

**К ПРОБЛЕМЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАРЯДА ЯДЕР
ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПО ТРЕКАМ
В КРИСТАЛЛАХ ОЛИВИНА ИЗ ПАЛЛАСИТОВ**

**Кашкаров Л.Л. (ГЕОХИ РАН), Александров А.Б., Багуля А.В., Владимиров М.С.,
Гончарова Л.А. (ФИАН), Ивлиев А.И., Калинина Г.В. (ГЕОХИ РАН),
Коновалова Н.С., Полухина Н.Г., Русецкий А.С., Старков Н.И. (ФИАН)**
leokash@mail.ru; poluhina@sci.lebedev.ru; cosmo@geokhi.ru

Ключевые слова: *сверхтяжелые ядра, галактические космические лучи, треки, оливин*

Введение

Трековая методика идентификации заряда ядер сверхтяжелых ($Z > 30$) элементов в составе галактических космических лучей (ГКЛ) основана на экспериментально установленной зависимости между скоростью травления трека (V_{TR}) вдоль следа торможения ядра и величиной его остаточного пробега (RR) [1]. Одной из задач настоящих исследований, проводимых по проекту ОЛИМПИЯ [2], является изучение зарядового состава ГКЛ в области ядер с зарядом $50 < Z < 92$. В данном сообщении приводится краткое описание основных положений разрабатываемого подхода для идентификации заряда ядер ГКЛ, а также некоторые результаты определения зарядового состава ГКЛ, полученные нами к настоящему времени.

Методология идентификации заряда ядер ГКЛ

Характерной особенностью химически травимой геометрической формы треков высокоэнергичных ($E > 100-200$ МэВ/нуклон) ядер в виде “шприца” [3] является наличие, по крайней мере, четырех четко различающихся между собой зон: I - зона в виде узкого конуса (игла “шприца”), начинающегося при энергии $E_{кон,макс}$ (отвечает максимальному значению энергии, при которой начинает выполняться соотношение удельных потерь энергии $(dE/dx) > (dE/dx)_{крит}$) и оканчивающаяся при $E_{кон,мин}$; II – зона резкого перехода от конусообразной к основной, базовой части трека, когда на сравнительно коротком (порядка десяти микрон) отрезке длины трека (интервал $RR_{кон,мин} - RR_{осн,макс}$ при энергии ядра $E_{кон,мин} - E_{осн,макс}$) происходит резкое возрастание скорости травления трека; III зона – базовая часть трека, представляющая собой цилиндрическую, пустотелую трубкой трека (цилиндрическая часть “шприца”); и IV зона, симметричная второй зоне, представляет собой короткий участок трека с резким переходом от основной зоны к точке останова ядра. Так как травимая длина и диаметр указанных зон треков существенно различны, то следовало ожидать соответствующего изменения величины скорости травления треков по длине, что, прежде всего, должно быть обусловлено эффективностью удаления вещества из области радиационного разрушения кристаллической решетки оливина. Наблюдаемые нами случаи, когда с помощью полностью автоматизированной установки ПАВИКОМ [4] четко прослеживается граница перехода между двумя зонами травления каналов треков, показали, что соотношение средних значений диаметров основной (D) и конусообразной (d) зон трека для ядер с $Z > 50$ составляет $D/d = (3 \div 5)$.

Таблица 1

Скорость травления треков (V_{TR}) в кристаллах оливина из палласита Марьялахти от ускоренных ядер Kr, Xe, U, и ядер Fe ГКЛ.

Ядро	E, МэВ/нуклон	V_{TR} (мкм/час) при RR (мкм)				
		15 ± 5	25 ± 5	40 ± 10	60 ± 10	80 ± 10
Fe	>5	4 ± 2	~0.1	~0.05	–	–
Kr	10.2	10 ± 2	7 ± 2	2 ± 1	~0.1	–
Xe	11.4	14 ± 3	12 ± 3	11 ± 2	8 ± 2	≤1
U	11.4	27 ± 5	28 ± 5	26 ± 5	27 ± 5	26 ± 5

К настоящему времени известны лишь несколько экспериментальных работ по измерению зависимости V_{TR} от величины RR: для ядер U ($E = 150$ МэВ/нуклон) [5], Xe и Kr, а также дан-

ные, полученные нами для ускоренных ядер Kr, Xe и U с энергией $E=11.4$ МэВ/нуклон. На рис.1 приведены результаты этих измерений, исходя из которых, были определены величины V_{TR} и RR треков высокоэнергичных ядер различных элементов, представленные соответственно в таблицах 1 и 2. В табл. 2 приведены также значения травимой длины ($L_{V(TR)}$), наблюдаемой для каждого ядра при определенной величине V_{TR} .

