

## РЕЗУЛЬТАТЫ КАЛИБРОВКИ ОЛИВИНОВ ИЗ МЕТЕОРИТОВ ЯДРАМИ $^{238}\text{U}$ НА УСКОРИТЕЛЕ БЭВАЛАК

*В.П.Перелыгин, С.Г.Стеценко*

Представлены результаты калибровки чувствительности кристаллов оливина из метеоритов ядрами  $^{238}\text{U}$  на ускорителе Бэвалак. Сопоставление спектров травимых длин ускоренных ядер  $^{238}\text{U}$  и "древних" треков в этих оливинах показало, что обнаруженная в ЛЯР ОИЯИ в 1980 г. группа "древних" треков длиной  $\sim 210$  мкм обусловлена галактическими космическими ядрами группы Th-U. Обсуждаются возможности однозначной идентификации группы аномально протяженных треков космических ядер длиной  $340 \div 360$  мкм.

Проводившиеся в 1980–1987 гг. в ЛЯР ОИЯИ опыты по исследованию древних треков от галактических космических ядер в кристаллах оливина из метеоритов имели своей целью поиск и идентификацию аномально протяженных треков, обусловленных ядрами с  $Z \geq 110$ <sup>1-3</sup>.

В этих опытах использовались кристаллы из метеоритов Марьялахти и Игл Стейшн; основная работа проводилась с образцами из метеорита Марьялахти (радиационный возраст  $\sim 180$  млн. лет).

Кристаллы оливина перед травлением отжигали при температуре  $430 \pm 1$  °C в течение 32 час, что приводило к устранению фона треков космического Fe –  $10^{10}$ – $10^{11}$  тр/см<sup>3</sup>, а также к сокращению в 6–8 раз и нивелировке спектра длин треков ядер в области  $Z \geq 54$ <sup>3</sup>. Приведенная в<sup>3</sup> расчетная зависимость травимых длин треков от атомного номера  $Z$  ядер базировалась на единственной калибровочной точке для  $^{132}\text{Xe}$  –  $L = (26,5 \pm 2,5)$  мкм.

Уже в первых опытах<sup>1</sup> в спектре длин (рис. 1а) четко выделялись группы треков 120–140 мкм, 190–210 мкм, которые можно было соответственно отнести к трекам космических ядер Pt-Pb и Th-U; был обнаружен также аномально протяженный трек длиной 365 мкм.

В последующие годы<sup>2</sup> число найденных треков длиной  $\sim 210$  мкм превысило 1100, число треков длиной 340–360 мкм достигло 11 (рис. 1б).

Как видно из спектра рис. 1а, б, группы треков длиной 120–140 мкм и ~ 210 мкм четко разделяются, что, очевидно, обусловлено отсутствием достаточно стабильных ядер в области от Bi до Th ( $T_{1,2} \geq 10^5$  лет).

Группа anomalно протяженных треков примерно в 1,7 раза превышала по длине треки, отнесенные к ядрам группы Th–U.

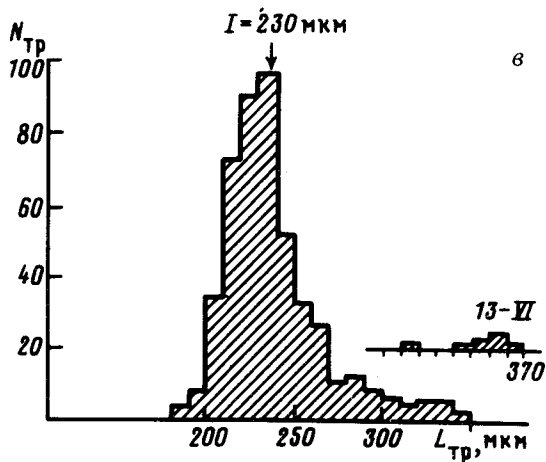
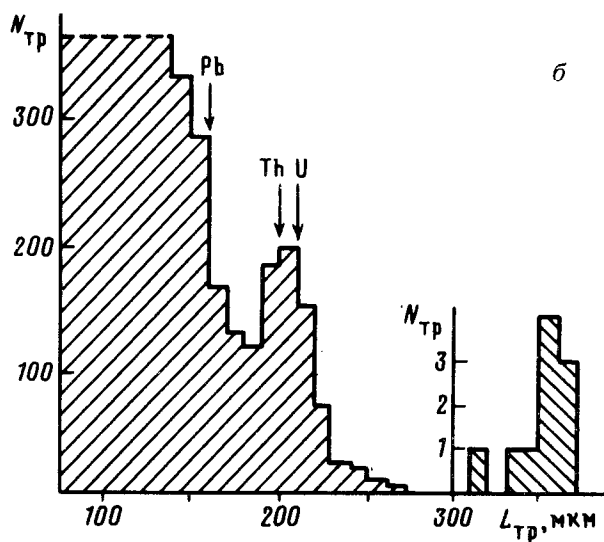
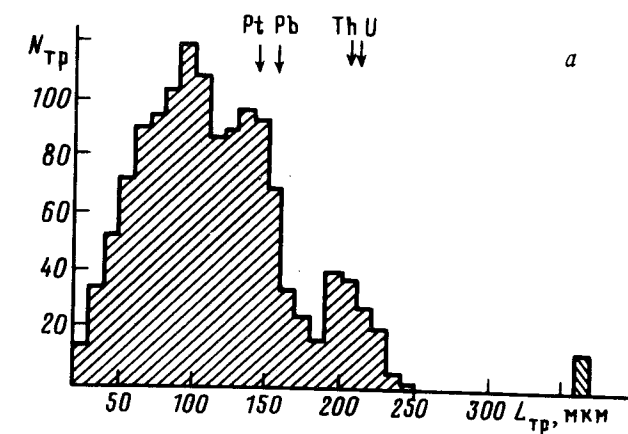


