



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

5213/2-80

3/11-80

P7-80-573

В.П.Перелыгин, С.Г.Стеценко

ПОИСК СЛЕДОВ
ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЯДЕР
С $Z \geq 110$
В ОЛИВИНАХ ИЗ МЕТЕОРИТОВ

Направлено в "Письма в ЖЭТФ"

1980

Начало поискам сверхтяжелых ядер/атомный номер $Z \geq 110$ / в составе галактических космических лучей было положено еще в 1967 г. Фаулером и др.^{1/}, экспонировавшими толстослойные ядерные эмульсии в верхних слоях атмосферы на шарах-зондах.

В дальнейших исследованиях наряду с ядерными эмульсиями использовались многослойные детекторы из полимерных материалов - поликарбоната /лексан/, триацетата целлюлозы в сочетании с черенковскими детекторами. В итоге многолетних интенсивных исследований во всех экспериментах на шарах-зондах и орбитальной станции "Скайлеб" было идентифицировано 23 трека космических ядер в области атомных номеров $86 \leq Z \leq 100$, но не зарегистрировано ни одного достоверного трека в области $Z \geq 110$ ^{2,3/}. Несмотря на неоднократные попытки усовершенствовать методику определения зарядов космических ядер исходя из параметров треков - их ширины /ядерные эмульсии/, скорости травления вдоль следа /пластики/ - точность идентификации зарядов тяжелых космических ядер была недостаточной, что в некоторых случаях приводило к завышению значений Z ядер.

Запуск летом и осенью 1979 г. двух больших детекторов Ариэль-VI и HEAO-C^{4/5/}, специально предназначенных для регистрации и идентификации тяжелых космических ядер по черенковскому излучению и излучению, вызванному возбуждением атомов газов, по-видимому, позволил повысить точность измерения атомных номеров ядер в области $Z \geq 30$. Однако регистрация двух ядер с зарядами 98 и 114, при отсутствии событий в области $88 \leq Z \leq 96$, показывает, что пока установка Ариэль-VI не свободна от фона.

Для эффективного поиска сверхтяжелых ядер необходимо обеспечить радикальное повышение чувствительности детекторов, что требует создания трековых или электронных детекторов площадью в несколько десятков квадратных метров и времени экспозиции на орбитальных станциях не менее года.

Наше направление поиска сверхтяжелых элементов в составе галактических космических лучей основывается на установленной способности силикатных кристаллов из метеоритов регистрировать и сохранять в течение длительного времени / $> 10^8$ лет/ треки ядер с $Z > 20$ ^{6/}. Простая оценка показывает, что в 1 см³ таких кристаллов, расположенных на глубине ≤ 5 см от доатмосферной поверхности метеорита, за 10^8 лет экспозиции должно заключаться $10^2 - 10^3$ треков ядер с $Z \geq 90$.

На первом этапе этих исследований, в период 1974-1979 гг. проведены измерения плотности треков ядер группы железа в кристаллах оливина из 20 метеоритов типа палласитов, а также мезосидеритов. Для поиска треков сверхтяжелых ядер были отобраны метеориты-палласиты Марьялахти, Игл Стейшн и Липовский Хутор, в которых обнаружены участки, расположенные на глубине от 2 до 6 см от их первоначальной /доатмосферной/ поверхности.

Были выполнены опыты по калибровке оливинов палласитов ускоренными ионами от Ti до Xe, по термической стабильности треков ядер с $Z \geq 24$ в этих кристаллах, по дискриминации и идентификации треков тяжелых космических ядер в условиях фона фигур травления капиллярных включений и дислокаций /7,8/, по разработке методик выявления треков тяжелых ядер, полностью заключенных в объеме исследуемых кристаллов /9/.

Полученные на основе калибровок оливина ускоренными ионами и экстраполяции в рамках модели Каца и Кобетича /10/ зависимости травимых длин треков от атомного номера Z показывают, что ядрам с $Z > 110$ должны соответствовать треки длиной ≥ 1400 мкм.

При просмотре 700 мм³ оливинов из метеоритов Марьялахти, Липовский Хутор и Игл Стейшн, было измерено около 6000 треков длиной ≥ 60 мкм, из них более 5500 треков отнесено к области $Z \geq 50$.

Значения распространенности групп ядер в области $Z \geq 50$, полученные из анализа распределения длин треков, вплоть до ядер группы торий - уран, удовлетворительно согласуются со значениями, полученными в опытах по прямой регистрации космических ядер с помощью трековых детекторов, а также с известными значениями распространенности элементов Солнечной системы /11/.

