

10221

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛ

P7 - 10221

В.П.Перельгин, Д.Лхагвасурэн, О.Отгонсурэн,  
С.Г.Стеценко, Б.Якупи

ПОИСКИ ЯДЕР  
ДАЛЕКИХ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
В ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

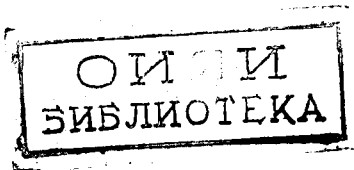
1976

P7 - 10221

В.П.Перельгин, Д.Лхагвасурэн, О.Отгонсурэн,  
С.Г.Стеценко, Б.Якупи

ПОИСКИ ЯДЕР  
ДАЛЕКИХ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
В ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

*Направлено на совещание по синтезу и поиску  
трансурановых элементов /Дубна, 1976/.*



Поиски ядер далеких трансурановых элементов в галактических космических лучах

Представлены результаты опытов по поиску следов от останков далеких ядер трансурановых элементов галактического происхождения в кристаллах оливина из метеорита Марьялахти. Просмотрено 174 мм<sup>3</sup> оливинов из поверхностных участков метеорита и 60 мм<sup>3</sup> из его внутренних областей. Измерено свыше 1300 треков от космических ядер с  $Z \geq 70$ . Получена новая верхняя граница распространенности ядер с  $Z > 110$  в галактических космических лучах на уровне  $\leq 4 \cdot 10^{-9}$  от распространенности ядер группы железа.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований

Дубна 1976

Perelygin V.P. et al.

P7 - 10221

Search for Far Transuranic Elements in Galactic Cosmic Rays

Experimental results on the search for the tracks of far transuranic elements of the galactic origin in olivine crystals from Marjalahti meteorite are presented. A total of 174 mm<sup>3</sup> of olivines taken from the surface layers of the meteorite and 60 mm<sup>3</sup> taken from its inner parts have been examined. The upper limit of the abundance of the  $Z \geq 110$  nuclei has been established to be  $\leq 4 \times 10^{-9}$  of the abundance of the Fe group nuclei.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research

Dubna 1976

Целью настоящей работы явилось проведение поисков далеких трансурановых элементов в галактическом веществе, единственным известным источником которого является нуклонная компонента первичного космического излучения<sup>/1/</sup>.

Проведение таких исследований дает ряд преимуществ по сравнению с поисками сверхтяжелых элементов в земных образцах<sup>/2,3/</sup>.

Во-первых, согласно современным представлениям, синтез тяжелых /и сверхтяжелых/ элементов может осуществляться в целом ряде галактических объектов. В качестве источника таких ядер различные авторы рассматривают нуклеосинтез, происходящий в оболочках новых и сверхновых звезд<sup>/4,5/</sup>, в пульсарах<sup>/6,7/</sup>, белых карликах<sup>/8/</sup>, а также грандиозные взрывообразные процессы, происходящие в ядрах галактик<sup>/9/</sup>. В противоположность этому, источником сверхтяжелых элементов в Солнечной системе служил единичный процесс нуклеосинтеза, имевший место 4,6 млрд. лет тому назад.

Во-вторых, процессы нуклеосинтеза в Галактике носят непрерывный характер, приводят к постоянному пополнению области галактического диска /и галактического гало/ вновь образованными ядрами. Поскольку среднее время жизни космических ядер в Галактике составляет  $10^6 - 10^7$  лет, нижняя граница периодов полураспада сверхтяжелых ядер в составе космического излучения, по крайней мере, на один-два порядка меньше, чем для земных образцов.

В-третьих, поскольку космические ядра обладают большими энергиями, их идентификация /в отличие от

идентификации сверхтяжелых элементов в земных образцах/ не налагает никаких дополнительных условий на их периоды полураспада, сечения деления, типы распада и т.д.

Такая идентификация производится по ионизации, создаваемой тяжелыми и сверхтяжелыми ядрами при их замедлении в веществе детектора.

Поиски далеких трансурановых элементов в галактическом веществе осуществлялись двумя путями.

