

0-309

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

7 - 7404

ОТГОНСУРЭН

Оролжавын

ПОИСКИ ДАЛЕКИХ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ПЕРВИЧНОМ КОСМИЧЕСКОМ ИЗЛУЧЕНИИ,
А ТАКЖЕ В НЕКОТОРЫХ ПРИРОДНЫХ ОБРАЗЦАХ

Специальность 01.055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1973

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

академик

Г.Н.ФЛЕРОВ,

кандидат физико-математических наук,

старший научный сотрудник

В.П.ПЕРЕЛЫГИН.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,

профессор

Г.Б.ЖДАНОВ,

кандидат физико-математических наук,

старший научный сотрудник

В.А.АЛЕКСАНДРОВ

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

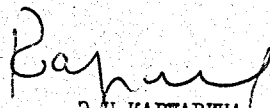
Харьковский государственный университет,
физический факультет.

Автореферат разослан "14" IX 1973 года

30 Защита диссертации состоится "19" X 1973 года
в "10" часов на заседании Объединенного Ученого совета ЛНФ и
ЛЯР ОИЯИ, Дубна, Московской области, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА


Э.Н.КАРЖАВИНА

"14" IX 1973 года

7 - 7404

ОТГОНСУРЭН

Оролжавын

ПОИСКИ ДАЛЕКИХ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ПЕРВИЧНОМ КОСМИЧЕСКОМ ИЗЛУЧЕНИИ,
А ТАКЖЕ В НЕКОТОРЫХ ПРИРОДНЫХ ОБРАЗЦАХ

Специальность 01.055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



Настоящая работа посвящена проблеме поисков далеких трансурановых элементов в составе первичного космического излучения, а также их обнаружению в земных минералах и горных породах с помощью методики твердотельных диэлектрических детекторов. Эта работа является частью широкой программы исследований по синтезу и поиску в природе сверхтяжелых трансурановых элементов, проводящихся с 1968 года в Лаборатории ядерных реакций (1,2).

Толчком к проведению исследований послужили, во-первых, теоретические предсказания о возможности существования относительно стабильной области ядер в районе замкнутых оболочек протонов ($Z \sim 114$) и нейтронов ($N = 184$). Эти предсказания основываются на детальном расчете барьеров деления и масс сверхтяжелых ядер, выполненных в рамках капельной модели с учетом внутренней структуры и оболочечных эффектов (3-6). С другой стороны, начало широких исследований по синтезу и поиску в природе таких гипотетических элементов было положено П.Фаулером и др., сообщившими о наблюдении ядер с $Z = 106$ в первичном космическом излучении (7).

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения.

Во введении рассматриваются результаты некоторых экспериментальных работ по синтезу и поиску сверхтяжелых элементов в природе.

В настоящее время считается, что единственным методом синтеза далеких трансурановых элементов являются ядерные реакции при взаимодействии ускоренных многозарядных ионов с тяжелыми ядрами-мишенями.

Было предпринято несколько экспериментов с ускоренными тяжелыми ионами Az , Zn , Kr , нацеленных на синтез сверхтяжелых ядер путем реакции слияния с образованием составного ядра. Эти эксперименты позволили установить лишь верхний предел сечения образования сверхтяжелых ядер на уровне $10^{-30} - 5 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2$ (8).

В экспериментах, проведенных на тандем-циклотроне ЛЯР в Дубне с пучками ускоренных ионов ксенона ^{136}Xe , было показано, что в реакции с ядрами урана образуется спонтанно делящийся излучатель с периодом полураспада около 150 суток; сечение образования этого излучателя - около 10^{-33} см^2 ; среднее число нейтронов на акт деления $\bar{\nu} \leq 3,5$ (8).

Попытки синтеза сверхтяжелых элементов при взаимодействии релятивистических протонов с тяжелыми ядрами не привели к успеху (9).

Прямые попытки обнаружения сверхтяжелых элементов в платиновой руде (I0) и других природных образцах (II) дали отрицательный результат; верхняя граница концентрации сверхтяжелых элементов была найдена равной $\leq 10^{-12} \text{ г/г}$.