В новой серии опытов ставилась задача значительного повышения чувствительности поиска сверхтяжелых ядер космического происхождения по трекам, создаваемым ими в оливинах из метеоритов.

Возможность повышения чувствительности основывается на установленной нами впервые еще в 1966 году возможности контролируемого повышения порога выявления треков тяжелых заряженных частиц в кристаллических телах путем нагревания облученных кристаллов до определенной температуры в течение нескольких десятков часов /12/.

Подробно исследовалось поведение при отжиге непроявленных треков ускоренных тяжелых ионов Fe, Cr, Ge, Kr, Xe в кристаллах оливина /13/.

Анализ распределений травимых длин треков после отжига показал, что треки ядер с одним и тем же Z регулярно сокращаются за счет высокоэнергичных участков. Сокращение происхо-

дит наиболее быстро в первые 2-4 ч отжига, и значительно медленнее - в следующие 10-50 ч.

Полученные в этих опытах распределения травимых длин треков ядер от Fe до Xe показали, что для каждой данной температуры и времени отжига спектры длин представляют собой узкие группы с полушириной не выше 3-5 мкм вплоть до температуры 470°C, где вследствие "эффекта насыщения" отжиг дефектов структуры, создаваемых ионами Xe в максимуме удельных потерь энергии, а также треков более тяжелых ядер - Pb, U, носит нерегулярный характер, и, по-видимому, не определяется плотностью ионизации в зоне трека.

Для проведения настоящей серии опытов по поиску следов от остановок галактических космических ядер с $Z \geq 110$ из метеорита Марьялахти было отобрано около 22 г /6 см³/ оливинов, расположенных на глубине 5-7 см от его первоначальной /доатмосферной/ поверхности.

Отжиг этой партии оливинов, а также оливинов, облученных ускоренными до $E = 8,3$ МэВ/нуклон ионами Xe, проводился при температуре /430±1/°C в течение 32 ч. Температура отжига была выбрана таким образом, чтобы травимая длина треков Xe составила 25 мкм /по результатам измерений 26±2,5 мкм/.

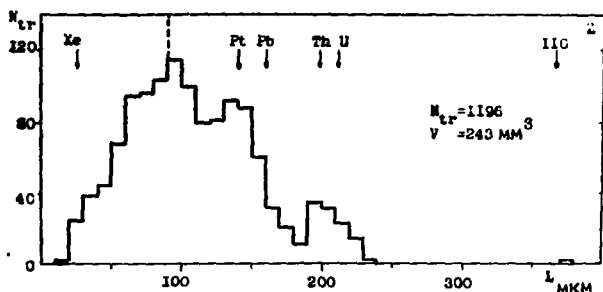
Согласно экстраполяции в рамках модели трека Каца и Кобетича, такой отжиг должен приводить к сокращению травимых длин треков ядер с $Z \geq 110$ от ~1400 мкм до 350-400 мкм, треков от ядер урана - с ~750 мкм до 200-250 мкм, треков от Pt, Pb с ~550 мкм до 140-180 мкм.

Отжиг приводит к полному устранению фона треков космических ядер группы железа / $Z \leq 30$ /, составляющего до 10⁷ тр./см², что существенно облегчает условия выявления и наблюдения треков с $Z \geq 60$.

Благодаря отжигу треков космических ядер в указанном выше режиме устраняется неравномерная регрессия треков ядер, зарегистрированных в интервале времени от 0 до 200 млн. лет, приводящая к смещению, размыванию групп треков, принадлежащих ядрам с одинаковым Z.

Кристаллы оливина после отжига монтировались в эпоксидную смолу, полировались и облучались сфокусированным лазерным лучом, создававшим системы узких каналов и микротрещин. Среднее расстояние между микротрещинами было выбрано из условия наиболее эффективного выявления треков длиной 300-400 мкм, начало и конец которых находятся под поверхностью кристаллов.

Всего на первом этапе было просмотрено 500 мм³ оливинов из метеорита Марьялахти, а также 20 мм³ оливинов из метеорита Игл Стейшн. Выявлено около 2500 треков длиной ≥ 30 мкм.



Распределение длин треков, измеренное в отожженных кристаллах оливина из метеоритов Марьялахти и Игл Стейшн. Эффективность выявления оптимальна для треков длиной ≥ 100 мкм.

В приведенном на рисунке распределении травимых длин треков выделяется группа длиной 180-230 мкм, которая, очевидно, обусловлена галактическими космическими ядрами группы торий - уран.

