

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

97-120

Д13-97-120

М.Д.Шафранов

О НЕОБХОДИМОСТИ ИЗУЧЕНИЯ
ТОНКИХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ
РАДИАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ
В ПЛАСТМАССОВЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРАХ

Направлено в журнал «Nuclear Instruments and Methods»

1997

Систематические исследования радиационной стойкости пластмассовых сцинтилляторов, подвергающихся большим радиационным нагрузкам, имеют десятилетнюю историю [1]. Необходимость этих работ вызвана созданием нового поколения ускорителей, на которых доступ к экспериментальной установке практически закрыт на все время проведения эксперимента, длительность которого может оказаться порядка десяти лет. За это время суммарная дозовая нагрузка на применяемые сцинтилляторы может достичь значений 100 Мрад.

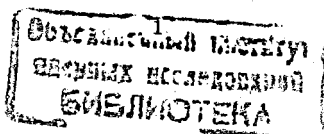
Пластмассовый сцинтиллятор представляет собой матрицу, в которой растворены сцинтилляционные добавки, преобразующие энергию возбуждения матрицы в область спектральной чувствительности фотоприемника. Исследования сцинтилляторов, подвергшихся большим радиационным нагрузкам, заключаются в измерениях оптической прозрачности или спектров поглощения матрицы, а также светового выхода [1-3].

Практически одновременно с исследованиями радиационной стойкости традиционных сцинтилляторов начался активный поиск и исследование различных характеристик новых сцинтилляционных добавок и способов повышения радиационной стойкости сцинтилляторов [4-10]. Ссылки на публикации по исследованиям радиационной стойкости пластмассовых сцинтилляторов можно найти в [1-10]. Хотя в ряде работ есть упоминание и об исследованиях не только спектров поглощения, но и спектров люминесценции [3,11], результаты исследований в этих работах не приведены.

Вместе с тем изучение спектров люминесценции образцов после радиационного облучения и сравнение их со спектрами необлученных образцов может дать ценную информацию о процессах радиационного повреждения сцинтилляторов. Поясним это утверждение примером.

Исследования изменения времени высвечивания сцинтилляторов в зависимости от концентрации сцинтилляционных добавок [12] подтвердили гипотезу о нерадиационном характере передачи энергии от растворителя к первой сцинтилляционной добавке с последующим радиационным переходом к сместителю спектра. В качестве первичных добавок использовались терфенил (rTP), фенилбифенилоксидазол (PBD), а в качестве сместителей спектра применялся дифенилгексатриен (DPH) и дифенилоксиазолилбензол (POPOP). Вывод о радиационном механизме передачи энергии сместителю спектра от первичной добавки был сделан на основе того факта, что время высвечивания сцинтиллятора не зависит от концентрации вторичных добавок. Сам эксперимент довольно сложен по его реализации.

Прямым экспериментом, выявляющим радиационный механизм передачи энергии от первичной добавки к сместителю спектра, является исследование спектров люминесценции такой системы, как растворитель-первичная добавка- сместитель спектра в тонких образцах. Вероятность поглощения излучения первичной добавки сместителем спектра мала в том случае, если толщина образца составляет всего несколько микрометров. Такие исследования были выполнены нами ранее [13-15]. На рис. 1 показаны спектры излучения сцинтиллятора на основе полистирола толщиной около 1 мкм. Первичной добавкой являлся rTP (2% от веса мономера стирола), вторичной добавкой служил POPOP с концентрацией, равной 0,02%.