1. Прямая регистрация галактических космических ядер с помощью сцинтилляционных спектрометров, стопок ядерных эмульсий, пластиков и черенковских детекторов, помещаемых на шары-зонды и спутники<sup>/10-13/</sup>.

2. Выявление и идентификация следов остановок тяжелых космических ядер в минералах из метеоритов, а также с поверхности Луны, основанная на способности некоторых силикатных минералов регистрировать тяжелые ядра в течение десятков и сотен миллионов лет<sup>/14-16/</sup>.

Как показано в наших предыдущих работах<sup>/3,17-22/</sup>, исследования минералов из метеоритов позволяют существенно повысить чувствительность поисков ядер сверхтяжелых элементов в галактических космических лучах. Действительно, приведенные в работе<sup>/3/</sup> оценки показывают, что исследования одного грамма минералов из метеорита, имеющего радиационный возраст  $\sim 10^8$  лет, эквивалентны проведению опыта по прямому облучению десятков тонн трековых детекторов в течение 1 года на орбите искусственного спутника Земли.

Исследования минералов из метеоритов, имеющих возраст свыше 100 млн. лет, создают еще одну интересную возможность /по сравнению с опытами по прямой регистрации космических ядер/, а именно, возможность прямой регистрации космического излучения взрывов новых и сверхновых звезд в непосредственной близости от Солнечной системы, во время ее пребывания в спиральных рукавах Галактики<sup>/22/</sup>. В этом случае нижняя граница времен жизни сверхтяжелых ядер, определяемая временем пролета таких ядер от источника до окрестности Солнца, могла быть на 3-4 порядка меньше среднего времени жизни космических ядер в Галактике.

В качестве объекта исследования нами были выбраны оливины из палласита Марьялахти, имеющего радиационный возраст  $/176 \pm 12/$  млн. лет<sup>/18/</sup>. В этом метеорите ранее были обнаружены участки, расположенные на глубине свыше 4-5 см от его первоначальной /доатмосферной/ поверхности<sup>/17,18/</sup>.

В наших предыдущих исследованиях сообщалось об идентификации треков тяжелых космических ядер в условиях фона капиллярных включений и дислокаций<sup>/21/</sup>, о калибровке оливинов из палласитов ускоренными ионами от титана до ксенона, об исследованиях термической стабильности непроявленных треков<sup>/3,17,19,23/</sup>. Систематический просмотр 62 мм<sup>3</sup> оливинов из метеорита Марьялахти, проведенный нами в 1975 году<sup>/22/</sup>, позволил получить значения относительной распространенности групп ядер с  $Z \geq 52$ , усредненные за период до 170-180 млн. лет. Была получена также верхняя граница распространенности ядер с  $Z \geq 110$  на уровне  $\leq 1,5 \cdot 10^{-8}$  от распространенности ядер группы железа<sup>/22/</sup>.

Задачей настоящей работы явилось проведение дальнейших поисков следов от остановок сверхтяжелых ядер в оливинах из метеорита Марьялахти. С этой целью было смонтировано несколько сотен кристаллов оливинов из этого метеорита, отобранных в местах с плотностью треков  $/5 \div 6/ \cdot 10^6$  на см<sup>2</sup>/поверхностные участки метеорита/, и из внутренних локализаций, имевших плотность  $/1,5 \div 2,5/ \cdot 10^6$  треков на см<sup>2</sup>. Размеры смонтированных кристаллов составляли от 2x2 до 4x5 мм<sup>2</sup>.

Как показали наши предыдущие исследования<sup>/21/</sup> для внутренних участков метеорита /глубина расположения свыше 4-5 см/, треки ядер группы Fe и более тяжелых ядер сосредоточены в относительно узком интервале углов /рис.1/. В связи с этим для увеличения эффективности регистрации протяженных треков поверхности кристаллов ориентировались преимущественно под прямым углом к поверхности метеорита.

