

P13-2012-11

В. Г. Кручонок*, З. В. Крумштейн, Н. Н. Хованский,
А. Б. Садовский, Ю. А. Горнушкин, А. Г. Ольшевский,
Т. В. Резинько, А. С. Селюнин

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СПЕКТРОСМЕЩАЮЩИХ ВОЛОКОН

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

*E-mail: v_kruch@nu.jinr.ru

Кручонок В. Г. и др.

P13-2012-11

Устройство для измерения оптических характеристик
спектросмещающих волокон

Приводится описание устройства, позволяющего достаточно быстро и с высокой точностью измерять оптические характеристики (световыход и длины затухания) спектросмещающих волокон. Устройство использовалось для тестирования и отбора волокон на участке сборки трековой системы целеуказания установки OPERA. После модификации устройство было применено для изучения и отбора спектросмещающих волокон электромагнитного калориметра ECAL0 установки COMPASS.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Дзелепова в рамках участия ОИЯИ в проекте OPERA в 2002 г. и COMPASS в 2011 г.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2012

Kruchonak U. et al.

P13-2012-11

The Device for Measuring Light Attenuation in the WLS Fibers

The device that allows accurate and fast measurement of optical characteristics (light output and attenuation length) of wavelength shifting (WLS) fibers is described. This device was used for test and selection of fibers for the Target Tracker detector of OPERA experiment. After modification the device was used for the studying and selection of WLS fibers for the electromagnetic calorimeter ECAL0 of the COMPASS detector.

The investigation was performed at the Dzhelapov Laboratory of Nuclear Problems in connection with JINR's participation in the OPERA project in 2002 and COMPASS in 2011.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Во многих современных сцинтилляционных детекторах [1–5] сбор и передача света осуществляются посредством спектросмещающих волокон (WLS — Wave Length Shift). Такой способ имеет ряд преимуществ: возможность гибко изменять геометрию детектора, уменьшить размер фотодетектора и создать наиболее компактные системы светосбора. В связи с этим важной задачей является измерение характеристик WLS-волокон, таких как световыход и длина затухания. Для решения этой задачи было создано устройство, позволяющее быстро измерять световые характеристики волокон. Устройство применялось для тестирования волокон на участке сборки сцинтилляционных модулей системы целеуказания детектора OPERA [1, 2]. Затем устройство было модифицировано для изучения коротких волокон (до 0,5 м) и использовано при исследовании волокон для модулей калориметра эксперимента COMPASS [4, 5].

OPERA. Принцип регистрации частиц сцинтилляционными стрипами эксперимента OPERA показан на рис. 1. В качестве световодов использовались многооболочечные спектросмещающие волокна S-типа Y11(175), изготовленные фирмой «Kuragay» (Япония). Сердцевина волокон изготовлена из полистирола с добавкой 0,02 % сместителя спектра Y11. Внутренняя оболочка состоит из полиметилметакрилата (PMMA), внешняя — из КЗ фторированного PMMA. Эффективность захвата света такими волокнами составляет 5,34 % [6].

Устройство применялось для тестирования и отбора волокон на участке сборки сцинтилляционных модулей системы целеуказания детектора OPERA.

COMPASS. На установке COMPASS [3] планируется создание дополнительного электромагнитного калориметра ECAL0 [5] с конструкцией модулей типа «шашлык», представляющих собой набор чередующихся свинцовых и сцинтилляционных пластин, пронизанных WLS-волокнами, которые транспортируют свет к фотодетекторам (рис. 2).

Длина рабочей части модуля составляет 25 см, поэтому устройство было адаптировано и использовано для изучения коротких волокон (~ 0,5 м) с целью выбора их производителя. В качестве кандидатов были выбраны волокна фирм «Vicron» и «Kuragay».