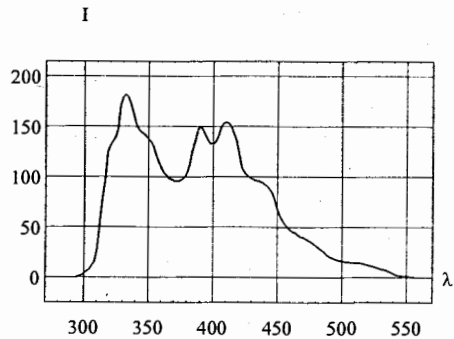


Рис.1. Спектр излучения пленки сцинтиллятора на основе полистирола с добавками рТР и РОРОР. Левый максимум - излучение рТР, правый - двугорбый пик - излучение РОРОР

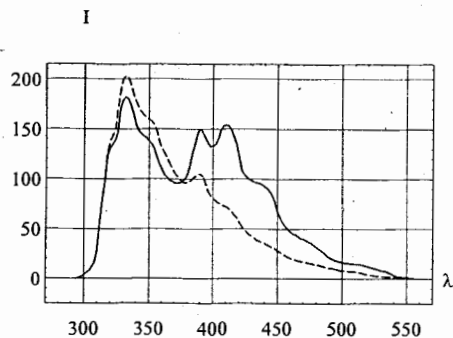


Рис.2. Спектры излучения одного и того же образца пленки сцинтиллятора до облучения УФ (сплошная кривая) и спектр после облучения (пунктирная кривая)

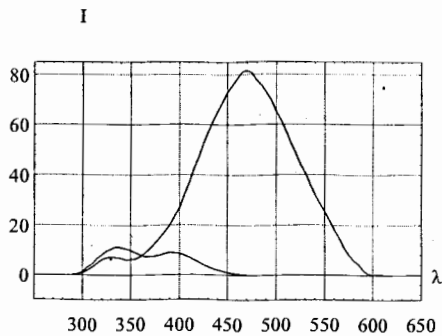


Рис.3. Спектры излучения пленки полистирола до и после облучения. Результат облучения - появление пика с максимумом в области 470 нм

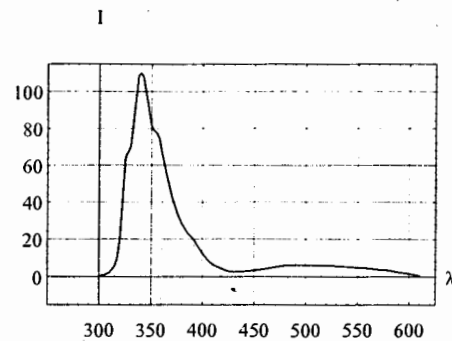


Рис.4. Спектр излучения пленки сцинтиллятора на основе полистирола с добавкой рТР. Левый пик - излучение рТР, правый широкий пик - излучение полистирола

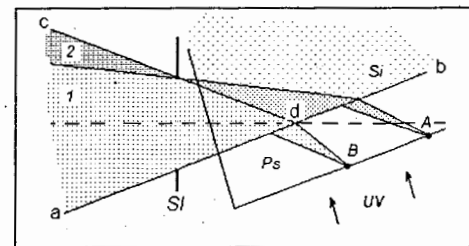


Рис.5. Схема спектральных исследований тонких образцов сцинтилляторов

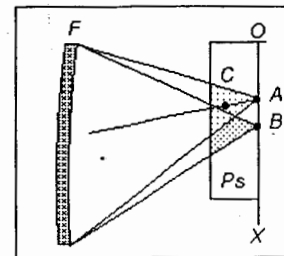


Рис.6. Схема расчета интенсивности люминесценции образца P_s , регистрируемой фотоприемником F

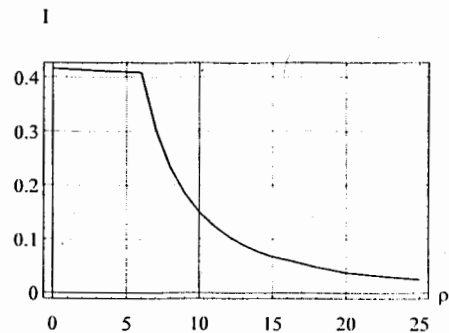


Рис.7. Зависимость интенсивности люминесценции пленки сцинтиллятора от координаты вдоль ее поверхности для случая, изображенного на рис. 5

Присутствие излучения терфенила в приведенном спектре является прямым подтверждением того, что передача энергии сместителю спектра носит излучательный характер. На рис.2 показаны спектры одного и того же образца до и после облучения ультрафиолетом (УФ) ртутной лампы. Облучение этого образца привело к деградации люминесценции сместителя и росту излучения терфенила, что, в свою очередь, является подтверждением излучательного способа передачи энергии от рТР к РОРОР.

