

СЗ41,2Г
0-809

24/411-73

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



4611/2-73

P7 - 7406

О.Отгонсурэн, В.П.Перельгин

ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ СЛЕДОВ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР
ПЕРВИЧНОГО КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
В МИНЕРАЛАХ ИЗ МЕТЕОРИТОВ

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

P7 - 7406

О.Отгонсурэн, В.П.Перельгин

ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ СЛЕДОВ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕГ
ПЕРВИЧНОГО КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
В МИНЕРАЛАХ ИЗ МЕТЕОРИТОВ

Направлено в АЭ

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в лабораториях ряда стран были предприняты опыты по поискам в природе и синтезу трансурановых элементов в области атомных номеров Z вблизи 114 /или 126/. Эти исследования проводились по обширной программе, охватывающей поиски далеких трансурановых элементов в земных минералах, рудах, горных породах, конкрециях, осадках и донных илах, синтез далеких трансурановых элементов в реакциях между сложными ядрами, а также опыты по поиску и идентификации сверхтяжелых ядер в составе первичного космического излучения.

Подробный обзор теоретических и экспериментальных исследований, посвященных этой проблеме, содержится в работах Г.Н.Флерова ^{/1/}, Г.Н.Флерова и И.Звары ^{/2/}, Г.Н.Флерова и Ю.Ц.Оганесяна ^{/3/}.

Следует отметить, что эксперименты по исследованию состава тяжелой и сверхтяжелой компонент первичного космического излучения представляются одним из наиболее перспективных направлений поисков далеких трансурановых элементов в природе. Действительно, со времени образования Солнечной системы прошло около $4,5 \cdot 10^9$ лет. Поэтому далекие трансурановые элементы могут быть обнаружены в земных образцах только при условии, что период полураспада наиболее долгоживущего нуклида превосходит 10^8 лет. Для первичного космического излучения нижняя граница периода полураспада таких ядер определяется временем их прохождения от центра Галактики к Земле - около 10^6 лет. Эффективное время жизни космических лучей в Галактике, согласно данным, приведенным в работе В.Л.Гинзбурга и С.И.Сыроватского ^{/4/}, составляет около $2 \cdot 10^8$ лет.

Далее, если образование элементов Солнечной системы явилось результатом нуклеосинтеза в γ -процессе, то сверхтяжелые ядра первичного космического излучения могут быть синтезированы в целом ряде других объектов Галактики. В качестве источников таких ядер рассматриваются пульсары, характеризующиеся высокой плотностью нейтронного вещества ^{/5/}, квазизвезды ^{/6/} и белые карлики ^{/7/}, а также ядра галактик, где имеются условия осуществления s -процесса при большом избытке нейтронов ^{/8,9/}. В работе ^{/10/} обсуждается механизм образования сверхтяжелых элементов в реакциях между тяжелыми ядрами, ускоряемыми при взрывах Сверхновых звезд. Однако все эти гипотезы и оценки носят пока сугубо качественный характер. Попытки авторов работ ^{/11, 12, 13/} провести более детальные расчеты хода γ -процесса привели к взаимно исключающим выводам о возможности образования далеких трансурановых элементов при взрывах Сверхновых звезд.

Первые эксперименты по поиску сверхтяжелых космических ядер были предприняты в 1967 году П. Фаулером с сотрудниками ^{/14/}. Этим авторам с помощью ядерных эмульсий, экспонированных в верхних слоях атмосферы, удалось обнаружить след сверхтяжелой частицы, заряд которой, согласно их измерениям, составил около 106 ^{/15/}. Однако дальнейшие, более детальные исследования тяжелой компоненты первичного космического излучения, проводившиеся в течение последних пяти лет как с помощью ядерных эмульсий, так и полимерных пленочных материалов, не дали пока однозначного подтверждения этого результата.

Наиболее существенным результатом этих опытов явилось установленное в работах ^{/16, 17/} соответствие интенсивности тяжелых космических ядер с распространенностью элементов периодической системы в Солнечной системе вплоть до атомных номеров $Z = 80-83$ /А. Камерон ^{/18/} /.

Выполненные до сих пор эксперименты по прямой регистрации тяжелых ядер галактического космического излучения привели к обнаружению всего лишь нескольких частиц в области $Z \geq 90$ /табл. 1/. Для эффективного

Таблица 1

Сводные данные о сверхтяжелой компоненте первичного космического излучения, полученные с помощью ядерных эмульсий, пластиков и минералов из метеоритов

Заряд	Пироксены /метеориты, луна/	Эмульсии и пластики	$\frac{N_{Z \geq 26}}{N_{Z \geq 1}}$ эксперимент
40	88	139	6 · 10 ⁻⁶
50	18	48	3 · 10 ⁻⁶
70	9	33	1 · 10 ⁻⁶
≥ 83	3	8	3 · 10 ⁻⁶
≥ 90		2	10 ⁻⁶
≥ 100			5 · 10 ⁻⁶

проведения экспериментов по поиску тяжелых трансураниевых элементов необходимо существенно увеличить как площадь детекторов, так и время их нахождения в верхних слоях атмосферы или космическом пространстве. Такая постановка опыта предъявляет повышенные требования к детекторам частиц, и в частности, к чувствительности и стабильности скрытого изображения при длительных экспозициях в космическом пространстве. Детекторами сверхтяжелых космических ядер в этих условиях могут служить специальные ядерные эмульсии, сильно разбавленные желатином, а также предложенные М. Монтином хлоропласты [19] и фторопласты, имеющие порог регистрации в области Z около 26.