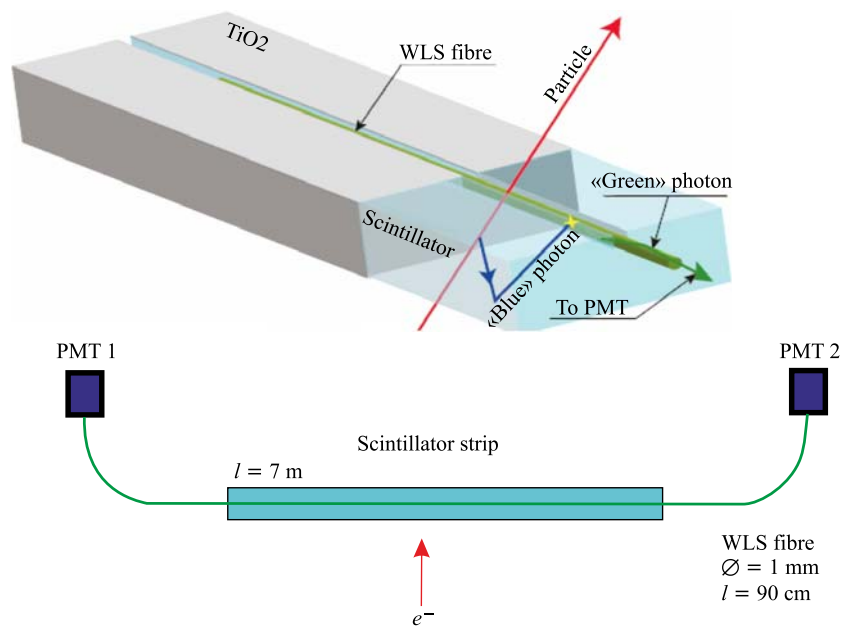


Рис. 1. Принцип регистрации частиц сцинтилляционными стрипами [1]

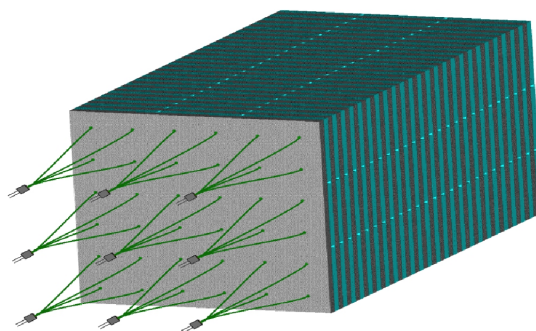


Рис. 2. Принцип светосбора в калориметрических модулях типа «шашлык»

1. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКНА

Устройство для измерения оптических характеристик волокон можно условно представить состоящим из трех частей: измерительного стенда, электронного блока управления и программного обеспечения.

1.1. Измерительные стенды.

Измерительный стенд для изучения длинных волокон состоит из бобины и ФЭУ. В бобину вмонтированы 16 светодиодов. Первые (от ФЭУ) 10 светодиодов расположены с шагом 50 см (для точного измерения коротковолновой составляющей), и оставшиеся 6 — с шагом 1 м (рис. 3).

