

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

С-799

7-90-522

СТЕЦЕНКО
Станислав Григорьевич

УДК 524.1

**РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ЯДЕР С $Z > 50$
В ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ
ПО ТРЕКАМ В КРИСТАЛЛАХ ОЛИВИНА ИЗ МЕТЕОРИТОВ**

Специальность: 01.04.16 - физика ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1990

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
ПЕРЕЛЫГИН В.П.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор
ЖДАНОВ Г.Б.
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
БАТУСОВ Ю.А.

Ведущая организация: Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе, г. Ленинград

Защита состоится " " 1990 г. в 9.30 ч. на заседании специализированного совета Д 047.01.05 при Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований, (141980 г., Дубна, ОИЯИ).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ

Автореферат разослан " " 1990 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

ТАРАН Ю.В.

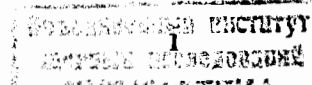
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Настоящая работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований при исследованиях по проблеме "Синтез на ускорителях и поиск в природе сверхтяжелых ядер и атомов. Исследование их физических и химических свойств". В программу исследований по этой проблеме входил поиск сверхтяжелых элементов СТЭ ($Z \geq 110$) в составе галактических космических лучей.

Актуальность работы заключалась в экспериментальной проверке границ стабильности трансфермиевых ядер и возможности существования "острова стабильности" ядер с $Z \geq 110$. Поиск таких ядер в составе галактических космических лучах ГКЛ значительно расширял, по сравнению с поисками СТЭ в земных образцах и синтезе на ускорителях, возможности обнаружения СТЭ, так как позволял использовать в качестве источника СТЭ процессы нуклеосинтеза непрерывно происходящие во Вселенной и в случае успеха в разработке методики идентификации треков ядер ГКЛ в кристаллах оливина из метеоритов, использовать время облучения вещества метеоритов в космосе ($> 10^8$ лет) как времени работы регистрирующего прибора.

Ожидаемый поток ядер СТЭ незначителен не только по сравнению с потоком легчайших ядер ГКЛ (протонов), но по отношению к потоку ядер железа из состава ГКЛ (по оценкам $< 10^{-8}$).

Не менее актуально и получение данных о потоке ядер $Pt-Pb$ и $Th-U$ в составе ГКЛ, в настоящее время, после нескольких десятилетий исследований потока таких ядер, количество событий регистрации ядер с $Z \geq 90$ не превышает тридцати, включая и события, принадлежность которых ядрам с $Z \geq 90$ подвергается вполне обоснованной критике. Данные о потоках ядер $Pt-Pb$, $Th-U$ и СТЭ могут использоваться для экспериментального обоснования предположений о процессах нуклеосинтеза непрерывно происходящих во Вселенной.



Основные цели представляемой работы заключаются в разработке методики идентификации треков ядер ГКЛ в кристаллах оливина и получении экспериментальных данных о характеристиках потока ядер тяжелее платины-свинца, а также присутствия ядер СТЭ в составе ГКЛ. Использование для детектирования таких ядер кристаллов оливина из метеоритов имело определенные преимущества (большое количество накопленной за промежуток времени $\approx 2 \cdot 10^8$ лет информации), но позволяло получить только усредненные за тот же период времени параметры потока ядер ГКЛ.

Для достижения поставленных целей потребовалось:

1. Разработать эффективную методику выявления треков ядер в кристаллах оливина из метеоритов.
2. Разработать методику определения треков ядер в присутствии других дефектов структуры подобных трекам.
3. Разработать методику, устраняющую различия в измеряемых параметрах треков, принадлежащих ядрам с одинаковым Z , от их возраста.

Научная новизна представляемой работы заключается во-первых в получении данных о ядрах ГКЛ $Z > 50$ за период $\approx 1.8 \cdot 10^8$ лет, которые невозможно получить другими методами, во-вторых в разработке новой методики исследования ядер ГКЛ. Использование и совершенствование этой методики расширяет возможности исследования тяжелой компоненты ядер ГКЛ.

Практическая ценность заключается в разработке новой методики исследований ГКЛ и том, что новые данные о ядрах ГКЛ получены в относительно недорогих исследованиях (по сравнению с запуском в космическое пространство регистрирующих приборов) кристаллов из метеоритов, предоставленных исследователям природой.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие во всех этапах исследований от постановки задачи до анализа полученных результатов, по положениям выносимым на защиту личный вклад автора является определяющим.

