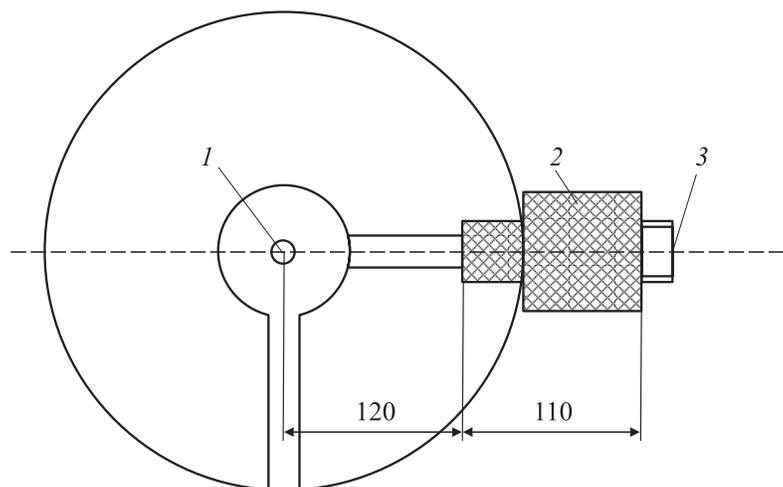


Рис. 1. Схема расположения образца при активационных измерениях в продольном поле 50 Т: 1 — область взрыва проводника, 2 — пластиковый блок, 3 — образец из золота 583 пробы.

взрыва проводника использовался разрядный контур со следующими параметрами: емкость $4 \mu\text{F}$, индуктивность 200 nF , разрядное напряжение 10 kV . Амплитуда тока в проводнике 30 kA , скорость нарастания тока $3 \cdot 10^{10} \text{ A/s}$, период разряда $6 \mu\text{s}$. Внешнее поле изменялось по синусоидальному закону с периодом $24 \mu\text{s}$. Амплитудное значение индукции 50 T . Включение разрядного контура производилось в момент достижения магнитным полем 85% амплитудного значения. Для активационных измерений использовался образец из золота 583 пробы в форме кольца диаметром 20 mm , толщиной 1 mm и высотой 4 mm . В теле стального толстостенного соленоида имелось диагностическое окно, через которое излучение, генерируемое при взрыве проволоки, могло проникать наружу. Образец помещался на расстоянии 230 mm от области взрыва проводника на оси окна за слоем пластика (капрлон) толщиной 110 mm (рис. 1). Для регистрации наведенной активности использовалась фотопленка Kodak Tmax P3200, частично покрытая усиливающим экраном ZnS. Фотопленка помещалась в плоский конверт

из светонепроницаемой бумаги в контакте с усиливающим экраном. Образец помещался на поверхность конверта таким образом, чтобы его центр находился над границей усиливающего экрана. Для определения поверхностной плотности энергии оптического излучения люминесцентного экрана использованы характеристические кривые фотопленки. В соответствии с литературными данными конверсионная эффективность люминофора принималась равной 10% [3]. При исследовании наведенной активности образца было использовано четыре отрезка пленки. Пленка № 1 экспонировалась в течение первых двух часов после разряда, пленка № 2 — в течение первых суток, пленка № 3 — в течение 4–6-х суток, пленка № 4 — в течение 9–11-х суток. Пленки проявлялись 12 min с помощью проявителя Д-76 при температуре 20°C. Плотность почернения пленок определялась с помощью сканера Mustek BearPaw 4800 TA Pro II, который был предварительно откалиброван с помощью нейтральных светофильтров с известным коэффициентом пропускания. Профили плотности почернения строились с использованием процедуры усреднения по трем сечениям, отстоящим друг от друга на расстояние 1 mm.

Плотность почернения пленки № 1, экспонировавшейся два часа, оказалась хотя и заметной, но недостаточной для количественной оценки активности. Профили почернения, полученные при фотометрировании пленок № 2–4 приведены на рис. 2. В левой части кривых ($x < 25$ mm) — область пленки, не покрытая сцинтиллятором. Данные обработки приведены в таблице. В контрольных замерах, проведенных перед облучением образца, превышения степени почернения пленки над уровнем фона не зарегистрировано.

