

Изменение характеристик переизлучающих волокон Y-11 и O-2 под действием гамма-облучения

© А.Ю. Афанасьев¹, А.Ю. Бояринцев², И.А. Голутвин¹, Э.М. Ибрагимова³, А.И. Малахов¹, А.Ф. Небесный³, И. Нуриддинов^{3¶}, В.А. Смирнов¹, М.Ю. Ташметов³, Б.С. Юлдашев³, З.У. Эсанов³

¹ Объединенный институт ядерных исследований,
141980 Дубна, Россия

² Институт сцинтилляционных материалов НАН,
61000 Харьков, Украина

³ Институт ядерной физики АН,
100214 Ташкент, Узбекистан

¶ e-mail: izzatilloh@yahoo.com

Поступила в редакцию 16.03.2020 г.

В окончательной редакции 24.08.2020 г.

Принята к публикации 25.08.2020 г.

Исследованы влияние гамма-излучения источника ⁶⁰Co на интенсивность переизлученного свечения на выходе WLS-волокон типа Y-11M и O-2M и последующее восстановление характеристик облученных волокон после их выдержки при комнатной температуре. Облучение, начиная с малой мощности дозы (0.048 MRad/h) до дозы 1 MRad, приводит к незначительному снижению интенсивности переизлученного свечения на выходе обоих типов волокон, а при дальнейшем увеличении дозы ход кривой практически не изменяется. При облучении мощностью дозы 0.158 MRad/h характеристики обоих типов волокон значительно ухудшаются. При выдержке облученных образцов при комнатной температуре происходит восстановление характеристик волокон.

Ключевые слова: переизлучающие волокна, влияние гамма-излучения.

DOI: 10.21883/OS.2020.12.50337.104-20

Введение

В настоящее время в физике высоких энергий метод светосбора с пластин из пластиковых сцинтилляторов (ПС), осуществляющийся с помощью переизлучающих волокон WLS (Wave Length Shifter), вытесняет традиционный метод, использующий светосбор непосредственно на фотоприемник [1–5]. Обычно WLS-волокна — это оптические волокна, вклеенные в сцинтиллятор. Они представляют собой спектросмещающие пластиковые сцинтилляторы, которые поглощают свет одной длины волны и однородно переизлучают его на более длинной волне. Часть переизлученного света за счет полного внутреннего отражения передается вдоль WLS-волокна для считывания на конце фотоприемником (ФП). При большой длине затухания света в оптических волокнах фотоны могут проходить значительные расстояния. Применение такой методики позволяет использовать более дешевые и технологичные ПС (с меньшей длиной затухания света по сравнению с блочными), компактные фотоприемники, а также создавать малогабаритные, легкие и относительно дешевые конструкции [1,2].

Производятся как однооболочечные, так и многооболочечные (в основном двухоболочечные) волокна, по форме круглые с диаметрами от 0.2 до 2.0 mm и квадратные с размерами от 0.3 до 3 mm. Толщины оболочек составляет около 2–3% от диаметра волокна или стороны квадрата [3]. Сердцевина волокон изготов-

ливается чаще всего из полистирола, выступающего в роли матрицы, с переизлучающими добавками. В качестве оболочки для однооболочечного волокна, так же как и для внутренней оболочки двухоболочечного волокна, используется полиметилметакрилат (PMMA), а внешняя оболочка двухоболочечного волокна состоит из фторированного полимера [3].

В таких конструкциях при радиационном воздействии наряду со сцинтилляторами повреждаются и WLS-волокна, что необходимо учитывать в процессе эксплуатации при считывании информации датчиками.

Целью настоящей работы было исследование влияния гамма-излучения на интенсивность свечения на выходе WLS-волокон типа Y-11M и O-2M (производство Японии, Kuraray Co.) и последующее восстановление их характеристик.

Методика эксперимента

WLS-волокно марки Y-11M поглощает в синей области (максимум поглощения 430 nm) и переизлучает в зеленой области (максимум полосы излучения 476 nm), а волокно марки WLS O-2M поглощает в зеленой области (максимум полосы 535 nm) и переизлучает в оранжевой области (максимум излучения 550 nm). Диаметры исследованных волокон составляли 0.93 mm. Для исследования использовались образцы волокон длиной 7.5 cm.