Апробация работы и публикации. Основные результаты работы изложены в работах /I-II/ и докладывались на: I0 и I4 Международных конференциях по твердотельным трековым детекторам ядер в 1979 г. (Лион, Франция) и 1988 г. (Лахор, Пакистан); седьмом Европейском симпозиуме по космическим лучам 1980 г. (Ленинград); Всесоюзной конференции по космическим лучам 1988 г. (Алма-Ата); Международной конференции "Актиниды 89" 1989 г. (Ташкент); семинарах Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ и ФИАН.

Диссертация состоит из введения, двух глав и заключения и содержит 44 страниц текста, 7 таблиц, 27 рисунков и 72 ссылки. На методические разработки, содержащиеся в диссертации выданы два авторских свидетельства (№ 689430 и № 636968).

Во введении изложена постановка задачи по экспериментальной проверке присутствия групп ядер платины-свинца, тория-урана и сверхтяжелых элементов ($Z \geq 110$) СТЭ в ГКЛ с помощью диэлектрических трековых детекторов ДТД (кристаллы оливина из метеоритов). Дан краткий обзор свойств ДТД таких как высокий порог регистрации (для кристаллов оливина $Z \geq 22$), позволяющий регистрировать тяжелые ядра ГКЛ в присутствии превосходящего в $\geq 10^4$ раз потока более легких ядер, а также γ и β излучения.

В главе I изложена разработанная методика выявления треков и идентификации ядер ГКЛ по трекам в кристаллах оливина из метеоритов.

В § I указывается на преимущества кристаллов оливина из метеоритов как детекторов ядер ГКЛ. Существуют особого типа метеориты, называемые палласиты (по фамилии первого исследователя Палласа), состоящие из железо-никелевой матрицы и вкрапленных в нее кристаллов оливина (до 70% объема с линейными размерами ≥ 1 см) и в различных геологических музеях мира имеется несколько десятков килограммов палласитов. Особенности выявления треков ДТД в частности в

кристаллах оливина из метеоритов: избирательное химическое травление дефектов структуры, образовавшихся после прохождения ядра в диэлектрических трековых детекторах, возможность наблюдения треков в оптический микроскоп при увеличениях 100-300X, образование травимых дефектов в конце пробега (последние микрон, сотни микрон, миллиметры в зависимости от типа детектора и заряда ядра) позволяет использовать кристаллы оливина из метеоритов для исследования потока ядер ГЛ. Можно указать, что при плотности треков ядер группы железа 10^6 тр/см² (в метеорите Марьялахти до $2 \cdot 10^6$ тр/см², а в метеорите Игл Стейшн до $1.6 \cdot 10^7$ тр/см²) в 1 см³ кристаллов оливина зарегистрировано $\approx 10^9$ треков ядер группы железа, что сравнимо по накопленной информации с сотнями килограмм ядерной эмульсии, экспонировавшейся в течение года в космическом пространстве, но без фона γ излучения и ядер с $Z < 22$. В § I проводится сравнительный анализ измеряемых параметров треков в ДТД, их пригодность для идентификации Z ядер в кристаллах оливина, обосновывается, что единственным параметром трека ядра в кристаллах оливина является полная травимая длина трека (т.е. та часть пробега ядра в кристалле где потери энергии ядром превосходят порог регистрации-травления трека). Выявление треков с полной травимой длиной, а только для таких треков ядер возможно определение Z ядра и только по таким трекам делаются выводы в представляемой работе, является одной из главных методических трудностей ибо требуется протравить трек начало и конец которого заключены в одном и том же кристалле.

В § 2 описана процедура подготовки кристаллов к использованию их как детекторов, состоящая из механического извлечения кристаллов из железо-никелевой матрицы метеорита, нагревания их до определенной температуры и выдержке в течение определенного времени при этой температуре (отжиг), размещения кристаллов в таблетках из эпоксид-

ной смолы (диаметром ≈ 25 мм, толщиной ≈ 5 мм) для последующих шлифовки и полировки, облучения тяжелыми ионами или импульсами неодимового лазера для создания системы искусственных трещин в кристаллах, травления в герметичном объеме (в специальном травящем растворе при температуре 100-120°C в течение нескольких суток), просмотра и измерения треков в оптический микроскоп. Нужно отметить, что измерялись и включались в распределение длин только такие треки, для которых была измерена их полная травимая длина.