На рис. 3 представлены средние значения скорости изменения поверхностной плотности энергии светового излучения сцинтиллятора, полученные при обработке пленок. В качестве абсциссы указаны моменты времени, соответствующие середине интервала времени экспонирования пленки. Разбросы интенсивности соответствуют погрешности определения степени почернения пленок. Как видно из рисунка, имеет место спад интенсивности светового излучения сцинтиллятора, который можно интерпретировать как снижение наведенной радиоактивности с временем полураспада около 3 d. Более точная оценка этого времени может быть произведена по результатам измерения степени почернения второй и третьей пленок в предположении экспоненциального спада активности. Можно рассчитать постоянную t_0 , характеризующую экспо-

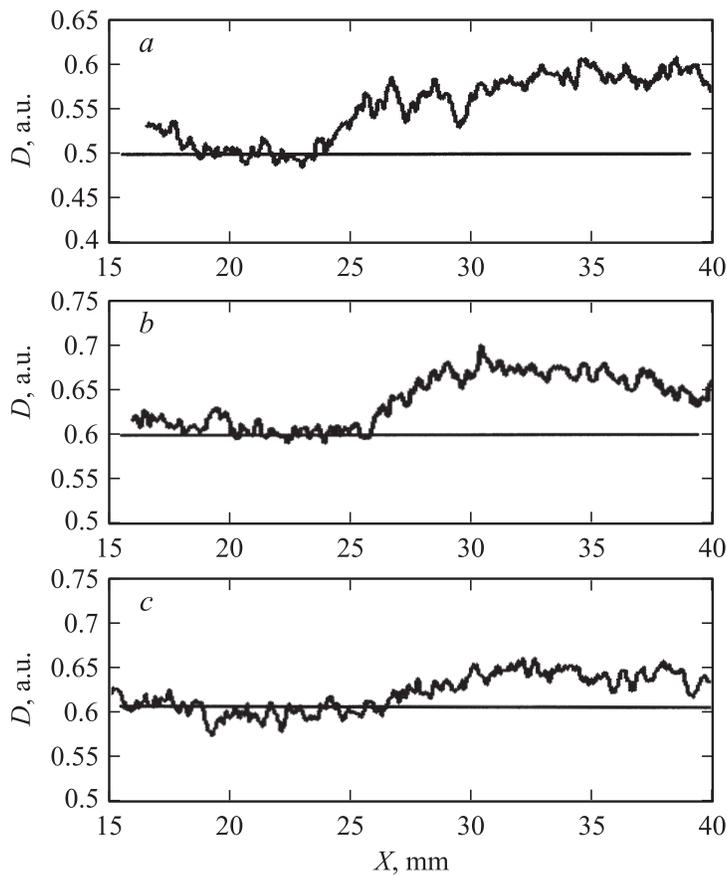


Рис. 2. Порофили плотности почернения фотоплёнок со сцинтилляционными экранами, экспонировавшихся с золотым образцом: *a* — плёнка № 2 (первые сутки после облучения образца), *b* — плёнка № 3 (4–6 сутки), *c* — плёнка № 4 (9–11 сутки).

ненциальный спад интенсивности светового излучения сцинтиллятора. Пусть t_1 и t_2 — время начала и конца экспонирования второй плёнки ($t_1 \approx 0$, $t_2 = 1$ d, а t_3 и t_4 — соответствующие значения времени для третьей плёнки ($t_3 = 3$ d и $t_4 = 6$ d). Можно составить уравнения для

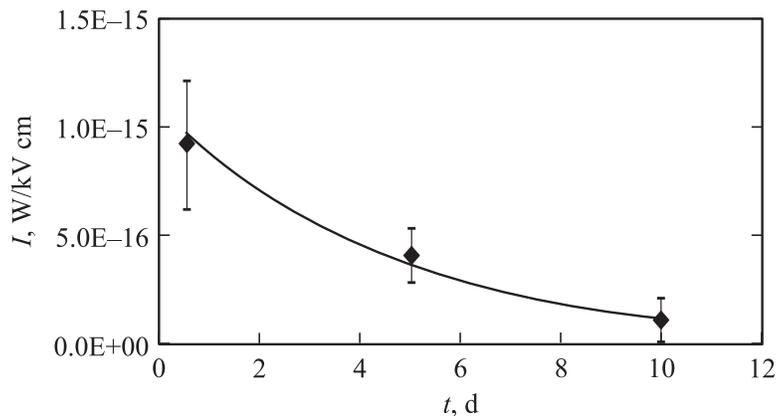


Рис. 3. Изменение во времени интенсивности свечения сцинтиллятора при воздействии на него образца из золота, рассчитанное по данным фотометрирования.