Другая возможность исследования состава тяжелой и сверхтяжелой компонент первичного космического излучения связана с выявлением следов таких ядер в минералах из метеоритов, а также лунных минералах. Целый ряд минералов из метеоритов - полевые шпаты, пироксены, оливины - по данным П.Б.Прайса и др. /20/ обладает относительно низкой пороговой чувствительностью к заряженным частицам. Как показано в работах /21/, идентификация зарядов тяжелых космических частиц может осуществляться по длине следов, выявляемого в детекторах. Время экспозиции минералов из метеоритов, а также минералов с поверхности Луны составляет десятки и сотни миллионов лет; таким образом, 1 г таких минералов эквивалентен одной-двум тоннам ядерных эмульсий или других детекторов, находившихся в космическом пространстве в течение года.

До последнего времени было выполнено лишь несколько работ, посвященных проблеме выявления следов тяжелых ядер в таких минералах. В 1968 году М.Сретт и др. /22/, исследовавшие большие кристаллы гиперстена из метеорита "Джонстаун", обнаружили три следа длиной 600-700 мкм / $Z \geq 70$ / и один след длиной свыше 1050 мкм / $Z \geq 83$ /.

Р.Раджан, изучавший пироксены из метеорита "Патвар", обнаружил следы ионов длиной до 600 мкм /23/.

В 1971 году П.Прайс и др. /24/ провели исследования кристаллов пиджонита размерами > 1 мм, доставленных с Луны экспедицией "Аполлон-12". Авторы /24/ обнаружили два следа, имевшие длину свыше 1,0 мм и свыше 0,9 мм /один конец следа выходил за пределы кристалла/. Основываясь на результатах калибровки кристаллов ионами криптона с энергией $10,4$ Мэв/нуклон, они заключили, что заряд этих ядер $Z \geq 83$. Верхняя граница интенсивности сверхтяжелых ядер в первичном космическом излучении была определена на уровне $\leq 1/\text{м}^2 \text{ год}$ /24/. Данные работ по исследованию распределения зарядов тяжелых космических ядер в минералах из метеоритов /22, 24/ приведены в табл. 1 наряду со сподными данными о числе событий в области $Z \geq 40$, зарегистрированных во всех экспериментах с эмульсиями и пластиком.

Целью настоящей работы явилось рассмотрение возможности выявления и идентификации протяженных следов сверхтяжелых космических ядер в минералах из метеоритов.

2. ВЫБОР ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ПОИСКОВ СЛЕДОВ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР

Согласно расчетам соотношения "пробег-энергия" для ядер в области Z от 26 до 114, проведенным по данным работы Л.Норсклиффа и Д.Шиллинга [25] (рис. 1), пробег в области $Z \geq 90$ при энергиях от 1 до 5 Гэв/нуклон примерно в 3-4 раза меньше, чем ядер группы железа. Если даже предположить, что интенсивность сверхтяжелых космических ядер подчиняется той же закономерности, что и ядер группы железа (энергетическая зависимость спектра $\sim E^{-2.5}$, $N_{\text{ж}} \sim E^{-1.5}$ где $E = 2.0 \cdot 10^{26}$ эв

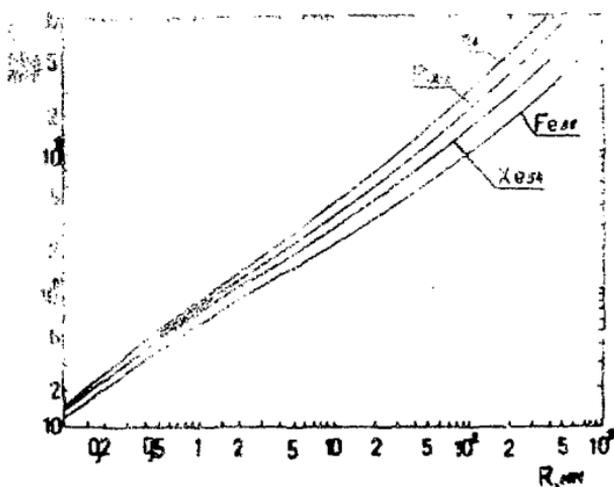


Рис. 1. Соотношение "пробег-энергия" ядер железа, свинца и 114-го элемента в олиивине.

глубинах свыше 10 см следует ожидать выявления лишь отдельных следов сверхтяжелых ядер. Таким образом, первым необходимым условием проведения поисков далеких трансуранов является выбор образцов, расположенных возможно ближе к поверхности первоначального тела метеорита, на глубине не свыше 4-6 см.