В § 3 описаны методы травления треков до их полной травимой длины трек в треке (*TRINT*) и трек в трещине (*TRINCLE*), заключающиеся в том, что травящее трек вещество попадает внутрь объема кристалла через треки или трещины начинающиеся с поверхности кристалла и протравливает треки внутри объема, пересекающиеся с треками или трещинами. Использование метода *TRINT* не позволяет протравить треки ядер с одинаковым Z до одной и той же длины поэтому возможно применение только метода *TRINCLE*, но при использовании естественных трещин в кристаллах эффективность его неопределенна и мала ($< 10\%$). Для эффективного травления треков внутри объема кристаллов оливина было разработано [1,2] два метода создания искусственных трещин без разрушения кристаллов. Первый метод состоял в облучении кристаллов, с полированной поверхности, тяжелыми ионами через специально изготовленные многощелевые коллиматоры (ширина щели 10-20 мкм, расстояние между ними ≈ 120 мкм, количество щелей до 40 на один кристалл). Просматриваемый объем кристаллов определялся пробегом тяжелых ионов в кристалле и для достижения максимальной просматриваемой глубины (≈ 300 мкм), которая ограничивается увеличением и глубиной резкости используемых объективов микроскопа, необходимы ионы с $Z > 50$ и энергией более 30 МэВ/нуклон. Из-за ограниченной доступности пучков таких ионов основным методом выявления треков в объеме кристаллов был избран

другой разработанный метод создания искусственных трещин, заключающийся в облучении кристаллов импульсами лазера (на неодимовом стекле). Экспериментально, специально для кристаллов оливина, были подобраны параметры импульса лазера (плотность мощности, форма и длительность импульса) так, что в месте облучения образовывался вертикальный канал (≈ 20 мкм диаметром) с несколькими (3-5) радиально расходящимися от него вертикальными трещинами длиной ≈ 1 мм и глубиной ≈ 500 мкм. Система созданных в кристаллах, облучением лазера трещин позволяла протравливать $\geq 30\%$ треков длиной 200 мкм внутри просматриваемого объема кристалла.

В § 4 изложена разработанная методика отделения протравленных треков ядер от других дефектов структуры кристаллов оливина /3/, похожих на протравленные треки ядер ГКЛ, но не связанных с прохождением заряженных частиц через кристаллы. В кристаллах оливина существует большое количество дефектов структуры капиллярного типа, образовавшихся в процессе кристаллизации, вид которых, в особенности после травления, подобен протравленным трекам ядер. Для того чтобы выделить треки ядер ГКЛ в присутствии капиллярных дефектов было проведено /3/ специальное исследование ориентации этих дефектов относительно кристаллографических направлений в кристаллах оливина и было обнаружено, что такие дефекты ориентированы вдоль основных кристаллографических направлений (Таблица I), а расположение треков ядер ГКЛ в кристаллах практически изотропно и не зависит от кристаллографических направлений. Обнаруженная зависимость ориентации капиллярных дефектов позволила использовать их для определения ориентации кристаллографических направлений в каждом конкретном кристалле и исключать из рассмотрения треки ориентация которых совпадала, в пределах точности угловых измерений ($\approx 1^\circ$), с основными кристаллографическими направлениями в просматриваемых кристаллах.

В § 5 излагается разработанная /2,4/ методика устранения зависимости травимых длин треков от возраста треков. Необходимость этого возникает как следствие длительного ($\approx 2 \cdot 10^8$ лет) процесса облучения кристаллов в космическом пространстве в условиях принципиально неконтролируемых. Проблема заключается в том, что дефекты структуры, возникающие в кристаллах при прохождении ядер ГКЛ, под действием внешних условий (нагрева, облучения и т.д.), в которых находятся метеориты в космическом пространстве и на Земле, со временем разрушаются, что соответствует изменению порога регистрации (травления) треков ядер ГКЛ и приводит к отличию травимых длин треков у ядер с одинаковым Z , например средние травимые длины треков ядер ГКЛ группы железа, измеренные в кристаллах оливина из метеоритов Марьялахти (радиационный возраст-период облучения метеоритов в космосе $\approx 1.8 \cdot 10^8$ лет), Игл Стейшн ($\approx 4.4 \cdot 10^7$ лет) и треков железа (облучение на ускорителе) составляют соответственно ≈ 7 мкм, ≈ 10.2 мкм и ≈ 13.5 мкм. Процесс регрессии непротравленных треков в кристаллах не позволяет, без привлечения дополнительных данных, сопоставлять травимые длины треков группам ядер ГКЛ. Проведенные исследования процесса регрессии (отжига) треков ядер *Cr, Fe, Ni, Kr, Xe* показали /2/, что изменение травимых длин треков происходит быстро в течение первых часов (≤ 10) отжига и затем становится равным нулю (в пределах ошибок измерения длин). В результате изучения поведения непротравленных треков ядер в кристаллах оливина рис. I можно предположить существование режима отжига непротравленных треков ядер ГКЛ в лабораторных условиях, позволяющего значительно уменьшить, если не уничтожить совсем, зависимость травимых длин треков от возраста треков. Предположительно, такие условия отжига проще было обнаружить вблизи границы температурной стабильности треков в кристаллах оливина ($\approx 500^\circ$ C). Проверить это предположение можно только экспериментально отжигая кристаллы облучен-