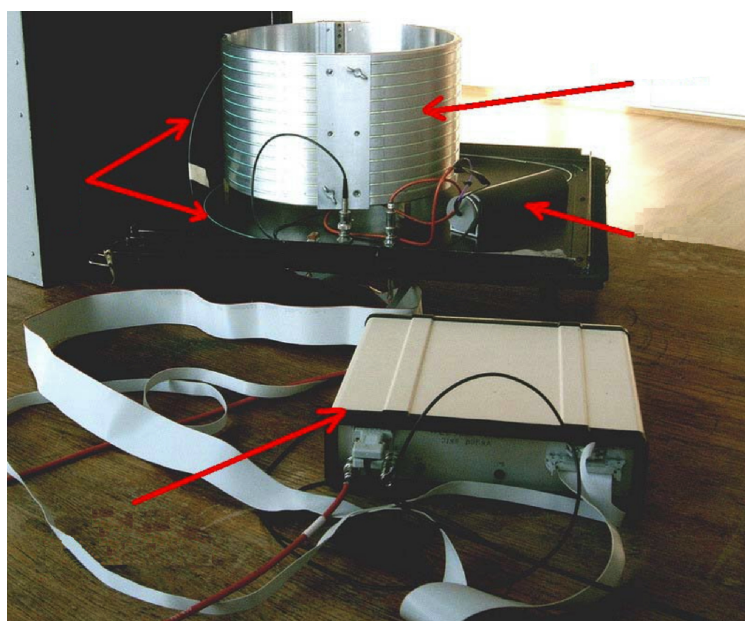


Рис. 3. Стенд для измерения длинных волокон в светозащитном кожухе с бобиной и электронный блок управления

Волокно спиралью укладывается в специальные канавки на бобине. Отрезок волокна между бобиной и ФЭУ должен быть фиксированной длины, так как затухание зависит от расстояния от светодиода до ФЭУ. Конец волокна вставляется в отверстие адаптера ФЭУ.

В измерительном стенде для изучения коротких волокон вместо бобины используется пластина с канавкой для волокна и 16 отверстиями, в которых находятся светодиоды (рис. 4). Расстояние между светодиодами составляет 2,1 см. Волокно укладывается в канавку пластины, и свет с него регистрируется также с помощью ФЭУ.

Оба устройства помещаются в светоизолирующие кожухи (рис. 3, 4), в которых установлены датчики температуры.

1.2. Электронный блок управления. Электронный блок управления (Control Unit WLS Fiber Tester) подает и контролирует напряжение на ФЭУ,



Рис. 4. Стенд для измерения коротких волокон в светозащитном кожухе

переключает светодиоды и устанавливает рабочие токи для каждого из них, считывает амплитуду сигнала с ФЭУ и температуру внутри измерительной системы. Ядром блока является одноплатный компьютер Flashlite-V25, подключенный по интерфейсу RS-232 к персональному компьютеру, с установленным пакетом LabView и рабочей программой TestLight.vi. Блок-схема устройства с блоком управления приведена на рис. 5.

Рассмотрим, как происходит измерение одиночного сигнала (рис. 6, 7). На один из светодиодов, выбранный включением соответствующего микро-реле, подается импульс тока выбранной амплитуды длительностью около 20 мкс. За это время проходят все переходные процессы (стабилизируются излучение светодиода и сигнал отклика ФЭУ, поданный на вход АЦП). После включения светодиода через фиксированный промежуток времени в 15 мкс на АЦП подается сигнал выборки/хранения, амплитуда выходного сигнала ФЭУ оцифровывается, светодиод выключается и идет считывание сигнала с АЦП. Затем процедура повторяется, таким образом формируя пакет измерений при одних и тех же установках (рис. 7). После этого реле включает следующий светодиод и процедура повторяется последовательно по всем 16 точкам световода.

Управление электронным блоком осуществляется посредством микрокомпьютера Flashlite-V25.