Между этими треками и основной группой наблюдается минимум, соответствующий травимым длинам относительно короткоживущих ядер в области $84 \leq Z \leq 90$.

Всего на первом этапе этих исследований к группе ядер $Z \geq 90$ было отнесено около 180 треков, в том числе один трек длиной 365 мкм, полностью заключенный в объеме кристалла. Длина этого трека почти в два раза превышает среднюю длину ядер группы торий - уран.

Экстраполяция значений травимых длин треков ядер в области больших Z /в рамках модели Каца и Кобетича/ показывает, что этот трек может быть обусловлен космическим ядром с $Z \geq 110$.

Отметим, что трек длиной 365 мкм не совпадает ни с одним из главных кристаллографических направлений исследуемого кристалла оливина, что позволяет с высокой степенью достоверности исключить гипотезу о вкладе эффекта каналирования при образовании этого трека.

Примененная при обработке кристаллов процедура отжига соответствует устранению непроявленных треков с удельными потерями $2,4 \cdot 10^{10}$ эрг/см, что соответствует ионизации, создаваемой гипотетическими многократно заряженными монополями Дирака с магнитным зарядом $\mu = 5$. Отсутствие в просмотренных нами оливинах протяженных фигур травления, характеризующихся постоян-

ством скорости травления вдоль трека, позволяет установить верхнюю границу распространенности многократно заряженных монополей ($n \geq 6$) в космическом пространстве на уровне $\leq 6 \cdot 10^{-20}$ 1/см²с ср. Несколько лет назад Прайс и др.^{/15/} сообщили о регистрации монополя с магнитным зарядом $n = 2$ и привели величину интенсивности таких частиц на уровне 10^{-13} 1/см²с ср. Полученная в этих экспериментах нижняя граница распространенности монополей с $n \geq 6$ по крайней мере в 10^6 раз превосходит величину, приведенную в работе^{/15/}.

Предварительные оценки распространенности ядер с $Z \geq 110$ по отношению к распространенности ядер U в космических лучах были получены с учетом геометрической эффективности выявления треков длиной 200 мкм и 350-400 мкм в кристаллах оливина. Они дали величину отношения $R_{Z>110}/R_U = 1 \div 3 \cdot 10^{-8}$, что согласуется с теоретическими предсказаниями распространенности сверхтяжелых ядер, полученными в работе Шрамма и др.^{/14/} на уровне $10^{-1} \leq R_{Z>110}/R_U \leq 3 \cdot 10^{-4}$.

Необходимо отметить, что полное число зарегистрированных треков ядер группы торий - уран в обеих сериях опытов превышает приблизительно в 50 раз число треков ядер с $90 \leq Z \leq 100$, зарегистрированных в многомесячном эксперименте на орбитальной станции "Скайлеб".

Следующими этапами этой работы должны явиться просмотр 5 и 50 см³ оливина из метеоритов, что позволит, по-видимому, получить более детальную и достоверную информацию о распространенности ядер с $Z \geq 110$ в галактических космических лучах.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Fowler P.H. et al. Proc.Roy.Soc., 1967, A301, p.
2. Fowler P.H. et al. Proc. of the 15th Int. Cosmic Ray Conf., Plovdiv, 1977, 11, p.165.
3. Shirk E.K., Price P.B. Ap.J., 1978, 220, p.719.
4. Meyer J.-P. Proc. of the 16th Int. Cosmic Ray Conf., Kyoto, 1979, 1, p.374.
5. Fowler P.H. et al. Preprint Department of Physics, University of Bristol, July 1980.
6. Fleischer R.L. et al. J.Geophys. Res., 1967, 72, p.331.
7. Флеров Г.Н. и др. Изв. АН СССР, сер.Физ., 1975, 39, с.388.
8. Доливо-Добровольская Г.И. и др. Геохимия, 1976, №10, с.1476.

9. Perelygin V.P. et al. Nuclear Track Detection, 1977, 1, p.199.
10. Katz R., Kobetich E.J. Phys.Rev., 1968, 170, p.401.
11. Cameron A.G.W. Space Sci.Rev., 1973, 15, p.121.
12. Kapuscik A. et al. Proc. of the 6th Int.Conf. Corpuscular Phot., Florence, ed. CEPI, Roma, 1966, p.458.
13. Lhagvasuren D. et al. Solid State Track Detectors. Pergamon Press, Oxford, 1980, p.997.
14. Schramm D.N. et al. Astroph.J., 1978, 221, p.694.
15. Price P.B. et al. Phys.Rev.Lett., 1975, 35, p.487.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 августа 1980 года.