

193 / 2-79

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



15/1-79

P7 - 11861

Λ-879

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

УСРЕДНЕННЫЕ

ПО ВРЕМЕНИ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ

ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЯДЕР

В ОБЛАСТИ АТОМНЫХ НОМЕРОВ $Z \geq 50$

1978

P7 - 11861

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

УСРЕДНЕННЫЕ

ПО ВРЕМЕНИ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ

ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЯДЕР

В ОБЛАСТИ АТОМНЫХ НОМЕРОВ $Z \geq 50$

*Направлено на X Международный семинар "Ядерная
космическая физика", Ленинград, 6-8 октября 1978 года.*



Усредненные по времени распространенности галактических космических ядер в области атомных номеров $Z \geq 50$

В оливинах из метеоритов Марьялахти, Игл Стейшн, Липовский Хутор (радиационный возраст 175;45;220 млн.лет соответственно) проведены измерения длин следов от остановок ядер VVH компоненты галактических космических лучей. Просмотрено более 570 мм³ оливинов из этих метеоритов и измерено более 4800 треков длиной 60 мкм и более ($Z \geq 40$). Кристаллы отбирались из локализаций, расположенных в 5-6 см и 8-9 см от доатмосферной поверхности метеоритов, что соответствует интервалу энергий VVH ядер от 0,5 до 1,5 ГэВ/нуклон. Проведено сопоставление распространенности ядер с $Z \geq 50$ в галактических космических лучах, усредненное за промежуток времени ≤ 200 млн.лет с распространенностью, полученной в опытах по прямой регистрации галактических ядер на шаррах-зондах и спутниках, а также с распространенностью элементов в веществе Солнечной системы. Получено новое значение границы интенсивности ядер гипотетических сверхтяжелых элементов ($Z \geq 110$) в галактических космических лучах на уровне $\leq 1,6 \cdot 10^{-9}$ по отношению к интенсивности ядер группы железа.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.
Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

The Abundances of Galactic Cosmic Ray Nuclei with $Z \geq 50$ Averaged Over Time

In the olivines, taken from meteorites Marjalahti, Eagle Station and Lipovsky (radiation age of these meteorites 175,45 and 220 million years, correspondingly) the tracks due to VVH cosmic ray nuclei were studied. More than 4800 tracks longer than 60 μ m were measured in a volume 570 mm³ of the crystals. The olivines examined were taken from locations 5-6 cm and 8-9 cm below the pre-atmospheric surfaces of meteorites, respectively, which corresponds to VVH cosmic ray nuclei in the energy intervals between 0.5 to 1.5 GeV per amu. The abundances of cosmic ray nuclei with $Z \geq 50$ averaged on the time interval up to 200 million years were compared with the present-day abundances, obtained in experiments on direct registration of cosmic rays performed with the aid of stacks of nuclear emulsions and plastics, and also with the known values of the relative abundances of elements of Solar System. A new upper limit of the flux of super heavy nuclei ($Z \geq 110$) in a galactic cosmic rays was obtained at the level $\leq 1.6 \cdot 10^{-9}$ relatively to the intensity of group nuclei.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.
Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

Исследования зарядового состава и энергетического спектра VVH компоненты галактических космических лучей крайне затруднены ввиду малой интенсивности таких ядер, составляющей $/2+4/ \cdot 10^{-4}$ от интенсивности ядер группы железа.

Существуют и развиваются два направления исследований, позволяющих получить сведения о зарядовом и энергетическом спектрах VVH ядер /область атомных номеров $Z \geq 50$ вплоть до $Z = 92$ / с достаточной надежностью. Это, во-первых, опыты по прямой регистрации тяжелых и сверхтяжелых ядер с помощью стопок различных трековых детекторов, экспонируемых на шаррах-зондах в верхних слоях атмосферы, а также на спутниках и орбитальных станциях.

Начало систематическим исследованиям в этом направлении было положено в 1967 году в работе Фаулера и др.^{1/}, выполненной с помощью стопки ядерных эмульсий площадью 1 м², находившейся в верхних слоях атмосферы в течение 24 ч.

Начиная с 1969 года, такие исследования проводились Фаулером в сотрудничестве с группами Прайса, Уокера, Флейшера^{2/} с использованием, наряду с ядерными эмульсиями, стопок высокополимерных пленок, а также черенковских детекторов. В 1973 году стопка полимерных детекторов площадью около 1,3 м² экспонировалась на орбитальной станции "Скайлэб" в течение 8 мес. Однако суммарное время экспозиции, полученное в течение более 10 лет интенсивных исследований с помощью этого метода, не превышает 2-2,5 м² за год. Для существенного повышения чувствительности таких опытов необходимо экспонировать в космосе десятки и сотни м² трековых детекторов в течение года.

Другой путь проведения исследований VVH компоненты космических лучей основан на установленной еще в 1964 году Мореттом, Пелласом и Уокером^{3/} способности силикатных и фосфатных минералов из метеоритов регистрировать и сохранять в течение десятков и сотен миллионов лет следы от остановок галактических ядер с $Z > 20$.

