

ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ МЮОНОВ ПОД ВОДОЙ

Л.Н. Давитаев, Ю.А. Трубкин, В.М. Фёдоров

Исследование поглощения мюонов космического излучения в больших толщинах вещества (порядка нескольких километров) позволяет, прежде всего, получить сведения об одной из основных характеристик космического излучения — энергетическом спектре мюонов на уровне моря в области, недоступной для прямых спектрометрических измерений, и, с другой стороны, по различиям поглощения в разных средах (в данном случае — грунт и вода) определить долю так называемых “ядерных” потерь энергии мюона, знание которых позволит оценить величину фотоядерного сечения при энергиях, значительно превышающих достигнутые на современных ускорителях.

Измерения в грунте к настоящему моменту проделаны в нескольких лабораториях мира и доведены до весьма значительных глубин — до восьми и даже девяти километров водного эквивалента¹. В то же время, поглощение на больших глубинах в воде изучено явно слабее: так, до последнего времени была выполнена практически лишь одна экспериментальная работа², где измерения проведены только до глубины 1380 м, хотя из-за постоянства плотности и состава воды такие измерения даже предпочтительнее. Кроме того, в воде, как в более лёгком веществе, вклад “ядерных” потерь относительно больше.

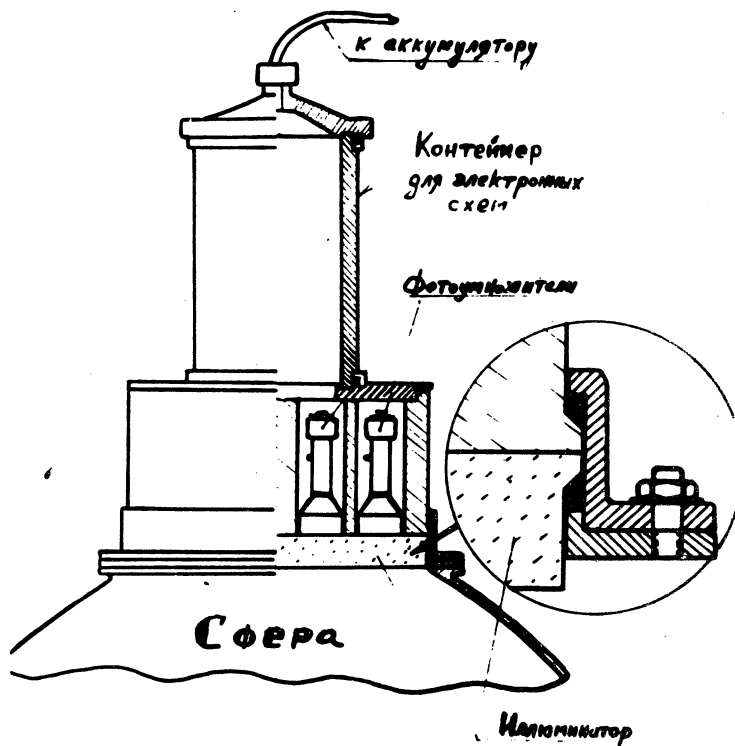
Основная трудность глубоководных измерений заключается в герметизации аппаратуры, площадь которой должна быть довольно большой (порядка нескольких кв.

метров) из-за малой интенсивности потоков мюонов на таких глубинах.

Применение естественной морской воды в качестве радиатора черенковского излучения релятивистских частиц значительно облегчает задачу создания и эксплуатации в экспедиционных условиях подобной аппаратуры, а прозрачность морской воды (см., например, ³) позволяет производить регистрацию космических мюонов на необходимой площади. На основании этого был разработан черенковский детектор без фокусировки с диффузно-отражающей внутренней поверхностью, с помощью которого нами были проведены измерения глобальной интенсивности космического излучения в воде на глубинах до 3200 м.

Схематическое изображение счётчика представлено на рис.1. Сферический объём, диаметром 1,2 м, выкрашенный изнутри специальной белой краской с коэффициентом отражения $\approx 0,9$, автоматически заполнялся заборной морской водой при погружении. Внутри сферы через плексигласовый иллюминатор толщиной 55мм "смотрят" 15 фотоумножителей ФЭУ-24. Все фотоумножители были разделены на три группы по 5 штук в каждой. Импульсы от фотоумножителей, входящих в группу, суммировались и подавались на один из входов трёхкратной схемы совпадений с разрешающим временем $\approx 6 \cdot 10^{-8}$ сек. Запись информации производилась на бумажную ленту самописца оригинальной конструкции. Фотоумножители и последующие схемы, а также преобразователи и стабилизаторы питающих напряжений помещены в прочный контейнер, способный противостоять высоким наружным давлениям воды. Питание аппаратуры осуществлялось от аккумуляторной батареи, с напряжением 32 вольта и ёмкостью 100 а-час, которая обеспечивала непрерывную работу прибора в течение двух суток. Аккумуляторы размещались в двух герметических гонкостенных стальных контейнерах, свободный внутренний объём которых заполнялся трансформаторным мас-

лом. Каждый контейнер был снабжен дополнительным эластичным объемом с трансформаторным маслом для компенсации наружного давления воды.



