

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ МЮОНОВ
ПО ЧЕРЕНКОВСКОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ В МОРЕ

Н. В. Владимирский, Е. Е. Журавлев, Л. М. Лисыцин,
В. П. Пустоветов, Г. Д. Давимус, Ю. А. Трубкин,
В. М. Федоров

УДК 537.591

Приводятся краткое описание варианта глубоководной установки для детектирования космических мюонов по их черенковскому излучению в окружающей морской воде и результаты первых испытаний, проведенных в Средиземном море в июне 1981 г.

Исследование поглощения мюонных потоков космического происхождения в больших толщинах вещества (до десятка километров) представляет интерес с различных точек зрения, поскольку оно связано как с ядерно-физическими, так и с астрофизическими аспектами проблемы космических лучей при энергиях до $\sim 10^{15}$ эВ/нуклон.

К настоящему времени сложилась следующая экспериментальная ситуация для двух естественных поглотителей (грунт и вода). Многочисленные измерения в грунте доведены до глубин ~ 15 км водного эквивалента, тогда как в воде подобные измерения доведены только до глубины 3,2 км и только в одном эксперименте /1/. В то же время, интерес к экспериментальным данным по глубоководному детектированию релятивистских мюонов как физического, так и методического характера, проявляется довольно значительный, особенно в плане выяснения оптимальных условий для реализации такого крупного многоцелевого проекта, как ДЮМАНД. Такое положение сложилось главным образом из-за специфических трудностей, сопутствующих проведению глубоководных

исследований в открытом море, главная из которых — обеспечить работу крупной физической установки в условиях большого гидростатического давления.

По-видимому, единственный способ, позволяющий получить максимально возможную площадь детектора, это использовать естественную воду океана как радиатор черенковского излучения космических мюонов и регистрировать его фотоумножителями, установленными на определенной глубине и защищенными только от гидростатического давления /2/.

Используя опыт наших предыдущих подводных измерений /1/, мы разработали вариант глубоководной установки — глубоководный черенковский счетчик, в котором фотоумножители регистрируют свет прямо в открытом объеме морской воды, окружающей установку. Фотоумножители, регистрирующие черенковский свет, заключены в прочные контейнеры типа использованных в наших предыдущих измерениях и хорошо зарекомендовавших себя на практике. Установка составлена из трех контейнеров, в каждом из которых может быть размещено до 13 штук фотоумножителей ФЭУ-110 с диаметром фотокатода 80 мм. Основной корпус контейнера цилиндрической формы и изготовлен из дюралюминия. Для каждого фотоумножителя имеется отдельное сквозное цилиндрическое отверстие. Со стороны фотокатодов все отверстия перекрываются одним общим иллюминатором — плексигласовым полированным цилиндром с диаметром, равным диаметру основного корпуса и толщиной 80 мм. Фотоумножители установлены каждый в своем гнезде и плотно прижаты катодом к иллюминатору. Электронные схемы для питания ФЭУ и усиления его сигнала смонтированы вокруг тонкой части фотоумножителя. Со стороны, противоположной иллюминатору, контейнер закрывается прочной крышкой, в которой предусмотрено отверстие для линий электропитания ФЭУ и высокочастотных кабелей для съема информации с них. Контейнеры соединены между собой прочной трубой, в которой размещены схема тройных совпадений, регистрирующее устройство и часы. Контейнеры соединены так, что все катоды расположены в одной плоскости и регистрируют свет, например, из верхней полусферы, если установка поставлена катодами вверх. Расчет прочности контейнеров проводился для давлений, соответствующих глубине ~8 км, и проверялся при испытаниях моделей. Модели для проверки изготавливались из тех же материалов, что и основные

детали в масштабе 1:5 и испытывались при объемном сжатии в специальном контейнере высокого давления. Данные таких испытаний для моделей корпусов различных конфигураций и илломинаторов разных толщин хорошо согласуется с результатами аналогичных испытаний, выполнявшихся О. Пикаром /3/.

Для повышения надежности при выделении импульсов, соответствующих именно пролету частицы, все ФЭУ были объединены в три группы. При работе с одним контейнером в группу объединялось по 4 ФЭУ, а при работе с тремя контейнерами – по 12. Импульсы от каждого ФЭУ, входящего в группу, после предварительного усиления суммировались, причем порог устанавливался на уровне, соответствующем $I - 1,5$ электрона с фотокатода /4/. Далее после каскада усиления и соответствующего формирования суммарный импульс от группы подавался на схему совпадений с разрешающим временем $5 \cdot 10^{-8}$ с. Регистратор записывал каждый импульс совпадения на бумажной ленте самописца, на которой каждые 15 мин также отмечалась метка времени по сигналу от часов.