Рис. 1. а – Спектр длин "древних" треков галактических космических ядер в кристаллах оливина из метеоритов по данным работы 1980 г. <sup>1</sup>. Отжиг кристаллов проводился при 430 °С в течение 32 час; б – суммарный спектр длин "древних" треков галактических космических ядер в кристаллах оливина. Отжиг кристаллов проводили при 430 °С в течение 32 час; 90% треков было измерено в кристаллах из метеорита Марьялахти, остальные – в кристаллах из метеорита Игл Стейшн <sup>2</sup>; в – спектр длин треков ускоренных ядер <sup>238</sup>U в кристаллах оливина из метеорита Марьялахти, отожженных перед травлением при 450 °С в течение 32 час

Последнее обстоятельство представляет большой интерес в связи с гипотезой существования ядер сверхтяжелых элементов в составе галактических космических лучей.

Следует отметить особо, что эти исследования являются уникальными с точки зрения чувствительности исследований наиболее тяжелой компоненты космических лучей, они во много раз превосходят возможности других методик, как трековых, так и электронных<sup>2</sup>. Однако решение вопроса идентификации треков космических ядер длиной  $\approx 210$  мкм и происхождения аномально протяженных треков требовало калибровки кристаллов оливина из метеоритов релятивистскими ядрами Au, Pb, U с энергией  $> 25$  МэВ/нуклон.

Первый калибровочный эксперимент был проведен на ускорителе Бэвалак (ЛБЛ, г. Беркли) в ноябре 1987 г. Энергия ядер  $^{238}\text{U}$  в этом опыте была  $\approx 30$  и  $\approx 70$  МэВ/нуклон, угол вхождения ионов составлял  $25^\circ$ , а для некоторой части образцов  $\sim 10^\circ$  к полированной поверхности кристаллов оливина из метеоритов. Флюэнс ионов урана составлял  $\approx 10^4$  ядер/см<sup>2</sup> ( $\pm 20\%$ ), он определялся с помощью слюдяных детекторов, облучавшихся одновременно с кристаллами оливина под теми же углами.

Условия отжига, травления и выявления треков в этих и предыдущих<sup>1,2</sup> исследованиях были полностью идентичными.

На рис. 1в приведены результаты измерений длин треков ускоренного  $^{238}\text{U}$  в 83 кристаллах из метеорита Марьялахти.

Как следует из рис. 1в, максимум спектра длин треков  $^{238}\text{U}$  для оливинов из метеорита Марьялахти соответствует  $230^{+25}_{-20}$  мкм. Форма и полуширина этого спектра хорошо совпадают со спектром длин "древних" треков —  $210 \pm 20$  мкм (рис. 1а, б).

Некоторое систематическое превышение длин треков ускоренного урана — на  $\sim 10\%$ , по-видимому, обусловлено неучитываемыми эффектами воздействия нагревания кристаллов оливина в космических условиях за период до 180 млн. лет радиационной истории метеорита Марьялахти. Кроме того, некоторая дополнительная информация была получена при измерениях спектров длин треков  $^{238}\text{U}$  в 32 кристаллах оливина из метеорита Игл Стейшн. Было установлено, что для кристаллов оливина из метеорита Игл Стейшн наблюдается практически полное совпадение спектра длин треков  $^{238}\text{U}$  со спектром длин соответствующей группы древних треков ( $\approx 220$  и  $\approx 210$  мкм). Таким образом из результатов этого опыта следует, что группа древних треков длиной  $\approx 210$  мкм обусловлена галактическими космическими ядрами группы Th—U. Разделить пики, соответствующие торию и урану ( $\Delta Z = 2$ ) не представляется возможным, так как разница травимых длин треков этих ядер не превышает 5%, а достигнутый уровень разрешения  $\Delta Z = 4 \div 5$ .