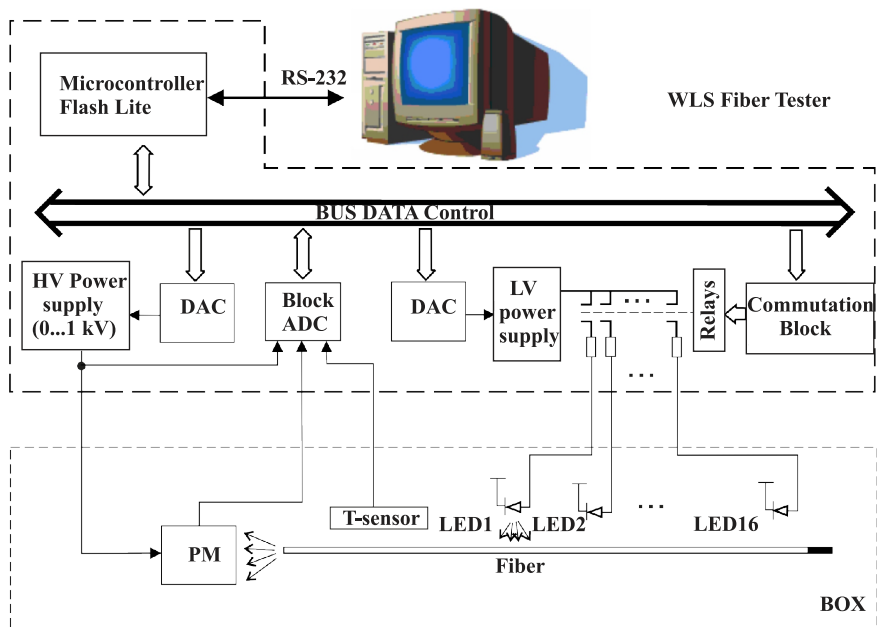


Рис. 5. Блок-схема устройства

Основные характеристики микрокомпьютера:

- микропроцессор NEC V-25, 10 МГц;
- 512 кбайт оперативной памяти;
- 512 кбайт энергонезависимой Flash-памяти (расширяется до 1 Мбайт);
- 2 высокоскоростных ПК-совместимых последовательных порта RS-232;
- 2 ПК-совместимых счетчик/таймер;
- 2 DMA-канала;
- 20 цифровых линий ввода/вывода;
- регулятор потребляемой мощности;
- DOS 3.3 совместимая операционная система;
- набор программных утилит: BASIC, Upload, Flash disk formatter, Line editor.

1.3. Программное обеспечение. Flashlite-V25 имеет 2 последовательных порта; один порт был использован как терминал, а второй для обмена данными с ПК. Соответственно для микрокомпьютера было разработано 2 программы (CHANNEL.CPP и BLOCK.CPP). Программы были написаны в среде Borland C++, скомпилированы для IBM 8086-совместимых процессоров и транслированы в виде exe-файлов.

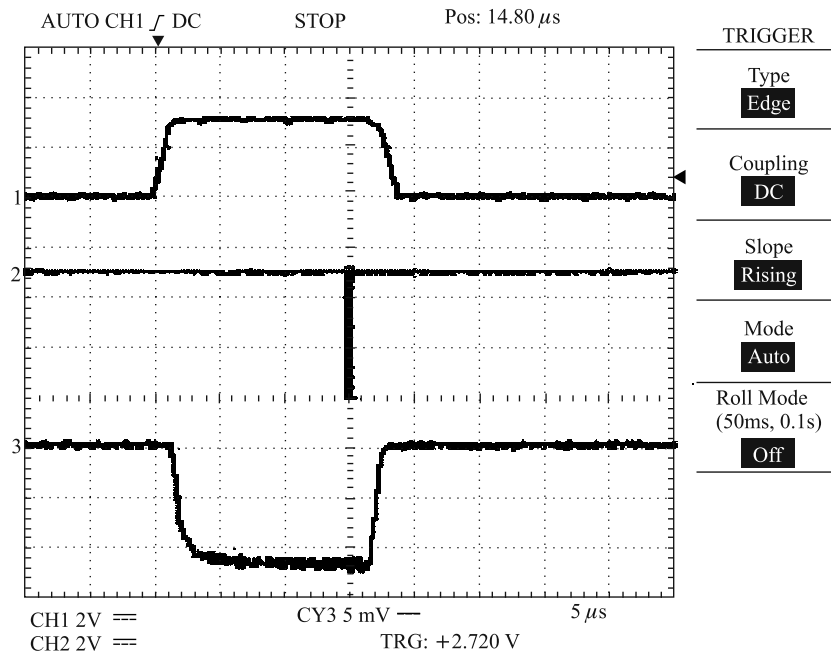


Рис. 6. Временная диаграмма одного измерения: 1, 3 — сигнал, подаваемый на светодиод, и соответствующий свету диода отклик ФЭУ; 2 — сигнал выборки/хранения АЦП для записи амплитуды ФЭУ