Питание всех электрических цепей счетчика осуществлялось от аккумулятора на 12 В, обеспечивавшего непрерывную работу всех узлов прибора в течение 120 часов. Высокое напряжение для ФЭУ вырабатывалось по схеме, предложенной в /5/. Аккумулятор включался через специальный гидроконттакт, который срабатывал, когда давление при опускании прибора соответствовало глубине 1500 метров.

Значения светосилы и ожидаемого числа событий, рассчитанные с использованием соотношений, приведенных в /2/ для трехмодульной установки с 30 фотоумножителями ФЭУ-110, представлены в табл. 1.

Рабочие испытания прибора были выполнены в июне 1981 г. в Средиземном море во время VI рейса научно-исследовательского судна "Профессор Штокман". Работы проводились с одномодульным вариантом, содержащим 12 ФЭУ. На заданных глубинах установка экспонировалась с борта корабля на тросе. Глубина погружения определялась по показаниям эхолота и одновременно контролировалась по длине вытравленного троса с помощью механического счетчика. Результаты проведенных испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 1

Глубина, км	Светосила, м ² . стер.	Время экспозиции	Рассчитанное число регистрируемых мюонов
1,0	48,5	37 мин	1000
2,0	42,7	6 час	1000
3,0	38,0	31 час	1000
4,0	34,5	120 час	1000
5,0	31,5	120 час	315
6,0	29,0	120 час	108
7,0	26,7	120 час	40
8,0	25,0	120 час	15

Таблица 2

Глубина, м	Время наблюдения, мин	Ожидаемое число мюонов	Зарегистрированное число мюонов
2000	248	270	232
3000	531	105	87
3700	590	40	31

Поскольку интенсивность космических мюонов I убывает с глубиной H довольно резко, при измерениях на заданной глубине наибольший вклад в общую неопределенность вносит ошибка ΔH в определении самой глубины:

$$\Delta I/I \approx \gamma b H \exp(bH) [\exp(bH) - 1]^{-1} \Delta H/H,$$

где $\gamma \approx 2,7$, $b \approx 0,35 \text{ км}^{-1} / 6/$.

В данной серии измерений необходимая коррекция к показаниям экзолота не производилась, так как требует точных измерений температуры и солености воды по всему разрезу в месте работы. Оценки, сделанные на основе имеющихся литературных данных по океанографии района, где проводились работы, показывают, что

поправка на максимально достигнутой нами глубине может составлять величину ≈ 100 м. Требуют поправок также и показания измерителя длины вытравленного троса. Среди них — влияние дрейфа судна, раскручивание и вытягивание троса под нагрузкой, проскальзывание троса на колесе счетчика метров и пр. Учитывая это, в проведенном испытании точность фиксации глубины $\Delta H/H$ оказалась на уровне $\approx 3\%$, а определяемая ею погрешность в величинах ожидаемых потоков от 12% до 15%. Кроме этого, $\Delta I/I$ для данного метода зависит также от погрешностей в определении прозрачности воды λ и точности установки порога дискриминации p_e . Таким образом, полная ошибка в определении зарегистрированного потока мюонов оценивается $\approx 20\%$. Таким образом, с учетом указанной ошибки число зарегистрированных событий не противоречит результатам расчета.

Авторы благодарят академика М. А. Маркова за постоянное внимание и интерес к работе.

Поступила в редакцию
8 октября 1981 г.

Л и т е р а т у р а

1. Л. Н. Давитаев, Ю. А. Трубкин, В. М. Федоров, Краткие сообщения по физике ФИАН, № 1, 45 (1970).
2. В. П. Пустоветов, Ю. А. Трубкин, В. М. Федоров, Препринт ФИАН № 60, 1981 г., см. также Краткие сообщения по физике ФИАН, № 1, 63 (1982).
3. О. Пикар, На глубину морей в батискафе, Судпромгиз, 1961 г.
4. В. П. Пустоветов и др., Препринт ФИАН № 21, 1975 г.
5. С. Р. Лемзяков, А. К. Шереметьев, ПТЭ, № 5, 172 (1976).
6. Ю. А. Трубкин, Диссертация, ФИАН, 1981 г.