В экспериментах по поиску далеких трансурановых элементов, проводившихся в Лаборатории ядерных реакций, применялись специально разработанные высокочувствительные методики, основанные на регистрации актов спонтанного деления ядер с помощью пропорциональных счетчиков осколков, детекторов мгновенных нейтронов деления и твердотельных диэлектрических детекторов. Чувствительность этих методик составляет $10^{-12} - 10^{-13} \text{ г/г}$ для пропорциональных счетчиков и диэлектрических детекторов и $10^{-13} - 10^{-15} \text{ г/г}$ для детекторов нейтронов.

С помощью пропорциональных счетчиков и детекторов нейтронов было исследовано несколько десятков образцов, содержащих свинец и другие тяжелые элементы различного происхождения и возраста. В большинстве изученных образцов не была обнаружена какая-либо избыточная активность; число нейтронов при акте деления было < 3 . Однако на некоторых образцах наблюдался небольшой эффект спонтанного деления, который нельзя было отнести к фону. Среди исследованных образцов наибольший интерес представляют геотермальные воды, обогащенные тяжелыми элементами (I2, I3).

Первая глава содержит краткий обзор работ по систематике радиоактивных свойств ядер тяжелых элементов и теоретических исследований о возможности существования острова относительно стабильных ядер в районе $Z = 110-114$.

Основными видами радиоактивного распада трансурановых элементов являются альфа-распад, электронный захват или бета-распад и спонтанное деление, причем роль каждого из этих видов распада различна для различных Z и A рассматриваемых ядер. Для всех видов радиоактивного распада основное значение имеют разности масс атомов, участвующих в радиоактивном превращении. Известно, что массы ядер, кроме самых легких, в зависимости от числа нейтронов и протонов в ядре, изменяются плавно и монотонно.

Экспериментальные значения дефекта массы для ряда бета-стабильных ядер и результаты расчета по жидко-капельной массовой формуле показывают, что последняя правильно передает общий ход зависимости массы ядра от массового числа. Однако отклонения экспериментальных данных для масс тяжелых ядер от результатов расчетов по капельной формуле достигают величины порядка 10 Мэв, причем

эти отклонения подчиняются определенным закономерностям. Разность экспериментальных и расчетных значений масс ядер как функция числа нейтронов в ядре указывает, что это различие обусловлено оболочечными эффектами.

К.А.Петржак и Г.Н.Флеров (14) впервые обратили внимание на возможность существования ядер с повышенной стабильностью в трансфермиевой области за счет заполнения нуклонных оболочек.

Метод учета оболочечной поправки к капельным массам ядер, разработанный Струтинским, позволяет оценить структуру и величину барьера деления для широкой области делящихся ядер (4).

Количественные оценки показывают, что существует большая область ядер повышенной стабильности по отношению к спонтанному делению в районе $Z \approx 114$. Большой стабильностью должно обладать ядро с дважды замкнутыми оболочками ${}^{298}114$, для которого высота барьера деления, согласно предсказаниям, составляет 10-12 Мэв. Оценки времени жизни ядер из этой области по отношению к спонтанному делению дают величины в пределах $10^6 - 10^{13}$ лет.

Если ядра из этой области испытывают α - или β -распад (один или несколько), то конечными продуктами будут изотопы, испытывающие спонтанное деление.

При таких больших значениях времени жизни сверхтяжелых ядер (вплоть до 10^8 лет) не исключено, что некоторые наиболее стабильные сверхтяжелые нуклиды могли в малых количествах сохраниться со времени первоначального нуклеосинтеза в каких-либо земных или космических образцах.

Одним из наиболее перспективных направлений поиска сверхтяжелых элементов представляется исследование элементного состава

первичного космического излучения. Действительно, в этом случае нижняя граница времен жизни сверхтяжелых ядер определяется временем их прохождения от центра Галактики к Земле - около 10^6 лет.

Далее, если образование элементов солнечной системы явилось результатом единственного акта нуклеосинтеза в процессе быстрого захвата нейтронов ядрами - γ -процесса, то вклад в образование сверхтяжелых ядер первичного космического излучения могут давать всевозможные процессы синтеза ядер в различных объектах Галактики.

П.Фаулером и др. (15) с помощью ядерных эмульсий, экспонированных на верхних слоях атмосферы, обнаружен след тяжелой частицы ($Z = 103_{+4}$) в составе первичного космического излучения. Однако этот результат не получил затем однозначного подтверждения в более детальных исследованиях, проводившихся в течение ряда лет как с помощью ядерных эмульсий, так и электрических детекторов (16).