Существование космических ядер с $Z > 30$ было впервые обнаружено в 1966 году путем наблюдения треков длиной свыше 30 мкм в оливинах из палласита Игл Стейшн^{4/} и пироксенах из мезосидерита Эстервилл^{5/}.

Преимуществом этого направления исследований галактических космических ядер является длительное время экспозиции минералов, достигающее десятков и сотен миллионов лет.

Простые оценки показывают, что в одном кубическом сантиметре минералов из метеоритов, находившихся на расстоянии не свыше 5 см от их первоначальной/доатмосферной/ поверхности в течение $10^7 - 10^8$ лет, должно содержаться сотни и тысячи следов от остановок ядер группы урана-тория^{6/}. Проведенные ранее оценки травимых длин таких треков показывают, что области атомных номеров Z около 92 должны соответствовать травимые длины следов около 1 мм в пироксенах^{7/}.

Однако систематические исследования таких треков в минералах из метеоритов до последнего времени не получили широкого распространения ввиду специфических трудностей, связанных с выбором подходящих объектов исследования, необходимостью выявления полных травимых длин треков в объеме кристаллов, отсутствием калибровок минералов из метеоритов ускоренными ядрами с $Z > 36$, а также частичной термической регрессией треков за десятки и сотни миллионов лет пребывания метеоритов в космическом пространстве.

В связи с этим вплоть до 1973 года было предпринято лишь несколько попыток исследования треков ядер с $Z > 30$ в минералах, облученных галактическими космическими ядрами. В 1969 году Моретт и др.^{8/}, используя технику последовательной полировки кристаллов с двух сторон и травления, обнаружили в гиперстенах

метеорита Джонстаун треки длиной свыше 300 мкм, вплоть до 1050 мкм.

Следующим шагом в развитии техники выявления объемных треков в кристаллах явилась работа Лала и др.^{9/}, предложившего использовать методику "Трек в треке" (TINT) и "Трек в микроскопическом дефекте структуры" (TINGLE). Однако авторам работы^{9/}, исследовавшим пироксены и оливины метеорита Патвар, не удалось обнаружить треки длиннее 500 мкм. В 1971 году Прайс и др.^{10/} обнаружили в кристаллах пижонита из лунного образца 12021 два трека - длиной свыше 900 мкм и свыше 1 мм.

Таким образом, вплоть до начала наших исследований было найдено всего три трека длиной 0,9-1 мм /область атомных номеров $Z \geq 80$ /.

Настоящая работа является продолжением систематических исследований следов галактических космических ядер в области атомных номеров $Z \geq 50$ в минералах из метеоритов, предпринятых нами с 1973 года^{6/}.

В качестве объекта исследования с самого начала были выбраны оливины из метеоритов типа палласитов^{6,11/}.

Действительно, оливины из палласитов обеспечивают ряд преимуществ по сравнению с другими кристаллами внеземного происхождения.

а/ Большие размеры кристаллов оливина /до нескольких сантиметров/ и их прозрачность облегчают исследование спектров длин треков VVH ядер.

б/ Химический состав оливинов одинаков для каждого данного палласита^{12/}.

в/ Более высокий порог выявления треков в оливинах по сравнению с пироксенами снижает фон следов ядер группы железа по сравнению с пироксенами примерно в 2-2,5 раза^{13,14/}.

г/ Радиационный возраст палласитов обычно в среднем в несколько раз больше, чем у каменных метеоритов и лунных образцов^{15/}, что объясняется малой эрозией оливинов, заключенных в железоникелевую матрицу, из-за микрометеоритных ударов по сравнению с каменными метеоритами и лунными образцами.

На первом этапе нами были проведены измерения плотности треков ядер группы железа в оливинах из 14 палласитов, которые позволили отобрать наиболее подходящие объекты для исследования космических ядер VVH группы^{/7,11,12/}.

Были выполнены также опыты по калибровке оливинов из палласитов ускоренными ионами от титана до ксенона^{/16,17/} по термической стабильности треков VVH ядер в этих кристаллах^{/18/}, по дискриминации и идентификации треков тяжелых космических ядер в условиях фона фигур травления капиллярных включений и дислокаций в оливинах из палласитов^{/19/}.

В нашей предыдущей работе^{/20/} сообщались данные о распространенности групп ядер в области $Z > 50$, полученных при просмотре около 280 мм³ оливинов из метеорита Марьялахти. Для ядер гипотетических сверхтяжелых элементов в этой работе было получено значение прежней границы распространенности на уровне $\leq 3 \cdot 10^{-9}$ по отношению к ядрам группы железа.

В настоящей работе для исследования зарядового состава и спектра галактических ядер с $Z \geq 50$ были выбраны оливины из метеоритов Марьялахти, Игл Стейшн и Липовский Хутор, имеющих радиационный возраст 175, 45 и 220 млн. лет, соответственно.

