

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ СЛЕДОВ РАСПАВШИХСЯ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ФОСФАТАХ МЕТЕОРИТОВ ПО ТРЕХЛУЧЕВЫМ ТРЕКАМ ОТ ОСКОЛКОВ ДЕЛЕНИЯ

¹Кашкаров Л.Л., ²Перельгин В.П., ²Кравец Л.И., ³Бондарь Ю.В., ¹Калинина Г.В.,
²Абдуллаев И.Г., ²Князева Г.П.

¹ Институт геохимии и аналитической химии им В.И. Вернадского (ГЕОХИ) РАН.119991
 Москва, В-334, ул. Косыгина 19. ugeochem@geochem.home.chg.ru

² Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

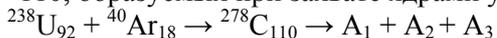
³ Институт геохимии окружающей среды, Киев

Ключевые слова: *сверхтяжелые элементы с $Z \geq 110$, треки, деление ядер*

Введение.

Поиск и идентификация сверхтяжелых элементов (СТЭ с $Z \geq 110$) в природе проводились до настоящего времени путем регистрации в оливине палласитов сверхдлинных треков – следов торможения высокоэнергичных ядер СТЭ, входящих в состав галактических космических лучей (ГКЛ) [1-3]. Для удаления фона от высокой плотности треков ядер группы железа ГКЛ перед химическим травлением оливин отжигался при 430 °С в течение 32 час. При этом, однако, происходило (6-8)-кратное укорочение длиннопробежных треков, относящихся к ядрам с $Z \geq 54$. Калибровка длин треков, образованных в оливине ускоренными ядрами ^{238}U с энергией 30 и 70 МэВ/нуклон [4], показала, что максимум спектра отожженных и затем протравленных длин треков для них приходится на $L = 230 \pm 25$ мкм. Исходя из этого, обнаруженные к тому времени 11 треков с $L \geq 340$ мкм были отнесены к ядрам трансурановых элементов.

Новый подход к решению данной проблемы основан на возможности регистрации случаев распада ядер СТЭ на три осколка сравнимой массы [5]. Экспериментальные исследования тройного деления сверхтяжелых ядер были начаты В.П. Перельгиным более 20 лет назад [6]. Тогда впервые были зарегистрированы уникальные события тройного деления компаунд-ядер с $Z = 110$, образуемых при захвате ядрами урана высокоэнергичных (~10 МэВ/нуклон) ионов Ar:



Было определено, что вероятность тройного деления СТЭ по отношению к делению на два осколка составила $\leq 3 \times 10^{-4}$. Существенным при этом является огромное различие вероятности тройного деления ядер СТЭ и ^{238}U : для первых она оказывается на три-четыре порядка величины выше [6,7].

В настоящем сообщении рассмотрен ряд методологических вопросов, касающихся вероятности обнаружения и идентификации трехлучевых случаев деления ядер тяжелых элементов в кристаллах фосфатных минералов метеоритов.

Основные источники треков в метеоритном веществе.

Преобладающая часть наблюдаемых в кристаллах силикатных минералов метеоритного и лунного вещества треки образованы: (1) осколками спонтанного деления ^{238}U и вымершего ^{244}Pu ; (2) VH ядрами группы железа ($23 \leq Z \leq 28$) галактических космических лучей; и (3) осколками индуцированного под действием первичных и вторичных ядерно-активных частиц космического излучения деления тяжелых, главным образом Th и U, элементов.

Спонтанное деление ^{238}U и ^{244}Pu в фосфатах палласитов.

Оценка величины вклада в ожидаемую плотность трехлучевых треков от спонтанного деления ^{238}U и ^{244}Pu в фосфатах палласитов при концентрации урана $\sim (50 - 100) \times 10^{-9}$ г/г и плотности треков спонтанного деления на два осколка равной $\sim 10^5 - 10^6$ см⁻² дает величину, не превышающую $\sim 10^{-2}$ трехлучевых событий на см² анализируемой поверхности кристалла.

Деление тяжелых элементов, индуцируемое ядерно-активными компонентами ГКЛ.

Оценка вероятности фоновых событий тройного деления тяжелых элементов (Pb, Bi, Th и U), индуцируемого первичной (p, n) и вторичной (n, π) ядерно-активными компонентами ГКЛ, проведена, исходя из следующих данных экспериментальных исследований:

- Скорость деления тяжелых элементов на два осколка, индуцируемого космическим излучением, получена по данным [8]. На глубине до ~ 100 г/см² вещества лунного грунта основной вклад приходится на ²³²Th. Начиная с глубины ~ 200 г/см², скорости деления ²³²Th и ²³⁵U становятся соизмеримыми, главным образом, за счет высокоэффективного деления ²³⁵U под действием тепловых нейтронов.

