

пине всей окисной пленки. Следует отметить, что в указанной выше области энергий протонов реакция (p, γ) с изотопом O^{16} не имеет места.

Разрешающая способность метода определяется энергетической неоднородностью ускоренных протонов, шириной резонансного пика реакции и энергетическим стрэглингом протонов вследствие флуктуаций числа и типа столкновений при проникновении в мишень. Для определения величины стрэглинга использовались данные работы [6].

Система стабилизации ускорителя обеспечивала точность измерения энергии протонов не хуже 0,1%.

Облучение мишеней протонами и измерение выхода γ -излучения проводилось на электростатическом ускорителе Физико-технического института АН УССР. Регистрация γ -квантов осуществлялась с помощью однокристалльного гамма-спектрометра со сцинтиляционным счетчиком, состоящим из кристалла NaI(Tl) и фотомножителя ФЭУ-43.

На рисунке представлена типичная экспериментальная кривая и показано изменение разрешающей способности в зависимости от глубины. По оси ординат отложена безразмерная величина, пропорциональная выходу γ -излучения, который в свою очередь пропорционален концентрации кислорода. Из рисунка видно, что ширина кривой распределения на половине высоты, характеризующая среднюю глубину проникновения кислорода, составляет примерно 0,5 мк, что хорошо согласуется с оценкой толщины окисной пленки из веховых измерений до и после окисления.

Таким образом, метод дает возможность непосредственно определять характер распределения кислорода по глубине окисленного образца без его разрушения. Кроме того, предложенный метод вполне пригоден для изучения процессов диффузии кислорода в различные материалы. Верхний предел метода по глубине может быть увеличен путем последовательного удаления поверхностных слоев и повторения описанной выше процедуры.

Авторы выражают благодарность А. П. Ключареву и Б. Ф. Зеленскому за существенные замечания.

Поступило в Редакцию 9/IV 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Ollerhead, E. Almqvist, J. Kühner. *J. Appl. Phys.*, **37**, 2440 (1966).
2. G. Amsel, D. Samuel. *J. Phys. Chem. Solids*, **23**, 1707 (1962).
3. М. И. Гусева, Е. В. Инопин, С. П. Цытко. *ЖЭТФ*, **36**, 3 (1959).
4. Kun-Kuang Huang et al. *J. Phys. Soc. Japan*, **18**, 646 (1963).
5. W. Whaling. *Handbuch der Physik*. Vol. 34. Berlin, Springer-Verlag, 1958, p. 139.
6. J. Comfort et al. *Phys. Rev.*, **150**, 249 (1966).

О пространственном распределении нейтронов космического излучения вблизи поверхности раздела атмосфера — земля

Г. В. ГОРШКОВ, О. С. ЦВЕТКОВ

УДК.539.125.52:523.16

В настоящем сообщении приведены результаты экспериментальных исследований высотного распределения нейтронов космического излучения в приземном слое воздуха (до высоты 2000 м над уровнем моря) и распределения интенсивности нейтронов ниже границы раздела атмосфера — земля (песчаная среда) до глубины 140 г·см⁻². Искажение энергетического спектра оценивалось по кадмиевому отношению. В качестве индикатора нейтронов использованы пропорциональные счетчики с трехфтористым бором типа СНМ-8. Счетчики были объединены в две секции по пять счетчиков в каждой. Электроннорегистрирующая часть установки, выполненная на полупроводниковых приборах, состояла из двух каналов, включенных на антисовпадения с третьим каналом — каналом исключения помех.