Кристаллы оливина в палласитах заключены в железоникелевую матрицу, и извлечение их представляет непростую задачу. Сначала от фрагмента метеорита отделялся участок, ориентация и расстояние которого относительно коры плавления были точно известны, а затем кристаллы оливина извлекались механическим способом, использовалось также травление железоникелевой матрицы раствором азотной кислоты или электролитическое травление. Извлекая кристаллы механически, трудно было получить неповрежденные образцы большого размера, но полученные кристаллы были несколько чище, так как в трещины не попадали продукты травления матрицы палласитов.

При извлечении кристаллов особое внимание обращалось на их ориентацию относительно коры плавления с тем, чтобы обеспечить оптимальные условия выявления треков тяжелых космических ядер. Для удобства работы

отобранные кристаллы размерами ≥ 2 мм монтировались в параллелепипед из эпоксидной смолы размерами 10x10x6 мм, так что одна или две их грани выходили на его поверхность.

Кристаллы оливина шлифовались, а затем полировались. Для выявления в них треков использовали травящий раствор^{/21/}, модифицированный добавлением 3% щавелевой кислоты^{/11/}. Пороговый характер регистрации заряженных частиц минералами /рис. 1/, а также раз-

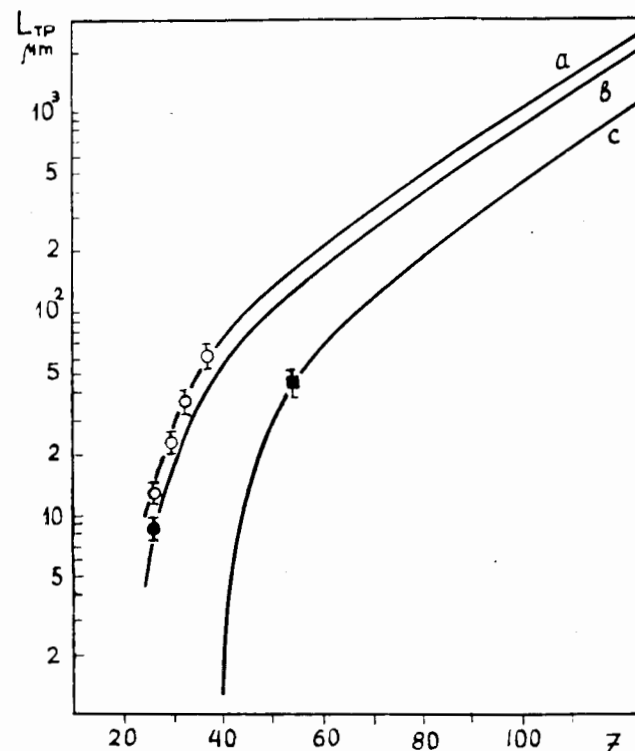


Рис.1. Полуэмпирические зависимости травимых оливинов от атомного номера $Z \geq 24$ в оливинах из метеоритов. Точками отмечены экспериментальные данные; экстраполяция в область больших атомных номеров проведена в рамках модели Каца и Кобетича^{/23/}.

а/ - неотожженный оливин.

в/ - учет частичной регрессии треков в оливинах из метеоритов в космических условиях.

с/ - воздействие отжига оливинов при температуре 460°C в течение 4-8 ч. на треки ядер с $Z \geq 50$.

личные значения в ионизации для частиц с различным атомным номером обуславливают различие травимой длины треков ядер^{6,7}. Травление поверхности детектора позволяет выявить треки, начинающиеся с поверхности, но не обеспечивает выявления треков, начало и конец которых находятся в объеме детектора. Выявление таких треков представляет собой основную задачу при изучении спектра VVH компоненты космических лучей. Проблему можно решить, если каким-либо образом ввести травитель в объем детектора. Для этого можно воспользоваться треками, начинающимися с поверхности детектора и пересекающими треки в объеме. В этом случае при травлении трека с поверхности травятся и треки в объеме кристалла. Можно использовать треки как уже имеющиеся в кристаллах, так и облучить кристаллы ускоренными тяжелыми ионами, создающими треки с поверхности детектора. Плотность треков дополнительного облучения не должна превышать $3-4 \cdot 10^6$ на $см^2$, в противном случае наложение их делает невозможным наблюдение длинных следов в объеме кристалла. К сожалению, имеющиеся в распоряжении экспериментаторов ионы Хе с энергией 7-8 МэВ/нукл создают треки длиной всего около 60 мкм, в результате чего такая процедура становится малоэффективной для регистрации треков длиной ≥ 150 мкм.

Треки в объеме кристаллов выявляются наилучшим образом в том случае, если в образце имеются узкие глубокие трещины (≤ 1 мкм), не мешающие наблюдению. Использование таких трещин позволяет с высокой эффективностью регистрировать весьма длинные треки ($L \geq 1$ мм), но случайное расположение трещин, а также недостаточное их количество препятствуют получению значительного объема информации. При попытке создать систему подобных трещин искусственно приемлемыми оказались два способа.