ные тяжелыми ионами с различными энергиями и Z .

Из-за недоступности пучков тяжелых ионов с $Z > 50$ и энергиями 30–40 МэВ/нукл. (как показали дальнейшие исследования необходимых ионы указанных энергий) для контроля режима отжига использовались треки ионов Хе ($Z = 54$, $E \approx 7$ МэВ/нукл.). Пробег ионов Хе в кристаллах оливина составляет ≈ 54 мкм и при использовании режима отжига ($430 \pm 1^\circ \text{C}$, 32 час.) в кристаллах оливина протравливались последние 26.5 ± 2.5 мкм пробега иона. Использование полуэмпирической модели Каца и Кобетича /13/ позволяло предположить, что при этом режиме отжига травимая длина треков ядер урана будет находиться в пределах 200–300 мкм. Более высокая температура отжига, например $440 \pm 1^\circ \text{C}$, не использовалась из-за уменьшения точности измерения травимых треков ионов Хе (7 ± 2.5 мкм). Был проведен отжиг кристаллов оливина из метеорита Марьялахти с треками ядер ГКЛ и выделяющаяся группа треков 190–230 мкм была отнесена к трекам ядер $Tk-U$ рис. 2 а, б, а группа треков 130–180 мкм к трекам ядер $Pt-Pb$, единственный трек длиной ≈ 370 мкм мог быть треком ядра с $Z \geq 110$ /5/.

В § 6 изложены результаты калибровки кристаллов оливина ионами $Pt-Pb$ и $Tk-U$ на ускорителях БЭВАЛАК (Беркли, США) и УНИЛАК (Дармштадт, ФРГ), проведенные в конце 1987 года. Полированные кристаллы из метеоритов Марьялахти и Игл Стейшн в оксидных таблетках были облучены на БЭВАЛАКЕ ионами урана с энергиями ≈ 30 МэВ/нукл. (под углом $\approx 25^\circ$ к поверхности) и ≈ 70 МэВ/нукл. ($\approx 9^\circ$), на УНИЛАКЕ ионами Pb с энергией ≈ 17 МэВ/нукл. под углом $\approx 30^\circ$. После облучения кристаллы облученные ионами урана были извлечены из таблеток и отождествлены при температуре $430 \pm 1^\circ \text{C}$ в течение 32 часов, обработаны лазерным излучением и протравлены. В распределение длин треков ядер урана рис. 2 в /7, 8/, включены треки измеренные в нескольких десятках кристаллов облученные ионами с разными энергиями под разными углами. Средняя травимая длина ядер урана составила ≈ 235 мкм, но

имеется значительное число треков ($\approx 15\%$) травимая длина которых значительно превосходит среднее значение (до ≈ 370 мкм). Проведенный анализ /8/ позволяет предположить, что увеличение длин треков связано с их ориентацией относительно кристаллографических направлений в кристалле, наиболее сильно эффект удлинения наблюдается для треков ориентированных под малым углом к поверхности кристалла. Следует заметить, что пробеги ионов урана, измеренные от поверхности кристаллов до низкоэнергетичного конца трека, зависели только от энергии ионов и не зависели от ориентации треков. Можно сделать предположение, требующее экспериментальной проверки, о зависимости стабильности непротравленных треков (относительно отжига) от их ориентации в кристалле /9/.

Кристаллы облученные ионами Pb и U были отождествлены вместе с некоторым количеством кристаллов с треками ядер ГКЛ при температуре $450 \pm 1^\circ \text{C}$ в течение 32 часов, результаты приведены на рис. 3 а, б /8/. Увеличение длин треков также присутствует хотя и выражено слабее. Основной вывод, который можно сделать на основе анализа результатов по отжигу треков ядер в кристаллах оливина из метеоритов, заключается в возможности идентификации принадлежности групп треков в кристаллах определенным группам ядер ГКЛ.

