

## Аннигиляционный взрыв — возможная причина изотопных аномалий на Земле

Н. А. ВЛАСОВ

Сотрудники КАЭ Франции обнаружили [1] интересные аномалии изотопного содержания  $U^{235}$  и некоторых редкоземельных элементов в рудах одного из урановых месторождений в Габоне. Аномалии заметно выходят за пределы наблюдавшихся до сих пор на Земле вариаций относительного содержания изотопов. Возраст пород месторождения, определенный рубидиево-стронциевым методом, равен  $1740 \pm 20$  млн. лет. Аномалии можно объяснить [2], если предположить, что породы месторождения подверглись облучению нейтронами, общий поток которых  $\sim 10^{21}$  нейтр/см<sup>2</sup>. Для объяснения образования нейтронов выдвинута гипотеза о возникновении  $1,7 \cdot 10^9$  лет назад цепной реакции деления, т. е. об образовании природного ядерного реактора. Эта гипотеза очень интересна и представляется вполне вероятной, так как содержание  $U^{235}$  тогда было выше и составляло около 3%.

Но эта гипотеза не единственна. Можно представить себе и иное происхождение нейтронов, вызывающих подобные изотопные аномалии. Допустим, что во Вселенной существуют антивещественные астрономические тела и возможно, хотя и маловероятно, падение на Землю антивещественного метеорита. Такая гипотеза обсуждалась и проверялась [3] уже давно в связи с Тунгусским метеоритом [4]. Аннигиляционный взрыв антиметеорита неизбежно сопровождается различными ядерными превращениями, в том числе и такими, в которых образуются свободные нейтроны. В зависимости от условий выход может составлять 3—5 нейтронов на каждый аннигилировавший антинуклон [5].

Можно грубо оценить количество антивещества, необходимого для образования найденного французами потока  $10^{21}$  нейтр/см<sup>2</sup>. Если поток распределился по поверхности радиусом  $400 \text{ м} = 10^4 \text{ см}$ , то полное число выделившихся нейтронов составило  $4\pi R^2 \cdot 10^{21} \approx 10^{30}$ ; общая масса нейтронов порядка  $10^6 \text{ г} = 1 \text{ т}$ . Следовательно, 1 т антивещества было бы достаточно для получения необходимого числа нейтронов. Эта оценка, по-видимому, дает нижний предел необходимого количества антивещества, если учесть условия сильного взрыва, увлечение вещества в облако и рассеяние его по большой поверхности.

Нейтроны аннигиляционного происхождения более энергичны, чем нейтроны деления [5]. Средняя энергия значительной доли первичных нейтронов ядерных расщеплений  $\sim 60 \text{ Мэв}$ . Кроме быстрых нейтронов, при аннигиляционных взрывах должны образовываться примерно равные потоки быстрых протонов и л-мезонов, также вызывающих ядерные превращения. Почти все ядерные превращения, вызываемые продуктами анни-

гиляционного взрыва, ведут к образованию ядер с числом нуклонов на 1; 2; 3; 4 меньше, чем в облучаемых ядрах. Вследствие этого выравнивается распространенность ядер, близких по массе. Такая тенденция заметна уже в исследованных изотопах неодима: содержание редких нечетных изотопов  $Nd^{143}$  и  $Nd^{145}$  возросло в 1,5—2 раза, а четных  $Nd^{144}$  и  $Nd^{146}$  — совсем немного больше среднего нормального. Но в этом случае такие изменения объясняются как следствие деления урана. Интересно провести аналогичное исследование для изотопов, не образующихся при делении, или для тех же изотопов, но там, где не было урана. Наиболее очевидным признаком, отличающим аннигиляционный взрыв от ядерного реактора, будет независимость изотопных аномалий от содержания урана и более вероятное образование нейтронно-недостаточных легких изотопов. Например,  $La^{138}$ , которого в естественной смеси 0,089%, должен быть в избытке, так как он может образоваться в реакциях  $La^{139}(n, 2n)$ ,  $Ce^{141}(p, \alpha)$ ,  $Pr^{141}(n, \alpha)$  и других аналогичных реакциях. Подобные избытки можно ожидать и у редких легчайших изотопов других элементов.

