

# Методика поиска и исследования треков тяжелых и сверхтяжелых ядер галактических космических лучей по результатам измерений в оливинах из метеоритов.

Докладчик – к.ф.-м.н. Тан Найнг Сое, докторант ФИАН

Целью эксперимента ОЛИМПИА (ОЛИвины из Метеоритов - Поиск тяжелых и сверхтяжелых Ядер) [1] является поиск и идентификация тяжелых и сверхтяжелых ядер галактических космических лучей (ГКЛ) в кристаллах оливинов из железо-каменных метеоритов (палласитов), используемых как трековые детекторы. В ходе проекта ОЛИМПИА осуществляется набор данных о составе тяжёлой компоненты космического излучения (ядер с  $Z > 55$ ), оценка величин их потоков и построение статистически обеспеченного зарядового спектра в этой области зарядов [2]. Кристаллы оливина ( $(\text{Mg}_{0.8}\text{Fe}_{0.2})_2\text{SiO}_4$ ), входящие в состав метеоритов типа палласитов, за время облучения в космическом пространстве накапливают следы ядер ГКЛ тяжелее железа. Уникальность этих природных детекторов заключается в длительном времени их экспозиции: потоки сверхтяжелых ядер в составе космических лучей необычайно малы, и для того, чтобы получить статистически значимый результат, необходимо либо располагать в космосе установкой гигантской площади, либо обеспечить очень продолжительное время экспозиции. Возраст используемых в настоящей работе палласитов (Marjalahti и Eagle Station, переданных в ФИАН для исследования Лабораторией ядерных реакций ОИЯИ) составляет, по различным оценкам, от 30 до 175 миллионов лет [3]. К настоящему времени в проекте ОЛИМПИА найдено и идентифицировано около 26000 тысяч ядер с зарядом более 50.

В докладе сообщается о методике исследования, обнаруженных особенностях (необычные треки, отжиг, фрагментация), полученном зарядовом спектре, в том числе:

*- о разработанной и успешно применяемой методике поиска треков галактических космических ядер - при поиске треков ядер используется авторская методика «среза-сошлифовки», рис. 1:*

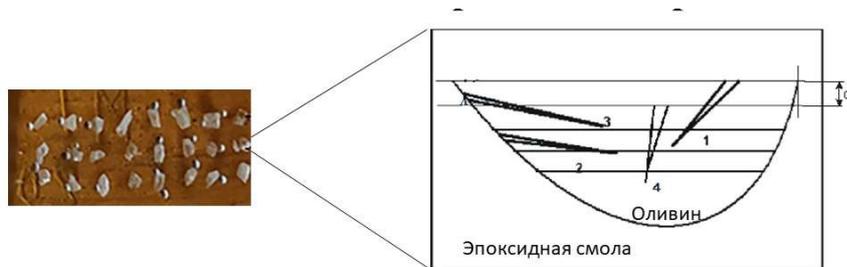


Рис.1. Внешний вид (слева) эпоксидной «таблетки» с кристаллами оливинов, схема расположения треков в одном из кристаллов и обозначения линий среза (справа).

- о разработке алгоритмов измерения и анализа характеристик треков ядер, например, длина треков вычисляется по формуле [1], точность среза и сошлифовки восстанавливается по схеме на рис.2, методика определения заряда частично представлена на рис.3:

$$L + \delta L = \sum_{i=1}^N \frac{(d_i + \delta d_i)}{(\cos \theta_i + \delta \cos \theta_i)} + (R_{\text{ост}} + \delta R_{\text{ост}}) = \sum_{i=1}^N (R_i + \delta R_i) + (R_{\text{ост}} + \delta R_{\text{ост}}). \quad [1]$$