Первый состоит в создании системы узких параллельных щелей, через которые травящее вещество проникает в кристалл оливина, при этом выявляются все треки, пересекающие щели. Для создания системы щелей мы облучали кристаллы оливина ионами ^{40}Ag с энергией около 300 МэВ через щелевой коллиматор с шири-

ной щелей 20-25 мкм и расстоянием между ними 120-150 мкм /длина щелей в коллиматоре была около 5 мм, количество щелей до 30/. При облучении через такой коллиматор в кристалле оливина возникают дефекты структуры от ядер отдачи и составных ядер вследствие взаимодействия ионов аргона с ядрами атомов кристалла, причем такие дефекты возникают на всей длине пробега ионов Ag. При облучении с плотностью $\geq 10^{14}$ ионов Ag на $см^2$ дефекты структуры накладываются друг на друга и при травлении в месте облучения удаляется

все вещество кристалла. Созданная таким образом система щелей позволяет в несколько раз увеличить эффективность и определить вероятность выявления треков определенной длины. Описанный способ позволяет извлекать информацию из большого объема кристаллов, но имеет следующие недостатки: энергия ионов мала для создания щелей глубже 100 мкм; а радиационный отжиг требует длительного облучения тяжелыми ионами.

Более эффективным оказался второй способ. В отполированных кристаллах оливина, перпендикулярно поверхности с помощью сфокусированного луча лазера пробивается сеть отверстий. Режим обработки подобран так, что диаметр отверстий равен 30 мкм, глубина достигает 0,2-0,3 мм. Длительность, форма и количество импульсов лазера выбираются так, чтобы при пробивании углублений образовалось 3-5 трещин, радиально расходящихся от каналов /рис. 2/, ширина трещин обычно ≈ 1 мкм, их глубина совпадает с глубиной отверстия, а длина превышает диаметр более чем в десять раз.

Кристалл, покрытый сетью трещин, не разрушается при последующем длительном травлении, и выявляются все треки, пересекающие трещины. Такой метод позволяет обрабатывать значительно больший объем кристаллов, доля поверхности, непригодной для просмотра, незначительна; исключается отжиг кристаллов в процессе образования трещин; время облучения кристаллов сокращается во много раз.

Было отобрано свыше 1000 кристаллов из метеоритов Марьялахти, Игл Стейшн, Липовский Хутор с размерами поверхности отполированных граней 4-20 мм².

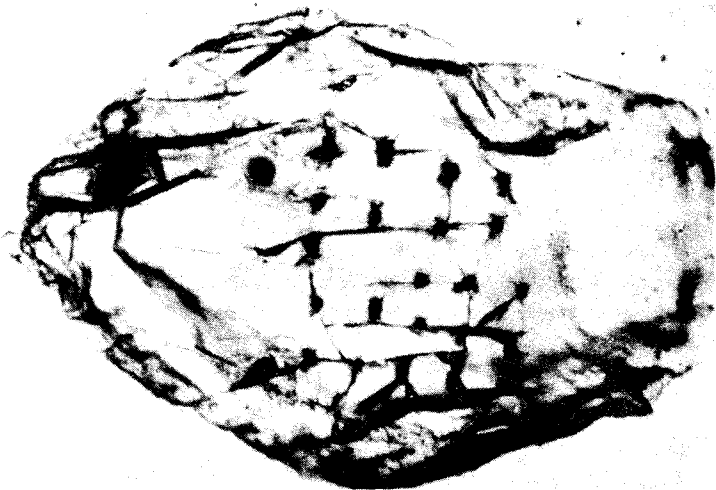


Рис.2. Фотография кристалла оливина, облученного пучком лазера диаметром 50-60 мкм. Видна система цилиндрических каналов и микротрещин, пересекающих большую часть объема кристалла.

Места отбора проб располагались как вблизи поверхности метеоритов, так и на глубине до 10-12 см. Кристаллы монтировались в эпоксидную смолу и полировались. С целью создания системы искусственных щелей значительная часть кристаллов облучалась на ускорителе или лазерной установке. Кристаллы, содержащие естественные или искусственные трещины и дефекты, травились и просматривались под микроскопом. Глубина расположения образцов в метеоритах определялась в зависимости от плотности треков ядер группы железа и известного радиационного возраста метеоритов^{/21/}.