Далее, несмотря на отсутствие опытных данных о длинах следов ядер в области $Z > 36$, выявляемых при химическом травлении, оценки, проведенные Р.Флейшером и др. /20/, П.Б.Прайсом и др. /27/, а также на основе работ Каца и Кобетича /28/, дают для длин следов ядер группы урана величины от 0,8 до 1,0 мм для пироксенов и оливинов и 1,2 - 1,5 мм для полевых шпатов. Ядра с атомным номером Z около 114 согласно этим оценкам должны создавать в силикатных минералах следы примерно в 1,5 раза длиннее, чем ядра урана. Таким образом, для поисков протяженных следов частиц в области $Z \geq 90$ необходимо выбирать кристаллы размером ≥ 2 мм. Такими образцами могут служить прозрачные однородные кристаллы группы пироксенов - диопсид, гиперстен, пиджонит /20, 27/. Преимуществом пироксенов является относительно небольшая плотность дефектов кристаллической структуры. Однако для проведения детальных исследований необходимы десятки и сотни кристаллов относительно крупных размеров. Получить большие количества крупных кристаллов пироксенов пока не представляется возможным.

Таковыми образцами, по-видимому, могут служить оливины из метеоритов типа палласитов. Содержание оливинов в этих метеоритах достигает 40-70% по объему; кристаллы имеют форму прозрачных однородных зерен размерами до 5-8 мм. В последние годы Л.Л.Кашкаровым и др. были проведены опыты по обнаружению протяженных следов в оливинах /29, 30/. Однако применявшаяся в этих опытах методика обработки не обеспечивала однородного травления треков в различных кристаллографических направлениях.

В 1971 году Д.Лал и другие предложили новый рецепт травления следов заряженных частиц в оливине /31/, который позволяет проявлять и измерять протяженные следы в этих кристаллах.

Нами были предприняты исследования оливинов из 11 железо-каменных метеоритов с целью нахождения образцов, находившихся возможно ближе к первоначальной /доатмосферной/ поверхности метеоритов. Для выявления следов тяжелых заряженных частиц нами использовался травитель, предложенный в работе /31/, однако травление кристаллов оливина производилось в герметически замкнутом тefлоновом сосуде при температуре 150°C .

Такая процедура позволяет получать протяженные следы тяжелых частиц с углом раствора конуса $\sim 2^{\circ}$. Наибольшая плотность следов ядер группы железа была $\sim 2 \cdot 10^6$ $1/\text{см}^2$ - обнаружена в оливинах из метеоритов "Липовский хутор" и "Марьялахти". В образцах из других метеоритов плотность следов составляла 10^2 - 10^5 $1/\text{см}^2$. В дальнейшем нами исследовались минералы из палласитов "Липовский хутор", а также "Марьялахти".

3. СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ОЛИВИНА

Наряду с тяжелыми частицами первичного космического излучения в минералах из метеоритов имеется еще ряд источников следов заряженных частиц. Так, в пироксенах, полевых шпатах наблюдаются следы от спонтанного деления примеси ^{238}U . Другим источником фона может служить деление ядер тяжелых элементов, содержащихся в этих минералах /урана, тория, а также свинца/, нуклонной компонентой первичного космического излучения /32/. Нами было проведено определение содержания урана в оливине земного происхождения. С этой целью кристаллы оливина облучались большим интегральным потоком тепловых нейтронов $3 \cdot 10^{18}$ нейтр/см²/. Согласно нашим данным, содержание урана в оливинах земного происхождения составляет 10^{-11} - 10^{-12} г/г, в то время как концентрация урана в окружающих минералах и горных породах была порядка 10^{-7} - 10^{-9} г/г.

Для оливинов из внутренней части метеорита "Палласово Железо" была получена верхняя граница плотности

треков $\geq 10^2$ $1/\text{см}^2$. Если предположить, что эти треки обусловлены спонтанным делением урана, то $C_U \leq 5 \cdot 10^{-11}$ $2/2$, то есть оливины из метеоритов имеют концентрацию урана, близкую к концентрации урана в земных оливинах. В то же время содержание урана в никелистом железе метеорита "Палласово Железо" $C_U = 1-2 \cdot 10^{-8}$ $2/2$.

Таким образом, кристаллы оливина из палласитов не содержат большой плотности следов от деления ядер урана.

Следующим весьма важным свойством оливина является его относительно низкая чувствительность к тяжелым заряженным частицам /порог регистрации находится в области $Z = 23/$, 33 , $34/$.

Определение чувствительности минерала оливина с помощью ускоренных заряженных частиц с различными значениями атомного номера Z является необходимым условием идентификации тяжелых заряженных частиц по длине следа, выявляемого при травлении. Нами было проведено более детальное определение порога регистрации тяжелых ионов германия, криптона, ксенона в области малых энергий. С этой целью кристаллы оливина облучались ионами ^{74}Ge , ^{84}Kr , ^{136}Xe , ускоренными на циклотроне У-300 ОИЯИ до энергий $0,9 - 1,1$ Мэв/нуклон . Ускоренные ионы регистрировались также в слоях поликарбоната, располагавшихся в той же геометрии, что и кристаллы оливина. Сравнение распределений длин следов в поликарбонате и оливине позволило определить порог регистрации этих ионов в оливине: $0,11 - 0,12$ Мэв/нуклон . Таким образом, лишь небольшой участок в конце пробега тяжелых ионов Ge , Kr , Xe - около $2,5 - 3,0$ мкм - не регистрируется в виде трека в оливине.