На рис. 3 показан спектр излучения пленки полистирола при возбуждении люминесценции УФ с длиной волны 254 нм до и после ее облучения УФ. Рисунок свидетельствует о глубоких изменениях, происходящих в образце под действием УФ-облучения. После облучения в спектре появился пик в длинноволновой области. Поэтому для полного понимания процессов деструкции полимерной матрицы недостаточно исследовать спектры поглощения, как это сделано в [11], а необходимо изучить и спектры излучения образцов, рис. 3, подвергшихся радиационному облучению. Естественно, необходимо изучить спектры излучения тонких образцов в зависимости от полученной образцом дозы и в зависимости от времени восстановления.

В спектрах излучения сцинтилляторов на основе полистирола и рТР, подвергшихся длительному УФ облучению (рис. 4), в небольшой дозе наблюдается излучение полистирола [14].

В спектрах со сместителями излучение полистирола приходится на область излучения сместителей и вуалируется их излучением. Эти результаты помимо демонстрации излучательного процесса передачи энергии свидетельствуют о двух фактах. Первый из них: в сцинтилляторе матрица защищается от деструкции благодаря люминесцентным добавкам. Второй — время жизни возбужденного состояния молекулы полистирола больше времени, необходимого для передачи энергии возбуждения молекулы полистирола к сцинтилляционной добавке. Поэтому вероятность деструкции полистирола в присутствии сцинтилляционных добавок уменьшается.

Как увеличить спектральную чувствительность, которая позволит исследовать тонкие образцы?

Пусть на полированную кварцевую пластинку (Si - рис. 5) нанесена тонкая пленка сцинтиллятора (Ps). Их относительный показатель преломления $n \cong 1.1$. Расположим пластинку так, чтобы граница раздела $Ps-Si$ оказалась вдоль линии ab , ограничивающей апертуру спектрографа и соединяющей край объектива спектрографа (на рис. 5 не показан) с щелью Sl . Излучение Ps возбуждается ультрафиолетом UF , падающим на пластинку нормально к ней. Вдоль этой линии на объектив попадет излучение сцинтиллятора, падающее на границу $Ps-Si$ под предельным углом падения (около 65°). С другой стороны, апертура ограничена линией cd . Излучение в телесном угле с вершиной B полностью заполняет всю апертуру (области 1 и 2 рис. 5). В телесном угле с вершиной A излучение заполняет апертуру лишь частично. На рис. 5 этот угол заштрихован и обозначен как область 1. Оценим величину излучения пластинки сцинтиллятора Ps , регистрируемую фотоприемником F . Величина излучения, направление которого совпадает с направлением лучей, проходящих через точку A (рис. 6), пропорциональна площади треугольника с вершиной A . То же относится к

излучению, относящемуся к точке B . Излучение, идущее из точки C , будет учтено, только если его направление лежит на луче, проходящем через точку A .

Вернемся к рис. 5. Построим зависимость величины площади треугольника $S(x)$, образованного указанным выше способом, от координаты на оси Ox . Прделаем такую же вычислительную операцию для пленки Ps , расположенной вдоль щели спектрографа, получим суммарную величину регистрируемого излучения σ для этого случая. Тогда $I(x)=S(x)/\sigma$ есть интенсивность излучения в относительных единицах. Для случая, представленного на рис. 5, полученная таким образом зависимость показана на рис. 7.

