

## ПОДВОДНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИРОВАНИЯ НЕЙТРИННОГО ТЕЛЕСКОПА КМЗNeT

**Г. Etiopre\*, С. И. Агафонов, А. О. Грубич, А. С. Лобко,  
А. И. Лаптев\*\*, А. Р. Лопатик, С. А. Кутень, А. А. Хрущинский**

Нейтринный телескоп КМЗNeT (cubic kilometer Neutrino Telescope), строящийся пан-европейским консорциумом и находящийся в настоящее время в стадии дизайн-проекта, будет одним из самых больших из когда-либо построенных детекторов частиц и астрономических инструментов (<http://www.km3net.org>). Идея построения телескопа состоит в расположении трехмерной конструкции из нескольких тысяч ФЭУ, просматривающих примерно кубический километр морской воды Средиземного моря на глубине порядка трех-четырёх километров. Чистота воды вблизи дна моря обеспечивает длину поглощения черенковского света, возбуждаемого мюонами, которые порождаются нейтрино, проходящими через толщу Земли, равной 40–50 м. Временные и пространственные сигналы с фотодетекторов позволят выполнить реконструкцию траекторий мюонов, а следовательно, и нейтрино. ФЭУ будут помещены в специальные прозрачные корпуса, выдерживающие давление до 600 атмосфер, и связаны усиленными подводными стекловолоконными кабелями для передачи данных с детектора на наземную станцию, находящуюся в сотне километров от телескопа.

Инфраструктура КМЗNeT также будет служить платформой для размещения детекторов и сбора данных для мониторинга состояния подводной среды, окружающей нейтринный телескоп. Мониторинг включает измерения чистоты воды, скорости подводных течений, биолюминесценции, вариаций природной и техногенной радиоактивности морской воды, подводной сейсмометрии и других параметров, данные которых позволят учитывать динамику фоновых характеристик детекторной системы. Предполагается также использование данных мониторинга КМЗNeT для исследований в области океанологии, морской биологии, геологии и геофизики.

Одним из основных источников фонового светового излучения, регистрируемого ФЭУ телескопа, будет черенковское излучение, испускаемое морской водой под воздействием электронов радиоактивного распада естественного радионуклида  $^{40}\text{K}$  (максимальная энергия спектра бета-излучения 1.37 МэВ). Удельная активность  $^{40}\text{K}$  в морской воде составляет около 12 Бк/дм<sup>3</sup> и определяет ее естественную радиоактивность в толще морской воды (в поверхностном слое воды вблизи суши присутствует  $^{222}\text{Rn}$  и его дочерние продукты распада; в придонном слое воды весь спектр естественных нуклидов радиоактивных семейств  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ ). Как следствие, мониторинг  $^{40}\text{K}$  в морской воде является одной из многочисленных инженерных задач, решаемых при создании телескопа КМЗNeT.

НИИ ЯП БГУ был приглашен Национальным Институтом геофизики и вулканологии Италии (INGV, г. Рим) разработать прототип подводного гамма-спектрометра для мониторинга в морской воде удельной активности  $^{40}\text{K}$  (гамма-

\* Национальный институт геофизики и вулканологии (Рим, Италия).

\*\* ЗАО «ТИМЕТ» (г. Минск).