Р и с. 1.

Установка полностью автономна и может использоваться как с борта корабля, так и при постановке на буй. Полный вес установки в сборе 750 кг.

Прохождение единичного мюона через черенковский детектор вызывает в среднем выбивание минимум 4,5 фотоэлектронов с фотокатода каждого ФЭУ. Такое число позволяет установить порог дискриминации на каждой группе фотоумножителей, который обеспечивает уро-

вень шумов установки менее 1/сутки. Эффективность установки при этом $\approx 85\%$.

Первая серия измерений на глубинах до 1600 м была проведена на Чёрном море в июне 1968 г. Установка экспонировалась на различных глубинах с борта корабля "Московский Университет". Дальнейшие измерения на больших глубинах были проведены в марте-апреле 1969 г. во время ХХП рейса научно-исследовательского судна "Михаил Ломоносов": 2000 м в Средиземном море (36°58,7' с.ш. 18°56,7' в.д.) с борта корабля и 3200 м - в Атлантическом океане (37°18,5' с.ш. 10°04' в.д.) при постановке аппаратуры на буй.

Глубина погружения во всех экспериментах определялась по длине вытравленного троса с учётом поправок, рекомендуемых в технике гидрографических работ⁴. Погрешность в определении глубины для разных горизонтов разная и лежит в пределах 1-3%.

Полученные данные представлены в 1 - 4 колонках следующей таблицы:

Глубина от поверхности в метрах	Общее время наблюдения в минутах	Полное число отсчётов	Глобальная интенсивность $I(h)$ см ⁻² . сек ⁻¹	p	Вертикальная интенсивность $I(h,0)$ см ⁻² . сек ⁻¹ степ ⁻¹
250	105	2913	$4,81 \cdot 10^{-5}$	2,0	$2,3 \cdot 10^{-5}$
300	90	1793	$3,46 \cdot 10^{-5}$	2,1	$1,7 \cdot 10^{-5}$
500	180	1057	$1,02 \cdot 10^{-5}$	2,1	$5,2 \cdot 10^{-6}$
600	405	1525	$6,54 \cdot 10^{-6}$	2,2	$3,3 \cdot 10^{-6}$
750	120	252	$3,65 \cdot 10^{-6}$	2,4	$2,0 \cdot 10^{-6}$
1090	570	375	$1,14 \cdot 10^{-6}$	2,9	$7,1 \cdot 10^{-7}$
1970	945	126	$2,31 \cdot 10^{-7}$	3,2	$1,5 \cdot 10^{-7}$
3190	5535	114	$3,57 \cdot 10^{-8}$	3,6	$2,6 \cdot 10^{-8}$

Из данных о глобальной интенсивности $I(h)$ можно получить значения вертикальной интенсивности $I(h,0)$, зная величину показателя степени n в угловом распределении:

$$I(h,\theta) = I(h,0)\cos^n \theta,$$

где θ – зенитный угол на глубине h .

Оценки величины n были выполнены с точностью $\cong 15\%$. При этом предполагалось, что для глубин $\gg 2000$ м, согласно⁵, применимо соотношение

$$I(h,\theta) = I(h \sec\theta,0)\sec\theta$$

Для меньших глубин n определялось сравнением полученных данных с результатами работы¹.

$I(h \sec\theta,0)$ – вертикальная интенсивность мюонов на глубине $h \sec\theta$ рассчитывалась методом Монте-Карло при различных предположениях о спектре мюонов на уровне моря и видах их энергетических потерь в воде.

Предварительный анализ показывает, что в наилучшем согласии с экспериментальными результатами находятся кривые поглощения, полученные для энергетического спектра мюонов на уровне моря, описываемого степенной функцией энергии с показателем $\cong 2,7$.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Menon M.G.K., Ramana P.V., Murthy, Prog. Elem. Part. and Cosmic Ray Phys., vol.9 (North-Holland, Amsterdam) 1967.
2. Higashi S. et al., Nuovo Cimento, 43A, 334, 1966.
3. Шулейкин В.В. "Физика моря" М., 1953.
4. Белобров А.П. Гидрографические работы судовыми средствами М-Л., 1949.
5. Зацепин Г.Т., Кузьмин В.А. ЖЭТФ, 39, 1677 (1960).
K.Maeda, Jour. Geoph., Res. 69, 1725 (1964).