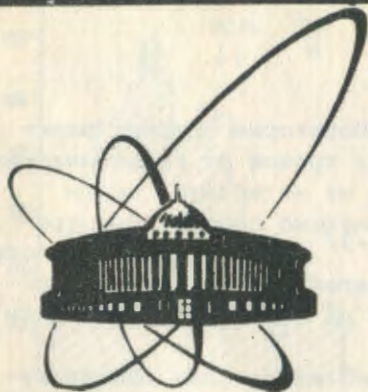


89-12



70  
ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P7-89-12

В.П.Перельгин, С.Г.Стеценко

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

Направлено в журнал "Письма в ЖЭТФ"

1989

Проводившиеся в 1980-1987 гг. в Лаборатории ядерных реакций 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 ~180 млн. лет/.

Кристаллы оливина перед травлением отжигали при температуре  $430 \pm 1^\circ\text{C}$  в течение 32 ч, что приводило к устранению фона треков космического Fe -  $10^{10} \pm 10^{11}$  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, 190-220 мкм, которые можно было соответственно отнести к трекам космических ядер Pt - Pb, Th - U; был обнаружен также аномально протяженный трек длиной 365 мкм.

В последующие годы<sup>/2/</sup> число найденных треков длиной ~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 аномально протяженных треков примерно в 1,7 раза превышала по длине треки, отнесенные к ядрам группы Th - U.

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 ~210 мкм и происхождения аномально протяженных треков требовало калибровки кристаллов оливина

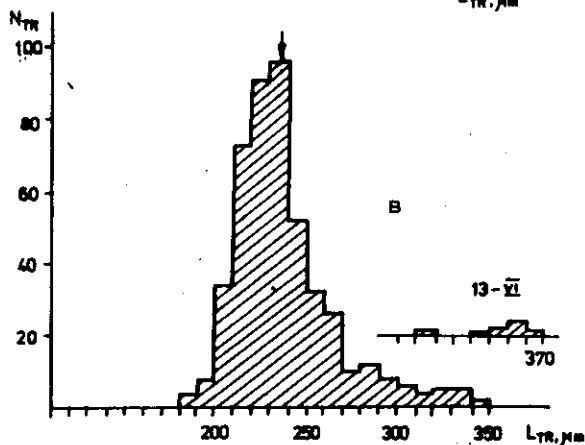
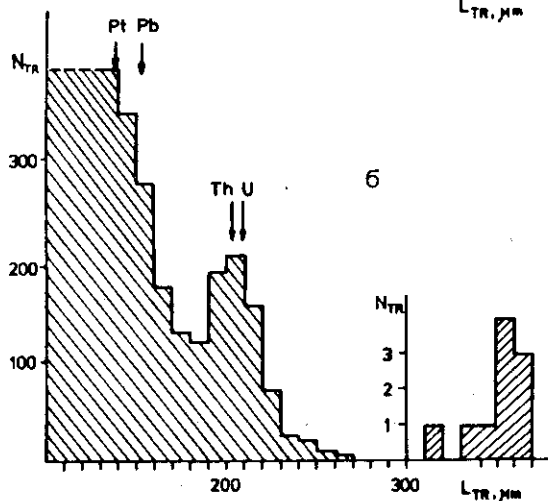
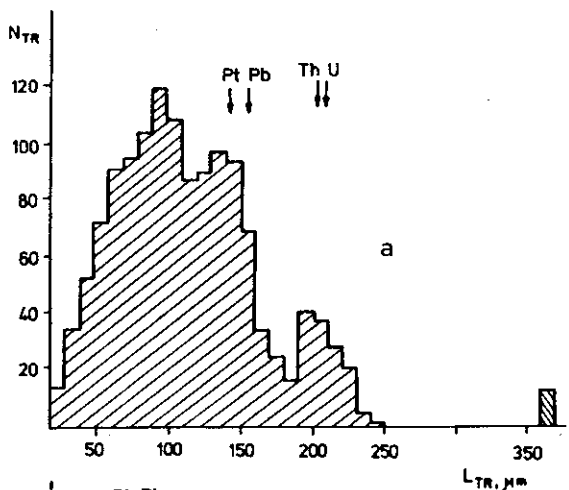