Аналогичный результат был получен также для хромдиоксида. Для сравнения укажем, что порог регистрации в слюде мусковит ионов ^{40}Ar , ^{136}Xe составляет около $0,05$ Мэв/нуклон . Длина непрерывного участка следа от ускоренных ионов ^{66}Zn равняется $21-23$ мкм . Этот результат согласуется с данными Р.Л.Флейшера, получившего для ионов ^{64}Zn длину около 20 мкм в оливине $^{35/}$. Длина следов от ускоренных ионов ^{76}Ge в оли-

вине найдена нами равной 35 мкм. Значения длин следов ускоренных ионов железа и криптона в оливине согласно данным П.Прайса и др. ^{/36/} составляют соответственно около 12,5 мкм и 60-65 мкм. Таким образом, длина следов тяжелых ионов, выявляемых при травлении кристаллов оливина, определена в настоящее время вплоть до значений атомного номера $Z = 36$. Большинство следов, образованных тяжелыми космическими ядрами в кристаллах из метеоритов, имеет возраст миллионы и десятки миллионов лет. При таких промежутках времени порог выявления следов тяжелых частиц может изменяться за счет эффекта регрессии в космических условиях.

4. РЕГРЕССИЯ СЛЕДОВ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР В КОСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Следы тяжелых заряженных частиц, останавливающихся в объеме кристалла, имеют две зоны вблизи порога регистрации: высоко- и низкоэнергетичные участки следа. Действительно, при торможении в диэлектрике ионизация, создаваемая частицей в узком участке вдоль траектории, постепенно нарастает и достигает значения, соответствующего порогу выявления следа J_c . В конце пробега частицы удельная ионизация быстро убывает и вновь достигает порогового значения J_c .

Как показано нами в 1966 году ^{/37/}, эти участки наиболее чувствительны к термическому воздействию, приводящему в определенных условиях к сокращению длины следа, выявляемого при травлении. Регрессия следов ядер первичного космического излучения в пироксенах и полевых шпатах была обнаружена Г.Пленингером и В.Кратшмером в 1972 году ^{/38/}. Авторы работы ^{/38/} обнаружили, что в минералах из метеоритов средняя длина следов, приписываемых обычно ядрам железа, на 4-6 мкм меньше, чем следов ускоренных ионов ^{56}Fe . Такое сокращение длины следов в минералах из метеоритов может быть обусловлено радиационным воздействием нуклонной компоненты космического излучения или длительным нагреванием метеоритов до относительно невысоких температур - не выше 150 °С.

Рис. 2. Распределение длин следов ядер группы железа в оливине из метеорита "Липовский Хутор": а/ образец, облученный потоком $2 \cdot 10^{15}$ $1/\text{см}^2$ 660 Мэв протонов; б/ контрольный образец.

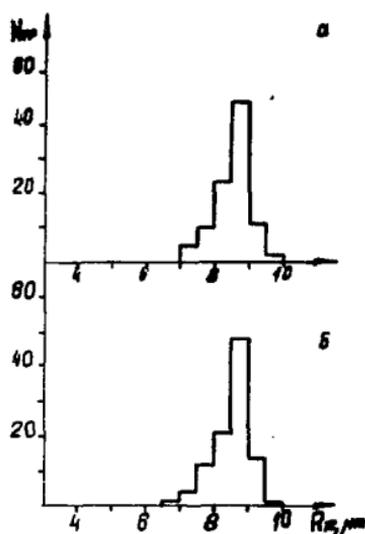
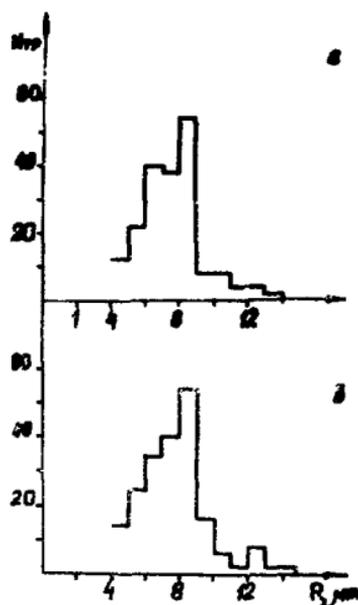


Рис. 3. Распределение длин следов 148 Мэвионов ксенона в оливине: а/ образец, облученный потоком $2 \cdot 10^{15}$ $1/\text{см}^2$ 660 Мэв протонов; б/ контрольный образец.