Измерения в приземном слое атмосферы проводили над поверхностью песчаной среды, измерения ниже поверхности раздела атмосфера — земля проводили в песке влажностью 5,5 вес. % и плотностью 1,4 г·см⁻³. Измерения проводились в течение апреля — августа 1966 г. Временные и нерегулярные вариации космического излучения контролировались по специальному нейтронному монитору, который находился на поверхности земли. Существенных выбросов интенсивности нейтронного излучения за период наблюдений замечено не было. Контроль за чувствительностью установки производился с помощью RaD — Po + Be-источника; при необходимости вводилась корректировка к заданному уровню. Величина остаточного фона десяти

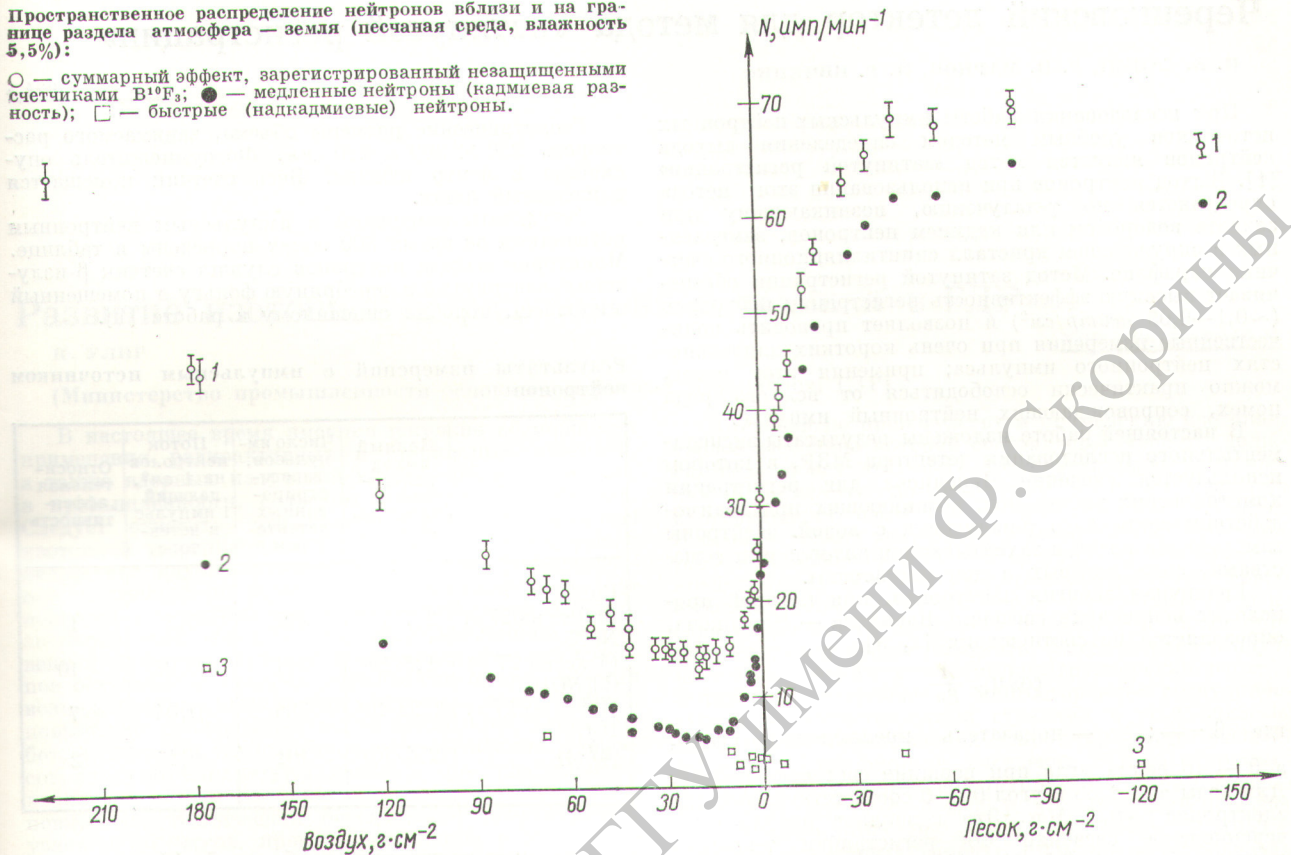
счетчиков СНМ-8, обусловленная в основном естественной радиоактивной загрязненностью материалов счетчиков, составляла $4,8 \pm 0,1$ имп/мин.

Измеренные скорости счета, предварительно исправленные на барометрический эффект, приведены на рисунке. Значение барометрического коэффициента принималось равным 0,96% на 1 мм рт. ст. Температурные поправки и поправки на временные вариации космического излучения не вводились.