Рассмотрим отдельно протяженные треки в спектре длин для  $^{238}\text{U}$ ; имеющие длину до 350 и даже до 370 мкм. Они составляют  $1 \div 2\%$  от числа треков для кристаллов метеорита Марьялахти и отсутствуют в спектре длин для метеорита Игл Стейшн. Сопоставляя "хвост" калибровочного спектра  $^{238}\text{U}$  (рис. 1в) с наиболее протяженными древними треками (рис. 1б), можно отметить, что их количества примерно одинаковы по отношению к основному пику. Вместе с тем, уже анализ столь ограниченного числа кристаллов, содержащих удлиненные треки  $^{238}\text{U}$  показал, что такие треки, как правило, близки по ориентации главным кристаллографическим плоскостям оливина.

В то же время для древних треков длиной 340–360 мкм такой корреляции не было обнаружено. Таким образом, вопрос о происхождении группы аномально протяженных треков космических ядер остается открытым; его решение требует более подробных исследований.

Нами были проведены также опыты по просмотру  $1,2 \text{ см}^3$  кристаллов оливина из метеорита Марьялахти, отожженных при  $450^\circ\text{C}$  в течение 32 час. На рис. 2а, б измеренные спектры длин древних треков в этих кристаллах сопоставлены с данными по отжигу треков ускоренного  $^{238}\text{U}$  в тех же условиях.

Как следует из рис. 2а, б, группе древних треков длиной  $\approx 115$  мкм соответствуют треки ускоренного  $^{238}\text{U}$  длиной  $\approx 120$  мкм. Максимальная длина треков  $^{238}\text{U}$  не превосходит 180 мкм; в то же время в спектре длин древних треков (рис. 2а) имеется трек длиной около 250 мкм.

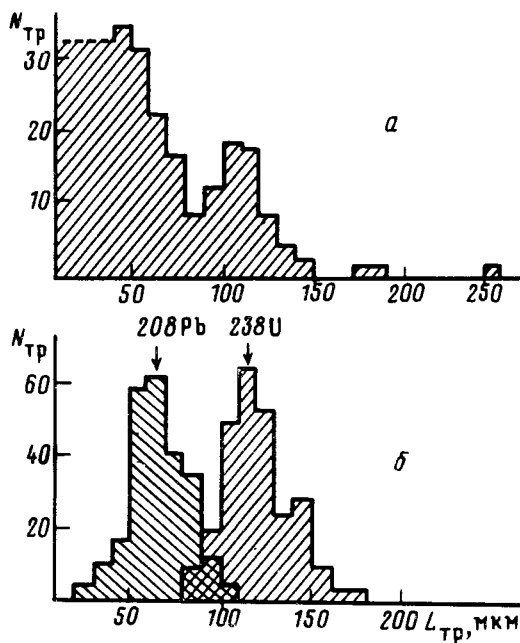


Рис. 2. а – Спектр длин “древних” треков галактических космических ядер в кристаллах оливина из метеоритов Марьялахти. Отжиг кристаллов проводили при  $450^\circ\text{C}$  в течение 32 час; б – спектр длин треков ядер  $^{238}\text{U}$  в кристаллах оливина из метеорита Марьялахти, стоженных при  $450^\circ\text{C}$  в течение 32 час

Нам представляется, что для проведения такого рода исследований в дальнейшем более перспективны образцы оливина из метеорита Игл Стейшн, в котором имеются участки, расположенные на глубине 1,5 – 2,5 см от его первоначальной (доатмосферной) поверхности.

Эти кристаллы имеют плотность треков наиболее тяжелых космических ядер в несколько раз большую, чем образцы из метеорита Марьялахти.

По результатам этого эксперимента можно заключить, что в работе <sup>1</sup> впервые представлены треки ядер группы Th–U галактического происхождения. Представленное в этой работе новое направление исследований галактических космических ядер (область  $Z \geq 50$ ) – по трекам в кристаллах из метеоритов, существенно превосходит по чувствительности другие методы.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность академику Г.Н.Флерову, Ю.Ц.Оганесяну и Г.М.Тер-Акопяну за внимание к работе, полезные советы и обсуждения.

Авторы благодарят директора ЛБЛ профессора Д.Ширли за предоставленную возможность проведения облучений кристаллов из метеоритов ядрами  $^{238}\text{U}$  на ускорителе Бэвалак, Ш.Дж.Кроуфорда и Т.Дж.М.Саймонса, обеспечивших проведение этих облучений, а также Банкову Г.Г., Князеву Г.П., Петрову Р.И. за помощь при обработке и просмотре облученных кристаллов.

#### Литература

1. Перельгин В.П., Стеценко С.Г. Письма в ЖЭТФ, 1980, 32, 622.
2. Перельгин В.П., Стеценко С.Г., Флеров Г.Н. Крат. сообщения ОИЯИ, № 7-85, Дубна, 1985, с. 5.
3. Lhagvasuren D., Otgonsuren O., Perelygin V.P. et al. Sol. St. Nucl. Track Detectors. Ed. Francaus et al., Pergamon Press, 1980, p. 997.