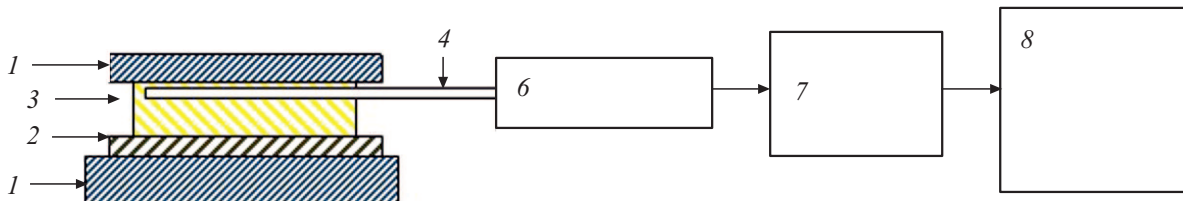


Рис. 1. Функциональная схема измерительной установки: 1 — свинцовая пластина, 2 — источник альфа-частиц ^{241}Am , 3 — пластиковый сцинтиллятор Bicron-408, 4 — WLS-волокно, 5 — направляющая медная трубка, 6 — ФЭУ, 7 — усилитель, 8 — цифровой вольтметр.

Для измерения радиационных характеристик волокно вставляется в специальную прорезь в сцинтилляторе по всей его длине, чем обеспечивается светосбор световых выходов сцинтиллятора при радиационном воздействии. Для исследования радиационных характеристик волокон использовался сцинтиллятор Bicron-408 (США).

Для экспериментов была собрана установка по регистрации импульсов сцинтилляции с помощью фотоэлектронного умножителя M11FVC520 (Германия) (рис. 1): на свинцовой пластине (1) располагается источник альфа-частиц ^{241}Am (2) с энергией 5.637 MeV и активностью $3 \cdot 10^8$ Вк, площадь которого превышает площадь сцинтиллятора, располагаемого на источнике, и прижимаемого сверху другой свинцовой пластиной. Источник ^{241}Am представляет собой металлическую пластину размером 70×35 мм, на которую на всю площадь с одной стороны нанесен слой Am. Геометрические размеры источника обеспечивают облучение по всей площади поверхности данных сцинтилляторов. Источник ^{241}Am испускает альфа-частицы, которые возбуждают импульсы сцинтилляции. Между альфа-источником и сцинтиллятором никаких других материалов нет, они имеют плотное соприкосновение между собой. Благодаря высокой плотности следования импульсов сцинтилляции получена высокая степень интегрирования регистрируемого сигнала, которая обеспечена активностью источника. Вставленное одним своим концом в ПС (3) WLS-волокно (4) другим своим отполированным концом через короткую, фиксирующую его положение медную трубочку (5) диаметром 1 мм, выполняющую роль направляющей для волокон, упирается во входное окно ФЭУ (6). Импульсы сцинтилляции, возбужденные альфа-источником, поглощаются WLS-волокном и преизлучаются в зеленой или оранжевой области спектра. Импульсы излучения попадают на входное окно ФЭУ (6). С выхода ФЭУ электрический сигнал поступает на согласованный вход предварительного усилителя-интегратора (7), а далее на вход цифрового вольтметра типа В7-21А (8).

Степень влияния гамма-излучения на интенсивность свечения на выходе WLS-волокна k определялась по величине отношения интегрального значения амплитуды импульсов волокна после облучения I к интегральному значению амплитуды импульсов волокна до облучения I_0 : $k = I/I_0$.

Эксперименты проводились следующим образом. Подготовлено необходимое количество образцов волокон каждой марки и выполнена полировка их торцов. Были измерены их световых выходы до облучения. Затем, для идентичности условий облучения, по одному образцу каждой марки волокон помещали в плотные светонепроницаемые конверты. После этого конверты с образцами облучали гамма-лучами изотопа ^{60}Co при двух мощностях дозы: 0.048 MRad/h (15 Rad/s) и 0.158 MRad/h (50 Rad/s). В качестве источника гамма-лучей использовалась гамма-установка бассейнового типа ИЯФ АН РУз, конструкция которой подробно описана в работе [5]. Для мощности дозы 0.048 MRad/h набраны следующие поглощенные дозы: 0.0088, 0.0484, 0.088, 0.484, 1.76, 2.2 и 3.784 MRad, а для мощности дозы 0.158 MRad/h: поглощенные дозы 0.0088, 0.0484, 0.088, 0.484, 0.88 и 3.784 MRad. После облучения гамма-лучами образцы извлекались из конвертов, вставлялись в прорезь одного и того же сцинтиллятора, который затем ставился на источник альфа-частиц, при этом свободный конец волокна вставлялся в отрезок медной трубки диаметром 1 мм. Все действия с волокнами проводились в полностью затемненном помещении при слабом освещении красным светом от светодиодов. Так как пик рабочей области волокон приходится на 550 nm, а красный свет соответствует 630 nm, это позволяет исключить влияние освещения красным светом при подготовке образцов на конечный результат. Измерения проводились при полном отсутствии любого освещения. Для того чтобы определить влияние облучения только на волокна, сам сцинтиллятор не подвергался воздействию гамма-лучей.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

На рис. 2 приведены результаты исследования влияния поглощенной дозы гамма-облучения на выходные характеристики волокон, облученных двумя разными мощностями излучения.