Анализ кривых показывает, что в атмосфере при толщинах слоя воздуха над земной поверхностью $x > 60$ г·см⁻² интенсивность нейтронного излучения изменяется экспоненциально со средним пробегом для поглощения нейтронов $L = 150 \pm 10$ г·см⁻². Начиная с толщин $x \leq 50$ г·см⁻² (около 500 м над уровнем моря и ниже) появляется влияние земной поверхности, вследствие чего распределение плотности нейтронов с приближением к земной поверхности существенно отклоняется от закономерности высотного распределения в равновесной области. Минимум плотности медленных нейтронов (кадмиевая разность) наблюдается при $x \approx 20$ г·см⁻², затем кривая довольно круто поднимается вверх. Из кривой β видно, что интенсивность быстрых нейтронов (эффект, зарегистрированный экранированными кадмием пропорциональными счетчиками за вычетом остаточного фона счетчиков) в отличие от медленных нейтронов падает по мере приближения к земной поверхности. Увеличение плотности медленных нейтронов вблизи земной поверхности происходит в результате отражения медленных атмо-

Пространственное распределение нейтронов вблизи и на границе раздела атмосфера — земля (песчаная среда, влажность 5,5%):

○ — суммарный эффект, зарегистрированный незащищенными счетчиками В¹⁰Г; ● — медленные нейтроны (кадмиевая разность); □ — быстрые (надкадмиевые) нейтроны.



сферных нейтронов, диффузии замедленных в почве быстрых атмосферных нейтронов и диффузии образованных в поверхностном слое почвы и замедленных в ней нейтронов. При переходе в плотную среду (песок) интенсивность медленных нейтронов (кривая 2) достигает максимального значения в области 50—80 г·см⁻², в которой плотность нейтронов в 2,8 раза больше, чем на границе раздела. Этот переходный эффект обусловлен как наличием в атмосфере быстрых нейтронов, которые, попадая в водородсодержащую среду, замедляются на небольших расстояниях, так и нейтронами, образованными в песке под действием нуклонов и μ -мезонов космического излучения. Положение и форма максимума определяются энергетическим спектром нейтронов космического излучения и химическим составом среды (в частности, средним атомным весом среды, содержанием влаги, а также длиной замедления и длиной диффузии нейтронов *).

Кадмиевое отношение, определяемое как отношение скорости счета пропорциональных счетчиков СМ-8 без кадмиевого покрытия к скорости счета счетчиков с кадмиевым экраном за вычетом остаточного фона счетчиков, в равновесной области атмосферы (от $x_1 = 180$ г·см⁻² до $x_2 = 70$ г·см⁻²) постоянно и близко к 2,5, что находится в хорошем согласии с литературными данными *. В то время как в приземном слое воздуха ($x \lesssim 50$ г·см⁻²) кадмиевое отношение увеличивается по мере приближения к земной поверхности, в частности при $x = 5,5$ г·см⁻² (около 40 м над поверхностью земли), кадмиевое отношение $K_{Cd} \approx 3,8 : 1$; при $x = 0,7$ г·см⁻² ($h \approx 5$ м) $K_{Cd} \approx 6 : 1$ и на границе раздела воздух — песок K_{Cd} близко к 10 : 1. При переходе в плотную среду (песок, влажность 5,5%) кадмиевое отношение составляет 12 : 1 и 17 : 1 при $x = 7$ г·см⁻² и $x = 45$ г·см⁻² соответственно.

В заключение авторы благодарят Ю. С. Мартынова и М. И. Тимошину за помощь при измерениях.

Поступило в Редакцию 28/II 1969 г.

* Для кварцевого песка влажностью 5,5%, плотностью 1,4 г·см⁻³ вычисленное значение длины замедления быстрых нейтронов $\Lambda = 20$ см, длина диффузии тепловых нейтронов $L_1 = 18$ см.

* Г. В. Горшков и др. Естественный нейтронный фон атмосферы и земной коры. М., Атомиздат, 1966.