После полировки поверхности кристаллы травились в растворе, предложенном в работе<sup>/23/</sup> модифицированном добавлением 3 г щавелевой кислоты. Температура травления была 100-110 °C; для предотвращения испарения воды растворы помещались в герметически замкнутые

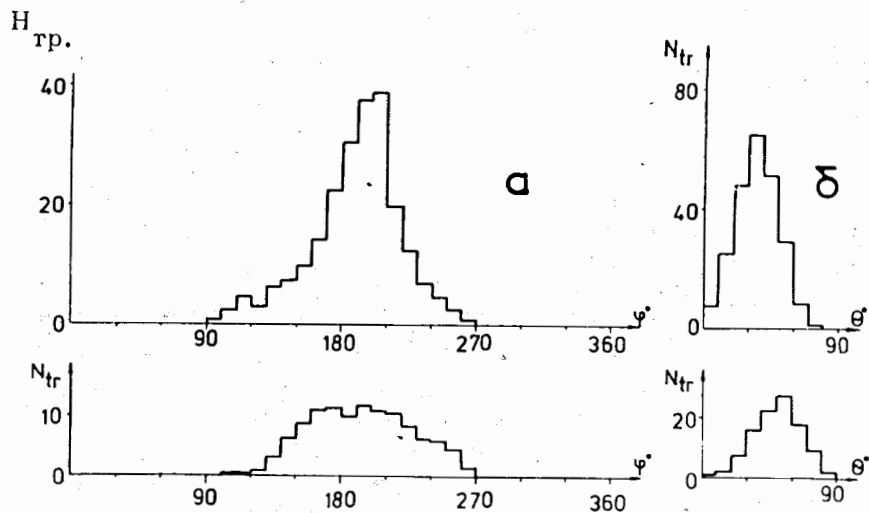


Рис. 1. Угловые распределения следов ядер группы Fe /вверху/ и ядер с  $Z > 36$  /внизу/. Распределения треков по азимуту - /а/, по углам погружения - /б/.

сосуды из тефлона. Время травления составляло от 24 до 48 ч. При выявлении треков, заключенных в объеме кристаллов, аналогично работе /24/, использовались естественные трещины, треки тяжелых ядер, дефекты кристаллической структуры оливинов. Кристаллы, не имевшие трещин и других дефектов структуры, подвергались последовательной послойной полировке и травлению /с шагом 30-40 мкм/.

Часть кристаллов была облучена перпендикулярно поверхности ионами ксенона с энергией 7,3 МэВ на нуклон, образующими треки длиной 55 мкм /22/. Применялась также предложенная в работе /25/ методика облучения кристаллов оливина большими потоками ионов аргона через систему щелей шириной 20-25 мкм и с шагом 150-200 мкм. Такая процедура позволяла выявлять треки, полностью заключенные в объеме кристаллов. На первом этапе этих исследований проводилось измерение всех треков, имевших длину свыше 40 мкм для локализаций, расположенных на глубинах около 5 см от

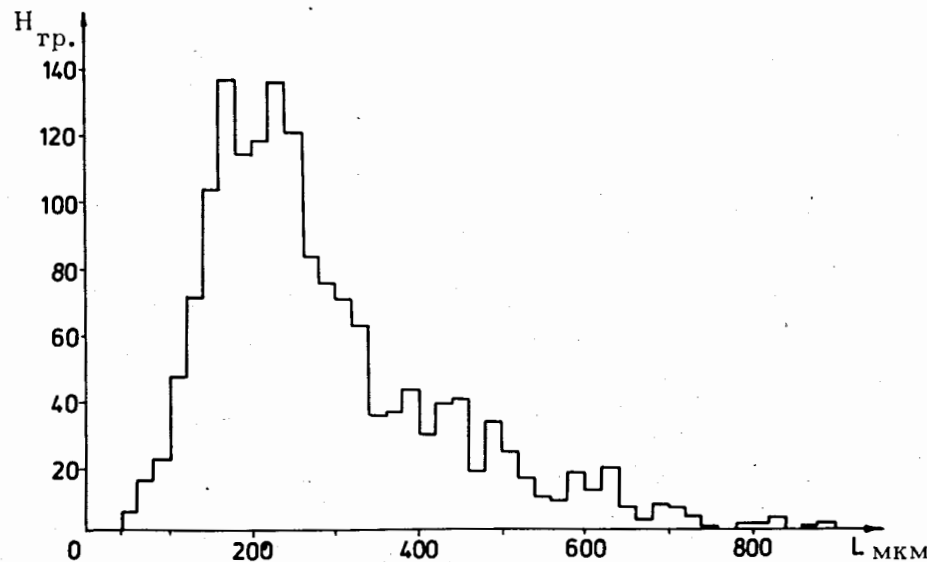


Рис. 2. Распределение длин следов ядер с  $Z > 36$  для поверхностных участков метеорита Марьялахти.

