

ГЕОХИМИЯ

Г. В. ГОРШКОВ, Н. М. ЛЯТКОВСКАЯ, А. Г. ГРАММАКОВ и В. С. ЖАДИН
 К ВОПРОСУ О НЕЙТРОННОМ ИЗЛУЧЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД

(Представлено академиком В. И. Вернадским 27 III 1938)

Известно, что при бомбардировке α -лучами ряд легких элементов, как то: тяжелый водород, литий, бериллий, бор, азот, фтор, натрий, магний, алюминий, фосфор, хлор и др., из которых в земной коре значительное распространение имеют только алюминий, натрий и магний*, испускает нейтроны (1, 2). Известно также, что в земной коре в тех или иных количествах повсюду рассеяны радиоактивные элементы. Естественно поэтому предположить, что α -лучи радиоактивных веществ, бомбардируя ядра этих элементов, будут создавать в земной коре нейтроны. В тяжелой воде и в бериллии нейтроны будут возникать также под влиянием γ -лучей радиоактивных веществ (4). Грубые расчеты показывают, что нейтронное излучение земной коры будет чрезвычайно слабо, однако в виду отсутствия точных данных о выходе нейтронов из упомянутых выше элементов при воздействии на них α -лучей различных радиоактивных веществ, о скоростях нейтронов и об истинном поглощении нейтронов, обладающих различной энергией, теоретически оценить эффект нейтронного излучения земной коры с достаточной уверенностью в настоящее время не представляется возможным.

Цель настоящей работы заключалась в ориентировочной экспериментальной оценке нейтронного излучения горных пород. При выборе экспериментальной установки необходимо было предусмотреть максимально благоприятные условия для обнаружения нейтронов в присутствии довольно интенсивного γ -излучения. Этому требованию удовлетворяет счетчик Вина-Вильямса, однако в виду сложности и длительности его устройства мы решили воспользоваться серебряным счетчиком, служившим одновременно и облучаемой мишенью.

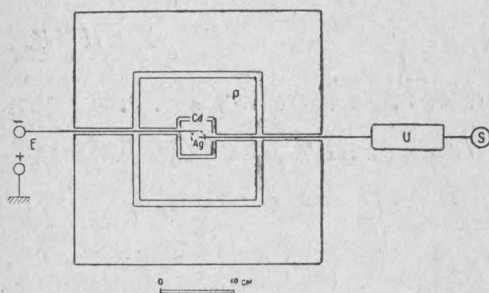
Для того чтобы по возможности уменьшить фон γ -лучей, серебряный счетчик был помещен в чугунную броню со стенками в 8 см толщины. Схематически чертеж установки изображен на прилагаемой фигуре. Здесь E —высокое напряжение (батарея сухих элементов на 1 500 V), Ag —серебряный счетчик длиной 6 см (действующая длина), с внешним диаметром 1.8 см, со стенками 0.15 см толщины, Cd —кадмиевый экран

* Согласно Кларку (3) средний состав изверженных пород, составляющих основную часть земной коры, следующий: SiO_2 —59.12%, Al_2O_3 —15.34%, Fe_2O_3 —3.08%, FeO —3.8%, MgO —3.49%, CaO —5.08%, Na_2O —3.84%, K_2O —3.13%, TiO_2 —1.05%, P_2O_5 —0.30% и прочие—1.77%.

с толщиной стенок 0.6 мм (или железный экран эквивалентной толщины), *P*—парафиновый экран толщиной 5.5 см, *F*—чугунный экран в 8 см толщины, *U*—усилитель Джонсона, *S*—механический счетчик, максимальная счетная скорость которого была около 1 700 импульсов в минуту.

Чугунный экран имел форму полой призмы и закрывался с передней и задней стороны чугунными плитами в 6 см толщины.

Исследование интенсивности нейтронного излучения состояло из трех серий измерений. Из них первая—предварительная—заключалась в систематическом измерении натурального фона счетчика, окруженного чугу-



ной броней и парафиновым экраном и попеременно железным и кадмиевым экранами. Чередование железного и кадмиевого экранов производилось через каждые 30 мин. Нейтроны, замедленные парафином, попадали на серебряный счетчик через железный экран и активировали счетчик, так как поглощение медленных нейтронов в железе сравнительно незначительно. В случае присут-

ствия кадмиевого экрана вся группа *C* медленных нейтронов поглощалась последним, а так как при наших условиях опыта группа *C* составляла большую часть всех медленных нейтронов, то активация серебряного счетчика в этом случае была незначительной*. Активацией быстрыми нейтронами вообще можно пренебречь по сравнению с активацией медленными нейтронами, и поэтому в первом приближении можно считать, что разница в фоне счетчика с железным и с кадмиевым экранами будет характеризовать интенсивность нейтронного излучения.

Полученные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Эффект с железным экраном			Эффект с кадмиевым экраном			Разность (эффект в 1 мин.)
Общий эффект	За время наблюдения	Эффект в 1 мин.	Общий эффект	За время наблюдения	Эффект в 1 мин.	
10 164	1 075	9.45±0.09	9 796	1 061	9.23±0.09	0.2±0.2

Вторая серия измерений была вполне аналогична первой, но под установку со счетчиком было помещено около 500 кг гранодиорита из Сарым Сахлы с урановыми минералами, с концентрацией 0.2% U_3O_8 , что приблизительно в 200 раз превышает радиоактивность нормальных гранитов. Используемая нами порода имела повышенное по сравнению с нормальным содержание урана и фосфора, однако точного анализа в настоящее время у нас не имеется. Руда была уложена в виде штабеля 100 см длины, 70 см ширины и 50 см толщины. Верхнее основание штабеля располагалось в 40 см от счетчика. Полученные результаты приведены в табл. 2.