В Главе 2 обсуждаются возможности получения данных о потоке ядер ГКЛ (интенсивность, энергетический и массовый спектр) и приводятся результаты проведенных исследований по измерению распространенности ядер ГКЛ с $Z > 50$ (по отношению к распространенности ядер группы железа), полученные данные об относительной распространенности групп $Pt-Pb$ и $Tk-U$, результаты оценки показателя спада энергетического спектра и граница присутствия в ГКЛ гипотетических ядер СТЭ.

В § I дан краткий обзор данных о распространенности ядер с

$Z > 50$, полученных в других исследованиях. Изложен также общепринятый метод определения радиационного возраста метеоритов. Радиационным возрастом считается время облучения вещества метеорита в космическом пространстве протонами ГКЛ, приводящее к появлению в веществе метеорита в результате ядерных реакций космогенных изотопов. Обычно радиационный возраст определяется по содержанию изотопов ^3He , ^{22}Ne , $^{38,39}\text{Ar}$, поток протонов ГКЛ считается постоянным в течение всего времени облучения.

В § 2 изложено применение, разработанной рядом исследователей /14/ методики определения доатмосферных размеров метеоритов на примере определения доатмосферных размеров метеорита Игл Стейшн /10/. Возникновение травимого трека в ДТД в конце пробега тяжелого ядра, что отчетливо проявляется в низкочувствительных детекторах, позволяет, зная расположение кристаллов относительно доатмосферной поверхности, определять энергию ядер ГКЛ. Для определения доатмосферных размеров метеоритов производится отбор проб кристаллов и составление карты отобранных проб с определением расстояния между пробами, далее измеряется плотность треков ядер группы железа в кристаллах из отобранных проб. Для восстановления доатмосферных размеров Игл Стейшн были использованы расчетные зависимости /14/ скорости накопления треков ядер группы железа от размера метеорита и его радиационного возраста. Радиационный возраст Игл Стейшн составляет $\approx 4.4 \cdot 10^7$ лет, в результате определения доатмосферных размеров единственного найденного образца весом ≈ 36 кг получено, что средний потерянный метеоритом слой ≈ 2.9 см, а потерянная масса составила ≈ 46 кг. В метеорите были обнаружены участки находящиеся в ≤ 1.5 см от доатмосферной поверхности, что указывает на перспективность использования кристаллов из этих участков для обнаружения треков ядер ГКЛ с $Z > 50$.

В § 3 приведены данные /11,12/ о распространенности ядер с $Z > 50$, показателя спада энергетического спектра ядер ГКЛ, относительной распространенности групп ядер $Pt-Pb$ и $Th-U$, оценка присутствия ядер СТЭ в галактических космических лучах по результатам проведенных исследований. Длительное отсутствие калибровки (систематическое исследование треков в кристаллах оливина началось в 1975 г., калибровка ядрами Pb и U была проведена в конце 1987 г.) вынудило для получения данных о ядрах ГКЛ, использовать два методических подхода. Первый из них заключался в измерении треков ядер ГКЛ в кристаллах оливина (в основном из метеорита Марьялахти вследствие доступности его образцов) без дополнительного контролируемого отжига. Соответствие травимых длин группам ядер ГКЛ устанавливалось косвенно во-первых с использованием полуэмпирической модели Каца и Кобетича, во-вторых предполагалось отсутствие в составе ГКЛ ядер, промежуточной между $Pt-Pb$ и $Th-U$ группы $83 < Z < 90$, а также известных данных о распространенности элементов в Солнечной системе /16/ (Таблицы 3,4,). Использование второго подхода с применением контролируемого отжига (430°C , 32 час.) рис. 2 позволило получить данные об относительной распространенности $Pt-Pb$ и $Th-U$ в ГКЛ ($C_{Th-U} / C_{Pt-Pb} \approx 0.31$) и оценку присутствия ядер СТЭ в ГКЛ ($C_{СТЭ} / C_{Th-U} \leq 1.5 \cdot 10^{-3}$), рис. 2 б /6/.