Из рис. 2, а видно, что интенсивность люминесценции волокна Y-11M примерно в 4.5 раза выше по сравнению с интенсивностью волокна O-2M при одинаковых условиях эксперимента.

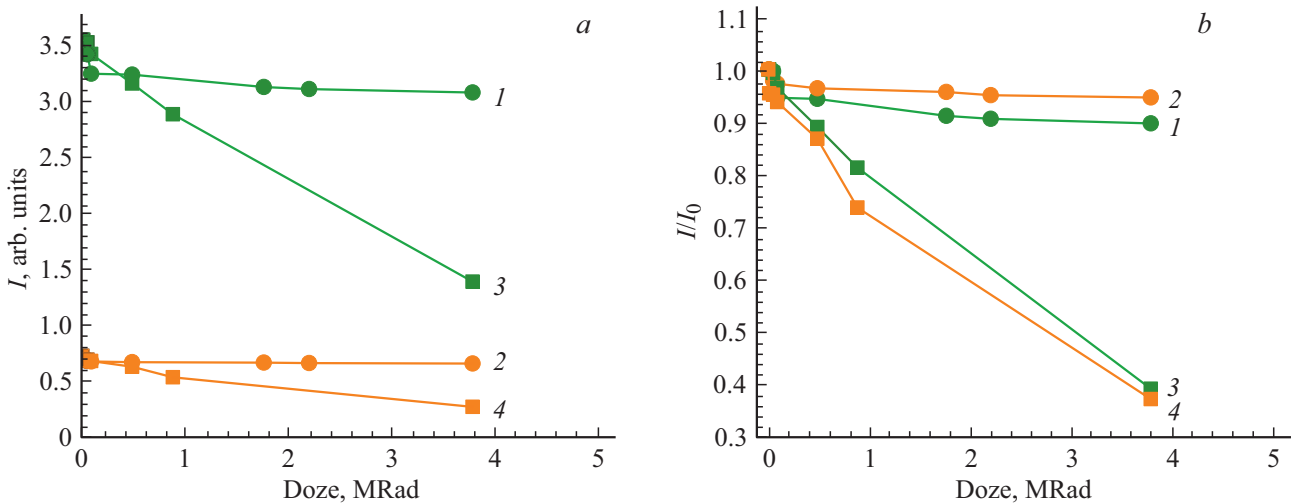


Рис. 2. Дозовая зависимость выхода свечения волокон марок Y-11М (1, 3) и O-2М (2, 4), облученных гамма-лучами мощностями дозы 0/048 MRad/h (1, 2) и 0.158 MRad/h (3, 4), в абсолютном (а) и нормированном (б) масштабах.