Проведенные до сих пор эксперименты по прямой регистрации тяжелых ядер галактического космического излучения привели пока к обнаружению всего лишь нескольких частиц в области $Z \geq 90$. Для эффективного проведения экспериментов по поиску далеких трансурановых элементов необходимо было бы существенно увеличить как площадь детекторов, так и продолжительность экспозиции в космосе. Другая возможность исследования состава тяжелой и сверхтяжелой компоненты первичного космического излучения связана с выявлением протяженных следов таких ядер в силикатных минералах из метеоритов, а также лунных минералах. До последнего времени было выполнено лишь несколько работ, посвященных проблеме

выявления протяженных следов тяжелых и сверхтяжелых ядер в минералах. В этих работах было обнаружено всего 3 следа длиной около 1 мм, которые отнесли к ядрам с $Z \geq 83$. Идентификация не была проведена из-за отсутствия калибровки. Поскольку время облучения минералов из метеоритов, а также минералов с поверхности

Луны космическими лучами составляет десятки и сотни миллионов лет, 1 г таких минералов эквивалентен одной-двум тоннам ядерных эмульсий или других детекторов, находившихся в космическом пространстве в течение года. Таким образом, исследование минералов из метеоритов создает уникальную возможность проведения поисков далеких трансуранов в составе галактического космического излучения.

Во второй главе детально рассмотрена проблема поиска и идентификации протяженных следов сверхтяжелых космических ядер в минералах из метеоритов. Силикатные минералы из метеоритов - полевые шпаты, пироксены, оливины способны регистрировать в виде треков тяжелые заряженные частицы, причем длина следов, выявляемых при травлении этих минералов, пропорциональна атомному номеру Z . Расчеты и оценки показывают, что длины следов ядер урана и ядер с $Z = 114$ в пироксенах и оливинах не превосходят 1 мм и 1,5 мм соответственно (17).

При проведении поисков протяженных следов далеких трансурановых элементов в метеоритных минералах необходимо отбирать образцы, удовлетворяющие следующим условиям:

1. Кристаллы должны располагаться на глубине не свыше 4-6 см от поверхности первоначального (доатмосферного) тела метеорита.
2. Размеры силикатных минералов должны быть ≥ 2 мм.

3. Необходимо иметь десятки и сотни прозрачных однородных кристаллов из метеоритов.

Представляется, что всем этим условиям наиболее полно удовлетворяют оливины из метеоритов типа палласитов. Отметим, что содержание оливинов в палласитах достигает 40-70% по объему, кристаллы имеют вид прозрачных однородных зерен размером до 5-8 мм.

Важным свойством кристаллов оливина является их относительно низкая чувствительность к заряженным частицам; в оливинах не выявляются следы ядер с атомным номером $Z \leq 22$.

Кристаллы оливинов земного и метеоритного происхождения имеют, согласно нашим данным, очень низкую концентрацию урана (10^{-11} - 10^{-12} г/г) (18). Таким образом, в отличие от других минералов из метеоритов, кристаллы оливина не содержат большой плотности следов от деления ядер урана.

Нами были предприняты опыты по выявлению следов тяжелых космических ядер в кристаллах оливина из 11 железо-каменных метеоритов.

Применяемая процедура травления кристаллов оливина в герметически замкнутом объеме при температуре 150°C позволяет выявить треки длиной до 200-250 мкм при однократном травлении. Оказалось, что только в метеоритах "Липовский Хутор" и "Марьялахти" имеются области, расположенные достаточно близко к доатмосферной поверхности. Плотность следов ядер группы железа в этих метеоритах достигает $4 - 6 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ (таблица 1); плотность следов ядер $Z \geq 40$ в метеорите "Липовский Хутор" достигает $5 \div 8 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2}$, в метеорите "Марьялахти" - $1,4 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$. Было установлено, что в оливи-

ПЛОТНОСТЬ СЛЕДОВ ЯДЕР ГРУППЫ ЖЕЛЕЗА Таблица I
 В ОЛИВИНАХ ИЗ МЕТЕОРИТОВ.