В метеорите Игл Стейшн плотность треков ядер группы железа в кристаллах из некоторых поверхностных участков была столь велика /до $1,6 \cdot 10^7$ тр/см² /, что наблюдение более длинных треков, принадлежащих ядрам с $Z \geq 50$, было возможно лишь в кристаллах, расположенных внутри метеорита^{/17/}. В метеоритах Марьялахти и Липовский Хутор не было найдено кристаллов, расположенных ближе 5-6 см от поверхности метеори-

та^{/20/}. Основной объем просмотренных оливинов составляли кристаллы из метеорита Марьялахти; было просмотрено также несколько десятков кубических миллиметров оливинов из метеоритов Игл Стейшн и Липовский Хутор. Результаты просмотра > 570 мм³ кристаллов оливина из метеоритов Марьялахти, Игл Стейшн, Липовский Хутор представлены на рис. 3-5. Главная трудность при интерпретации распределения длин треков ядер состоит в установлении однозначной зависимости травимых

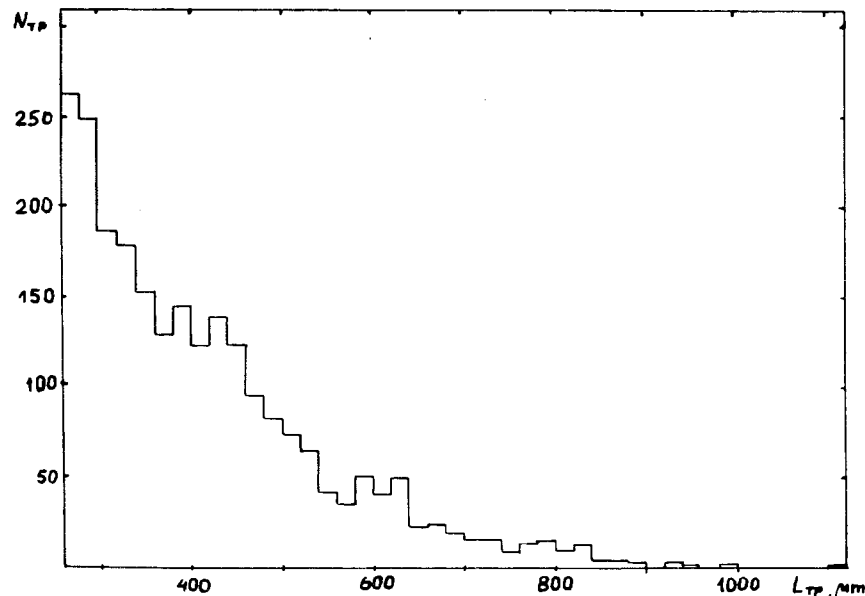


Рис.3. Распределение длин следов ядер с $Z \geq 70$ в оливинах из метеоритов Марьялахти, Игл Стейшн, Липовский Хутор. В объеме 572 мм³ кристаллов измерено 2374 трека.

треков ядер от атомного номера Z , из-за отсутствия калибровки кристаллов оливина ускоренными частицами с $Z > 36$. При анализе полученных результатов необходимо учитывать эффект регрессии треков в космических условиях, а также изменение первичного спектра космических лучей вследствие ядерных взаимодействий с межзвездным газом и с веществом метеорита /11,22/.

Эффекты взаимодействия приводят к сглаживанию пиков распределения длин в областях $Z = 76-83$ и $Z = 90-92$.

Использовались экспериментальные данные о травимых длинах ускоренных ядер $Z = 23-36$ ^{/6,11,16,20/} и экстраполяция данных в рамках модели, предложенной Кацем и Кобетичем ^{/23/} с учетом регрессии треков ядер группы железа от 13,5 до 7-8 мкм в оливинах Марьялахти ^{/рис. 1в/}. По оценкам, приведенным в работах ^{/6,10/}, регрессия в космических условиях приводит к сокращению длин следов ядер с $Z > 36$ приблизительно на 20-25%.

В этом случае травимая длина треков атомных номеров ядер составляет для $Z = 50; 70; 86; 92$ - соответственно 160; 280; 560-700 мкм, длина треков ядер с $Z \geq 110$ $L \geq 1300$ мкм. Другая возможная интерпретация наших результатов связана с данными о распространении элементов в Солнечной системе ^{/24/}.

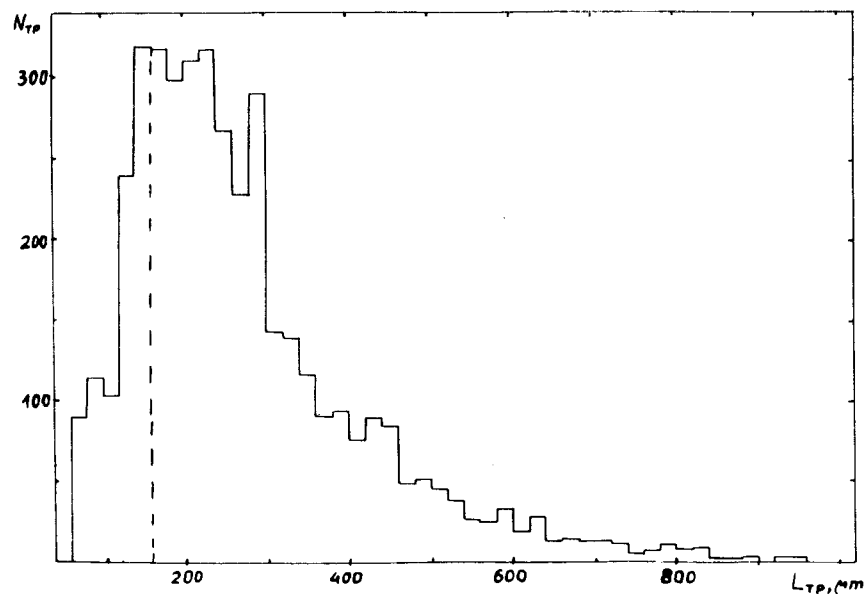


Рис.4. Распределение длин 4125 треков в 340 мм³ оливинов с поверхностных участков палласитов /глубина 5-6 см от доатмосферной поверхности/.

