

A-697



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

2392/2-81

18/5-81

13-81-147

А.И.Аношин, В.В.Ужинский, А.П.Чеплаков

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ  
ТРЕКОВОГО ДЕТЕКТОРА БОЛЬШОГО ОБЪЕМА

1981

Большая проникающая способность частиц сверхвысоких энергий и нейтрино, а также увеличение длин порождаемых ими ядерно-электромагнитных ливней с ростом энергии, обуславливают основные трудности регистрации и изучения их взаимодействий с веществом. При исследовании космических высокоэнергичных частиц дополнительные трудности возникают из-за резкого убывания потока таких частиц с увеличением их энергии. Все это, а также необходимость контроля за утечкой радиоактивных отходов, в частности, захороненных в океане, требуют создания детекторов очень большого объема. Решение указанных задач с помощью обычных детекторов, использующих неравновесные среды или регистрирующих энергию, выделяемую самими частицами, сильно затрудняется из-за непропорционального возрастания технической сложности и стоимости таких детекторов с увеличением их объема, что побуждает к изысканию принципиально новых методов регистрации. Один из возможных и обсуждается в настоящей работе.

Предлагается использовать морские светящиеся организмы /МСО/, способные "отвечать" световой вспышкой на внешнее раздражение, для детектирования ионизирующих излучений. МСО, в частности, простейшие одноклеточные микроорганизмы видов *Noctiluca miliaris* (NM)\*, *Gymnodinium* (GM), *Prorocentrum*, *Goniatax* обладают способностью "отвечать" световой вспышкой на механическое, химическое, электрическое и световое воздействия. В спокойном, невозбужденном состоянии они не светятся<sup>1/</sup>. Известно, что движение механического агента в воде со скоростью  $v = 30$  см/с, что в пересчете на плотность потока энергии составляет  $J_p = 8,43 \cdot 10^{15}$  эВ/см<sup>2</sup>, инициирует световую вспышку NM. Длительность вспышки /200-500 мс/ и ее интенсивность / $n_\gamma \approx \approx 10^8$  фотонов/<sup>1,2/</sup>, при превышении порога раздражения не зависит от величины действующего фактора. Спектральный состав излучения лежит в области 400-600 нм, т.е. в области наибольшей прозрачности морской воды. Источником света является реакция ферментативного окисления органических веществ, управляемая самим микроорганизмом. Аналогичными характеристиками обладают и все другие МСО<sup>1,2/</sup>.

---

\* *Noctiluca miliaris* или ночесветка широко распространена в морях нашей страны и наиболее хорошо изучена.

При прохождении заряженной частицы через воду на ее треке возникают  $\delta$ -электроны, способные породить ударную волну /УВ/  $3 \cdot 10^5$ . Плотность потока энергии в УВ, следуя работе [4], можно оценить как

$$J = E_{\delta} \cdot \eta \cdot \kappa \cdot 4\pi r^2 \dot{\tau} \quad /1/$$

где  $E_{\delta} = 1,23$  кэВ - энергия  $\delta$ -электрона;  $\eta \approx 0,5$  - доля от  $E_{\delta}$ , передаваемая в УВ;  $r$  - расстояние от центра теплового пика;  $\tau = \Delta x / c_0$  - время прохождения фронта УВ толщиной  $\Delta x \approx 10^{-6}$  см  $^6$  со скоростью звука  $c_0 = 1,45 \cdot 10^5$  см/с;  $(1-\kappa)$  - эффективный коэффициент поглощения энергии УВ

$$\kappa = \frac{1}{f_B} \int_0^{f_B} \exp(-2 \cdot V \cdot r \cdot f^2) df \quad /2/$$

где  $f_B = 10^9$  Гц  $^4/$ , а  $V \approx 0,85 \cdot 10^{-14} \cdot 7/$ , если  $r$  выражено в см, а частота  $f$  - в герцах.

Из условия  $J = J_p$  найдем, что порог раздражения МСО будет превышен при  $r \leq 80$  мкм. Очевидно, что надпороговое раздражение должно захватывать определенную часть объема организма, чтобы вызвать его ответную реакцию. Поэтому будем считать, что прохождение ионизирующей частицы, сопровождаемое рождением  $\delta$ -электрона, вызывающего УВ, через тело МСО вида NM, имеющего размеры порядка  $d_0 = 200-500$  мкм  $^1/$ , инициирует световую вспышку. Это позволяет оценить световой выход  $L$  среды, содержащей NM, при прохождении одиночной заряженной частицы.

$$L = n_{\gamma} \cdot (\rho \cdot \pi \cdot r_0^2) \cdot (n_{\delta} \cdot 2 \cdot r_0) \quad /фотонов/см/, \quad /3/$$

где  $\rho$  /особей/см $^3$ / - концентрация NM;  $n_{\delta} \approx 15$  /см $^{-1}$ / - линейная плотность  $\delta$ -электронов, порождающих УВ;  $2r_0 = d_0 = 350$  мкм. При  $\rho = 1$ ,  $L \approx 5 \cdot 10^4$ , а при  $\rho = 10^2$ ,  $L \approx 5 \cdot 10^6$ , при этом свет будет излучаться изотропно отдельными светящимися точками на треке с линейной плотностью  $0,1$  см $^{-1}$ . Отметим, что естественные концентрации NM изменяются в пределах  $1+45$  особей/см $^3$   $^2/$ . Концентрации же других МСО в естественных условиях могут достигать  $2 \cdot 10^4$  см $^{-3}$  (GM)  $^2/$ , а интенсивность может превосходить интенсивность свечения NM в  $10^6$  раз  $^8/$ .

Вышеизложенное дает основание полагать возможным создание трекового детектора большого объема с использованием МСО /биолюминесцентная камера/ со световыходом на несколько порядков больше световыхода обычных сцинтилляторов. Такие детекторы могут найти применение в исследованиях широких атмосферных ливней /ШАЛ/, взаимодействий нейтрино и мюонов сверхвысоких энергий с нуклонами и ядрами /проект DUMAND /, а также в регистрации распределенных полей ионизирующей радиации. Возмож-

но, что такой детектор существует на Земле уже сотни миллионов лет в морях и океанах.

Авторы выражают благодарность Л.А.Блюменфельду, А.П.Гаспаряну, В.И.Корогодину, Л.И.Липидусу, М.И.Подгорецкому, О.В.Савченко, Л.И.Сарычевой, М.К.О.Сулейманову за полезные обсуждения и критические замечания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гительзон И.И. Живой свет океана. "Наука", М., 1976.
2. Тарасов Н.И. Свечение моря. Изд-во АН СССР, М., 1956; Биолюминесценция моря. "Наука", М., 1969.
3. Аскарьян Г.А. АЭ, 1957, 3, с.152.
4. Аношин А.И. ЖТФ, 1977, 47, с.2186.
5. Воловик В.Д., Петренко В.В., Попов Г.Ф. Препринт ИЯИ, П-0092, М., 1978.
6. Коул Р. Подводные взрывы. "Мир", М., 1950.
7. Свездлин Г.М. Гидроакустика и подводные электроакустические преобразователи. Изд-во ЛГУ, Л., 1975, т.1.
8. Proc. of the 1975 Summer Workshop on the Deep Underseas Muon and Neutrino Detector. Editors: Kotzer P., Lord J., Reines F. August, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 февраля 1981 года.