поверхностной плотности энергии, зарегистрированной при обработке двух пленок (см. таблицу)

$$P_0 \int_{t_1}^{t_2} e^{-t/t_0} = P_0 t_0 (e^{-t_1/t_0} - e^{-t_2/t_0}) = 0.8 \cdot 10^{-10},$$

$$P_0 \int_{t_3}^{t_4} e^{-t/t_0} = P_0 t_0 (e^{-t_3/t_0} - e^{-t_4/t_0}) = 1.06 \cdot 10^{-10}.$$

Здесь P_0 — начальная скорость изменения поверхностной плотности энергии. Эти уравнения приводятся к виду

$$1 = x + \left(\frac{0.8}{1.06} \right) (x^3 - x^6), \quad \text{где } x = e^{-1/t_0}.$$

Решение уравнения дает $t_0 = 4.8$ d, $P_0 t_0 = 4.2 \cdot 10^{-10}$ J/cm². Время полураспада составляет $\ln 2 \cdot t_0 \approx 3.3$ d. Исследованный образец содержит 41% меди, не менее 58% золота и менее 1% примеси других

№	Время с момента облучения, h	Длительность экспонирования, h	Плотность почернения D , а.е.		Поверхностная плотность энергии светового излучения сцинтиллятора, J/cm^2	Скорость изменения поверхностной плотности излучения сцинтиллятора, W/cm^2	Количество β -частиц с энергией 0.96 MeV на $1 cm^2$	Количество β -частиц на $1 cm^2$ в 1 min
			Под сцинтиллятором	Без сцинтиллятора				
2	2	24	0.57 ± 0.1	0.5 ± 0.1	$(0.8 \pm 0.25) \cdot 10^{-10}$	$(9.3 \pm 3) \cdot 10^{-16}$	$(0.52 \pm 0.15) \cdot 10^4$	3.6 ± 1.2
3	72	72	0.67 ± 0.1	0.6 ± 0.1	$(1.06 \pm 0.25) \cdot 10^{-10}$	$(4.1 \pm 1) \cdot 10^{-16}$	$(0.69 \pm 0.15) \cdot 10^4$	1.6 ± 0.2
4	216	72	0.63 ± 0.1	0.6 ± 0.1	$(0.3 \pm 0.25) \cdot 10^{-10}$	$(1.2 \pm 1) \cdot 10^{-16}$	$(0.2 \pm 0.15) \cdot 10^4$	0.45 ± 0.2

элементов. Как известно, короткоживущий изотоп меди имеет период полураспада 12 h, а у короткоживущего изотопа золота Au^{198} этот период составляет 2.7 d. В пределах погрешности измерений (около 30%) период полураспада по экспериментальным данным близок к величине, характерной для изотопа Au^{198} (2.7 d). Поэтому вполне обосновано предположение о том, что почернение пленки является следствием воздействия на сцинтиллятор β -частиц с энергией 0.962 MeV, являющихся продуктом распада указанного изотопа [4]. По результатам опыта можно оценить полное количество β -частиц (оно составляет $2.8 \cdot 10^4$ particles/cm²). В таблице приведены усредненные значения потока β -частиц, рассчитанные по скорости изменения поверхностной плотности энергии. В ходе расчета учтена конверсионная эффективность сцинтиллятора.

Короткоживущий изотоп Au^{198} возникает при захвате нейтрона ядром атома золота. Если наблюдаемое излучение действительно является следствием распада указанного изотопа, то следует предположить, что излучение, воздействующее на образец, содержит заметную нейтронную компоненту. В аналогичных экспериментах при отсутствии внешнего магнитного поля наведенная активность в пределах чувствительности использованной методики не обнаружена. Дополнительные исследования должны либо подтвердить это предположение, либо найти другие причины, приводящие к появлению наведенной радиоактивности в условиях описанных экспериментов.

Выводы

1. Осуществлявшийся в данных экспериментах электрический взрыв проводника в сильном продольном магнитном поле является источником жесткого излучения, проникающего через стенки разрядной камеры.
2. Под действием излучения возникает наведенная радиоактивность, наличие которой подтверждено в опытах с золотыми образцами.
3. Результаты активационных измерений позволяют высказать предположение о наличии в излучении нейтронной компоненты, что требует подтверждения в ходе дальнейших исследований.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 05-02-16566-а.

Список литературы

- [1] *Shneerson G.A., Adamian Y.E., Vasilevsky V.M.* / Proceedings of 15th International Conference on High-Power Particle Beams. St.Petersburg, 18–23 July 2004.
- [2] *Адамьян Ю.Е., Шнеерсон Г.А.* // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29. В. 5. С. 395–397.
- [3] *Немец О.Ф., Гофман Ю.В.* Справочник по ядерной физике. Киев: Наук. думка, 1975. 414 с.
- [4] *Иванов В.И.* Курс дозиметрии. М.: Атомиздат, 1978. 391 с.