

## ТРЕКОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ( $Z>30$ ) ЯДЕР ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Александров А.Б., Багуля А.В., Владимиров М.С., Гончарова Л.А. (ФИАН),

Ивлиев А.И., Калинина Г.В., Кашкаров Л.Л. (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*

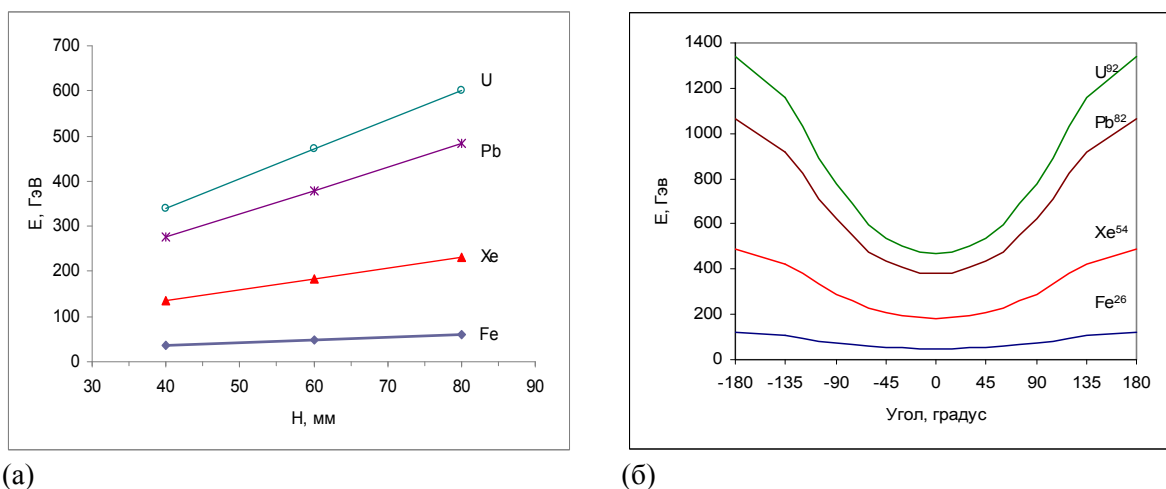
Ключевые слова: *сверхтяжелые ядра, галактические космические лучи, треки, оливин*

### Введение

Метод определения энергии сверхтяжелых ядер ( $Z>30$ ) галактических космических лучей (ГКЛ) основан на измерении углового распределения треков этих ядер в отдельных кристаллах оливина миллиметровых размеров, выделенных из палласита Марьялахти и находящихся на определенной глубине от до атмосферной поверхности метеороида. Разработка метода осуществлялась в рамках исследований, проводимых по проекту ОЛИМПИЯ [1]. В зависимости от глубины залегания и ориентации каждого из исследуемых кристаллов оливина относительно до атмосферной поверхности метеороида в кристаллах формируется определенное угловое распределение химически травимых треков [2]. Измерение углового распределения треков позволяет: 1) Выявить ориентацию поверхности травления кристалла по отношению к наиболее близко расположенному участку на до атмосферной поверхности метеороида; 2) Рассчитать длину пробега в теле метеороида каждого из зарегистрированных ядер перед их остановкой в данном кристалле оливина; 3) Исходя из соотношения пробег-энергия, оценить энергию ядер, которую они имели перед попаданием в тело метеороида. Для получения предварительных данных об ориентации плоскости поверхности травления каждого кристалла оливина относительно ближайшего участка поверхности метеороида измерялось угловое распределение короткопробежных (длина основной зоны травления  $L_{OCH} = 15$  мкм) треков ядер VH-группы ( $23<Z<28$ ), плотность треков которых достигает  $(5-7)\times 10^6$  трек/см<sup>2</sup>.

### Основы методики

Результаты, полученные на основании теоретических расчетов [3] зависимости пороговой энергии ядер различных элементов ГКЛ от глубины залегания ( $H$ , мм) кристаллов оливина от до атмосферной поверхности метеороида Марьялахти и от угла наклона ( $\theta$ ) треков относительно нормали к плоскости поверхности травления кристаллов оливина, находящихся, например, на глубине  $H=60$  мм от ближайшего участка поверхности метеороида, приведены на рис. 1а, б.