В заключении приведены положения выдвигаемые на защиту:

1. Обнаружение и идентификацию треков ядер ГКЛ с $Z \geq 90$ в кристаллах оливина из метеоритов.
2. Результаты по измерению распространенности и данные об энергетическом спектре ядер ГКЛ с $Z > 50$.
3. Разработанную методику выделения треков ядер ГКЛ в кристаллах оливина из метеоритов на фоне дефектов структуры кристаллов.
4. Разработанную методику контролируемого отжига треков в кристаллах, устраняющую разницу их возраста за период $\leq 1.8 \cdot 10^8$ лет.

Таблица I /3/.

Сопоставление измеренных и рассчитанных углов,
определяющих ориентировку капиллярных включений*.

Измеренный угол, град.	Рассчитанный угол, град.	Плоскость наблюдения	Ориентировка капилляров	Названия метеоритов
0°	00°00	(010)	001	Марьялахти
25°	24°59	(001)	110	"
32°	32°11	(010)	102	"
94°	94°02	(001)	120	"
11°	11°51	(010)	106	"
40°	40°00	(010)	203	"
90°	90°00	(010)	100	"
25°	25°59	(001)	110	Брагин
23°	23°14	(001)	150	"
0°	00°00	(010)	001	"
94°	94°02	(001)	120	"
0°	00°00	(010)	001	Ямышева
40°	40°00	(010)	203	"
50°	50°02	(001)	110	"
71°	71°10	(001)	130	"
0°	00°00	(010)	001	Палласово
				Железо
94°	94°02	(001)	120	"

* В таблицу вошли не все сделанные замеры углов, а лишь примеры наиболее часто встречающихся ориентировок.

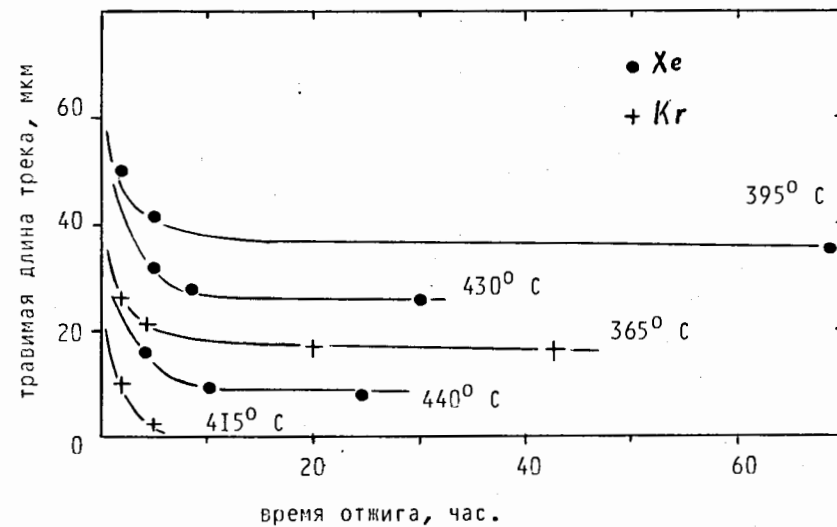


Рис. I Изменение травимых длин треков ядер от температуры и времени отжига /2/.

Таблица 3.

Распространенность элементов с $Z > 50$ в ГКЛ и Солнечной системе относительно распространенности ядер группы железа /11,12/.

Z ядер	Кристаллы оливина /11,12/	ДТД (полимеры) /15/	Солнечная система /16/
50	$1.4 \cdot 10^{-5}$ (4391)	$1.8 \cdot 10^{-5}$ (477)	$3.4 \cdot 10^{-5}$
70	$5.6 \cdot 10^{-6}$ (2150)	$7.5 \cdot 10^{-6}$ (195)	$8.7 \cdot 10^{-6}$
86	...	$8. \cdot 10^{-7}$ (23)	$1. \cdot 10^{-7}$
90	$2. \cdot 10^{-7}$ (103)	...	$1. \cdot 10^{-7}$
110	$2. \cdot 10^{-9}$ (0)	$4. \cdot 10^{-8}$...