доатмосферной поверхности /плотность треков группы Fe  $\approx 5 \cdot 10^6$  на  $\text{см}^2$ / и около 8-9 см /плотность треков группы Fe  $\approx 1,5-2,5 \cdot 10^6$  на  $\text{см}^2$ /. Всего было просмотрено 75 мм<sup>3</sup> оливинов из поверхностных участков метеорита и 60 мм<sup>3</sup> оливинов из глубинных локализаций.

Результаты просмотра представлены на рис. 2,3.

Поскольку для области длин треков 40-160 мкм необходимо вводить большие и в значительной мере неопределенные поправки, учитывающие геометрические условия выявления таких следов /22/, мы ограничиваемся рассмотрением области длин следов свыше 160 мкм.

Как неоднократно отмечалось в предыдущих работах /15,16,17-22/, главная трудность при расшифровке распределений длин следов /рис. 2,3/ состоит в установлении однозначной зависимости их травимых длин от атомного номера  $Z$  космических ядер, замедляющихся до остановки в кристаллах оливина. Эта трудность связана с отсутствием достаточно энергетичных ускоренных частиц в области атомных номеров  $Z > 36$ .

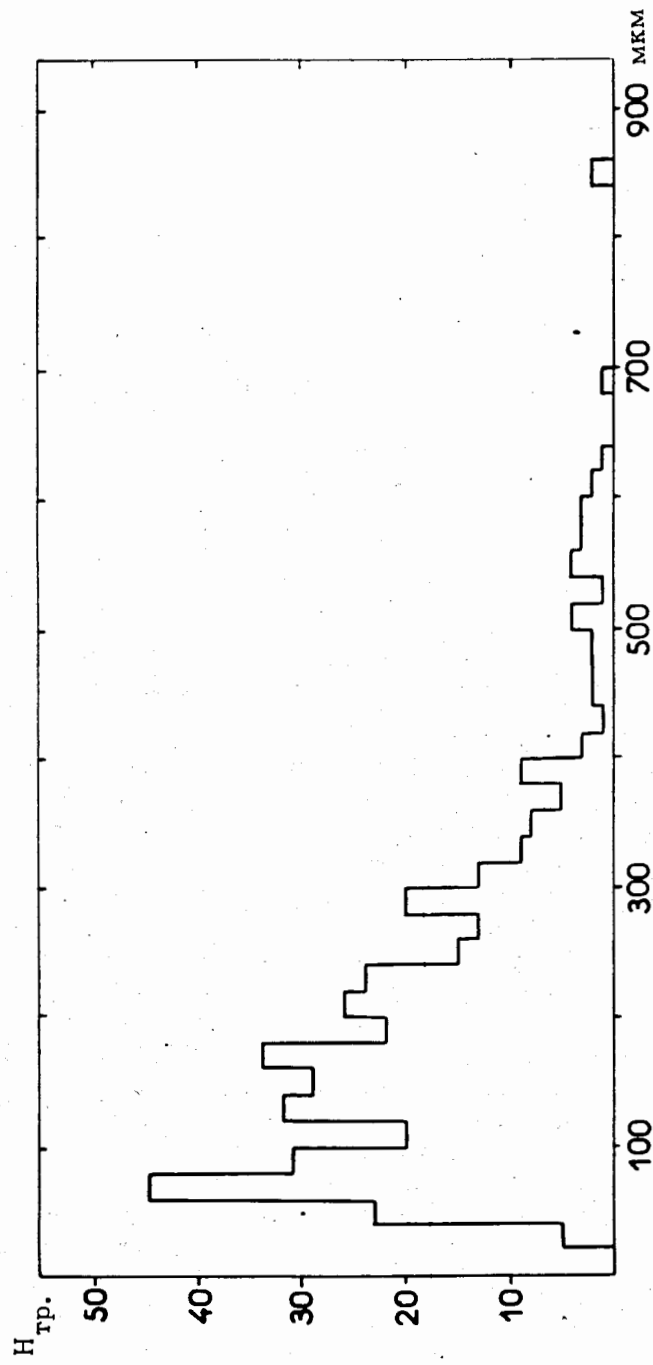


Рис. 3. Распределение длин следов ядер с  $Z > 36$  для глубинных участков метеорита Марьялахти /глубина 8-9 см от первоначальной поверхности этого метеорита/.