№ III	Название метеоритов	число исследованных образцов	плотность следов I/cm ²
I.	Брагин	II	10 ³
2.	Марьялахти	260	0.8-6.0x10 ⁶
3.	Будулан	4	10 ³
4.	Липовский Хутор	72	1,5 - 4,5x10 ⁶
5.	Албин	6	10 ⁵
6.	Финимаркен	3	10 ³ -10 ⁴
7.	Бренхем	2	10 ³ -10 ⁴
8.	Бондок	I	10 ⁴
9.	Монт Вернон	7	10 ⁴
10.	Палласово Железо	23	10 ² -10 ³
II.	Илламаез	2	10 ³ -10 ⁴

нах из метеорита "Липовский Хутор" средняя длина следов ядер железа составляет 8,0 - 8,5 мкм, для "Марьялахти" - 7,0 - 7,5 мкм. В то же время, согласно данным П. Прайса и др. (19), средняя длина ускоренных ядер ⁵⁶Fe в оливине составляет 12-13 мкм. Этот результат является следствием регрессии непроявленных треков в космических условиях. Одной из причин сокращения длин следов в минералах из метеоритов может служить радиационное воздействие нуклонной компоненты космического излучения. Нами были проведены опыты по облучению кристаллов оливина из метеоритов, а также оливинов земного происхождения, маркированных ионами ⁷⁶Ge, ⁸⁴Kz, ¹³⁶Xe 660 Мэв протонами. Суммарный поток протонов составил около 4,5.10¹⁵ см⁻², что соответствует экспозиции 40-50 млн. лет в космосе. Результаты этого опыта показывают, что радиационное воздействие не приводит к заметному изменению длин следов тяжелых частиц (17).

Эффект регрессии следов может быть обусловлен длительным воздействием солнечной радиации, приводящей к нагреванию образцов до относительно невысоких температур - вплоть до 120-140^oC. Он приводит к сокращению длин следов как ядер группы железа, так и более тяжелых элементов.

Проводились опыты по определению воздействия отжига при температурах 300-475^oC на длины следов ускоренных ионов ⁷⁶Ge, ⁸⁴Kz, ¹³⁶Xe в кристаллах оливина. Так, отжиг при температуре 400^oC в течение четырех часов приводит к сокращению длин следов ионов ⁷⁶Ge от (35±2)мкм до длин (10,5±1)мкм и ионов ⁸⁴Kz - до длины 20,5 мкм. Отжиг при температуре 475^oC в течение 6 часов приводит к полному исчезновению следов ионов Ge, Kz и сокраще-

нию длин следов ионов Хе до 9-10 мкм в кристаллах оливина.

Дискриминация редких протяженных следов тяжелых и сверхтяжелых ядер в оливинах затруднена из-за фона от фигур травления дислокаций и капиллярных включений.

Дислокации в оливинах имеют обычно определенную ориентацию; кроме того, они часто изгибаются и при длительном травлении замыкаются в виде петель. Капиллярные включения видны в кристаллах без травления; они характеризуются наличием одного или двух выделенных направлений. Следы тяжелых частиц надежно отличаются по характеру травления от этих дефектов. Действительно, вблизи высокоэнергетического участка трека скорость травления постепенно замедляется; в этой области методом "трек в треке" можно выявить цепочку коротких треков, являвшихся продолжением протяженного трека.

Нами проводились поиски следов тяжелых ядер в кристаллах оливина из метеоритов "Липовский Хутор" и "Марьялахти", имевших размеры около 2 мм. Выявление протяженных следов производилось последовательной полировкой и травлением поверхности кристалла. При каждой полировке удалялся слой 30-40 мкм; регистрировались только следы, имевшие начало и конец в объеме кристалла. Были найдены 3 следа длиной 550-580 мкм и один длиной 700 мкм в образцах метеорита "Липовский Хутор", три следа длиной около 470-490 мкм и два длиной 600 мкм - в образце метеорита "Марьялахти". Средние длины следов остановок ядер группы железа в этих метеоритах имеют разные значения, что свидетельствует о том, что регрессия непроявленных следов в этих метеоритах происходила по-разному.

Ввиду отсутствия калибровок чувствительности минералов из

метеоритов в области $\bar{Z} > 36$ и четко выраженного эффекта регрессии следов в космических условиях идентифицировать заряды этих следов пока не представляется возможным; можно лишь предположить, что длинам следов > 540 мкм в метеорите "Липовский Хутор" и > 460 мкм в метеорите "Марьялахти" соответствуют значения атомного номера $\bar{Z} \geq 70$. Отношение числа следов ядер $Z \geq 70$ к числу следов ядер группы железа для этих образцов составляет $3-5 \cdot 10^{-7}$.