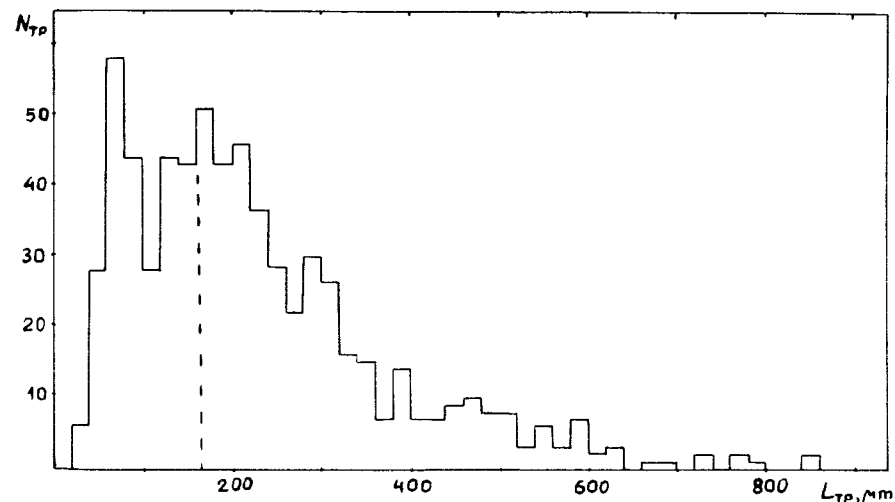


Рис.5. Распределение длин 690 треков в 125 мм³ оливинов из глубинных участков палласитов /глубина 8-9 см от доатмосферной поверхности/.

Хотя в распределении длин треков трудно отметить положение групп наиболее распространенных тяжелых ядер $48 \leq Z \leq 58$, $76 \leq Z \leq 83$, естественно предположить, что интервал длин 710-900 мкм должен соответствовать группе Th-U ^{/17/}; в этом случае треки ядер с $Z \geq 110$ должны быть ≥ 1400 мкм. Одним из способов, который может уменьшить эту неопределенность, является проведение избирательного отжига кристаллов. При проведении такого отжига повышается порог выявления треков, их травимая длина уменьшается.

Проведенные нами опыты по термической регрессии следов ускоренных ядер Xe, Kr с энергией 8-9 МэВ/нукл в оливинах показали, что отжиг при температуре 460°C в течение четырех-восьми часов приводит к полному устранению треков криптона, в то время как травимая длина следов ядер ксенона сокращается до 30-40 мкм.

Порог выявления треков при отжиге повышается таким образом, что травимая длина следов ядер урана будет составлять не более 250-300 мкм /рис. 1с./.

При этом эффекты частичной регрессии треков одной и той же группы за счет разницы в возрасте их образования будут нивелированы.

Можно предположить, что в распределении длин треков появятся выделенные области, соответствующие группам наиболее распространенных стабильных ядер. Наибольший эффект отжиг может дать при изучении треков в метеорите Игл Стейшн, в котором обнаружены участки, весьма близкие / -2 см/к его доатмосферной поверхности. Избирательный отжиг также повысит эффективность регистрации более тяжелых ядер за счет сокращения длины их треков.

Полученные нами данные о распространенности групп ядер с $Z \geq 50$, $Z \geq 70$, $Z \geq 80$, $Z \geq 86$, $Z \geq 90$ по отношению к ядрам группы железа сопоставлены с распространенностью соответствующих элементов Солнечной системы^{/24/}, и с результатами, полученными с помощью ядерных эмульсий и пластиков^{/1,2/} /табл. 1/. Можно отметить достаточно удовлетворительное согласие трековых данных с результатами Камерона^{/24/}.

Необходимо подчеркнуть, что более детально изучение распределений длин треков в оливинах, расположенных на различных глубинах в метеоритах, позволит, очевидно получить информацию и об энергетических спектрах галактических космических ядер в области $Z \geq 50$, усредненных за десятки и сотни миллионов лет.

Как следует из рис. 4, 5, отношение плотностей следов ядер группы железа для локализаций метеорита, расположенных на глубине около 6 см и 8-9 см от доатмосферной поверхности, составляет $2,5 \pm 0,5$.