При расшифровке спектров длин следов в оливинах из метеоритов необходимо учитывать эффект частичной регрессии треков за счет нагревания в космических условиях и эффект от ядерных взаимодействий космических частиц с межзвездным газом и с поверхностным слоем вещества метеорита Марьялахти /до нескольких десятков граммов на  $см^2$ /.

Эти эффекты неизбежно приводят к смещению, расширению и сглаживанию дискретных пиков, соответствующих группам весьма стабильных ядер в области платины-свинца / $Z = 76 \div 83$ /, тория-урана / $Z = 90 \div 92$ /, а также ядер гипотетических сверхтяжелых элементов / $Z \geq 110$ /.

Отсутствие выделенных максимумов и минимумов в наиболее длиннопробежной части спектров /рис. 2,3/ не позволяет установить однозначно соответствия длин следов в оливинах и атомных номеров  $Z$  космических ядер.

В связи с этим дальнейшие попытки расшифровки спектров длин производились двумя путями /22/.

Во-первых, были проведены полуэмпирические оценки травимой длины следов в оливинах в области атомных номеров  $Z > 36$ .

С этой целью использовались экспериментальные данные о травимых длинах следов ускоренных ядер в области атомных номеров  $Z = 23 \div 36$  /19,22,25/. Далее, в рамках модели, предложенной Кацем и Кобетичем /26/, производилась экстраполяция травимых длин следов в области больших значений атомных номеров  $Z$  ядер. Эта экстраполяция производилась с учетом эффекта частичной регрессии треков и приводила к сокращению длин следов ядер железа от 13,5 до 7-8 мкм в оливинах из метеорита Марьялахти.

Согласно оценкам, приведенным в работах /17,19/, нагревание в космических условиях должно приводить к сокращению длин следов ядер с  $Z > 36$  не более чем на 20-25%. С учетом этого эффекта травимая длина следов ядер с  $Z = 50$  составляет около 160 мкм, ядер с  $Z = 70 - 280$  мкм, для области атомных номеров  $86 \leq Z \leq 92$  - от 560 до 700 мкм. Длина следов ядер с  $Z \geq 110$  должна превосходить 1300 мкм.

Другой путь идентификации атомных номеров  $Z$  различных групп ядер состоит в нормировке полученных распределений длин следов по отношению к наиболее представительным группам элементов, входящих в состав Солнечной системы /группы атомных номеров  $48 \leq Z \leq 58$  и  $76 \leq Z \leq 83$ / при условии, что малые распространенности ядер в области  $62 \leq Z \leq 75$  и  $83 \leq Z \leq 89$  соответствуют минимумам в спектрах длин следов <sup>/27/</sup>.

Из *рис. 2,3* действительно следует качественное соответствие убывания числа следов в области длин от 160 до 900 мкм и концентрации элементов Солнечной системы. Однако в этих спектрах длин пока не удается выделить максимумов, соответствующих группам наиболее распространенных ядер.

Исходя из известной распространенности ядер группы тория-урана в Солнечной системе <sup>/27/</sup>, целесообразно предположить, что лишь интервал длин 740-900 мкм обусловлен торможением долгоживущих ядер этой группы <sup>22</sup>. В этом приближении следы от остановок ядер с  $Z \geq 110$  должны быть  $\geq 1400$  мкм.

Отношение плотностей следов ядер группы железа для локализаций, расположенных на глубине ~5 и ~8-9 см от доатмосферной поверхности метеорита Марьялахти, составляет  $2,5 \pm 0,5$ . В то же время из сопоставления спектров длин следов с  $l \geq 160$  мкм, представленных на *рис. 2* и *3*, следует, что с изменением глубины от ~5 до 8-9 см объемная плотность следов ядер с  $Z \geq 50$  уменьшается в  $4,7 \pm 0,6$  раза. Области атомных номеров  $Z \geq 80$  / $l \geq 460$  мкм/ соответствует 248 треков на *рис. 2* и всего 28 треков на *рис. 3*, т.е. для группы наиболее тяжелых ядер объемная плотность следов уменьшается примерно в 7 раз.