Эффект регрессии, имевшей место в оливинах из метеоритов "Липовский Хутор" и "Марьялахти", не приводит к значительному сокращению длин следов тяжелых ядер. В этих условиях обнаруженные в оливинах из метеоритов следы длиной свыше 1200 мкм могут служить доказательством существования ядер с $Z \geq 110$ в составе первичного космического излучения.

Имеющиеся образцы оливинов из этих метеоритов позволяют произвести поиски далеких трансурановых ядер на уровне $\sim 10^{-2}$ от интенсивности ядер урана в составе первичного космического излучения.

Третья глава посвящена поискам сверхтяжелых элементов в природных образцах. При поисках далеких трансурановых элементов предполагалось, что элементы 108-114 являются химическими аналогами элементов от Os до Pb соответственно. Для обнаружения и идентификации редких событий деления в таких образцах была создана высокочувствительная бесфоновая методика, основанная на регистрации совпадений следов осколков деления в слоях полимерных пленочных материалов (20).

С этой целью слой пластика (поликарбоната или лавсана)

толщиной, существенно меньшей пробега осколка деления в этих детекторах, прикладывался к более толстому слою лавсана. Исследуемый образец измельчался и наносился слоем 3 мг см^{-2} на лавсановую подложку, служившую одновременно детектором осколков деления. К препарату тонким слоем вплотную прикладывались двойные слои пластика. При этом осколки деления ядер, образованные в образце, могут регистрироваться одновременно в трех слоях пластика. Препараты с детектором помещались на глубину 30 м под землей. Время экспозиции составляло около 100 суток. После травления слоев пластика поиски редких событий деления ядер производились с помощью искрового пробоя тонкого слоя пластика.

Для идентификации актов деления ядер проводился микроскопический просмотр слоев пластика в областях, непосредственно прилегающих к месту пробоя тонкого пластика. Такая процедура позволила в сотни раз увеличить скорость просмотра при поисках редких событий и исключить фон от случайных повреждений и дефектов структуры полимерных детекторов.

Нами были проведены измерения и расчеты эффективного слоя препарата $R_{\text{эфф}}$ (21) для геометрии с двумя ($2 \mathcal{T}$ - геометрия) и тремя слоями детектора ($4 \mathcal{T}$ - геометрия). Согласно этим измерениям и расчетам, в "геометрии- $4 \mathcal{T}$ " для слоя окиси свинца (PbO_2) оптимальная толщина слоя препарата равна 3 мг/см^2 ; при этом эффективно работающая толщина слоя составляет $R_{\text{эфф}} = 1,2 \text{ мг/см}^2$. Чувствительность данной методики определяется в основном собственным фоном детектора (пластика), содержанием урана в исследуемом образце и временем экспозиции. Содержание

урана в пластике очень низкое 10^{-10} - 10^{-11} г/г, а в исследуемых образцах оно было 10^{-6} - 10^{-8} г/г, поэтому чувствительность методики (в предположении, что период полураспада исследуемого элемента равняется 10^9 лет) достигает значений 10^{-12} - 10^{-13} г/г. С помощью этой методики исследовано несколько десятков различных образцов: чистые препараты отдельных элементов, галениты и другие минералы тяжелых элементов, свинцовые стекла, полиметаллические руды и фракции их металлургической переработки, океанические донные отложения и др.

Результаты исследований ряда образцов представлены в таблице 2. Из этой таблицы видно, что не было обнаружено эффекта, превышающего фон от спонтанного деления примесей урана в исследуемых образцах.

2. Методом диэлектрических детекторов проводились поиски следов осколков спонтанного деления сверхтяжелых элементов в минералах из различных гидротермальных образований, пегматитовых месторождений, содержащих свинец или находившихся в контакте со свинцовыми соединениями (22).