* По данным Амальди и Ферми⁽⁵⁾ во внутреннем опыте, т. е. при окружении облучаемой мишени парафином со всех сторон, активация серебра медленными нейтронами группы *C* составляет 84% от активации всеми медленными нейтронами.

Таблица 2

Эффект с железным экраном	Эффект с кадмиевым экраном	Разность (эффект в 1 мин.)
$\frac{51\,902}{1\,892} = 27.4 \pm 0.12$	$\frac{45\,622}{1\,753} = 26.0 \pm 0.12$	1.4 ± 0.24

Для того чтобы проверить, не является ли железо излучателем γ -лучей вследствие примеси в последнем радиоактивных веществ в небольших количествах, нами был поставлен контрольный опыт без железа.

Измерения были произведены в присутствии радиоактивной руды, причем кадмиевый экран вставлялся в установку через 30 мин., в промежуточные же 30 мин. эффект измерялся без железного экрана (счетчик был окружен только чугунным и парафиновым экранами).

Полученные данные приведены в табл. 3, в последнем столбце которой приведен эффект за вычетом поглощения γ -лучей в кадмиевом экране, которое вычислено по простой показательной функции.

Таблица 3

Эффект без кадмия	Эффект с кадмием	Разность (эффект в 1 мин.)
$\frac{36\,678}{1\,407} = 26.0 \pm 0.13$	$\frac{30\,789}{1\,278} = 23.9 \pm 0.14$	1.5 ± 0.27

Из этой таблицы видно, что эффект нейтронного излучения в пределах погрешности равен эффекту при измерениях с железом, так что отнести ранее полученный эффект в большей своей части за счет заражения железа нет оснований.

Наконец в третьей серии измерений были произведены аналогичные измерения с искусственным препаратом радон + бериллий, силой в 0.3 mCi (в начале измерений). Ампулка располагалась над счетчиком на расстоянии 60 см от его центра.

Полученные данные, исправленные на распад радона во время измерений, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Эффект с железным экраном	Эффект с кадмиевым экраном	Разность (эффект в 1 мин.)
$\frac{69\,405}{577} = 120 \pm 0.5$	$\frac{63\,070}{551} = 114 \pm 0.5$	6 ± 1

При этих измерениях присутствовала руда, так что чистый эффект от ампулы с железным экраном равен 92.6, с кадмиевым—88.

Разность, обусловленная нейтронами ампулки, выразится числом 4.6 импульсов в 1 мин. Эти последние измерения служат проверкой чувствительности нашей установки и позволяют оценить нейтронное излучение измеряемой руды. В самом деле, от искусственного препарата мы считали 4.6 нейтронов в 1 мин. и 88 γ -квантов в 1 мин., т. е. на 19 γ -квантов считали 1 нейтрон.

От руды мы считали 1 нейтрон на каждые 14 γ -квантов.

Отсюда можно заключить, принимая во внимание геометрические условия, что от исследуемой руды мы имеем примерно тот же процент нейтронов по отношению к γ -квантам, что и в искусственном препарате радон+бериллий. Если предположить, что нашей установкой отмечалась одинаковая доля нейтронов как от искусственного препарата, так и от руды, то можно ориентировочно считать, что на каждые 2000 γ -квантов из руды выходит 1 нейтрон*.

Интенсивность нейтронного излучения можно выразить и другим способом, что облегчит нам сравнение наших результатов с результатами других авторов, наблюдавших нейтроны в атмосфере (8).

На основании приведенных нами экспериментальных данных нетрудно рассчитать (при предположении, что наша установка отмечает одинаковую долю нейтронов как от искусственного препарата радон+бериллий, так и от естественного объекта), что от породы с радиоактивностью порядка $\frac{1 \cdot 10^{-12} \text{ г Ra}}{\text{г}}$ мы будем иметь около 2 нейтронов в час через каждый квадратный сантиметр поверхности счетчика, что находится в согласии с данными Фюнфера. Правда, сравнение затруднительно, так как мы считали быстрые, а Фюнфер—медленные нейтроны.

Дальнейшие опыты по изучению нейтронного излучения естественных объектов продолжаются.

Лаборатория радиоактивных методов.
Центральный научно-исследовательский
геолого-разведочный институт.
Ленинград.

Поступило
1 IV 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ M. S. Livingston a. H. A. Bethe, Rev. of Mod. Physics, **9**, 308 (1937). ² H. Walke, Phys. Rev., **52**, 669 (1937); **52**, 777 (1937). ³ А. Е. Ферсман, Геохимия, том I, 34 гл., стр. 142. ⁴ J. Chadwick a. M. Goldhaber, Nature, **134**, 287 (1934); L. Szillard a. T. Chalmers, Nature, **134**, 494 (1934). ⁵ E. Amaldi a. E. Fermi, Phys. Rev., **50**, 899 (1936). ⁶ Rutherford, Chadwick a. Ellis, Radiations from Radioactive Substances (1936). ⁷ Amaldi, Hafstad a. Tuve, Phys. Rev., **51**, 896 (1937). ⁸ E. Fünfer, Naturwiss., **25**, 235 (1937); E. Schopper, Naturwiss., **25**, 557 (1937).

* 1mCu Ra+Be испускает ежесекундно $5.4 \cdot 10^7$ жестких γ -квантов (6) и $2.5 \cdot 10^4$ нейтронов (7), откуда и получается помеченная в тексте цифра.