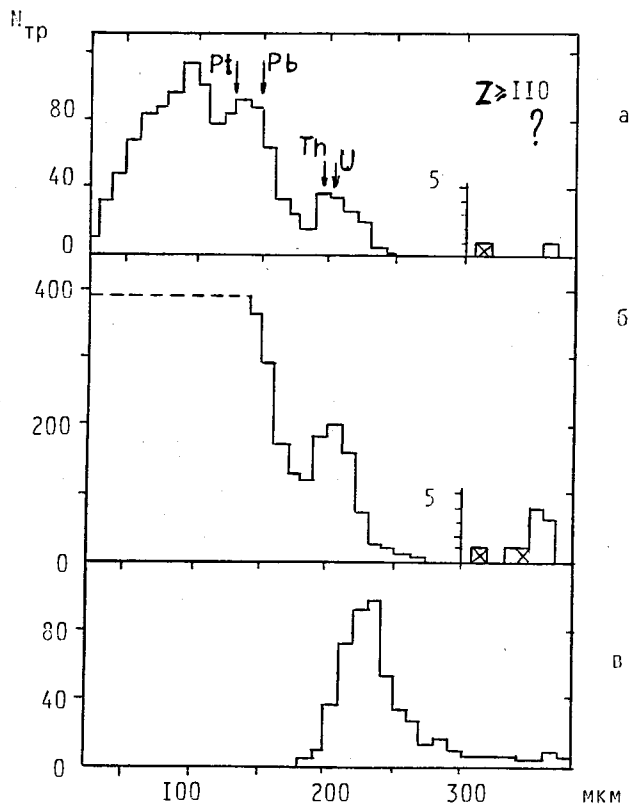


Рис. 2 Распределение длин треков в кристаллах оливина, подвергнутых отжигу (430°C , 32 час.), треки ядер ГКЛ из метеорита Марьялахти а) /5/, б) /6/, калибровочные треки урана в) /7,8/.

Таблица 4.

Сводные данные об энергетическом спектре ядер ГКЛ, усредненные за период $0 - 1.8 \cdot 10^6$ лет /II, I2/.

Z ядер	Глубина 6 см		Глубина 9 см		Значение χ ($N(E) = N \cdot E^{-\chi}$)	
	$N_{\text{тр}}$ на см^2	E (МэВ/ нукл.)	$N_{\text{тр}}$ на см^2	E (МэВ/ нукл.)	$N_{\text{тр}}$ (6 см) / $N_{\text{тр}}$ (9 см)	
$23 \leq Z \leq 30$	$5 \cdot 10^6$	0.8 ± 0.12	1.62^6	1.1 ± 0.17	3.08	2.54 ± 0.45
$50 \leq Z \leq 70$	2201	1.3 ± 0.2	599	1.8 ± 0.28	3.42	2.2 ± 0.7
$70 \leq Z \leq 90$	2079	1.6 ± 0.24	394	2.2 ± 0.35	4.9	2.5 ± 0.6
$Z \geq 90$	92	1.8 ± 0.27	11	2.5 ± 0.39	7.69	2.7 ± 0.9

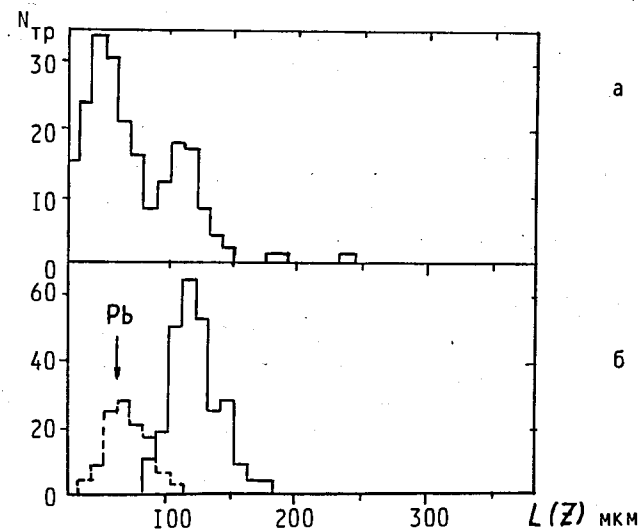


Рис. 3 Распределение длин треков в кристаллах оливина, отожженных при 450°C , 32 час. /8/, а) треки ядер из метеорита Марьялахти, б) калибровочные треки урана и свинца.