Интегрирование (суммирование) по координате x вдоль всего сцинтиллятора дает величину суммарного регистрируемого излучения сцинтиллятора $\Sigma I(x)$ в относительных единицах. С учетом отражения излучения при падении на кварцевую пластинку на границе раздела $Ps - Si$ мы имеем 20 - кратный выигрыш. Увеличение длины пластинки с нанесенной пленкой сцинтиллятора приводит только к медленному росту регистрируемого излучения (рис. 7).

Приведенным выше расчетом показан один из возможных способов размещения пластинки Si . В реальной ситуации для получения спектров оптимальное положение пластинки находится экспериментально ее поворотом относительно щели спектрометра.

Спектральные исследования тонких образцов пластмассовых сцинтилляторов, в которых вероятность поглощения коротковолновой части спектра мала, в состоянии пролить свет на процессы, происходящие при радиационном повреждении сцинтилляторов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект N 96- 02- 17927).

Литература

- [1] Marini G. et al. Radiation Damage to Organic Scintillation Materials, CERN report 85-08 (1985).
- [2] Zorn C. et al. Apilot Study of the Radiation Resistance of selected Plastic Scintillators, IEEE Trans. Nucl. Sc. NS-36, 557, (1989)
- [3] Zorn C., Studies in the Radiation Resistance of Plastic Scintillators. Review and prospects. IEEE Trans. Nucl. Sc. NS-37, 504, (1990)
- [4] Markley F. et al. Development of Radiation Hard Scintillators, Fermilab Report FERMILAB-TM-1784 (1992)
- [5] Bross A.D. and A. Pla-Dalmau A., New Fluorescent Compounds for Plastic Scintillator Applications, Fermilab Report FERMILAB-Pub-92/189 (1992).
- [6] Бритвич Г.И. и др. Радиационная стойкость пластмассовых сцинтилляторов, ПТЭ, 1994, 6,75.
- [7] Pla-Dalmau A., Fermilab Report FERMILAB-Pub-94/414 (1994).
- [8] Злюбовский И.И. и др. Способы повышения радиационной стойкости сцинтилляторов на основе полистирола. ПТЭ, 1995, 5,76.
- [9] Васильч В.Г. и др. Исследование радиационной стойкости пластмассовых сцинтилляторов, ПТЭ, 1995, 5,85.

- [10] Golovkin S.V et al. Nucl. Instr. and Meth., A 362(1995),283.
- [11] Bross A.D. and Pla-Dalmau A., Radiation Damage of Plastic Scintillators, IEEE Trans. Nucl. Sc. NS-39, 1199, (1992).
- [12] Koechlin Y. and Ravirat A., Nucl. Instr. and Meth., 29(1995),45.
- [13] Жильцова Л.Я., ... , Шафранов М.Д., Оптика и спектроскопия, том XXVIII, 5, 942,(1970).
- [14] Матвеева Е.Н., ... , Шафранов М.Д., ПТЭ, 5, 76, (1970).
- [15] Жильцова Л.Я., ... , Шафранов М.Д., Журнал прикладной спектроскопии, XV,2, 255,(1971).

Рукопись поступила в издательский отдел
4 апреля 1997 года.

Шафранов М.Д.

D13-97-120

О необходимости изучения тонких образцов при исследовании радиационных повреждений в пластмассовых сцинтилляторах

Для выяснения процессов радиационных повреждений пластмассовых сцинтилляторов показана необходимость изучения не только спектров поглощения, но и спектров их излучения. Для этого нужно проводить исследования с тонкими образцами. Предложен и обоснован способ увеличения спектральной чувствительности для пленочных образцов толщиной несколько мкм.

Работа выполнена в Лаборатории сверхвысоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1997

Перевод автора

Shafranov M.D.

D13-97-120

Necessity to Study Thin Samples at the Radiation Damage of Plastic Scintillators

To clarify the radiation damage processes in plastic scintillators, it is necessary to study not only their transmission but emission spectra. That is why thin samples are to be studied. A method to increase the spectral sensitivity has been motivated and proposed for the film samples several μm thick.

The investigation has been performed at the Laboratory of Particle Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1997