- Скорости индуцируемого деления остальных (Pb, Bi, Au) тяжелых элементов оказываются на 4-5 порядков величины более низкими.

- Глубинная вариация суммарной скорости индуцированного под действием ГКЛ деления ядер тяжелых элементов в сопоставлении с постоянной по глубине скоростью спонтанного деления изотопа ²³⁸U, позволяет оценить скорость образования случаев деления на три осколка в объеме кристаллов силикатных минералов. Эти кристаллы являются одновременно мишенью при облучении в космическом пространстве и трековыми детекторами осколков деления.

- В расчетах также учитывалось то, что теоретически полученные [7] значения вероятности тройного деления в зависимости от величины заряда самого легкого осколка (Z_L) изменяется существенным образом. Так при увеличении Z_L от 6 до 25 эффективное сечение тройного деления в ядерной реакции (N + Au) (энергия ионов азота $E_N = 1.5-2.5$ МэВ/аеи) уменьшается с 5 до 0.08 mb, и для реакции (N + Th) от 15 до 0.8 mb.

- Отношение величин эффективных сечений деления на три и два осколка для указанных выше ядерных реакций составляет $10^{-3} - 10^{-4}$.

Заключение.

На основании проведенной оценки величины вклада от различных источников деления ядер тяжелых элементов при облучении вещества метеоритов в космическом пространстве, а также, исходя из полученных экспериментальных значений плотности треков тройного (ρ_{3f}) и двойного (ρ_{2f}) деления компаунд-ядер СТЭ ($Z = 110$) [1], определена величина отношения вероятности образования трехлучевых трековых событий за счет вклада всех возможных фоновых источников к вероятности тройного деления ядер СТЭ, составившая $\leq 10^{-3}$.

Проведенная количественная оценка ожидаемой объемной плотности трехлучевых случаев деления ядер СТЭ показала, что с учетом возможного вклада всех рассмотренных источников фона при просмотре не менее (0.1-0.5) см³ суммарного объема кристаллов фосфата из метеоритов, в них может быть обнаружено от нескольких до нескольких десятков случаев тройного деления ядер СТЭ.

Для исследования наиболее подходящими являются фосфаты - витлокит и стенфилдит, входящие в состав палласитов в виде крупных (до ~ 0.5 мм) прозрачных кристаллов.

Просмотр, обнаружение и измерение параметров треков во всем объеме исследуемых кристаллов может проводиться только путем химического травления с помощью TINT ("трек в треке") – методики. При этом сверхдлинные (до ~ 200 мкм) треки – каналы, по которым травящий раствор проникает в глубь кристаллов, искусственно формируются в них высокоэнергичными ($E \geq 10$ МэВ/нуклон) ядрами Хе или U при облучении на ускорителе тяжелых ионов.

Таким образом, обнаружение случаев тройного деления в кристаллах метеоритов, возраст формирования которых составляет $\sim (4.45 - 4.55)$ млрд. лет, будет свидетельствовать о регистрации следов распада ядер СТЭ во внеземном веществе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (по проекту № 01-02-16410)

Литература

1. Перельгин В.П., Стеценко С.Г. (1980), Письма в ЖЭТФ, том 39, вып.10, 622.
2. Perelygin V.P. et al. (1985) JINR Communication E7-85-245.
3. Perelygin V.P. et al. (1991) Nucl. Tracks. Radiat. Meas. V.19, 703.
4. Перельгин В.П., Стеценко С.Г. (1989). Письма в ЖЭТФ, том 49, вып.5, 257.
5. Perelygin V.P. et al. (1990) Scient. Report NRL JINR, 1989–1990. 194.

6. *Perelygin V.P. et al.* (1980) Solid State Nuclear Track Detectors. Ed. By H. Francois et al. Pergamon Press, 1980, P. 239.
7. *Herbach C. M.* (2002) Nuclear Physics A V. 712, Issues 3-4, P. 207.
8. *Thiel K. et al.* (1974) Proc. 5th Lunar Sci. Conf., Geochim. Cosmochim. Acta. Suppl. 5, 2609.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(21) 2003

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2003 года (ЕСЭМПГ-2003)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2003/informbul-1/planet-12.pdf

Опубликовано 15 июля 2003 г.

© Отделение наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2003

При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на "Вестник Отделения наук о Земле РАН" обязательна