Список литературы

1. Pereygin V.P., Stetsenko S.G., Staradub G.Ya., Birkholz W., Petrova R.I., Bankova G.G. On the identification of tracks of ultraheavy cosmic ray nuclei in extraterrestrial olivines // *Isotopenpraxis*, 1987, Vol.23, N 4, P.117-122.
2. Lhagvasuren D., Otgonsuren O., Pereygin V.P., Stetsenko S.G., Jakupi B., Pellas P., Perron C. A technique for partial annealing of tracks in olivine to determine the relative abundances of galactic cosmic ray nuclei within $Z > 50$ / Proc. of the 10th Int. Conf. on Solid State Nuclei Track Detectors, July 1979, Lyon, Ed. Francois H., Oxford, Pergamon Press, 1980, P.997-1002.
3. Доливо-Добровольская Г.И., Коломенский В.Д., Гаврилова Н.Н., Перельгин В.П., Стеценко С.Г. Дефекты структуры в кристаллах оливина из палласитов. // *Геохимия*, 1976, Т.10, С.1475-1484.
4. Якупи Б., Лхагвасурен Д., Отгонсурен О., Пеллас П., Перельгин В.П., Перро К., Стеценко С.Г. Разработка методики контролируемого отжига треков в оливинах для определения относительной распространенности галактических космических ядер с $Z > 50$ // Тезисы докладов на 7-ом Европейском симпозиуме по космическим лучам, 15-19 сентября 1980, Ленинград, РТП ЛИЯФ, 1980, Ленинград, С.46.
5. Перельгин В.П., Стеценко С.Г. Поиск следов галактических космических ядер с $Z \geq 110$ в оливинах из метеоритов // *Письма в ЖЭТФ*, 1960, Т.32, Вып.10, С.622-625.
6. Перельгин В.П., Стеценко С.Г., Флеров Г.Н. Поиск следов тяжелых и сверхтяжелых космических ядер в оливинах из метеоритов // *Краткие сообщения ОИЯИ*, Дубна, 1985, № 7-85, С.5-11.
7. Перельгин В.П., Стеценко С.Г. Результаты калибровки оливинов из метеоритов ядрами ^{238}U на ускорителе Бэвалак // *Письма в ЖЭТФ*, 1989, Т.49, Вып.5, С.257-260 / *Материалы Всесоюзной конференции по космическим лучам*, сентябрь 1988, Алма-Ата, КазГУ, Алма-Ата, 1989, Ч.2, С.99-101.
8. Pereygin V.P., Stetsenko S.G., Crawford H.J., Symons T.J.M. Analysis of the results of calibrating meteoritic olivine crystals with ^{238}U nuclei at the Bevalac accelerator. // *Препринт ОИЯИ*, Е7-89-88, Дубна 1989 / Proc. Int. Conf. "Actinides-89", September 1989, Tashkent, Moscow, Nauka, 1989, P.429-430.
9. Perron C., Bouret-Denise M., Pereygin V.P., Birkholz W., Stetsenko S.G., Derch R., Zhu T.C., Vater P., Brandt R. Revelation of heavy tracks in olivine orientation dependent annealing or etching // *Nuclear Track Radiation Measurement*, 1988, Vol.15, N 1-4, P.231-234 / Proc. 14th Int. Conf., 2-6 April 1988, Lahore, Pakistan.
10. Перельгин В.П., Стеценко С.Г., Гаврилова Н.Н., Курат Г., Пеллас П. Определение доатмосферных размеров палласита Игл Стейшн // *Геохимия*, 1977, Т.6, С.863-868.
11. Otgonsuren O., Pereygin V.P., Stetsenko S.G., Gavrilova N.N., Fieni C., Pellas P. Abundances of $Z \geq 52$ nuclei in galactic cosmic rays: long-term averages based on studies of pallasites // *The Astrophysical Journal*, 1976, Vol.210, P.258-266.
12. Аكوпова А.Б., Гогорян М.М., Мелкумян Л.В., Перельгин В.П., Стеценко С.Г. Усредненные по времени зарядовые и энергетические спектры галактических ядер с $Z > 50$ // *Ядерная физика*, 1986, Т.44, Вып.1, С.162-166.
13. Katz R., Kobetich E.J., Formation of etchable tracks in dielectrics // *Physical Review*, 1968, Vol.170, P.401-406.
14. Bhattararya S.R., Goswami J.N., Lal D. Semi-empirical rates of formation of cosmic ray tracks in spherical objects exposed in space: pre and post-atmospheric depth profiles // *Journal of Geophysical Research*, 1973, Vol.73, P.76-83.
15. Shirk E.K., Price P.B. Charge and energy spectra of cosmic rays with $Z \geq 60$: The Skylab experiment // *The Astrophysical Journal*, 1978, Vol.220, P.719-733.
16. Камерон А.Дж.У. Содержание химических элементов и нуклидов в Солнечной системе / *Ядерная астрофизика*. М.-Мир., 1986, пер. с англ. ред. Масевич А.Г., С. 33-52.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 ноября 1990 года.