Необходимым условием обнаружения эффекта от спонтанного деления неизвестных элементов является превышение значений возраста, определенного по плотности следов спонтанного деления над значениями, полученными другими методами. Для большинства образцов определенные нами значения абсолютного возраста существенно меньше, чем данные, полученные калий-аргоновым методом. Только для образца флогопита, а также для кварца, контактирующего с пиритом, возраст был определен в $(5,5 \pm 1,7)$ млн лет и $(1,0 \pm 0,2)$ млрд. лет соответственно, в то же время по данным калий-аргонового

ПОИСКИ ЭФФЕКТА СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ В ОБРАЗЦАХ
МЕТОДОМ СОВПАДЕНИЙ 2π - 4π ГЕОМЕТРИИ

Таблица 2

№ пп	Название образцов	время экспозиции (в сутках)	площадь экспонированных слоев; м ²	площадь просмотренных слоев; м ²	наблюдаемый эффект (число треков)	число треков от фона (фон)	число делений на грамм образца в год
I	2	3	4	5	6	7	8
1.	Стекло № 3	I06	5	5	2	I	0,12
2.	Металлический свинец из галенита	74	2	2	-	0,3	0,15
3.	Образец из галенита хим. обработанный	9I	2,7	2,7	I	0,5	0,12
4.	Галенит - руда №1	I96	4,4	4,4	I	I,5	0,05
5.	Стекло № II	II0	2	2	I	0,25	0,3
6.	Галенит - руда №2	II4	4	2	2	0,8	0,2
7.	Конкреции Тихого Океана № 6298	90	2,5	2,5	I	I,3	0,5
8.	Конкреции № 6002	I38	4	I,5	2	2,4	0,3
9.	Конкреции очищенные № 6895	I30	2	2	I	0,3	0,25

16

Таблица 2 (Продолжение)

I	2	3	4	5	6	7	8
10.	Свинцовая фольга (без защиты)	92	4	2	80	I	15 ± 4
11.	Свинцовая фольга (толщина перекрытий 150 г/см ²)	II0	4	I	7	I	$2,0 \pm 0,8$
12.	$WO_4 + U$	22	0,035	0,035	5I	60	410 ± 50

17

метода возраст этих образцов равняется 1,7 млн. лет и 250 млн. лет (23). Однако избыток числа следов от осколков деления, полученный для этих образцов, может быть обусловлен миграцией урана из исследованных образцов.

3. Были проведены исследования конкреций - небольших округлых образований, состоящих из слоев окислов и гидроокислов железа и марганца (24). Эти конкреции были добыты со дна Тихого океана (глубина 5000 м).

Конкреции являются избирательными адсорбентами целого ряда тяжелых элементов, в том числе свинца, таллия, ртути и тория; коэффициент обогащения таких элементов достигает $10^5 - 10^6$ по сравнению с океанской водой. В железо-марганцевых конкрециях могут адсорбироваться далекие трансурановые элементы как земного, так и космического происхождения.

В центральной части некоторых конкреций были обнаружены кристаллы полевых шпатов, которые являются детекторами осколков деления ядер. Плотность следов осколков деления на этих кристаллах составляла от 10^3 до 10^4 $1/\text{см}^2$. Единственным источником фона в этих условиях является спонтанное деление ядер урана, входящего в состав конкреций. Результаты измерений содержания урана методом активационного анализа (ΔI) дали величину $(3-5) \cdot 10^8$ г/г для кристаллов полевых шпатов и $5 \cdot 10^{-7}$ г/г - для слоя вещества, непосредственно прилегавшего к минералу из конкреций.

Если предположить, что возраст конкреций не превышает 2-3 млн. лет, полученные значения плотности следов от осколков деления ядер в этих кристаллах в значительной части случаев не объясняются вкладом от спонтанного деления урана.

Поскольку в железо-марганцевых конкрециях могла иметь место миграция урана из области, непосредственно прилегавшей к кристаллам полевого шпата, вопрос о происхождении избытка следов осколков деления остается открытым.

Опыты по прямой регистрации актов деления ядер в веществе конкреций не привели к обнаружению эффекта, превышающего фон от примесей урана (таблица 2). Для повышения чувствительности этих экспериментов необходимо провести химическую очистку вещества конкреций от урана.

4. Проводились опыты с целью выяснения происхождения следов от тяжелых заряженных частиц, обнаруженных ранее на некоторых образцах свинцовых стекол (25).