Этот результат обусловлен более высокой вероятностью ядерных взаимодействий частиц с  $Z \geq 50$  и группы более тяжелых ядер в веществе метеорита по сравнению с ядрами Fe, а также различиями в зависимости "пробег-энергия" для этих групп нуклидов. В этой связи необходимо подчеркнуть, что дальнейший анализ распределений длин следов в оливинах, расположенных на различных глубинах в метеоритах, позволит, очевид-

но, получить информацию об энергетических спектрах галактических космических ядер в области  $Z \geq 50$ .

С целью существенного повышения чувствительности при поисках далеких трансурановых элементов в галактических космических лучах был предпринят дополнительный просмотр нескольких сотен кристаллов оливина, имевших плотность следов ядер группы железа  $/4-6/ \cdot 10^6$  на см<sup>2</sup>.

При этом выбирались и измерялись лишь треки, имевшие длину от 280 мкм и выше. Всего было просмотрено дополнительно около 100 мм<sup>3</sup> оливинов из участков, расположенных на глубине ~5 см от доатмосферной поверхности метеорита Марьялахти. Результаты просмотра вместе с предыдущими данными для  $l \geq 280$  мкм приведены на *рис. 4*. Суммарный объем просмотренных кристаллов оливина составил 174 мм<sup>3</sup>, количество треков, представленных на *рис. 4*, превышает 1230.

В *таблице* приведены значения распространенности групп ядер с  $Z \geq 70$ ,  $Z \geq 80$ ,  $Z \geq 86$ ,  $Z \geq 90$  по отношению к распространенности ядер группы Fe, полученные из анализа распределения длин следов с  $l \geq 280$  мкм. Эти значения сопоставляются с результатами, полученными за период с 1968 по 1976 гг. в экспериментах, выполненных на шарах-зондах и спутниках с помощью стопок ядерных эмульсий и пластиков <sup>/10-12/</sup>.

Следует отметить удовлетворительное согласие полученных нами значений распространенностей различных групп ядер в космических лучах и Солнечной системы, за исключением области  $Z \geq 86$ , где значения, полученные с помощью трековых методов, в несколько раз превышают Солнечную распространенность.

Однако в другом крайнем предположении, что только треки с  $l \geq 740$  мкм обусловлены ядрами с  $Z \geq 90$ , солнечная и метеоритная распространенности удовлетворительно согласуются /см. *табл./*.

Из *графика рис. 4* следует, что не было найдено ни одного трека длиной свыше 1400 мкм. Единственный трек длиной  $\geq 1100$  мкм /низкоэнергетичный участок трека выходил за пределы кристалла/ в рамках этой экстраполяции мог быть обусловлен ядром с  $Z \geq 97$ .