Нами были проведены контрольные опыты по облучению быстрыми протонами на 660 Мэв синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ кристаллов оливина из метеорита "Липовский Хутор", а также оливинов земного происхождения, маркированных ионами ^{84}Kr , ^{136}Xe . Суммарный поток протонов составил около $4,5 \cdot 10^{15} / \text{см}^2$, что соответствует экспозиции 40-50 млн. лет в космосе. На рис. 2,3 приведены распределения длин следов ионов группы железа и ионов ^{136}Xe в оливине из метеорита "Липовский Хутор" до и после облучения быстрыми протонами. Как следует из рис. 2,3, бомбардировка кристаллов оливина большими потоками быстрых протонов не приводит к заметному изменению длин следов тяжелых частиц. Этот результат согласуется с данными, приведенными в работе ^{/38/}, и свидетельствует о термической природе регрессии следов тяжелых ядер в минералах из метеоритов.

Источником такого воздействия является прежде всего солнечная радиация. Известно, что поверхность Луны в период лунного дня нагревается до температуры: 120-140° С ^{/20/}.

Метеориты, орбиты которых пересекают орбиту Земли, периодически подвергаются такому же или более интенсивному воздействию солнечного излучения.

Согласно данным работы ^{/37/} эффект термической регрессии сводится к повышению порога выявления треков в минералах.

Он приводит к сокращению длины следов как ядер группы железа, так и более тяжелых элементов. Мы произвели оценку этого эффекта для метеорита "Липовский Хутор", основываясь на измеренной нами длине следов ядер железа, около 8,5 мкм /рис. 2/, длине следов ускоренных ядер ^{56}Fe в оливине, $\approx 12,5$ мкм ^{/36/}, и проведенных Р.Кацем и Е.Кобетичем ^{/28/} расчетах плотности ионизации, создаваемой тяжелыми частицами в силикатных минералах. На рис. 4 представлены зависимости длины следов в оливине, полученные нами по данным этой работы ^{/28/} без регрессии /рис. 4а/ и с учетом эффекта регрессии /рис. 4б/, имевшей место в оливинах метеорита "Липовский Хутор".

Как следует из рис. 4, эффект регрессии, имевшей место в метеорите "Липовский Хутор", может приводить к сокращению длин следов в области $Z > 36$ до 20-25%. При этом спектры длин следов отдельных групп ядер несколько смещаются и размываются за счет непрерывной регистрации новых частиц /рис. 5б/.

Отметим, что кривые рис. 4 не претендуют на точное предсказание длин следов ядер в области $Z > 36$; однако они, по-видимому, достаточно хорошо иллюстрируют воздействие термической регрессии на длину следа, выявляемого при травлении.

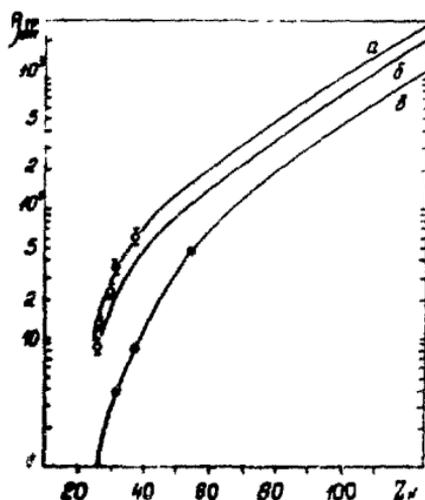


Рис. 4. Зависимость длины следов, выявляемых при травлении оливинна, от атомного номера Z тяжелых ядер: а/исотоженный образец; б/ учет регрессии, имевшей место в метеорите "Липовский Хутор"; в/ воздействие длительного отжига на длину следов тяжелых ядер /оценка/.

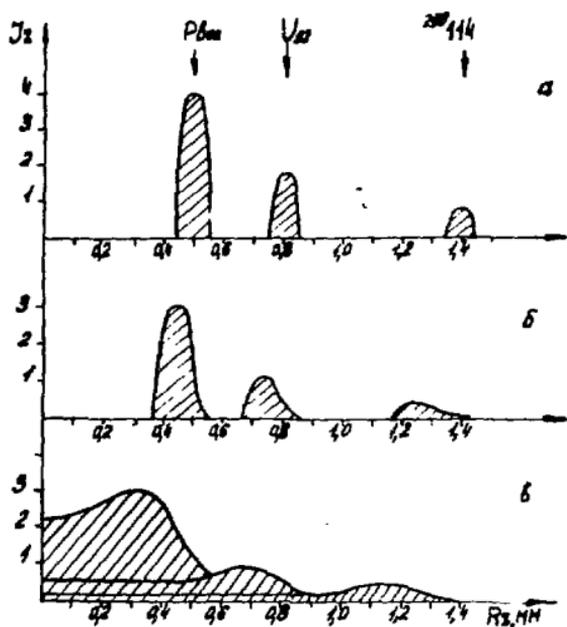


Рис. 5. Воздействие отжига на спектры длин следов ядер Pb , U , 114-го элемента: а/ значения длин следов, полученные по данным работ [28, 36]; б/ учет эффекта регрессии, имевшей место в метеорите "Липовский Хутор"; в/ непрерывное уменьшение длин следов с течением времени.