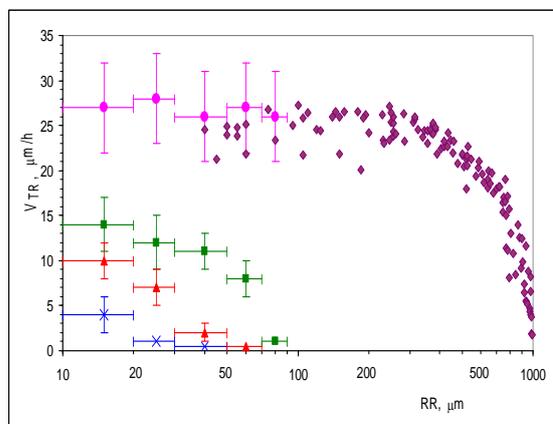


Рис. 1.

Скорость травления треков (V_{TR}) в зависимости от величины остаточного пробега (RR) для ускоренных ядер: Kr (36), Xe (54) и U (92). В области значений $RR > 100$ мкм - результаты работы [5]. Точки для ядер Fe (26) - экспериментальные данные для ядер VVH-группы ГКЛ, полученные в настоящей работе при изучении кристаллов оливина из палласита Марьялахти

Таблица 2

Длина остаточного пробега (RR) и травимая длина ($L_{V(TR)}$) треков высокоэнергичных ядер сверхтяжелых элементов ГКЛ в оливине палласита Марьялахти при разных скоростях их травления.

Ядра (Z)	$L_{TOT}^{(*)}$ мкм	$L_{BASE}^{(**)}$ мкм	RR = $L_{V(TR)}$ ($K_U=0.41$) мкм ^(***)				
			$\eta=0.02$	$\eta=0.12$	$\eta=0.28$	$\eta=0.68$	$\eta=0.84$
U (92)	14487	2897	1200	1000	900	700	500
Pb (82)	7089	1418	607	490	441	343	249
Au (79)	6127	1225	502	420	380	296	212
W (74)	4295	859	352	300	270	210	150
Yb (70)	3154	631	259	218	197	153	110
Tb (65)	2322	464	190	160	144	112	80
Nd (60)	1794	359	148	124	112	87	63
Xe (54)	1211	242	99	83	76	59	42
Sn (50)	883	176	73	61	54	42	30
Ag (47)	685	137	57	47	42	33	24
Mo (42)	454	91	37	31	28	22	16
Kr (36)	261	52	22	18	16	13	9

(*) Расчеты L_{TOT} – полная длина трека при $(dE/dX)_{эл} = 18$ МэВ/нуклон;

(**) Протравливаемая длина основной зоны трека, исходя из соотношения $L_{BASE}/L_{TOT} = 1/5$, исходя из значений $(L_{BASE})_{Fe} = 15$ мкм и $(L_{TOT})_{Fe} = 77$ мкм

(***) Длина трека ($L_{V(TR)} = RR$), при которой $V_{TR} = 0.02 \times V_{TR,MAX}$, для ядер с разным Z получена, исходя из результатов экспериментальных исследований.

На основании приведенных данных были построены графики зависимости $L_{V(TR)}$ от V_{TR} , с помощью которых проводится идентификация заряда ядер ГКЛ. В качестве примера на рис. 2 приведены кривые такой зависимости для ядер с зарядом Z в интервале 66-82.