Проведенные нами исследования чувствительности свинцовых стекол показали, что диаметры следов тяжелых фрагментов вплоть до ионов A_{77} существенно меньше, чем следов осколков деления; с другой стороны, диаметры следов ускоренных ионов, начиная с Z_{77} , вплоть до осколков деления урана, практически одинаковы. Этот эффект делает невозможным дискриминацию актов деления урана и далеких трансурановых элементов по диаметрам следов в свинцовых стеклах (26).

Прямые контрольные опыты по определению вероятности деления ядер свинца быстрыми космическими частицами указывают, что при проведении поиска сверхтяжелых элементов в образцах, содержащих свинец и другие тяжелые элементы, необходимо детально учитывать фон от космических лучей. Вероятность деления ядер свинца нуклонной компонентой космического излучения найдена равной 15 ± 4 деления на грамм свинца в год (таблица 2).

Результаты работы можно свести к следующему:

1. Исследована возможность проведения поиска далеких трансуранических элементов в составе первичного космического излучения. Показано, что одним из наиболее перспективных объектов таких исследований могут служить оливины из железо-каменных метеоритов.

2. Проведены исследования оливинов из II метеоритов типа палласитов и мезосидеритов. Установлено, что наиболее подходящими образцами для поисков следов сверхтяжелых ядер являются метеориты "Липовский Хутор" и "Марьялахти"; плотности следов ядер группы железа и ядер в области $Z \geq 40$ в оливинах из этих метеоритов достигают $2 \div 6 \times 10^6$ л/см² и $5 \div 15 \times 10^3$ г/см² соответственно.

3. Исследованы свойства оливинов из метеоритов, в частности, чувствительность к ускоренным тяжелым ионам (Zn, Ge, Kr, Xe) и стабильность скрытого изображения к воздействию больших доз слабоионизирующих частиц и отжигу при температурах в области 300°-500°С. Установлено, что в оливинах из метеоритов "Липовский Хутор" и "Марьялахти" имело место сокращение длин следов тяжелых ядер в космосе, обусловленное, по-видимому, термическим воздействием солнечной радиации.

4. Разработана методика дискриминации протяженных следов тяжелых частиц в условиях фона от травления дислокаций и капилляров. Из распределений длин следов в оливинах из метеоритов определена относительная интенсивность ядер в области $Z \geq 70$; установлено, что она находится на уровне $3-5 \times 10^{-7}$ по отношению к ядрам группы железа для этих образцов.

5. Показано, что имеющиеся образцы оливинов из метеоритов "Липовский Хутор" и "Марьялахти" позволяют произвести поиски далеких трансуранических ядер на уровне $\leq 10^{-2}$ от интенсивности ядер тория и урана в составе первичного космического излучения.

6. Разработана высокочувствительная малофоновая методика регистрации редких событий деления ядер по наблюдению совпадений следов в двойных слоях пленки. Установлено, что верхняя граница эффекта для исследованных минералов, стекол и горных пород находится на уровне 0,5 - 0,05 деления на грамм образца в год, что соответствует концентрации далеких трансуранических элементов $10^{-12} - 10^{-13}$ г/г (при $T_{1/2} = 10^9$ лет), она определяется содержанием урана в этих образцах.

7. Исследование происхождения большой плотности следов в минералах из конкреций, а также некоторых других природных образцов показало, что нельзя исключить эффекта миграции урана из этих образцов.

8. Получено значение 15 ± 4 деления/г год для вероятности деления ядер свинца нуклонной компонентой космического излучения на уровне моря. Поэтому при проведении поиска далеких трансуранических элементов в образцах, содержащих свинец и другие тяжелые элементы, необходимо детально учитывать вклад от космического фона.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах (17, 18, 20-24, 26) и были доложены на конференции по физике тяжелых ионов (Дубна, 1971), конференции по ядерной фотографии и диэлектрическим детекторам (Бухарест, 1972) и 36-ой Ежегодной конференции Метеоритного Общества (Давос, 1973).