В то же время из сопоставления объемных плотностей следов с $L \geq 160$ мкм для этих локализаций, как показано в работе^{/25/}, следует, что с изменением глубины от ~6 до 8-9 см объемная плотность следов ядер с $Z \geq 50$ уменьшается в $4,7 \pm 0,6$ раза. В области атомных номеров $Z \geq 80$ это соотношение уже $6,0 \pm 1,5$. Такой результат обусловлен более высокой вероятностью ядерных взаимодействий частиц с $Z = 50-60$ и групп

Таблица 1

Распространенность элементов с $Z \geq 50$ в галактических космических лучах и Солнечной системе по отношению к ядрам группы железа.

Z	ядер	N_{Tp}	N_Z / N_{Fe}	N_{Tp}	N_Z / N_{Fe}	Зольберг, пластики	Солнечная система
						(Фэулер, Прайс и др. /1,2/) (Камерон /24/)	
50	4380	477	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$		
70	2374	195	$5,6 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$8,7 \cdot 10^{-6}$		
80	1074	-	$2,4 \cdot 10^{-6}$	-	-		
86	390	28	$9 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$		
90*	105	-	$2 \cdot 10^{-7}$	-	$1,1 \cdot 10^{-7}$		

* - в предположении, что только треки с $L \geq 710$ мкм обусловлены ядрами с атомным номером $Z \geq 90$.

более тяжелых ядер с веществом метеорита по сравнению с ядрами Fe, а также различиями в зависимости "пробег-энергия" для этих групп нуклидов.

Предварительный анализ спектров длин следов ядер с $Z \geq 50$, приведенных на рис. 4,5, позволяет заключить, что показатель энергетического спада спектра ядер с $Z \geq 50$, $1,5 \leq \gamma \leq 30$, что не противоречит данным П.Фаулера и др.^{/1/} об энергетической зависимости спектра галактических ядер с $Z \geq 65$.

Из графика рис.3 следует, что при просмотре 570 мм³ оливинов из палласитов Марьялахти, Игл Стейшн, Липовский Хутор не было найдено ни одного трека длиной свыше 1400 мкм.

Единственный трек длиной свыше 1110 мкм /низко-энергетический участок трека выходил за пределы кристалла/ в рамках экстраполяции травимых длин в область больших атомных номеров Z может быть обусловлен ядром с атомным номером Z по крайней мере > 97 .

В этих опытах получено новое значение нижней границы распространенности сверхтяжелых ядер / $Z \geq 110$ / в галактических космических лучах на уровне $\leq 1.6 \cdot 10^{-9}$ по отношению к ядрам группы Fe.

Чувствительность, достигнутая в наших исследованиях, более чем в 10 раз превышает уровень, достигнутый во всех опытах с ядерными эмульсиями и пластиками, выполненных, начиная с 1967 г.

Согласно теоретическим предсказаниям^{/26,27/}, относительная распространенность сверхтяжелых ядер в галактических космических лучах должна составлять $10^{-1} - 5 \cdot 10^{-4}$ от распространенности ядер группы урана-тория.

Наши данные позволяют сделать предварительный вывод о том, что распространенность ядер с $Z \geq 110$ составляет по крайней мере $\leq /3-9/ \cdot 10^{-3}$ от распространенности ядер актинидов в галактических космических лучах.

Это значение по крайней мере на порядок величины ниже верхней границы распространенности сверхтяжелых ядер, полученной по данным работы Прайса и др.^{/28/}, сообщивших об идентификации трека ядра с $Z = 114$ /ранее приписывавшегося^{/29/} двукратно заряженному монополю Дирака/. Отметим также, что форма распределе-

ния длин следов области $L \geq 600$ мкм, вплоть до 1000 мкм, свидетельствует о быстром спаде интенсивности ядер актинидов в области $Z \geq 96$ /по меньшей мере на порядок величины/. В то же время, согласно данным, полученным на стопке, облучавшейся на орбитальной станции "Скайлэб"^{/30/}, интенсивности групп ядер урана-тория и кюрия-берклия практически одинаковы.

В заключение отметим некоторые преимущества нового направления исследований VVH компоненты галактических космических ядер.

Во-первых, исследования минералов из метеоритов, способных регистрировать и сохранять следы от остановок ядер с $Z \geq 26$, позволяют повысить чувствительность исследований VVH компоненты галактических космических лучей в сотни и тысячи раз по сравнению с уровнем, достигнутым в опытах по прямой регистрации галактических космических ядер.

Дальнейшая разработка методики частичной термической регистрации не проявленных треков, в сочетании с успехами в получении релятивистских ядер ксенона, свинца, урана на существующих и проектируемых ускорителях тяжелых ионов, позволит, по-видимому, получить вполне достоверную информацию о распространенности ядер группы платины по отношению к ядрам свинца, /а также тория-урана/, крайне необходимую для выяснения процессов нуклеосинтеза в галактических объектах.

Во-вторых, благодаря длительной экспозиции минералов из метеоритов, достигающей десятков и сотен миллионов лет, можно получить информацию об изменениях состава и интенсивности галактического космического излучения за большие промежутки времени. Исследования минералов из метеоритов, имеющих радиационный возраст свыше 150 млн. лет, особенно перспективны, так как за это время Солнечная система проходила сквозь спиральные рукава Галактики.