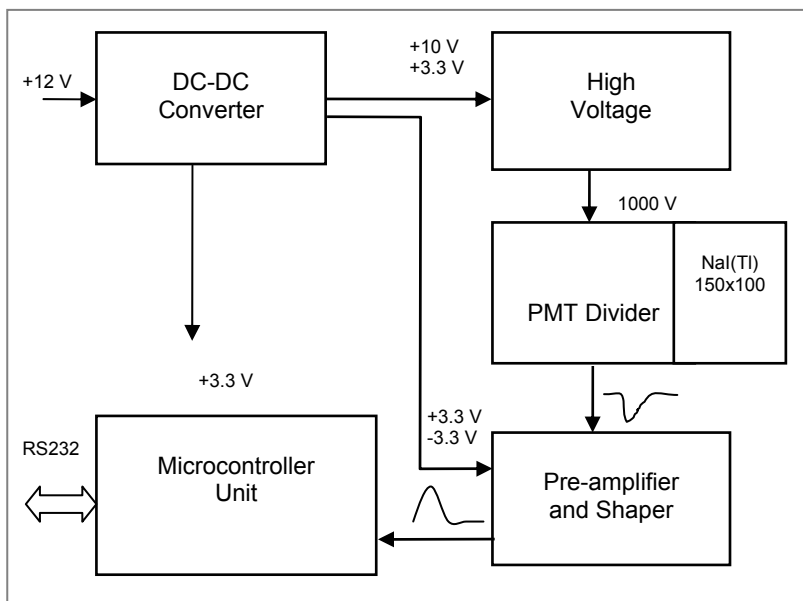


Рис. 1. Структурная схема спектрометра

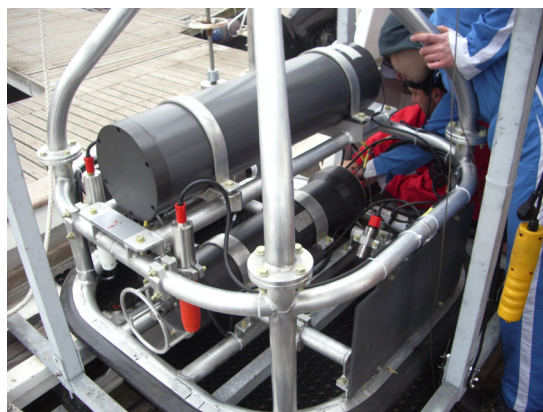


Рис. 2. Спектрометр, размещенный в составе глубоководной исследовательской станции MEDUSA

линия с энергией 1.461 МэВ), а также изотопов семейств  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ , испускающих гамма-излучение. Работа выполнялась в содружестве с компанией Tech-pomare SpA (г. Венеция), ответственной в этом проекте за адаптацию оборудования к условиям глубоководной эксплуатации.

Структура созданного прототипа спектрометра приведена на рис. 1.

Для детектирования гамма-излучения в диапазоне энергий до 3 МэВ использован кристалл NaI(Tl) диаметром 150 мм и длиной 100 мм. Водонепроницаемая оболочка из сплава алюминия цилиндрической формы, рассчитанная на

глубину погружения до 3000 м, разработана компанией Technomare SpA. Общий вид спектрометра, помещенного в водонепроницаемую оболочку, изображен на рис. 2.

На рисунке 3 изображена расчетная зависимость эффективности спектрометра в водонепроницаемой оболочке в водной среде в зависимости от энергии гамма-излучения, полученная методом моделирования Монте-Карло.

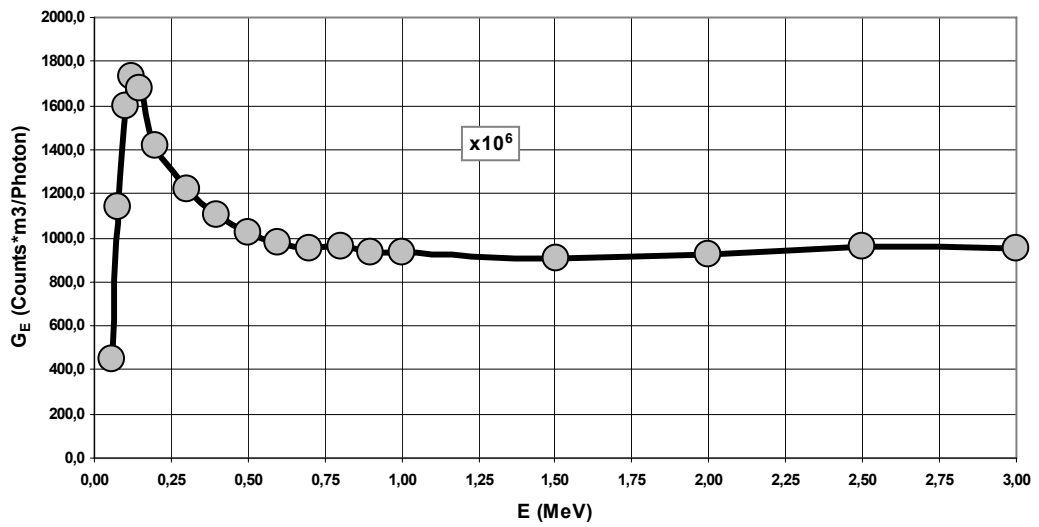


Рис. 3. Расчетная зависимость эффективности спектрометра в водонепроницаемой оболочке в водной среде в зависимости от энергии гамма-излучения

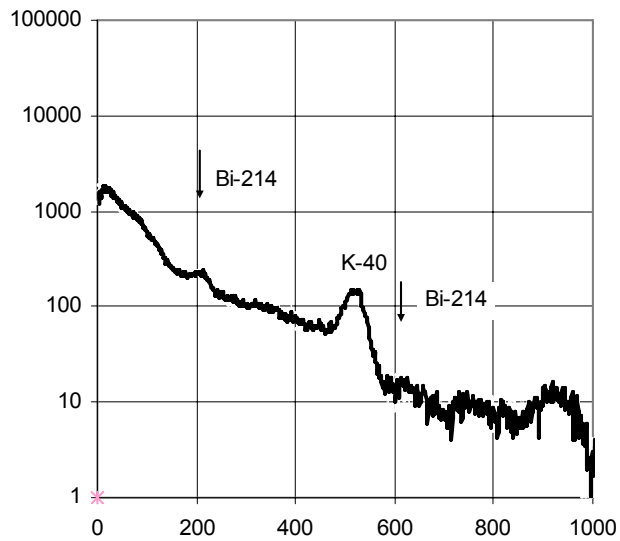


Рис. 4. Экспериментальный спектр на испытаниях спектрометра в северной части Адриатического моря



