

## ПОТОКИ «ГАЛАКТИЧЕСКИХ» ИОНОВ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ СОУДАРЕНИИ СГУСТКОВ ПЫЛИ С ЗАЩИТНЫМИ ОБОЛОЧКАМИ

С.М. Ушеренко<sup>1</sup>, А.С. Калиниченко<sup>1</sup>, А.И. Белоус<sup>2</sup>, Т.В. Петлицкая<sup>2</sup>,  
Б.В. Румянцев<sup>3</sup>, В.И. Овчинников<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск;

<sup>2</sup>УП «Белмикросистемы» НПО «Интеграл», Минск;

<sup>3</sup>Физико-технический институт РАН, С.-Петербург;

<sup>4</sup>НИИ импульсных процессов с ОП БГНПК ПМ НАН Беларуси, Минск

*При соударении сгустков космической пыли с космическими аппаратами возникают плазменные облака, которые влияют на работу систем управления. Выполнен цикл наземных экспериментов и зафиксировано интенсивное излучение, возникающее при таком взаимодействии. Зарегистрированы потоки высокоэнергетических «галактических» ионов с энергией единичной элементарной частицы свыше 100 Мэв.*

### Введение

При полетах за пределами земной атмосферы значительную опасность представляет воздействие потоков высокоэнергетических ионов. Ионы с энергией свыше 10 Мэв проникают сквозь защитные оболочки летательных аппаратов и могут поражать находящиеся в них биообъекты и системы управления. Такие ионы принято называть «галактическими». Ранее утверждалось, что потоки этих ионов появляются около Земли из галактического пространства, возникая при вспышках сверхновых звезд.

Оказалось, что высокоэнергетическая плазма, которая является источником ионных потоков, может возникать при соударениях. Межпланетное пространство заполнено пылевыми облаками и сгустками микрометеоритов [1]. Мелкие частицы с размерами от нескольких миллиметров до десятитысячных долей миллиметра называются микрометеоритами. Количество ежедневно поступающего в атмосферу метеорного вещества составляет от 100 до 10 000 т, причем большая часть этого вещества приходится на микрометеориты.

Длительное время полагали, что при соударении с пылевыми объектами возникает только эрозия на поверхности защитной оболочки. Возможность проникновения микрометеоритов сквозь защитные оболочки считалась нереальной. Эти представления основывались на известных моделях макроудара и на многолетних натуральных экспериментах, которые показали, что при соударении со сгустками космической пыли не наблюдается потеря герметичности модуля с людьми и аппаратурой.

На международном симпозиуме по гиперскоростным воздействиям обсуждали вопрос об ущербе, который наносят космическим аппаратам микрометеориты. Основной доклад был представлен сотрудниками Открытого и Британского Оксфордского университетов. Установлено, что частицы космической пыли при ударе о спутник или об его электронное оборудование испаряются с образованием горячей проводящей плазмы. Эта плазма может индуцировать в электронных системах токи, которые способны нарушить нормальную работу этих систем вплоть до полного вывода их из строя. Неплохим материалом для изучения стали солнечные батареи космического орбитального телескопа Hubble, доставленные на Землю экипажем корабля многоразового использования во время ремонтной миссии в конце 1999 г.

В настоящее время имеется значительная информация о явлении сверхглубокого проникания сгустков микрочастиц в металлические преграды [2]. Согласно этим данным процесс сверхглубокого проникания (СГП) не приводит к потере герметичности металлических модулей, т.к. в силу специфики СГП каналные зоны закрываются. В ходе развития исследований СГП возникли основания считать, что такой вид динамического взаимодействия должен сопровождаться образованием плотной плазмы в объеме твердого тела. Выполненный цикл исследований по оценке энергетики сверхглубокого проникания показал, что без учета представлений об образовании плазмы [3] и возможности возникновения дополнительного источника энергии невозможно объяснить экспериментально зарегистрированный дисбаланс затрачиваемой и вводимой энергий. Одним из вариантов проверки гипотезы о появлении в условиях СГП локального дополнительного источника в твердом теле является регистрация высокоэнергетического излучения. Поскольку образование электромагнитного поля вокруг защитной оболочки при сверхглубоком проникании известно [4], в данной работе целесообразно рассмотреть только высокоэнергетическую часть излучения.

Целью данной работы является экспериментальная проверка гипотезы о том, что при взаимодействии в режиме СГП сгустков пыли с металлическими оболочками возникают потоки высокоэнергетических ионов.