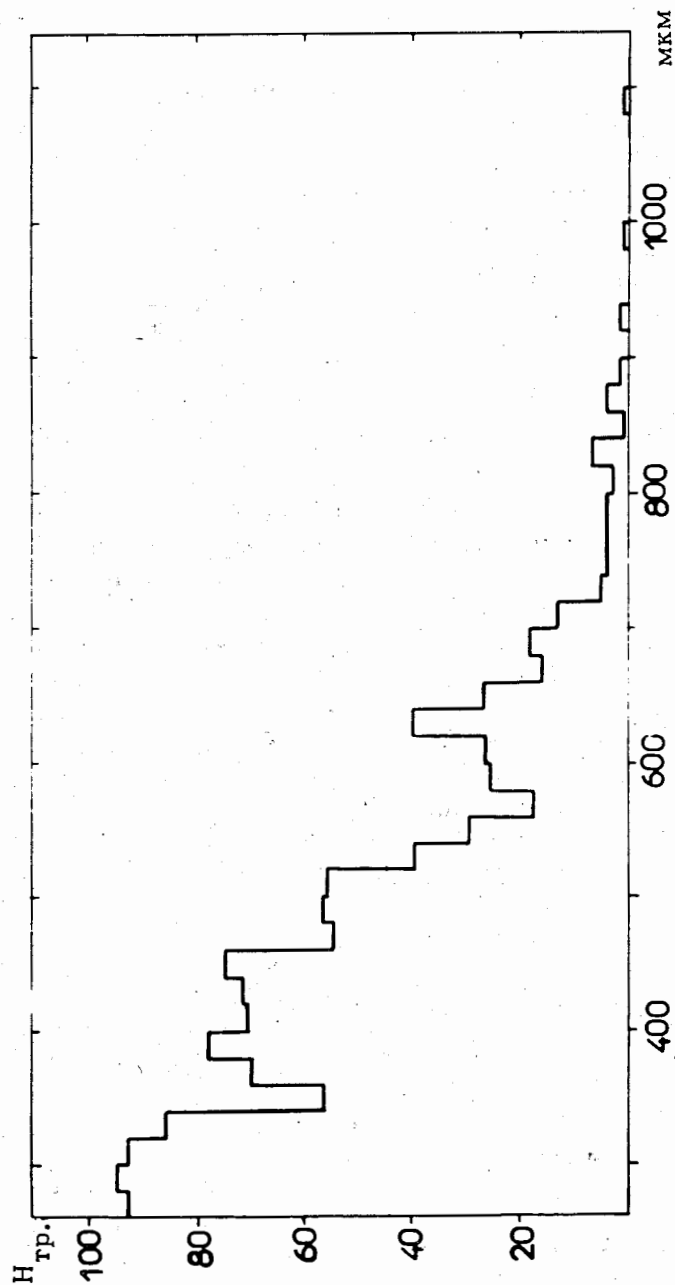


Рис. 4. Распределение длин следов ядер с  $Z \geq 70$ , полученное при просмотре  $174 \text{ мм}^3$  оливинов из поверхностных участков метеорита Марьялахти.

Таблица

Распространенность элементов с  $Z \geq 70$  в космических лучах и Солнечной системе

$Z$ ядер	Оливины из Марьялахти $N_{TR}$	Эмульсии, Пла- стики $C_Z/C_{Fe}$	Солнечная система (А.Каммерон) $C_Z/C_{Fe}$
$\geq 70$	1324	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$10^{-5} 6,8 \cdot 10^{-6}$
$\geq 80$	610	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$
$\geq 86$	225	$8,0 \cdot 10^{-7}$	$10^{-6} 10^{-7}$
$\geq 90$	38	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$10^{-7}$
$\geq 97$	1	$4 \cdot 10^{-9}$	$\leq 5 \cdot 10^{-8}$

Полученное в этих опытах новое значение нижней границы распространенности сверхтяжелых ядер в галактических космических лучах составляет  $\leq 4 \cdot 10^{-9}$  по отношению распространенности ядер группы железа. Чувствительность, достигнутая в опытах с оливинами из метеорита Марьялахти, по крайней мере в 10 раз превышает уровень чувствительности при поисках сверхтяжелых элементов с помощью ядерных эмульсий и пластиков.

Проведение дальнейших исследований оливинов из метеорита Марьялахти, а также из палласитов Игл Стэйшн, Липовский Хутор, имеющих различные значения радиационного возраста, позволит не только существенно повысить чувствительность поиска сверхтяжелых элементов в галактических космических лучах, но и получить информацию об интенсивности, энергетических и зарядовых спектрах таких частиц и об их возможных изменениях за период до 200 млн. лет.



В заключение авторы выражают глубокую благодарность Г.Н.Флерову за постоянное внимание к работе и полезные обсуждения. Авторы весьма признательны П. Пелласу за помощь при анализе экспериментальных данных, а также Х.Гегеллер и Н.Н.Гавриловой за помощь при обработке и просмотре оливинов метеорита Марьялахти.