5. ТРЕКИ И ДИСЛОКАЦИИ

Идентификация относительно редких протяженных следов в оливине осложняется наличием многочисленных дефектов кристаллической структуры, которые приводят к выявлению протяженных фигур травления, напоминающих следы заряженных частиц. К такого рода дефектам структуры в оливинах относятся капилляры и дислокации. Дислокации в оливинах имеют определенную ориентацию; кроме того, при длительном травлении часть таких фигур замыкается в виде петель дислокаций.

Другим источником фона могут служить фигуры травления капилляров или капиллярных включений в оливинах. Это видимые в микроскоп тонкие прямолинейные каналы шириной до 2-3 мкм и длиной до нескольких сотен микронов, обычно начинающиеся и оканчивающиеся в объеме кристалла. В зависимости от состава веществ, входящих в эти каналы, происходит травление стенок капилляров и образуются фигуры травления, напоминающие следы от тяжелых ядер.

Дискриминация следов тяжелых частиц и фигур травления дефектов кристаллической структуры в оливинах из метеоритов производилась следующим образом. Полированная поверхность оливина подвергалась длительному травлению. Выявлялись протяженные следы, имевшие форму слабо сужающихся конических каналов. Затем кристалл отжигался при температуре 450°C в течение 3 часов и травился повторно. При этом протяженные следы, обусловленные прохождением тяжелых заряженных частиц, более не удлинялись, в то время как травление дислокаций и капилляров происходило обычным образом. В то же время следы ионов ^{136}Xe с энергией $1,07\text{ Мэв/нуклон}$ в результате такого отжига укорачивались не более чем на 20%. Такая процедура приводит, однако, к исчезновению большинства следов в объеме оливина и может быть применена при идентификации отдельных, наиболее протяженных треков.

Другой способ идентификации протяженных следов основывается на изменении характера травления в области вблизи порога регистрации со стороны больших энергий частицы. Действительно, изменение ионизации тяжелых заряженных частиц в этой области с уменьшением скорости происходит очень плавно. Поэтому вблизи непрерывного участка следа вдоль его траектории методом "след в следе" ^[27] может быть проявлена цепочка коротких следов, являющаяся продолжением протяженного следа в области вблизи порога регистрации. Такая процедура позволяет однозначно идентифицировать следы тяжелых заряженных частиц на фоне любых дефектов структуры кристаллов оливина.

Намн были проведены поиски протяженных следов в

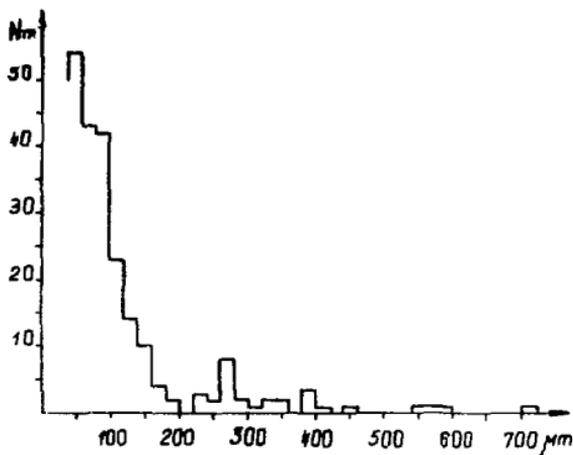


Рис. 6. Распределение длин следов ядер с $Z \geq 35$ в оливинах из метеорита "Липовский Хутор".

кристалле оливина из метеорита "Липовский Хутор", имевшем размеры $2 \times 1,5 \times 0,7$ мм. Выявление протяженных следов производилось последовательной полировкой и травлением поверхности кристалла оливина. При каждой полировке устранялся слой оливина 30-40 мкм; регистрировались только следы, имевшие начало и конец в объеме кристалла. Всего было просмотрено около 1 мм^3 оливина.

На рис. 6 приведено распределение длин следов тяжелых частиц в оливине из метеорита "Липовский Хутор". Как видно из рис. 6, наиболее протяженные следы имеют длину 550-580 мкм и около 700 мкм.

На рис. 7 приведено распределение длин следов ядер области ≥ 80 мкм в оливине из метеорита "Марьялахти". Средняя длина следов остановок ядер группы железа в этом метеорите не превосходит 6-7 мкм, т.е. эффект регрессии непроявленных треков проявляется здесь несколько отчетливее, чем в метеорите "Липовский Хутор". Всего было просмотрено около $0,6 \text{ мм}^3$ одного из кристаллов метеорита "Марьялахти". Найдены три следа длиной около 470-490 мкм и один длиной 600 мкм /рис. 7/. Ввиду отсутствия калибровок чувствительности

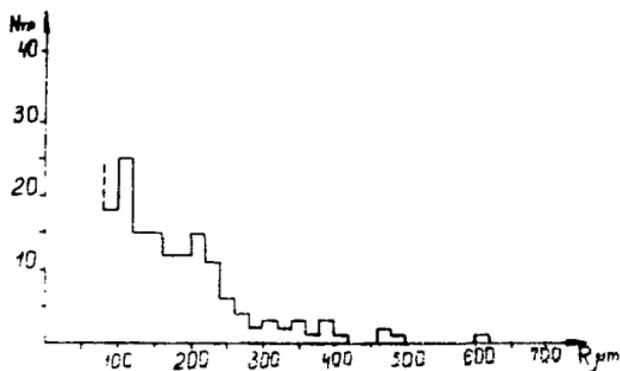


Рис. 7. Распределение длин следов ядер с $Z \geq 40$ в метеорите "Марьялахин".