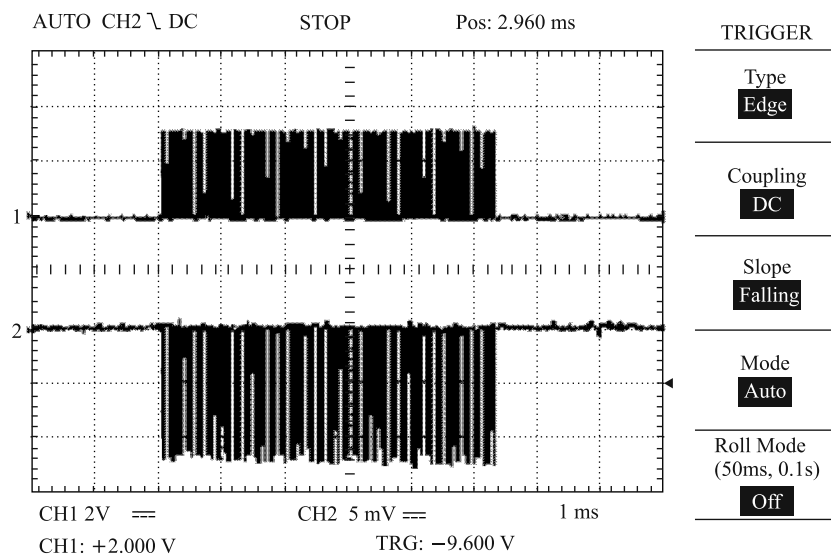


Рис. 7. Пакет из 100 измерений: 1 — сигналы, поданные на светодиод; 2 — отклики ФЭУ

CHANNEL

- Работает в терминальном режиме, управление производится с клавиатуры.
- Позволяет устанавливать высокое напряжение, подавать заданный импульс тока на любой светодиод, читать сигнал ФЭУ, напряжение ФЭУ, температуру.
- Используется для отладки прибора.

BLOCK

Программа работает под управлением ПК по интерфейсу RS-232. Прием и передача происходят по два байта. Первый байт указывает код команды (использовано 7 команд чтения/ записи), второй — байт данных. Программа BLOCK взаимодействует с программой пользовательского интерфейса, написанного в среде LabView. Пользовательский интерфейс программы показан на рис. 8.

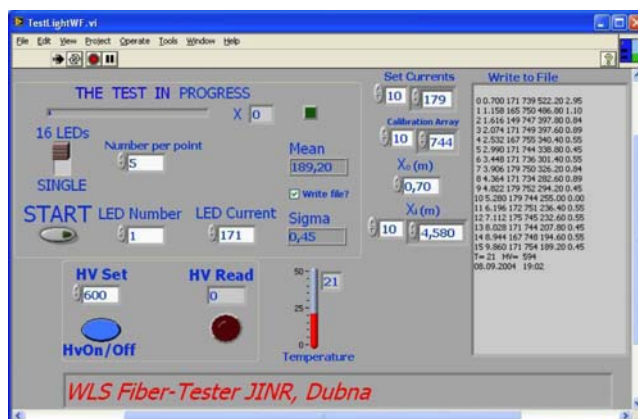


Рис. 8. Интерфейс программы управления устройством

Программа позволяет производить измерения в двух режимах: единичном и серийном.

Для проведения единичного измерения в поле «Led Number» выставляется номер светодиода (от 0 до 15), в «Led Current» — ток через светодиод (от 0 до 255, что соответствует 0–16 mA), в «Number per point» — количество измерений, как показывает опыт, не меньше 50, чтобы ФЭУ вышел на стабильный режим работы. В полях «Mean» и «Sigma» отображаются измеренные значения среднего сигнала с ФЭУ и среднеквадратичного отклонения. Значения установленных токов заносятся в массив, а полученные сигналы с ФЭУ — в «Calibration Array».