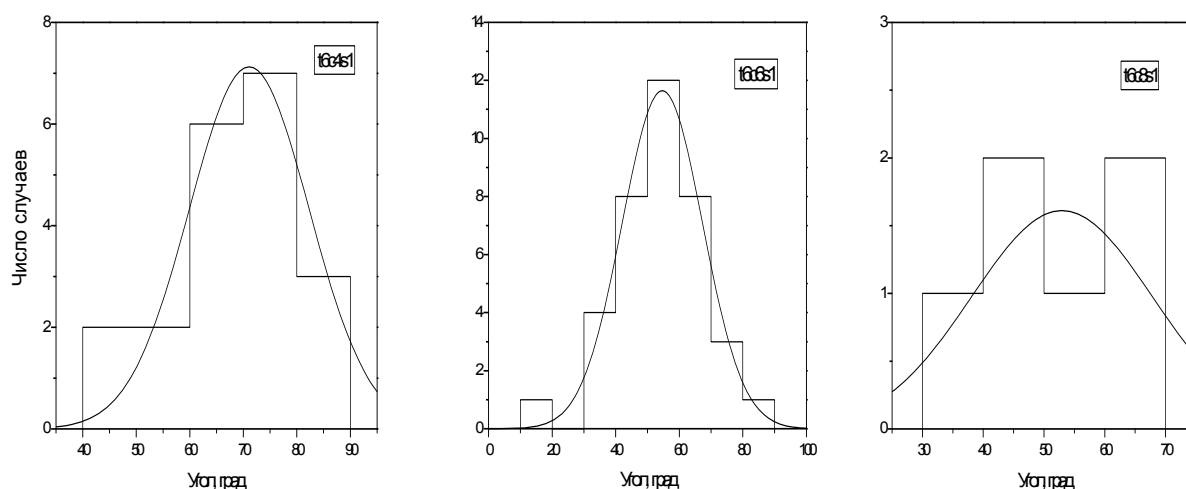


**Рис.1.** Зависимость пороговой энергии ( $E$ , ГэВ) ядер Fe, Xe, Pb и U от: (а) глубины залегания ( $H$ ) кристаллов оливина от до атмосферной поверхности метеороида Марьялахти; (б) угла наклона ( $\theta$ ) треков относительно нормали к плоскости поверхности травления кристаллов оливина, находящихся на глубине  $H=60$  мм (пример на данном графике) от ближайшего участка поверхности метеороида

Как видно из графиков, величина пороговой энергии, с которой сверхтяжелые ядра ГКЛ падают на поверхность до атмосферного метеороида, например, для ядер Хе и U, регистрируемых в кристалле, расположенном на глубине около 6 см от до атмосферной поверхности метеороида, варьирует в пределах  $\sim(1.5 - 3.5)$  и  $\sim(2 - 5)$  ГэВ/нуклон, соответственно.

### Результаты

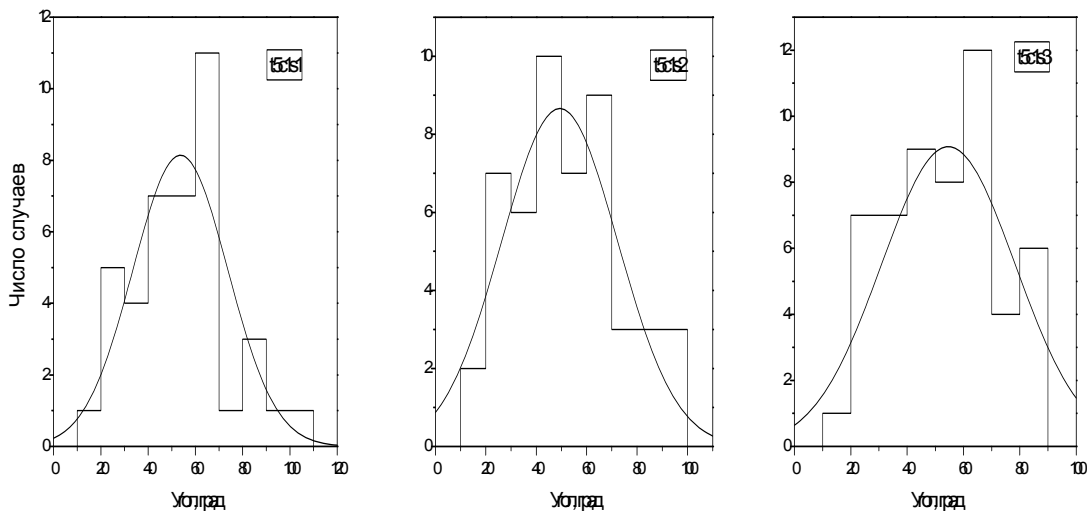
Измерение угла наклона длиннопробежных треков ( $L_{\text{осн}} > 50$  мкм) относительно нормали к плоскости поверхности травления кристалла осуществлялось на полностью автоматизированном измерительном комплексе ПАВИКОМ [4] с использованием фиксируемых с высокой точностью координат начала и конца выявленной на данном этапе травления длины треков. На рис. 2 приведены угловые распределения таких треков, наблюдаемые в некоторых из изученных кристаллов оливина.