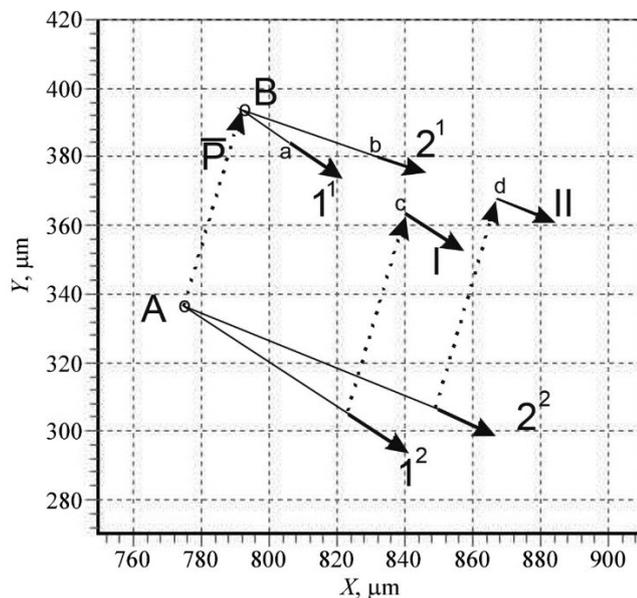


Рис.2. Схематическое изображение положения треков 1 и 2 в координатных системах микроскопа и кристалла.

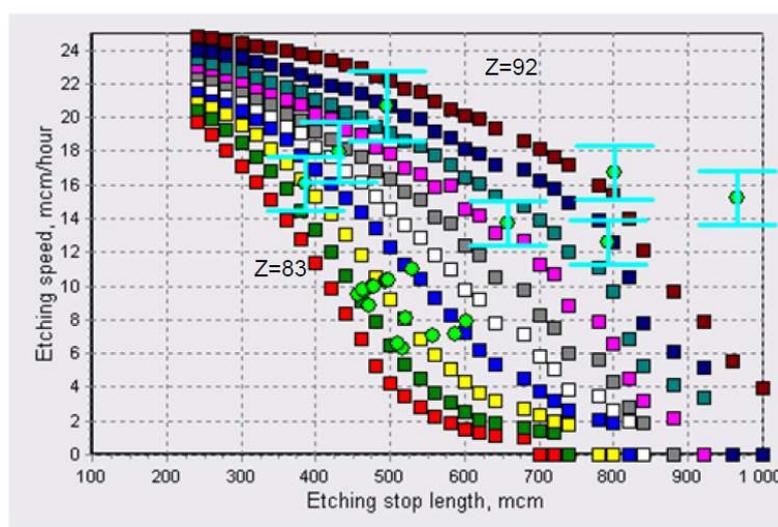


Рис.3. Сопоставление величин скорости травления и длины трека с зарядом ядра с использованием калибровочных кривых

- об анализе возможных причин возникновения треков особой формы в метеоритах Марьялахти и Игл Стейшин:

Из 26000 тысяч найденных и идентифицированных ядер около 2% ядер имеют необычную форму протравленных каналов. На рисунке 4а приведена фотография типичного протравленного

трека ядра, а на рисунке 4б показан протравленный трек, имеющий необычную форму “шприца”. Этот трек начинается с узкого участка, который затем резко переходит в широкую часть. Природа такого поведения протравленных каналов не ясна.