Среди опубликованных результатов наблюдений интересно сопоставление [2] числа образовавшихся осколков с числом разделившихся ядер  $U^{235}$ . Оказалось, что разделившихся ядер  $U^{235}$  приблизительно вдвое меньше, чем нужно для образования наблюдаемого количества осколков; поэтому сделано предположение, что, с одной стороны, произошло деление  $U^{238}$ , с другой, — частичное воспроизводство  $U^{235}$ . Большая относительная вероятность деления  $U^{238}$  невозможна в условиях реактора, работающего на медленных нейтронах. Цепная реакция деления на быстрых нейтронах в рассматриваемых естественных условиях совершенно невероятна. Компенсация убыли  $U^{235}$  путем образования и последующего распада  $Pu^{239}$  возможна, если среднее значение коэффициента воспроизводства больше 0,5. При аннигиляционном же взрыве деление может быть вызвано в значительно большей мере быстрыми нейтронами, и избыточную вероятность деления  $U^{238}$  объяснить гораздо легче. Сечение деления  $U^{238}$  быстрыми нейтронами приблизительно вдвое меньше сечения деления  $U^{235}$ , а распространенность в то время была в 30 раз больше, поэтому неудивительно было бы даже более вероятное деление  $U^{238}$ , чем  $U^{235}$ . Дальнейший анализ изотопных аномалий месторождения Окло в Габоне позволит проверить гипотезу аннигиляционного взрыва. Ее подтверждение было бы не менее интересным, чем подтверждение гипотезы ядерного реактора.

УДК 539.17

Конечно, следы аннигиляционного взрыва могут быть обнаружены и вне урановых месторождений, поэтому при толковании изотопных аномалий, обнаруженных в любом месте, полезно иметь в виду эту гипотезу.

Возможность образования радиоактивных пятен на поверхности Луны при падении антиметеоритов предполагалась уже давно [4]. Интересно, что американская экспедиция «Аполлон-16» обнаружила удивительные радиоактивные пятна на Луне [6].

Благодарю В. И. Мостового и Т. К. Чижова за обсуждение гипотезы.

Поступило в Редакцию 15/II 1973 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Compt., rend. Acad. Sci., 275, D-1731 (1972).
2. Compt., rend. Acad. Sci., 275, D-1847 (1972).
3. Cowan et al. Nature, 206, 861 (1965).
4. Н. А. В л а с о в. «Природа», № 2, 85 (1967).
5. Н. А. В л а с о в. Антивещество. М., Атомиздат, 1966.
6. Nucl. News, 16, 76 (1972).

Интегратор потока нейтронов

Ю. К. КУЛИКОВ, Ю. Т. ДЕРГАЧЕВ, Г. Я. ВОРОНКОВ, М. А. СУНЧУГАШЕВ, В. В. ФУРСОВ УДК 539.1.074.88

В реакторных измерениях (например, для расчета выгорания горючего) часто необходимо знать интегральный поток нейтронов в активной зоне за длительный период. Обычно интегральный поток нейтронов определяют облучением в реакторе активируемых нейтронами фольг или проволок. Такие измерения связаны с необходимостью извлечения из реактора облученных веществ, что неудобно и часто нежелательно с технологической точки зрения.

В реакторе второго блока Ново-Воронежской АЭС испытывалось устройство для интегрирования потока нейтронов, состоящее из детектора прямой зарядки ДПЗ [1] и соединенного с ним посредством радиационно-стойкого кабеля ртутного капиллярного кулометра-интегратора [2], вынесенного за пределы активной зоны в обслуживаемое помещение. Интегральный поток нейтронов измеряется без извлечения детектора из активной зоны и без прекращения облучения. При полном использовании емкости кулометра-интегратора простая перемена полярности обеспечивает продолжение измерения «в другую сторону». Устройство полностью автономно, не требует источника питания для работы и дополнительной аппаратуры для фиксации показаний.