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.Н. Флеров, Ю.Ц. Оганесян. Препринт ОИЯИ Р7-6523, Дубна 1972; Preprint JINR E7-6838, Dubna, 1972
2. Г.Н. Флеров, И. Звара. Препринт ОИЯИ Д7-6013, Дубна, 1971
3. W.D.Myers and W.J.Swiatecki. Nucl.Phys. 81, 1(1966)
4. В.М. Струтинский ЯФ, 3, 614 (1966)
Nucl.Phys. 95A, 42(1967)
5. Ю.А. Музичка, В.В. Пашкевич, В.И. Струтинский ЯФ, 8, 716 (1968)
6. S.G.Nilsson et al. Nucl.Phys. A115, 545(1968)
7. С.Ф. Пауэлл, Вестник АН СССР 9, 5 (1968)
8. Г.Н. Флеров, Ю.Ц. Оганесян, И. Звара, А.Г. Демин, Г.М. Тер-Акопян, Ю.Э. Пенионжевич, Препринт ОИЯИ 7-7204, Дубна 1973
9. G.N.Flerov, Yu.P.Gangrsky, O.A.Orlova. Preprint JINR E7-5887, Dubna, 1971;
J.P.Unik et al. Nucl.Phys. A191, 233(1972);
L.Westgaard et al. Nucl.Phys. A192, 517(1972)
10. J.J.Wesclowsky et al. Phys.Lett. 28B, 544(1969);
S.G.Nilsson, S.G.Thompson, C.F.Tsang. Phys.Lett. 28B, 458(1969)
11. M.Sowinski et al. Международная конференция по физике тяжелых ионов, Дубна, 1971, Д7-5769, стр 79.
12. Г.Н. Флеров, Международная конференция по физике тяжелых ионов, Дубна 1971, Д7-5769 стр 43.
Г.Н. Флеров, Н.К. Скобелев, Г.М. Тер-Акопян и др. Препринт ОИЯИ, 1969, Дубна.
13. Г.Н. Флеров, Г.М. Тер-Акопян, Н.К. Скобелев и др. Международная конференция по физике тяжелых ионов. Дубна 1971, Д7-5769 стр 61.

- G.N.Flerov, G.M.Ter-Akopyan, A.G.Popeko, N.K.Skobelev, Yu.T.Chuburkov. Paper presented at the Intern.Conf. on Nuclear Physics, Munich, 27 August-1 September 1973.
14. К.А. Петряк, Г.Н. Флеров, УФН 73, 655 (1961).
15. P.H.Fowler, V.M.Claphan, V.G.Cowen, J.N.Kidd and T.R.Moses. Proc. Roy.Soc.London A318, 1(1970).
16. G.E.Blanford et al. Proc. of the 11th Intern. Conf. on Cosmic Rays, Acta Phys. Acad. Sci. Hung. 29, suppl. 1, 423(1970).
17. О.Отгонсүрэн, В.П.Перельгин, препринт ОИЯИ, Р7-7406, Дубна, 1973.
18. G.N.Flerov, T.P.Zholud, O.Otgonsuren, V.P.Perelygin, H.B.Wilk, Paper presented at the 36th Annual Meeting of the Meteoritic Society, 27-31 August 1973, Davos, Switzerland.
19. P.V.Price, D.Lal, A.S.Tamhane, Berkeley, California, Report 94720 (1973)
20. Г.Н. Флеров, В.П. Перельгин, О. Отгонсүрэн АЭ, 33, 979 (1972); Препринт ОИЯИ, Р7-6495, Дубна, 1972.
21. Х.Абдуллаев, А.Капусцик, О.Отгонсүрэн, В.П.Перельгин, Д.Чултэм. Препринт ОИЯИ Р12-3243, Дубна, 1967; ПТЭ 2, 73 (1968).
22. О.Отгонсүрэн, В.П.Перельгин, Международная конф. по физике тяжелых ионов, Дубна Д7-5769, 1971 (сб.материалов) стр.85.
23. О.Отгонсүрэн, В.П.Перельгин, С.П.Третьякова, Ю.А.Виноградов, Препринт ОИЯИ Р7-5814, Дубна, 1971; АЭ, 32, 344, 1972.
24. О.Отгонсүрэн, В.П.Перельгин, Г.Н.Флеров. ДАН СССР 189, 1200; 1969, препринт ОИЯИ, Д6-4649, Дубна, 1969.
25. Г.Н.Флеров, В.П.Перельгин. АЭ, 26, 520 (1969)
26. О.Отгонсүрэн, В.П.Перельгин, С.П.Третьякова. Доклад на 8-й Международной конф. по ядерной фотографии и диэлектрическим детекторам. Бухарест, 11-15 июня 1972, стр.52.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 августа 1973 года.