### 1. Экспериментальное исследование образования высокоэнергетических частиц в процессе сверхглубокого проникания

Для проведения цикла экспериментов по регистрации в режимах сверхглубокого проникания высокоэнергетического излучения была использована показанная на рис. 1 схема. Взрывные ускорители были выполнены на основе кумулятивных зарядов взрывчатого вещества и обеспечивали градиент скорости метания порошков 300-3000 м/с и массу одновременно метаемого порошка 0,03-0,12 кг.

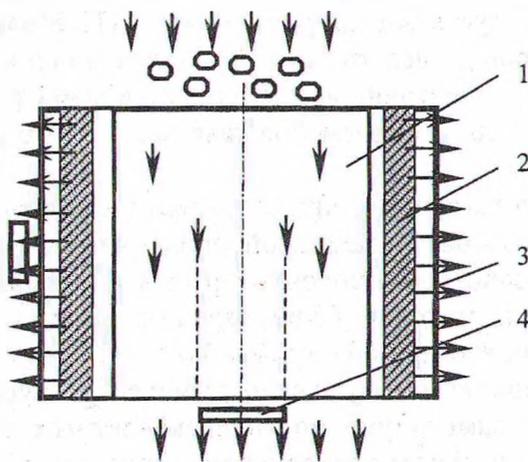


Рис. 1. Схема испытаний материалов и микросхем:  
1 — импульсный источник плазмы и излучения;  
2 — испытываемые материалы; 3 — пленочные детекторы;  
4 — испытываемые микросхемы

Все испытываемые материалы и детекторы размещались в герметичном толсто-стенном металлическом контейнере, который находился в грунте. В качестве метаемого материала использовался порошок карбида кремния, а в качестве источника энергии — 0,2 кг аммонита №6ЖВ. В этой серии экспериментов в качестве пленочного детектора

использовались пакеты с рентгеновской пленкой, а для калибровки излучения — металлические экраны из алюминия и стали толщиной 20 мм (2-рис.1). Осуществлялась регистрация жесткого излучения, которое возникало в режиме СГП на боковой поверхности цилиндра. Ранее выполненные эксперименты показали, что соотношение плотностей каналов на торцевой и боковой поверхностях металлической (стальной) преграды оставляет не более 30%. Поэтому, если источником излучения служит плазма, формируемая в канальных структурах, уровень излучения с боковой поверхности преграды должен составлять не более 30% от уровня излучения с торца. При использовании защитных оболочек была получена картина засветки пленочного детектора. Можно наблюдать сложную картину засветки, что доказывает наличие нескольких локальных источников излучения. На рис. 2, б показана картина засветки, возникшая на пленочном

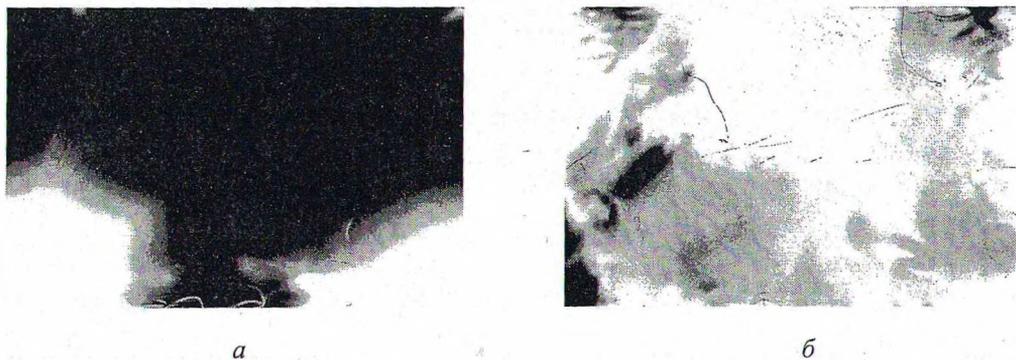


Рис. 2. Пленочный детектор, облученный источником через преграду (20 мм):  
*а* — стальную; *б* — алюминиевую. Позитивное изображение при увеличении  $\times 1$

датчике, размещаемом на внешней поверхности стальной защитной оболочки (рис. 1). На полученных картинах (рис.2, *а*, *б*) видно, что излучение имеет локальный характер, а потоки излучения имеют разный уровень энергии. При рассмотрении пленочных детекторов в различных зонах при относительно небольших увеличениях удастся обнаружить картину пробоев. Они имели поперечные размеры от 1 до 5 мкм и могли возникнуть при движении микроструй с наружной стороны защитной оболочки в направлении, перпендикулярном поверхности. На рис. 3 показана трековая картина, полученная на пленочных датчиках, размещенных на алюминиевой защитной оболочке. Толщина регистрируемых треков составляет 5-10 мкм. Эти треки имеют относительно прямолинейный характер траектории и длины 250–500 мкм.