Детектор прямой зарядки с родиевым эмиттером длиной 300 мм помещен в сухой канал второго блока

реактора Ново-Воронежской АЭС. При тепловой мощности реактора 970 Мет ток, генерируемый ДПЗ, составлял 2,2 мка, что согласно характеристике чувствительности соответствует потоку нейтронов в месте установки детектора, равному  $3 \cdot 10^{13}$  нейтр/см<sup>2</sup>·сек.

Ртутный кулометр-интегратор представляет собой стеклянный капилляр, заполненный двумя столбиками ртути, разделенными зазором электролита. На концах капилляра в ртуть введены металлические токоотводы. Принцип действия кулометра основан на анодном растворении и катодном осаждении ртути под действием электрического тока. Величина смещения зазора электролита вдоль капилляра является мерой интегрального тока ДПЗ и пропорциональна прошедшей через интегратор величине заряда:

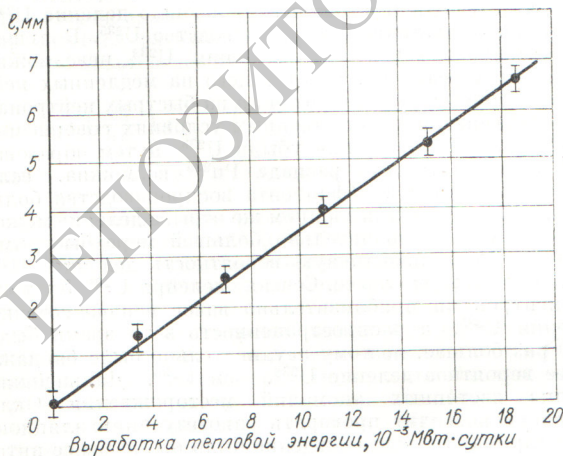
$$l = 0,351 \frac{\int_0^{\tau} i(t) dt}{d^2} - 10^{-3} \text{ мм},$$

где  $i(t) = A\varphi(t)$  — интегрируемый ток, мка;  $\varphi(t)$  — поток нейтронов в месте установки ДПЗ, нейтр/см<sup>2</sup>·сек;  $A = 0,625 \cdot 10^{-13}$  мка·сек·см<sup>2</sup>/нейтр — коэффициент пропорциональности;  $\tau$  — время облучения, ч;  $d = 0,235$  мм — диаметр капилляра интегратора; 0,351 — коэффициент, зависящий от вида электролита.

В течение 21 дня реактор работал без перекосов нейтронного поля, тепловая мощность реактора была прямо пропорциональна потоку нейтронов в месте установки ДПЗ. Благодаря этому показания устройства могли быть сопоставлены с независимой измеряемой интегральной выработкой тепла реактором. Данные о тепловой мощности и выработке тепловой энергии, измеренные по расходу и перепаду температуры теплоносителя, представлены службой эксплуатации Ново-Воронежской АЭС. Результаты измерений показаны на рисунке.

Рассчитанное по формуле полное смещение ( $l = 6,6$  мм) хорошо согласуется с измеренной величиной ( $6,5 \pm 0,25$ ) мм. Согласно рисунку, линейность показаний интегратора в зависимости от выработанной тепловой энергии соблюдается во всем диапазоне измерений с погрешностью не более погрешности отсчета величины смещения зазора электролита интегратора. Эта величина составляет для любого измерения  $\pm 0,25$  мм и, следовательно, относительно уменьшается пропорционально интегральному току ДПЗ.

В измерениях использовался интегратор емкостью ~20 к, что для данного ДПЗ соответствует интегральному потоку нейтронов в  $3 \cdot 10^{20}$  нейтр/см<sup>2</sup>. При исполь-



Зависимость величины смещения зазора электролита интегратора от выработки тепловой энергии реактором.