При этом близкие взрывы Сверхновых звезд /в радиусе ≤ 20 парсеков/ должны были приводить к прямому облучению Солнечной системы интенсивным потоком космических лучей. В этом случае в минералах из метеоритов могли быть зарегистрированы нестабильные

ядра с временем жизни, на 3-4 порядка ниже среднего времени жизни космических лучей - $/1-2/ \cdot 10^3 \text{ лет}^{31/}$. Исследования оливинов из метеоритов, имеющих радиационный возраст свыше 150 млн. лет, перспективны при поисках ядер гипотетических сверхтяжелых элементов, имеющих относительно короткое время жизни, до $10^2 - 10^3 \text{ лет}$.

В-третьих, исследования минералов, непосредственно подвергавшихся воздействию космических лучей, позволяют наиболее эффективно проводить поиски гипотетических сильноионизирующих частиц /например, поиски монополя Дирака с магнитным зарядом $n \approx 4^{17/}$.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность академику Г.Н.Флерову за постоянное внимание к работе и полезные обсуждения.

Авторы также признательны Х.Б.Вику, Н.Н.Гавриловой, Х.Гегеллер, Т.П.Жолудь, Г.И.Доливо-Добровольской, В.Д.Коломенскому, Г.Курату, Е.Ольстену, К.Фиени за помощь в проведении этих исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fowler P.H., Alexandre C., Clapham V.M. Proc. of the 15th Int. Cosm. Ray Conf., Ploudiv, August 1977, v.I, p.275.
2. Fleischer R.L., Price P.B., Walker R.M. Nuclear Tracks in Solids, Univ. of California Press, Berkeley, California, 1975.
3. Maurette M., Pellas P., Walker R.M. Nature, 1964, 204, p.821.
4. Maurette M. Bull. Soc. Frac. Mineral Crist., 1966, 89, p.41.
5. Fleischer R.L. e.a. J.Geophys.Res., 1967, 72, p.355.
6. Отгонсурен О., Перельгин В.П. Атомная энергия, 1974, 37, с. 164.
7. Fleischer R.L. e.a. J.Geophys.Res., 1967, 72, p.331.
8. Maurette M. e.a. Meteorite Research, ed. Millman P.M., Reidel D., Publ. Co. Dodrecht-Holland, 1969, p.286.
9. Lal D. e.a. Ibid., p.275.
10. Price P.B., Rajan R.S., Shirk E.K. Geoch. Cosmoch. Acta, Suppl. 2, 1971, v.3, p.2621.

11. Flerov G.N. e.a. Geoch. Cosmoch. Acta, 1976, 40, p.305.
12. Buseck P.K., Goldstein J.L. Geol. Soc. Am.Bull., 1969, 80, p.2141.
13. Lorin J.C., Poupeau G. Meteoritics, 1973, 8, p.410.
14. Pellas P., Ducatel A., Berdot J.L. Ibid., p.418.
15. Mergue G.H. J.Geoph.Res., 1968, 73, p.2027.
16. Price P.B. e.a. Earth Planet Sci. Lett., 1973, 19, p.377.
17. Otgonsuren O. e.a. Ap.J., 1976, 210, p.258.
18. Флеров Г.Н., Отгонсурен О., Перельгин В.П., ОИЯИ, P7-8135, Дубна, 1974. Изв. АН СССР, сер.физ., 1975, 39, №2, с. 388.
19. Доливо-Добровольская Г.И. и др. Геохимия, 1976, №10, с. 1476.
20. Perelygin V.P. e.a. Proc. of the 15th Int. Cosmic Ray Conf., Ploudiv, August, 1977, v.I, p.262.
21. Krishnaswami S. e.a. Science, 1971, 174, p.287.
22. Колесников Е.М. и др. Метеоритика, 1977, 36, с. 82.
23. Katz R., Kobetich E.I. Phys.Rev., 1968, 170, p.401.
24. Cameron A.G.W. Space Sci.Rev., 1973, 15, p.121.
25. Perelygin V.P. e.a. Nucl. Track Det., 1978, 1, p.199.
26. Hainebach K.L., Blake J.B., Schramm J.B. Proc. of the 15th Cosm. Ray Conf., Ploudiv, August 1977, v. I, p.280.
27. Blake J.B. e.a. Enrico Fermi Inst. Preprint N77-9, 1977.
28. Price P.B. e.a. Preprint Lawrence Berkeley Lab., LBL - 7198, 1978.
29. Price P.B. e.a. Phys.Rev.Lett., 1975, 35, p.487.
30. Shirk E.K., Price P.B. Ap.J., 1978, 220, p.719.
31. Garsia-Minors M., Mason G.M., Simpson J.A. Proc. of the 15th Int. Cosmic Ray Conf., Ploudiv, August 1977, v. 2, p.307.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 октября 1978 года.