#### Литература

1. В.Л.Гинзбург, С.И.Сыроватский. Происхождение космических лучей. Изд. АН СССР, М., 1963.
2. G.N.Flerov. *Int. Conf. on Reactions between Complex Nuclei, Nashville, USA, July 10-14, 1974, ed. ORNL, v. 2, 1974.*
3. Г.Н.Флеров, О.Отгонсурэн, В.П.Перелыгин. *Изв. АН СССР, сер. физ., 39, 388 /1975/.*
4. D.N.Schramm, W.A.Fowler. *Nature, 231, 103 /1971/.*
5. D.N.Schramm. *Astrophys.J., 177, 325 /1972/.*
6. Д.А.Киржниц. Международная конференция по физике тяжелых ионов. Дубна, 11-17 февраля 1971 г. ОИЯИ, Д7-5763, стр. 1, Дубна, 1971.
7. Г.С.Бисноватый-Коган, В.М.Чечеткин. *Astrophys. and Space Science, 26, 3 /1974/.*
8. R.Cowsik, P.B.Price. *Phys. Today, 24, 30 /1970/.*
9. T.P.Amiet, H.D.Zeh. *Phys.Lett., 25B, 305 /1967/; Z.Physik., 217, 485 /1968/.*
10. E.K.Shirk, P.B.Price, E.J.Kobetich, W.S.Ozborne, L.S.Pinsky, R.D.Eandi, R.B.Rushing. *Phys.Rev., D7, 3220 /1973/.*
11. G.E.Blanford, M.W.Friedlander, J.Klarmann, R.M.Walker, J.C.Wefel. *Phys.Rev., D8, 1702 /1973/.*
12. P.B.Price, E.K.Shirk. *14th Int. Cosmic Ray Conf., Munich, August 1975, v. 2, p. 268.*
13. R.H.Fowler, C.Alexander, V.M.Clapman, D.L.Henshaw, C.O.O'Ceallaigh, D.O'Sullivan, A.Thompson. *Proc. 9th Int. Conf. on Solid State Nuclear Track Detectors, Munich, Sept. 1976, v. 2, Munich, 1976.*
14. M.Maurette, P.Pellas, R.M.Walker. *Nature, 204, 821 /1964/.*
15. M.Maurette, P.Thro, R.Walker, R.Webbink. *Meteorite Research, ed. P.M.Millman, D.Reidel. Publ. Co., Dodrecht-Holland, 1969, p. 286.*
16. P.B.Price, R.S.Rajan, E.K.Shirk. *Geoch. Cosmochim. Acta Suppl., 2, v. 3, 2621, M.I.T.Press, 1971.*

17. О.Отгонсурэн, В.П.Перелыгин. *АЭ, 37, 164 /1974/.*
18. В.П.Перелыгин, Х.Б.Виик, О.Отгонсурэн. *Сообщение ОИЯИ, P13-8359, Дубна, 1974.*
19. V.P.Perelygin, O.Otgonsuren, S.G.Stetsenko. *Proc. 38th Ann. Meet. of Meteoritical Society, Tours 28 Aug. 1, 1975, v. 1, p. 17 /1975/.*
20. G.N.Flerov, T.P.Zholud, O.Otgonsuren, V.P.Perelygin, H.B.Wiik. *Geoch. Cosmochim. Acta., 40, 305 /1976/.*
21. Г.И.Доливо-Добровольская, В.Д.Коломенский, Н.Н.Гаврилова, В.П.Перелыгин, С.Г.Стеценко. *ОИЯИ, P13-9543, Дубна, 1976.*
22. C.Fieni, O.Otgonsuren, P.Pellas, V.P.Perelygin, S.G.Stetsenko, N.N.Gavrilova. *JINR E7-9636, Dubna, 1976.*
23. S.Krishnaswami, D.Lal, N.Prabhu, A.S.Tamhane. *Science, 174, 287 /1972/.*
24. P.B.Price, D.Lal, A.S.Tamhane, V.P.Perelygin. *Earth and Planetary Sci. Lett., 19, 377 /1973/.*
25. J.C.Dran, M.Maurette, M.Dumail, J.P.Duraud. *Meteoritics, 8, 347 /1973/.*
26. R.Katz, E.J.Kobetich. *Phys.Rev., 170, 401 /1968/.*
27. A.E.Cameron. *Space Sci. Rev., 15, 121 /1973/.*

Рукопись поступила в издательский отдел  
12 ноября 1976 года.