длинах следов ядер с $Z \geq 40$ в метеорите "Марьялахин". Выводы о влиянии размера следов и космического облучения на коэффициент регистрации следов в металле метеорита "Марьялахин" сделаны на основании анализа данных, полученных в результате исследования следов ядер с $Z \geq 40$ в метеорите "Марьялахин". Выводы о влиянии размера следов и космического облучения на коэффициент регистрации следов в металле метеорита "Марьялахин" сделаны на основании анализа данных, полученных в результате исследования следов ядер с $Z \geq 40$ в метеорите "Марьялахин".

Список литературы

1. Давыдов В. В. Исследование следов ядер с $Z \geq 40$ в метеорите "Марьялахин".
2. Давыдов В. В. Исследование следов ядер с $Z \geq 40$ в метеорите "Марьялахин".
3. Давыдов В. В. Исследование следов ядер с $Z \geq 40$ в метеорите "Марьялахин".
4. Давыдов В. В. Исследование следов ядер с $Z \geq 40$ в метеорите "Марьялахин".
5. Давыдов В. В. Исследование следов ядер с $Z \geq 40$ в метеорите "Марьялахин".
6. Давыдов В. В. Исследование следов ядер с $Z \geq 40$ в метеорите "Марьялахин".
7. Давыдов В. В. Исследование следов ядер с $Z \geq 40$ в метеорите "Марьялахин".
8. Давыдов В. В. Исследование следов ядер с $Z \geq 40$ в метеорите "Марьялахин".
9. Давыдов В. В. Исследование следов ядер с $Z \geq 40$ в метеорите "Марьялахин".
10. Давыдов В. В. Исследование следов ядер с $Z \geq 40$ в метеорите "Марьялахин".

ний длин следов при переходе от $Z = 36$ к $Z = 92$ базируются на различных предположениях о структуре непроявленных треков /20, 28/ и пока не позволяют определять заряды тяжелых космических ядер с точностью, лучшей чем $\pm 10\%$. Обстоятельством, препятствующим проведению исследований спектров длин следов тяжелой и сверхтяжелой компонент первичного космического излучения является регрессия следов в космических условиях. Тем не менее из проведенного выше анализа следует, что эффект термической регрессии не должен приводить к существенному сокращению длин следов тяжелых и сверхтяжелых ядер в оливинах из метеоритов. По нашим оценкам, в оливинах длина следов ядер урана должна составлять 600-800 мкм, ядер 110-114 элементов - от 1100 до 1400 мкм. В этих условиях обнаружение в оливинах из метеоритов "Липовский Хутор" и "Марьялакти" следов длиной свыше 1100 мкм явилось бы весьма убедительным доказательством существования далеких трансурановых элементов в составе галактического космического излучения. Просмотр больших количеств кристаллов, вплоть до $0,1-1 \text{ см}^3$, позволит, по-видимому, получить новое значение верхней границы распространенности далеких трансурановых элементов /с временами жизни $\geq 10^6$ лет/ на уровне $10^{-2} - 10^{-3}$ от интенсивности ядер урана - тория в составе первичного космического излучения. Это, по крайней мере, в десятки и сотни раз превышает чувствительность, достигнутую в экспериментах с ядерными эмульсиями и пластинками /16, 17/.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность академику Г.Н.Флерову за предложение темы исследований и постоянное внимание к работе. Авторы весьма признательны Е.Л.Кринову, А.А.Явнелю, П.Г.Кваша, Т.П.Жолудь, Ш.Б.Винку, В.И.Коломенскому за предоставленные в наше распоряжение кристаллы оливина, полезные советы и обсуждения, а также Ю.А.Виноградову, принявшему участие в первых экспериментах по исследованию свойств оливинов.