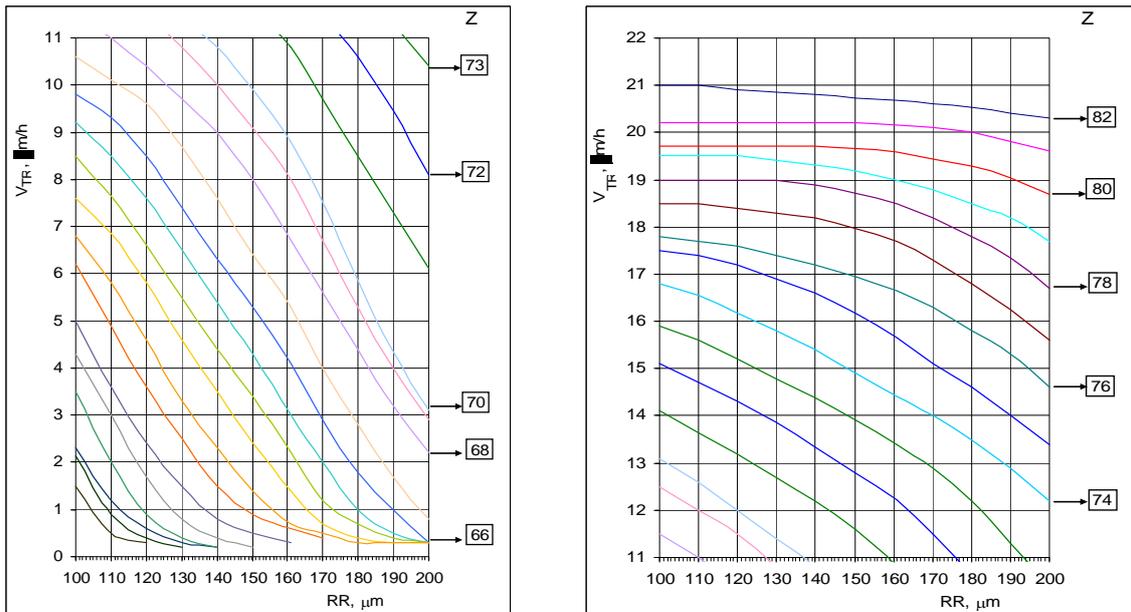


Рис.2. Скорость травления треков (V_{TR}) в зависимости от величины остаточного пробега (RR) для ядер ГКЛ с зарядом $66 < Z < 82$ для кристаллов оливина из палласита Марьялахти.

Заключение

Разрабатываемая методика идентификации заряда ядер ГКЛ на данном этапе основана только на соотношении скорости травления и измеренной травимой длины треков. При этом сделан ряд допущений, требующих дальнейшего уточнения и количественного измерения с помощью калибровочных экспериментов с высокоэнергичными ускоренными ядрами в области Pb – U. Однако, применение этих предварительных идентификационных параметров позволило получить зарядовое распределение около 1000 ядер сверхтяжелых элементов ГКЛ по трекам, изученным в 27-ми кристаллах оливина из палласита Марьялахти, показавших удовлетворительное согласие с данными других работ, выполненных с помощью измерительной аппаратуры, запускаемой на космических станциях [6].

Исследования проводились при поддержке РФФИ, грант № 06-02-16835

Литература

1. Каукаров Л.Л., Полухина Н.Г., Старков Н.И. и др.
URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2006/informbul-1_2006/planet-6.pdf
2. Ginzburg V.L., Polukhina N.G., Feinberg E.L., Starkov N.I., Tsarev V.A. Doklady Physics. 2005. V. 50. № 6. P. 283-285.
3. Kashkarov L.L., Polukhina N.G., Starkov N.I. et al. Radiation Measurements. 2008. 43. P. S266-S268.
4. Feinberg E.L., Kotelnikov K.A., Polukhina N.G. Completely Automated Measuring Complex (PAVICOM) for Track-Detector Data Processing // Physics of Particles and Nuclei. 2004. V. 35, No 3, P. 409-423.
5. Perron C., Maury M. Nucl. Tracks Radiat. Meas. 1986. V. 11. No ½. P. 73-80.
6. Shapiro M.M., Silberberg R. Phil. Trans. Roy. Soc. 1975. A277. P. 319.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(27) 2009

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2009 года (ЕСЭМПГ-2009)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2009/informbul-1_2009/planet-14.pdf

Опубликовано 1 сентября 2009 г.

© Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2009

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