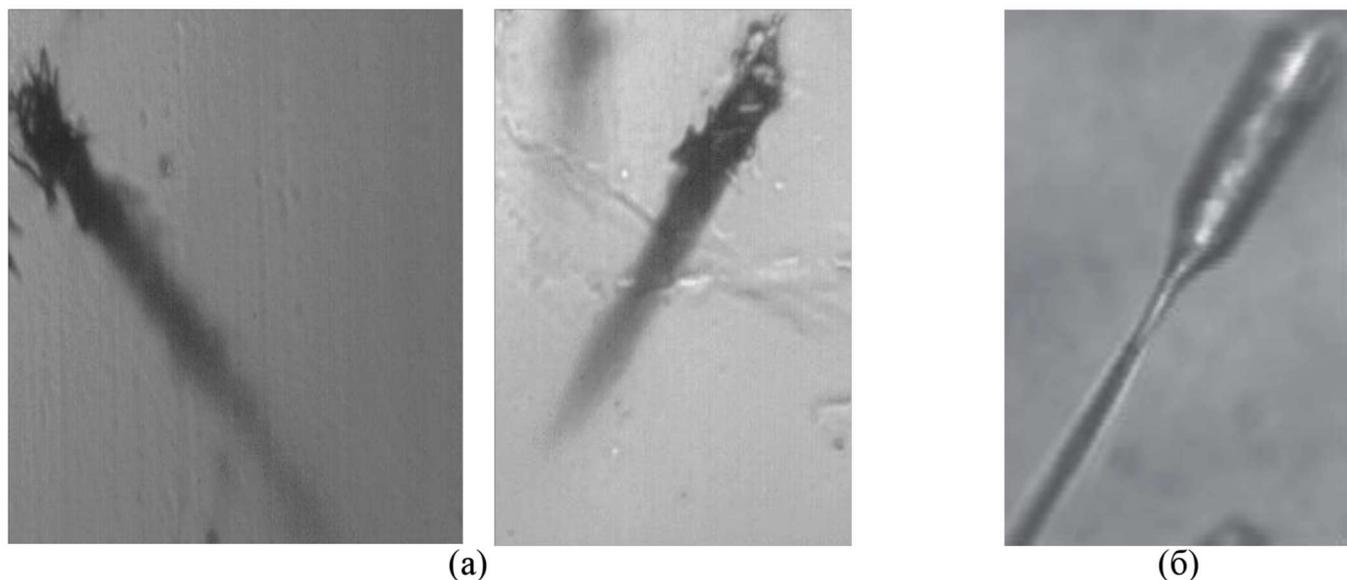


Рис. 4. Протравленные треки ядер в оптическом микроскопе (увеличение  $\times 40$ ): (а) обычные треки и (б) трек шприца.

С целью оценки динамики прохождения тяжёлого иона через вещество было проведено детальное изучение пространственно-временной картины этого процесса. Расчёты выполнены с использованием программного пакета GEANT4 [4], который позволяет провести моделирование прохождения первичных и вторичных частиц через установку и проследить траекторию каждой из них на всём пути вплоть до точки останова.

*- о влиянии отжига треков на зарядовый спектр, рис.5:*

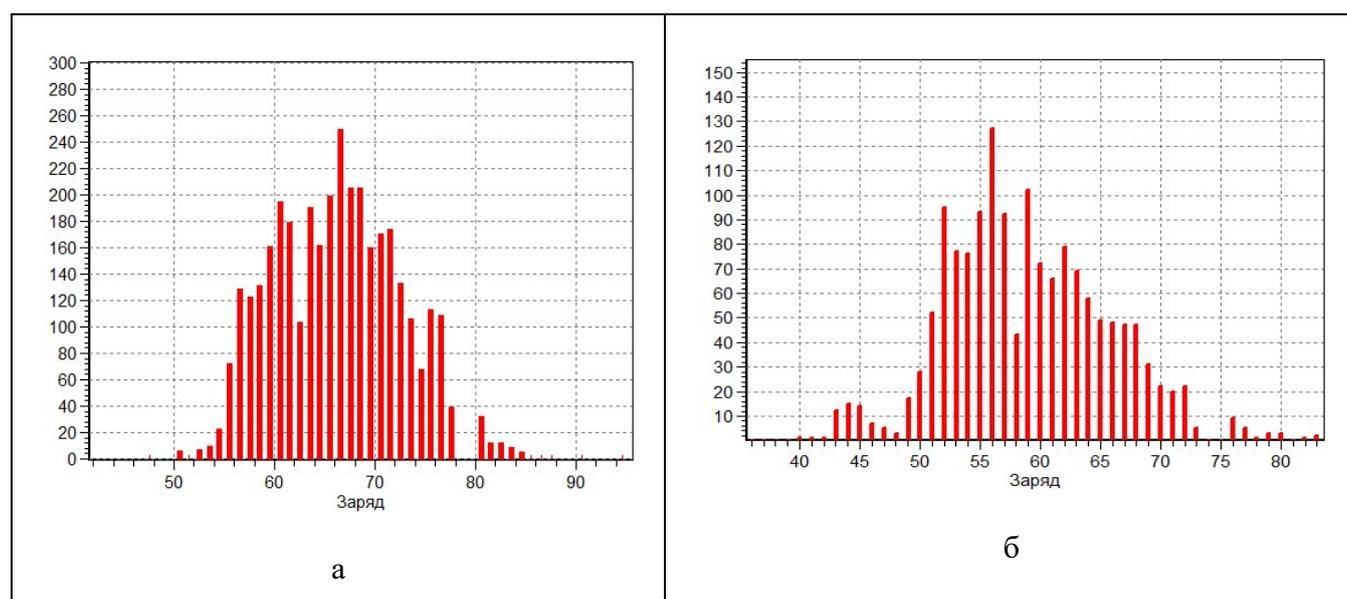


Рис.5. а – зарядовый спектр из кристаллов вблизи поверхности метеорита, б – зарядовый спектр из кристаллов на большей глубине.