Рис. 5. Извлечение спектрометра после глубоководной долговременной миссии

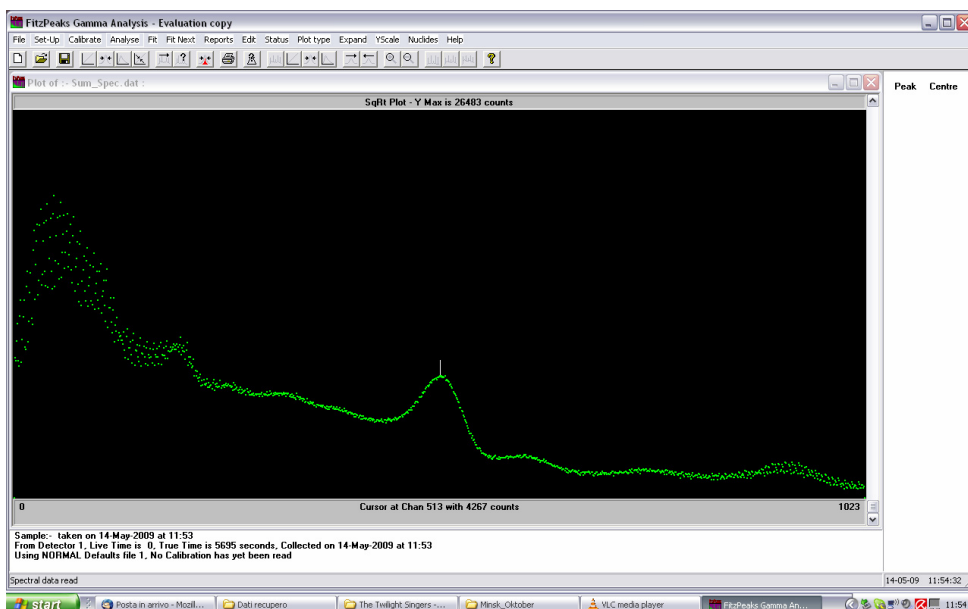


Рис. 6. Образец гамма-спектра естественной радиоактивности средиземноморской воды на большой глубине в районе Сицилии

Обработка спектра, приведенного на рис. 4, специальной программой анализа спектров, разработанной для обеспечения работы подводного спектрометра, дает следующие значения для удельных активностей, Бк/дм<sup>3</sup>:

- 9.8 – <sup>40</sup>K;
- 1.4 – <sup>222</sup>Rn;
- 0.21 – <sup>232</sup>Th.

В ходе выполнения морских испытаний на глубине погружения спектрометра была отобрана проба воды. Результат лабораторного анализа пробы морской воды (БелГИМ, протокол № 217 от 31.03.2008), Бк/кг:

- $10.6 \pm 4.3$  –  $^{40}\text{K}$  (гамма-спектрометрия);
- $0.65 \pm 0.25$  –  $^{232}\text{Th}$  (гамма-спектрометрия).

Приведенные результаты подтверждают работоспособность созданного подводного спектрометра. Однако для выяснения его эксплуатационных характеристик при регистрации изотопов рядов  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  требуются дополнительные натурные и лабораторные исследования.

В период с 4 ноября 2008 г. по 11 мая 2009 г. гамма-спектрометр находился на глубоководных измерениях в Средиземном море (рис. 5). За время работы в памяти спектрометра был накоплен 751 спектр. Это означает, что он отработал весь срок без сбоев и пропусков данных. Образец гамма-спектра при глубоководном расположении спектрометра показан на рис. 6. Детальный анализ полученных данных будет опубликован позже.

## **UNDERWATER SPECTROMETER FOR MONITORING SYSTEM OF KM3NET NEUTRINO TELESCOPE**

**G. Etiop<sup>\*</sup>, S. I. Agafonov, A. A. Grubich, A. S. Lobko, A. I. Laptev<sup>\*\*</sup>,  
A. R. Lopatik, S. A. Kuten, A. A. Khruschinsky**

Underwater scintillation gamma-spectrometer to monitor activity of K-40 and some other nuclides in seawater was developed in the INP on the request of National Institute for Geophysics and Vulcanology (Italy) and tested in laboratory and real sea conditions. The spectrometer is intended to monitor natural radio-activity background near the sea-bed at the site of KM3Net neutrino telescope deployment in the Mediterranean. Comparison of the K-40 spectrometer measurement results aquired in the Adriatic Sea with independent laboratory (Belarus State Institute for Metrology) measurement results of the water samples taken during the spectrometer immersion shows very good agreement.

---

\* Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Rome, Italy).

\*\* Company "TIMET", Minsk.