Рис.1. а/ Спектр длин "древних" треков галактических космических ядер в кристаллах оливина из метеоритов по данным работы 1980 г./1/. Отжиг кристаллов проводился при 430°C в течение 32 ч; б/ Суммарный спектр длин "древних" треков галактических космических ядер в кристаллах оливина. Отжиг кристаллов проводили при 430°C в течение 32 ч, 90% треков было измерено в кристаллах из метеорита Марьялахти, остальные - в кристаллах из метеорита Игл Стейшн/2/; в/ Спектр длин треков ускоренных ядер  $^{238}\text{U}$  в кристаллах оливина из метеорита Марьялахти, отожженных перед травлением при 430°C в течение 32 ч.

из метеоритов релятивистскими ядрами Au, Pb, U с энергией  $\geq 25$  МэВ/нуклон.

Первый калибровочный эксперимент был проведен на ускорителе Бэвалак /ЛБЛ, г.Беркли, США/ 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. Флюэкс ионов урана составлял  $\sim 10^4$  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 идентичны.

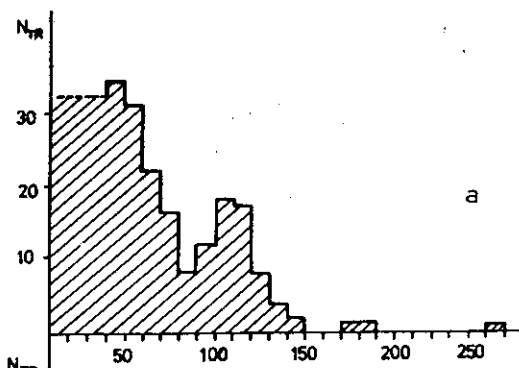
На рис. 1в приведены результаты измерений длин треков ускоренного  $^{238}\text{U}$  в 83 кристаллах из метеорита Марьялахти.

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/.

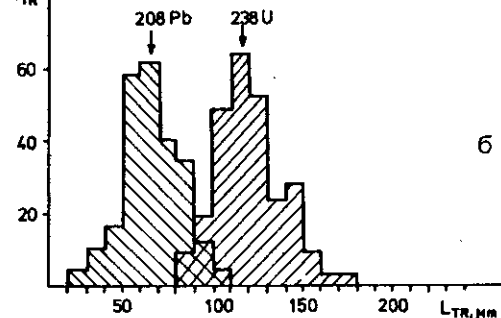
Некоторое систематическое превышение длин треков ускоренного урана на 10% по-видимому, обусловлено неучитываемыми эффектами воздействия нагревания кристаллов оливина в космических условиях за период до 180 млн. лет радиационной истории метеорита Марьялахти. Кроме того, некоторая дополнительная информация 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 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 1-2% 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.



а



б

Рис.2. а/ Спектр длин "древних" треков галактических космических ядер в кристаллах оливина из метеоритов Марьялахти. Отжиг кристаллов проводили при 450°C в течение 32 ч. б/ Спектр длин треков ядер  $^{238}\text{U}$  в кристаллах оливина из метеорита Марьялахти, отожженных при 450°C в течение 32 ч.

Нами были проведены также опыты по просмотру 1,2 см<sup>3</sup> кристаллов оливина из метеорита Марьялахти, отожженных при 450°C в течение 32 ч. На рис.2 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.2, группе "древних" треков длиной ~115 мкм соответствуют треки ускоренного  $^{238}\text{U}$  длиной ~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.

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 /1/ впервые представлены треки ядер группы 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 /Беркли/ 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 Г.Г.Банкову, Г.П.Князеву, Р.И.Петрову за помощь при обработке и просмотре облученных кристаллов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Перельгин В.П., Стеценко С.Г. - Письма в ЖЭТФ, 1980, 32, с.622.
2. Перельгин В.П., Стеценко С.Г., Флеров Г.Н. - В сб.: "Краткие сообщения ОИЯИ", № 7-85, Дубна, ОИЯИ, с.5.
3. Lhagvasuren D. et al. - Solid State Nuclear Track Detectors; ed. Francaus et al. - Pergamon Press., 1980, p.997.

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 января 1989 года.