**Рис.2.** Распределение треков ( $L_{\text{осн}} > 50$  мкм) от ядер VVH-группы ГКЛ по углам наклона относительно нормали к плоскости поверхности травления отдельных кристаллов оливина из палласита Марьялахти. Средние величины углов наклона гауссовых кривых для кристаллов с4, с6 и с8 (таблетка №6, травление 48 час) равны соответственно  $\theta_{G, \text{av}} = 71.1 \pm 2.5$  град.,  $\theta_{G, \text{av}} = 54.7 \pm 2.1$  град. и  $\theta_{G, \text{av}} = 53.0 \pm 6.1$  град.

Для проверки методики измерения углового распределения длиннопробежных треков, а также для получения большей точности в определении энергии сверхтяжелых ядер, треки от которых прослеживаются в течение ряда последовательных этапов травления [5], нами были проведены измерения угловых распределений треков, наблюдаемых во всем объеме некоторых наиболее крупных, имеющих повышенную плотность треков, кристаллов. Результаты измерений на трех последовательно протравленных (с промежуточным удалением слоя толщиной 40-50 мкм) поверхностях одного и того же кристалла оливина (t5,c1) представлены на рис.3. При этом, толщина слоя, удаленного перед первым этапом травления (s1) составляла 100 мкм, а перед вторым (s2) и третьим (s3) этапами – 46 и 50 мкм, соответственно.

Результаты определения энергии ядер, входящих в разные зарядовые группы ГКЛ, получены для десяти наиболее крупных кристаллов оливина из исследуемого образца палласита Марьялахти (диаметр до атмосферного тела  $\sim 25$  см.), имеющих максимальное наблюдаемое число длиннопробежных ( $L \geq 50$  мкм) треков. Исходя из полученных данных, количественная оценка энергии зарегистрированных по трекам ядер лежит в интервале  $\sim (1.5 - 5)$  ГэВ/нуклон.



**Рис.3.** Угловое распределение треков в кристалле (t5,c1) по глубине последовательного среза поверхности травления на этапах: s1– s3. Средние значения угла по Гауссову распределению равны  $(\theta_{Gs, av})_{s1} = 53.7 \pm 3.1$  град;  $(\theta_{Gs, av})_{s2} = 49.3 \pm 3.6$  град.;  $(\theta_{Gs, av})_{s3} = 54.6 \pm 3.2$  град. Время травления треков в стандартных условиях на каждом этапе 48 час. Размер кристалла  $\sim 500$  мкм

### Выводы

Первые данные по определению энергии индивидуальных сверхтяжелых ядер ГКЛ, основанному на измерении углового распределения треков, образуемых этими ядрами в кристаллах оливина миллиметровых размеров из палласита Марьялахти, показали что: (а) Детальные измерения углов наклона индивидуальных длиннопробежных (регистрируемая длина основной части трека для ядер с  $Z > 50$  превышает 200 мкм) треков позволяет определять пороговую энергию ядер ГКЛ; (б) Точность определения энергетического спектра сверхтяжелых ядер ГКЛ зависит от точности, с которой для данного кристалла оливина определены три основных параметра: 1) глубина нахождения данного кристалла от до атмосферной поверхности метеороида; 2) ориентации плоскости поверхности травления данного кристалла относительно ближайшего участка поверхности метеороида и 3) ориентации трека данного ядра относительно нормали к поверхности травления данного кристалла.

Количественная оценка энергии зарегистрированных в десяти изученных кристаллах оливина ядер находится в интервале  $\sim (1.5 - 5)$  ГэВ/нуклон.

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

### Литература

1. Ginzburg V.L., Polukhina N.G., Feinberg E.L., Starkov N.I., Tsarev V.A. // Doklady Physics. 2005. V. 50. № 6. P. 283-285.
2. Kashkarov L.L., Kalinina G.V., Ivliev A.I., Polukhina N.G. et al.  
URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2006/informbul-1\\_2006/planet-6e.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2006/informbul-1_2006/planet-6e.pdf)
3. Ziegler J.F. The Stopping and Range of Ions in Matter // SRIM-2006.
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. № 3. P. 409-423.
5. Александров А.Б., Багуля А.В., Владимиров М.С., Гончарова Л.А., Ивлиев А.И., Калинина Г.В., Кашкаров Л.Л., Коновалова Н.С., Окатьева Н.М., Полухина Н.Г., Русецкий А.С., Старков Н.И., Царев В.А. Краткие сообщения по физике // ФИАН. 2008. №7. С. 19-27.

URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2009/informbul-1\\_2009/planet-1.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2009/informbul-1_2009/planet-1.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