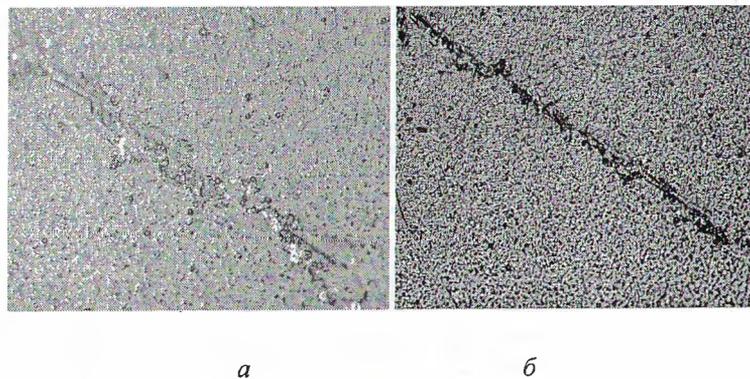


Рис. 3. Пленочный детектор после облучения источником через алюминиевую преграду (треки): *а* — увеличение  $\times 200$ ;  
*б* — увеличение  $\times 400$

Треки, регистрируемые на поверхности стальной защитной оболочки (той же толщины) имеют отличия (рис. 4). В этом варианте толщина треков не превышает 1 мкм, а длина – 250 мкм, треки более криволинейны. Эти треки имели вид арабского письма, хорошо воспроизводимого в различных экспериментах. Стержень, работающий в режиме СГП, одновременно является источником микроструй плазмы, приводя к поражению окружающих его объектов. Аналогичные трековые картины были получены на керамических пластинах, размещенных за защитной оболочкой (рис. 5).

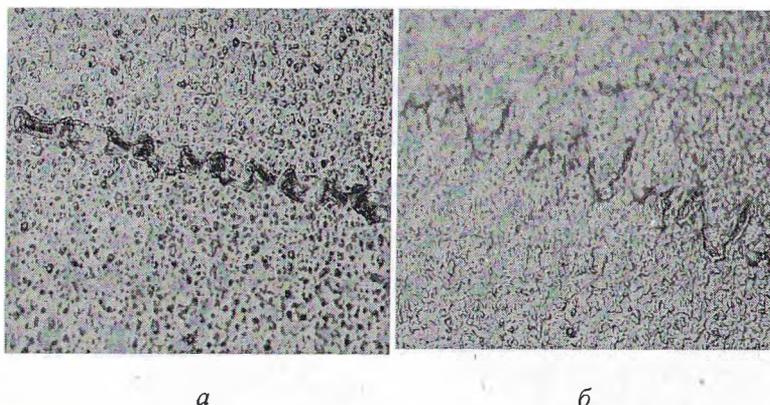


Рис. 4. Трековая картина на стальной оболочке: а -  $\times 400$ ; б -  $\times 1000$

Эти микроструи обладают высокой поражающей способностью (проникли сквозь 20 мм стальной оболочки) и представляют прямую опасность для летательных аппаратов, создавая возможность поражения, находящихся в них систем управления и лю-



Рис. 5. Поверхность монокристалла кремния, пораженная микроструями плотной плазмы ( $\times 1000$ )

дей [5]. Выполненные анализы остатков микроструй в фольговых пакетах из алюминия показали, что основой этих струй является материал защитной преграды, кроме того, обнаружены следы вещества, вводимого метаемым потоком дискретных частиц.

## 2. Обсуждение результатов исследований

В результате соударений сгустков пылевых частиц с преградами наряду с макроизменениями, возникающими в металлических преградах аналогично обычному удару, наблюдается комплекс процессов, приводящих к формированию канальных новообразований. Процесс проникновения микроударников в объем преграды на глубины в  $10^2$ - $10^4$  исходных размеров ударника имеет необычный характер, противоречит известным результатам по макроудару, что выделяет его в специальный объект исследований.