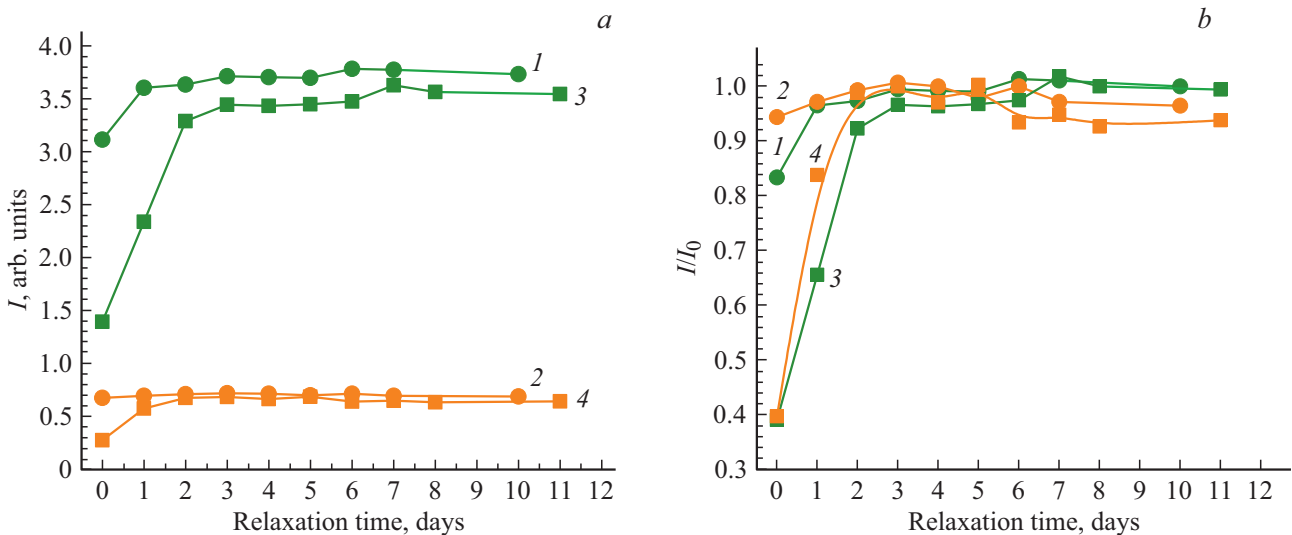


Рис. 3. Временные зависимости восстановления выхода свечения волокон марок Y-11М (1, 3) и O-2М (2, 4), облученных интегральной дозой 3.784 MRad при мощностях доз 0.048 (1, 2) и 0.158 MRad/h (3, 4) в абсолютном (а) и относительном (б) масштабах.

На рис. 2, *b* приведены нормированные зависимости этих же результатов, откуда видно, что при малой мощности гамма-облучения (0.048 MRad/h) деградация существенно меньше, чем при большей мощности (0.158 MRad/h). При облучении малой мощностью дозы люминесцентные характеристики обоих типов волокон первоначально (до дозы 1 MRad) незначительно ($\sim 5\%$) снижаются, а далее ход кривой практически не изменяется. При облучении мощностью 0.158 MRad/h характеристики обоих типов волокон значительно ухудшаются, и эти изменения происходят по одинаковой закономерности.

После этого исследовались временные зависимости восстановления характеристик гамма-облученных образцов волокон через каждые сутки в одно и то же время

в течение 12 дней. На рис. 3 приведены временные зависимости восстановления характеристик волокон после облучения их интегральной дозой 3.784 MRad при двух мощностях. Видно, что со временем характеристики обоих типов волокон восстанавливаются, и их характер восстановления идентичен.

Заключение

Из вышеприведенных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Под действием гамма-облучения волокна обоих типов деградируют, что приводит к уменьшению выхода переизлученной люминесценции с выхода облученных

волокон. Степень деградации зависит от мощности дозы облучения. При облучении малой мощностью дозы (0.048 MRad/h) люминесцентные характеристики обоих типов волокон первоначально (до дозы 1 MRad) незначительно (5%) ухудшаются, а далее ход кривой практически не изменяется. При облучении мощностью дозы 0.158 MRad/h характеристики обоих типов волокон значительно ухудшаются.

2. При выдержке облученных образцов при комнатной температуре происходит восстановление характеристик волокон. На третий день выход переизлученной люминесценции выходит на плато почти до исходного состояния и при дальнейшем хранении в пределах погрешности эксперимента не меняется.

3. Одинаковая закономерность деградации характеристик волокон обоих типов при облучении и последующем восстановлении их характеристик (при хранении в темноте при комнатной температуре) свидетельствует о том, что радиационная деградация обусловлена не на переизлучающих добавках, а на самой матрице основы волокна.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] Бритвич Г.И., Бреховских В.В., Семенов В.К., Холоденко С.А. Основные характеристики полистирольных сцинтилляторов производства ИФВЭ. Протвино: ФГБУ ГНЦ ИФВЭ, 2013. 38 с.
- [2] Исаков Б.А., Мендибаев К.О. // Исследования в области естественных наук. 2013. № 2 [Электронный ресурс] URL: <http://science.snauka.ru/2013/02/4158>
- [3] Харжиев Ю.Н. // Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2015. Т. 46. В. 4. С. 1226.
- [4] Буймистрюк Г.Я. // Control Engineering (Russian Edition). 2013. N 3 (45). С. 34-40.
- [5] Afanasiev S.V., Boyarintsev A.Yu., Danilov M.V., Emeliantchik I.F., Ershov Yu.V., Golutvin I.A., Grinyov B.V., Ibragimova E., Levchuk L.G., Litomin A.V., Makankin A.M., Malakhov A.I., Moisenz P.V., Nuritdinov I., Popov V.F., Rusinov V.Yu., Shumeiko N.M., Smirnov V.A., Sorokin P.V., Tarkovskii E.I., Tashmetov A., Vasiliev S.E., Yuldashev B., Zamiatin N.I., Zhmurin P.N. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A. 2016. V. 818. P. 26–31. doi 10.1016/j.nima.2016.02.045