Перед проведением серийных измерений пользователь должен заполнить калибровочный массив: в поле «Set Currents» для каждого светодиода должен быть поставлен в соответствие ток через него, а в поле «Calibration Array» — значение интенсивности света в произвольных единицах при данном токе. В режиме серийных измерений пользователь задает только количество измерений на светодиод. Программа автоматически меняет номера светодиодов от 0 до 15, выставляя ток на каждом светодиоде из массива «Set Currents». В результате измерений программа выдает таблицу из средних значений отклика от каждого диода «Mean» и их среднеквадратичных отклонений «Sigma». Для компенсации разброса яркости светодиодов измеренные отклики каждого светодиода делятся на соответствующие значения интенсивностей из «Calibration Array».

Далее по полученной и поправленной таблице строится зависимость сигнала с ФЭУ от расстояния до светодиода, которую для длинных волокон приближенно можно описать эмпирической формулой в виде суммы двух экспоненциальных распределений:

$$I = I_0 \left(e^{-x/\lambda_1} + b e^{-x/\lambda_2} \right),$$

где λ_1 и λ_2 — длины затухания.

Например, для волокон «Kuraga» Y11(175) диаметром 1,2 мм (рис. 9) типичная короткая длина затухания ~ 1 м и длинная ~ 7 м.

Процесс измерения полностью автоматизирован, занимает несколько минут, данные сохраняются в файл, служащий паспортом для каждой партии волокон.

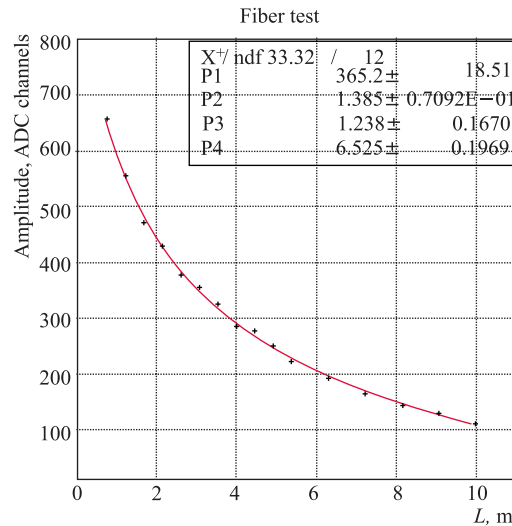


Рис. 9. Результаты измерения типичного волокна «Kuraga» Y11(175)

2. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Для изучения характеристик спектросмещающих волокон необходимо надлежащим образом подготовить изучаемые волокна, произвести калибровку светодиодов и провести измерения и анализ полученных данных.

1. Подготовка волокон. Перед измерениями нарезаются волокна определенной длины и проверяются на отсутствие трещин, внутренних полостей, механических дефектов и др. В зависимости от цели измерений, один из торцов волокон либо полируется, либо зачерняется, либо красится зеркальной краской. Для улучшения светосбора на ФЭУ другой торец полируется.

2. Калибровка светодиодов проводится для выравнивания интенсивностей их излучения посредством регулировки протекающего через них тока. При этом токи, протекающие через светодиоды, должны оказаться такими, чтобы при измерениях сигналы с ФЭУ не превышали максимального допустимого значения шкалы АЦП. Для этого сначала подбирается ток через самый близкий к ФЭУ светодиод, а затем остальные светодиоды выравниваются по данному. Таким образом, при калибровке 16 светодиодов получается калибровочный массив из значений токов и откликов ФЭУ, который используется для измерений затухания света в волокнах.

3. Проведение измерений: исследуемое волокно укладывается в канавку измерительного устройства, светоизолирующий кожух закрывается, подается напряжение питания на ФЭУ, и далее измерения происходят в автоматическом режиме. Полученные в результате данные аппроксимируются подходящей аналитической функцией, в результате чего вычисляются параметры, характеризующие качество исследуемого волокна.

3. ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВА

Устройство для изучения длинных волокон. Устройство применялось для тестирования волокон на участке сборки скантillationных модулей системы целеуказания детектора OPERA.

Устройство для изучения коротких волокон. Проведено изучение двух групп волокон (диаметром 1,2 мм и длиной 40 см) фирм «Bicron» BCF91AMC и «Kuray» Y11(175); в каждом случае противоположный к ФЭУ торец полировался и красился зеркальной краской.

На рис. 10 приведена зависимость сигнала с ФЭУ от расстояния до светодиода. Выделена часть спектра от 0,16 до 0,4 м, соответствующая расстояниям, в которых в калориметрическом модуле развивается электронно-фотонный ливень. Видно, что разница в световыходе между волокнами двух фирм составляет примерно 20 %, а поведение затухания примерно одинаковое. В целом, оба типа волокон удовлетворяют предъявляемым требованиям

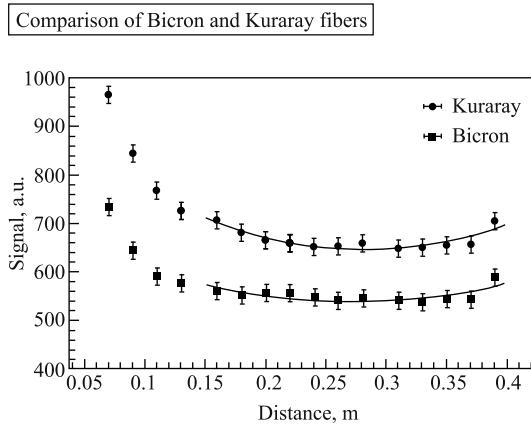


Рис. 10. Зависимость затухания света в волокнах фирм «Bicron» и «Kuraray»

по светосбору, по оценкам (Монте-Карло) вклад затухания света в энергетическое разрешение калориметра незначителен. Были выбраны волокна фирмы «Bicron», хотя они несколько уступают по оптическим характеристикам, однако значительно дешевле.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработано устройство, позволяющее быстро и точно (погрешность $< 2\%$) измерять оптические характеристики спектросмещающих волокон. В НЭОВП ЛЯП ОИЯИ было собрано 3 устройства.

2. Устройство применялось для тестирования и отбора волокон на участке сборки сцинтилляционных стрипов мишенного детектора эксперимента OPERA.

3. Одно из устройств было модифицировано для изучения коротких волокон (до 0,5 м). С его помощью изучены короткие волокна фирм «Bicron» и «Kuraray». Показано, что для модулей калориметра можно использовать более дешевые волокна фирмы «Bicron».

4. Устройство применяется при отборе и контроле волокон для модулей электромагнитного калориметра ECAL0 установки COMPASS.

5. Планируется применение устройства для тестирования волокон электромагнитного калориметра для MPD/NICA [7] (~ 150 км волокон).

ЛИТЕРАТУРА

1. Guler M. et al. Status Report on the Opera Experiment. CERN-SPSC-2001-025. Aug. 2001.
2. Adam T., Baussan E. et al. // NIM A. 2007. V. 577. P. 523–539.

3. *Choudhary C. B., Mualem L.* Technical Specifications for the Procurement of Wavelength Shifting Fibre. NuMI-L-0589. 2000.
4. *Abbon P. et al.* The COMPASS Experiment at CERN // Nucl. Instr. Meth. A. 2007. V. 577. P. 455–518.
5. *Anfimov N. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2010. V. 617. P. 78–80.
6. Kuraray Co., LTD, Methacrylic Resin Division, Scintillation Materials. <http://www.kuraray.co.jp/en/>; e-mail: psf@kuraray.co.jp.
7. *Abraamyan Kh. U. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2011. V. 628. P. 99–102.

Получено 2 февраля 2012 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 25.04.2012.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,87. Уч.-изд. л. 1,08. Тираж 275 экз. Заказ № 57632.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/