Литература

1. Г.Н.Флеров. Международная конференция по физике тяжёлых ионов, Дубна, 11-17 февраля 1971 года, ОИЯИ, Д7-5769, стр. 43, 1971.
2. Г.Н.Флеров, И.Звара. Сообщение ОИЯИ, Д7-6013, Дубна, 1971.
3. Г.Н.Флеров, Ю.Ц.Оганесян. Сообщение ОИЯИ, Р7-6523, Дубна, 1972.
4. V.L.Ginzburg, S.I.Syrovatski. *The 12 Intern. Conf. on Cosmic Rays, Tasmania, 16-25 August 1972*, p. 53, ed. University of Tasmania (1972).
5. Д.А.Киржниц. Международная конференция по физике тяжёлых ионов, Дубна, 11-17 февраля 1971, ОИЯИ, Д7-5769, стр. 1, 1971.
6. J.L.Greenstein. *Scientific American*, 209, 54 (1963).
7. R.Cawsik, P.V.Price. *Phys.Today*, 24, 30 (1971).
8. T.P.Amiet, H.D.Zeh. *Phys.Lett.*, 25B, 305 (1967).
9. T.P.Amiet, H.D.Zeh. *Z.Physik*, 217, 485 (1968).
10. M.Kowalski, B.Kuchowicz. *Phys.Lett.*, 30B, 79 (1969).
11. V.Viola. *Nucl.Phys.*, 139A, 188 (1969).
12. Э.Е.Берлович, Ю.Н.Новиков. *Письма в ЖЭТФ*, 9, 708 /1968/.
13. D.N.Schramm, W.A.Fowler. *Nature*, 231, 103 (1972).
14. P.H.Fowler, R.A.Adams, V.G.Cowen, J.M.Kidd. *Proc. Royal Soc.*, A301, 39 (1967).
15. С.Ф.Пауэлл. *Вестник АН СССР*, 9, 5 /1968/.
16. D.O'Sullivan, P.V.Price, E.K.Shirk, P.H.Fowler, J.M.Kidd, E.J.Kobetic, R.Thorne. *Phys.Rev.Letters*, 26, 463 (1971).
17. P.V.Price, P.H.Fowler, J.M.Kidd, E.J.Kobetic, G.E.Nicols. *Phys.Rev D3*, 615 (1971).
18. A.G.W.Cameron. *Origin and Distribution of Elements of Solar System*, ed. L.H.Ahrens, Pergamon Press, p. 126 (1967).
19. M.Monnin, M.Montrét, S.Sanzelle. *VII Colloque Intern de Photographie Corpusculaire*, ed. P.Guer, L.P.L.Strasbourg, p. 160 (1970).
20. P.V.Price, R.L.Fleischer. *Ann.Rev.Nucl.Science*, 21, 295 (1971).
21. В.П.Перельгин, С.П.Третьякова, М.Д.Никитин. *Изв. союзн. ССРСР №233113 с приоритетом от 30.XII.65. Выдаются изобретению, №12, 1968; R.L.Fleischer, P.V.Price, R.M.Walker, M.Maurette. J.Geophys.Res.*, 72, 331 (1967).
22. M.Maurette, P.Tho, R.Walker, R.Webbik. *Meteor.Res.*, 12, 286 (1969).
23. R.Rajan. *Proc. 11th Symp. on Cosmic Rays & Elementary Particle Physics, Astrophysics, Aligarh* (1969).
24. P.V.Price, R.Rajan, E.K.Shirk. *Proc. of the 11 Lunar Science Conference*, v. 3, 2621, M.I.T.Press (1971).
25. L.Northcliffe, R.F.Shilling. *Nuclear Data Tables*, v. 7, No. 1, 223 (1970).

26. Л. В. Курносова, С. С. Коняхина, Б. И. Логачев, Л. А. Разоренов, М. И. Фрадкин. Изв. АН СССР, сер. физ., 34, 2265 /1970/.
27. D. Lal. Space Sci. Rev., 9, 623 (1969).
28. E. J. Kobetich, R. Katz. Phys. Rev., 170, 397 (1968).
29. Л. Л. Кашкаров, Л. И. Генаева, В. В. Малышев, А. К. Лаврухина. Изв. АН СССР, сер. физ., 34, 2303 /1970/.
30. L. L. Kaschkarov, L. I. Genaeva, V. V. Malishev, L. M. Satarova, A. L. Lavrukina. Rep. no. 290, XIth Intern. Conf. on Cosmic Rays, Budapest (1969).
31. S. Krishnaswami, D. Lal, N. Prabhu, A. S. Tamhane. Science, 174, 287 (1971).
32. А. К. Лаврухина. Ядерные реакции в космических телах, стр. 131, Изд. "Наука", 1972.
33. P. B. Price, I. D. Hutcheon, D. Lal, V. P. Perelygin. Abstracts Third Lunar Scie. Conf., NHouston, 1--13 Jan., 1972, ed. C. Watkins, 619 (1972).
34. V. P. Perelygin. Proc. VIII Intern. Conf. on Nuclear Photography and Solid State Track Detectors, Budapest 1972, p. 53.
35. R. L. Fleischer. Private communication (1972).
36. P. B. Price, D. Lal, A. S. Tamhane, V. P. Perelygin. Earth and Planetary Sci. Lett., 19, 377 (1973).
37. A. Kapuscik, V. P. Perelygin, S. P. Tretiakova, N. Ch. Shadieva. Proc. VI Intern. Conf. on Nuclear Photography, Florence, July 7-11, 1966, ed. CEPI, Roma, p. 458.
38. T. Plieninger, W. Kratschmer. Proc. VIII Conf. on Nuclear Photography and Solid State Track Detectors Budapest, 1972, p. 6.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 августа 1973 года.