Этот процесс невозможно объяснить без привлечения допущений, приводящих к перераспределению энергии макроудара в микрообъем канальных зон или в область так называемых зон влияния. При всех занижающих оценках затрат энергии на образование каналов необходимо рассмотреть, как минимум, компенсацию затрат на динамическое перемещение массы при образовании и захлопывании этих новообразований [2]. Выявление дополнительных физических эффектов, сопровождающих явление сверхглубокого проникания, усложняет ситуацию объяснения физически процесса СГП. Для того чтобы поток излучения проник сквозь алюминиевую и стальную оболочки с толщиной в 20 мм необходим уровень энергии элементарного носителя не менее 100 Мэв. Существующие в настоящее время ускорители ионов позволяют получать энергии «галактических» ионов в диапазоне 10–104 Мэв. Это подтверждает сделанные ранее оценки возможностей нового источника [3]. Картина просвечивания (см. рис. 2), представляющая собой развертку окружности внешней поверхности, показывает, что наряду с фоновым излучением имеют место высокоэнергетические локализованные потоки заряженных частиц, регистрируемые в виде темных участков. Можно наблюдать участки паукообразной формы различных оттенков – от светло-серого до черного. Такая паукообразная форма засветок свидетельствует о том, что потоки излучения исходят из локального источника, а уровень энергии излучения локальных источников различен. Наличие на пленочном детекторе участков пробоя доказывает появление на поверхности защитной оболочки микроструй с поперечными размерами 1–5 мкм. Поскольку образование микро струй происходит на боковой поверхности источника (см. рис. 1) очевидно, что они проникли через защитную оболочку. Большие поперечные и продольные размеры прямолинейных треков (см. рис. 3) свидетельствуют о том, что элементарный носитель энергии имеет заряд и высокую энергию (скорость и массу). Можно утверждать, что элементарным носителем в данном случае является ион. Уменьшение размеров треков при использовании в качестве материала преграды стали (см. рис. 4) показывает, что энергия иона, образовавшего трек, уменьшилась за счет снижения его скорости. Появление многочисленных криволинейных трековых участков свидетельствует об увеличении влияния на элементарный носитель электромагнитного поля, возникающего вокруг работающего импульсного источника. При уменьшении скорости иона влияние на его траекторию электромагнитного поля, при прочих равных условиях, должно возрастать. В процессе исследований пленочных детекторов, размещаемых на поверхности стальных оболочек, обнаружены многочисленные трековые образования, которые при увеличении состоят из длинного ряда трековых элементов (см. рис. 4). В этом случае, очевидно, мы имеем дело с более существенным увеличением влияния электромагнитного поля на ион, в частности возрастанием частоты электромагнитного излучения. Из-за аналогичной причины мы наблюдаем картину повреждения поверхности пластины монокристалла кремния (рис. 5). В этом случае электромагнитное поле воздействует на контактирующий с поверхностью пластины конец микроструи плотной плазмы. Регистрация излучения, в частности появление потоков ионов с уровнями энергии в сотни Мэв, свидетельствует о протекании в условиях СГП высокоэнергетических процессов, которые, по-видимому, ответственны за аномалии в балансе вводимой и затрачиваемой энергии [3]. Регистрация потока «галактических» ионов служит, на наш взгляд, доказательством правомерности выдвинутой гипотезы.

## **Заключение**

Явление сверхглубокого проникания микроударников в преграды предполагает реализацию комплекса физических эффектов и возможно за счет появления импульсного источника энергии. Выполненный цикл экспериментов по выявлению дополнительных физических эффектов СГП позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Новый импульсный источник позволяет создавать потоки высокоэнергетического излучения и плазменных микроструй, регистрируемых по принятой схеме в направлениях перпендикулярных поверхности преграды.

2. Использование защитных металлических оболочек позволило зарегистрировать потоки ионов с энергией элементарного носителя свыше 100 Мэв.

3. Различие в трековой картине, регистрируемой на пленочных датчиках, позволяет утверждать, что потоки ионов имеют локальные источники с различной энергией и электромагнитное поле, возникающее вокруг источника, имеет различные параметры, например частоты колебаний.

4. Доказана верность гипотезы о том, что возникновение при СГП канальных образований вызывается появлением дополнительного источника энергии, по-видимому, за счет термоядерного синтеза в микрообъемах твердого тела.

## **Список литературы**

1. Новиков Л.С. Частицы космического мусора в околоземном пространстве и методы их изучения // Инженерная экология. – 1999. – № 4. – С. 10-19.

2. Usherenko S.M. Modern Notions of the effect of superdeep penetration // Journal of Engineering and thermophysics, 2002. – Vol. 75. – № 3. – P. 183-199.

3. Оценка затрат энергии при сверхглубоком проникании микрочастиц / С.М. Ушеренко, Ю.С. Ушеренко, В.П. Кирилук и др. // Сб. науч. тр. Национального горного университета №18. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2003. – С. 24–30.

4. Овчинников В.И., Дыбов О.А., Ушеренко С.М. Исследование возникновения электромагнитного и рентгеновского излучения в условиях сверхглубокого проникания частиц порошков при динамическом нагружении твердого тела // Сотрудничество ОИЯИ с институтами, университетами и предприятиями Беларуси. – Дубна, 2002. – С. 77-79.

5. Опасные факторы при взаимодействии пылевых сгустков с металлическими мишенями/ С.М. Ушеренко, В.П. Кирилук, А.И. Белоус и др. // Сб. науч. тр. Национального горного университета № 18. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2003. – С. 65–74.