- об оценке влияния фрагментации сверхтяжелых ядер на зарядовый спектр (рис.6):

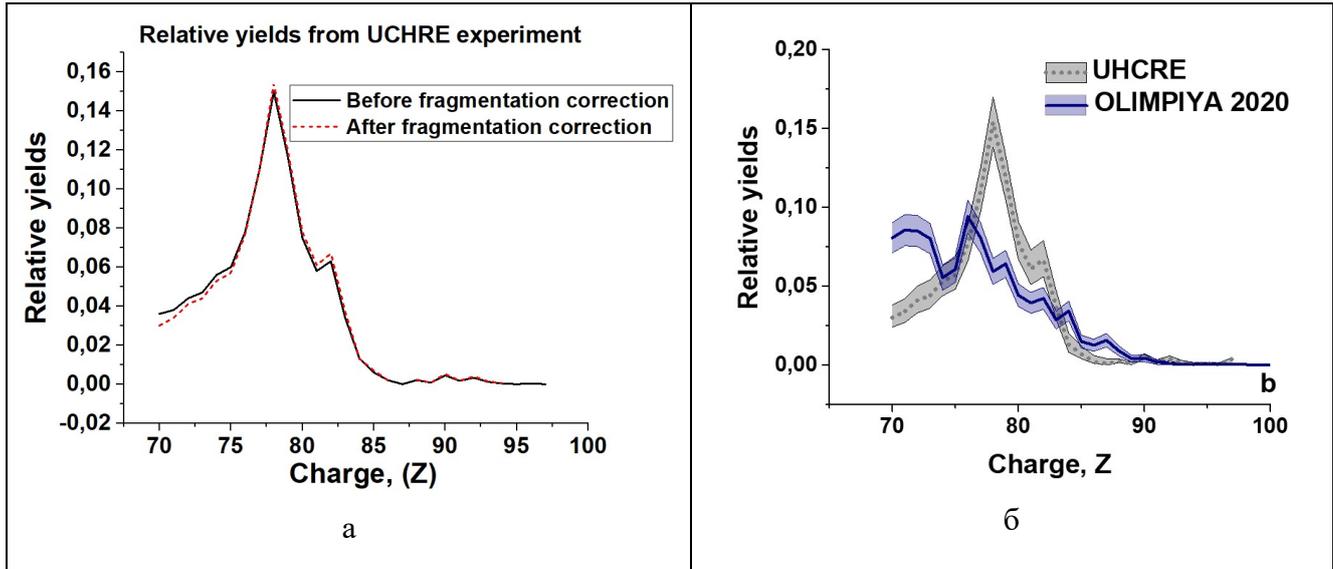


Рис. 6. (а) Сравнение результатов спутникового эксперимента UCHRE с учетом фрагментации и без него; (б) сравнение результатов экспериментов UCHRE и ОЛИМПИА с диапазонами поправок на фрагментацию.

- приводится полученный итоговый зарядовый спектр ядер галактических космических лучей по измерениям в метеоритах Марьялахти и Игл Стейшн:

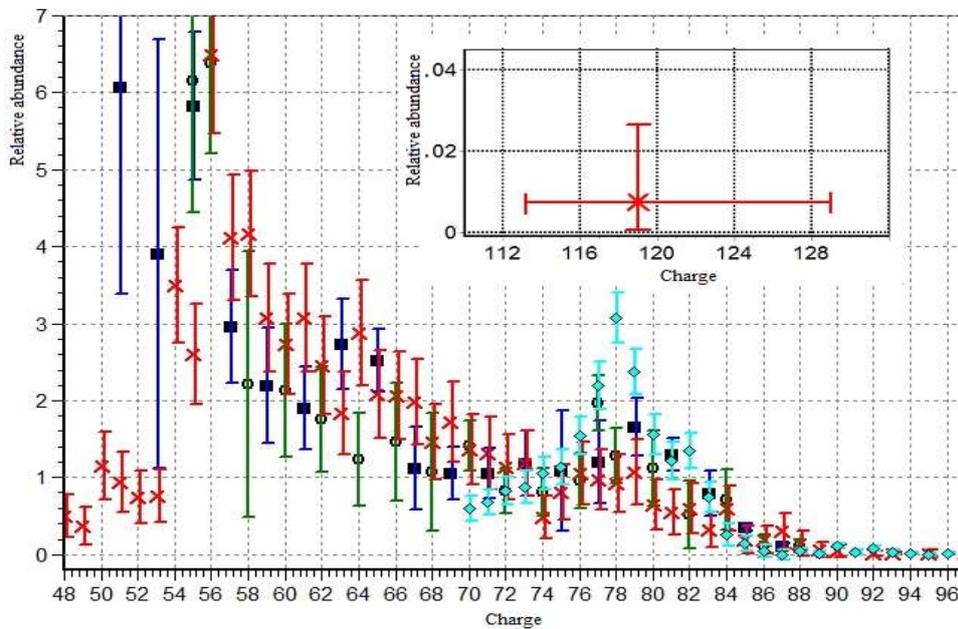


Рис.7. Распространённость сверхтяжёлых элементов  $A_Z$  ( $A_{Fe}=10^6$ ). Кружки – Ariel-6, квадраты – HEAO-3, ромб – UCHRE, кресты - наши измерения.

*- об особенностях треков ядер в метеорите Сеймчан:*

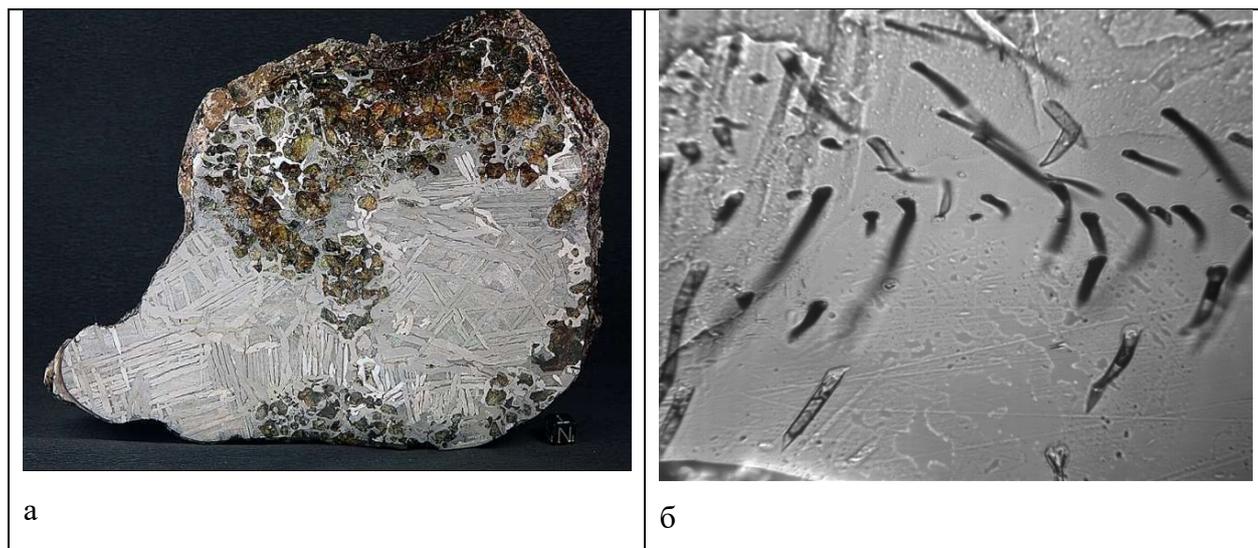


Рис.8. а- образец метеорита Сеймчан; б – одно поле зрения микроскопа с увеличением 40х.

#### Литература

1. В.Л. Гинзбург Е.Л. Фейнберг, Н.Г. Полухина и др., Докл. РАН 402, 472 (2005).
2. V. Alexeev, A. Bagulya, M. Chernyavsky et al., Astrophys. J. 829, 120 (2016).
3. А.В. Багуля, М.С. Владимиров, А.Е. Волков и др., КСФ. 42, 49 (2015)
4. Allison et al (GEANT4 collaboration), Nuclear Instrument Methods A, 506 (2003) 250