

6. В. В. Соболев, Р. П. Дидык, В. Я. Слободской и др. ФГВ, 1983, 19, 5, 138.
7. Н. С. Турманидзе.— В кн.: Международный семинар «Сверхтвердые материалы». Т. 1. Киев, 1981.
8. В. В. Соболев, В. Я. Слободской. Кристаллография, 1985, 30, 6, 1213.
9. Кристаллизация алмаза/Д. В. Федосеев, Б. В. Дерягин, И. Г. Варшавская, А. С. Семенова-Тян-Шанская. М.: Наука, 1984.
10. Ю. А. Бурмин. Природа, 1983, 11, 46.
11. Физика космоса. М.: Сов. энцикл., 1976.
12. М. Г. Веселов. Элементарная квантовая теория атомов и молекул. М.: Физматгиз, 1962.
13. Д. И. Блохинцев. Основы квантовой механики. М.: Высш. шк., 1963.
14. О. Г. Козлова. Рост и морфология кристаллов. М.: Изд-во МГУ, 1972.
15. С. Б. Пикельнер. Физика межзвездной среды. М.: Изд-во АН СССР, 1959.
16. Д. В. Федосеев. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1979, 6, 2157.
17. Г. И. Саввакин. Алмазы и сверхтвердые материалы, 1981, 4, 1.
18. В. Н. Дробышев. ФГВ, 1983, 19, 5, 158.
19. А. М. Ставер, Н. В. Губарева, А. И. Лямкин и др. ФГВ, 1984, 20, 5, 100.
20. Э. Ф. Чайковский, В. М. Пузиков, А. В. Семенов. Кристаллография, 1981, 26, 1, 219.
21. Л. Э. Гуревич, А. Д. Чернин. Введение в космогонию. М.: Наука, 1977.
22. Ф. А. Летников. Докл. АН СССР, 1983, 271, 2, 433.

Поступила в редакцию 23/IV 1986

УДК 523.51

ОЖИДАЕМЫЙ РАЗМЕР КРАТЕРА ПРИ УДАРЕ МИКРОМЕТЕОРИТА

М. М. Русаков, М. А. Лебедев
(Челябинск)

В связи с запуском в окрестности кометы Галлея аппаратов «Вега» возрос интерес к воздействию микрометеоритов на конструкции космических аппаратов. Появились работы, в которых численным расчетом определяются размеры кратеров и сквозных отверстий в защитных экранах в зависимости от массы и плотности метеорных частиц при ударе со скоростью встречи 80 км/с [1, 2]. В других работах сделаны попытки экстраполировать до больших скоростей экспериментальные результаты, полученные при скоростях удара до 10—15 км/с [3—6].

Авторы настоящей работы изучали воздействие компактной массы (сгустка частиц вольфрама плотностью до 1 г/см^3) со скоростью до 27 км/с на преграды из различных конструкционных материалов. Сгусток длиной около 10 мм и диаметром 5, 10 или 15 мм подводился к преграде по трубке из оргстекла с толщиной стенок 1,5 и длиной 100 мм, заполненной воздухом при нормальных условиях. При этом установлено, что, несмотря на превышение массовой плотности кинетической энергии сгустка в ~ 60 раз, а объемной в ~ 40 раз над плотностью энергии тринитротолуола, механизм взаимодействия сгустка с преградой не носит полностью взрывного характера: энергия, выделяющаяся в форме взрыва, не превышает 30% от кинетической энергии сгустка [7, 8]. Величина реактивного импульса при ударе по стальной преграде в 2,6 раза превышает количество движения сгустка, а потеря массы преградой при этом составляет 8,6 г [9]. Отметим, что даже вся кинетическая энергия сгустка ($\sim 50 \text{ кДж}$) составляет не более 0,8 от энергии, необходимой для нагрева, плавления и испарения теряемой стальной преградой массы. Это указывает на то, что только часть выбрасываемой массы преграды плавится и испаряется. Другая часть механически дробится, и ее количество может существенно зависеть от прочностных свойств материала преграды.

В работе [10] по результатам опытов найдены полуэмпирические зависимости объема, диаметра и глубины кратера в преграде от параметров ударника. В последнее время проведены экстраполяция полу-

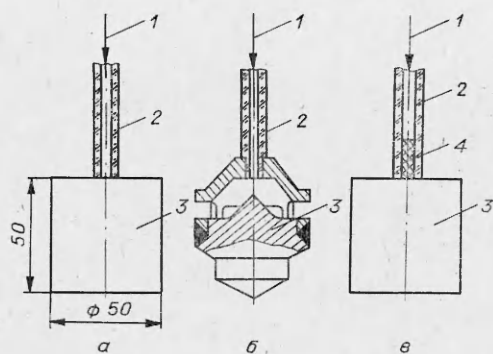


Рис. 1. Схема опытов.

а) непосредственный удар; б) удар с поворотом ступка; в) удар через прокладку. 1 — ступок частиц вольфрама; 2 — трубка из оргстекла; 3 — стальная преграда; 4 — прокладка из парафина.

ченных ранее авторами экспериментальных результатов до скоростей встречи ~ 80 км/с и сравнение их с результатами других исследователей.

В дополнение к ранее описанным в [9] трем опытам по определению реактивного импульса с непосредственным ударом ступка по стальной преграде проведено пять опытов, в которых путем смягчения удара (плавный поворот ступка в стороны рассекателем и удар через смягчающую прокладку из парафина) стремились снижением выброса массы из стальной преграды уменьшить реактивный импульс и непосредственно из эксперимента определить импульс ударяющего ступка.

Схема опытов показана на рис. 1. Положение преграды после удара фиксировалось для различных моментов времени с помощью импульсного рентгенографирования. По перемещению преграды определялись ее скорость и полный импульс, приобретаемый ею.

Зависимость отношения полного импульса I_n к количеству движения ступка $I_{уд}$ от потерянной преградой массы Δm нанесена на рис. 2. Экспериментальные результаты удовлетворительно аппроксимируются по методу наименьших квадратов линейной зависимостью, которая при $\Delta m = 0$ соответствует $I_n/I_{уд} = 1$ и тем самым, учитывая удовлетворительную точность определения скорости ступка ($\pm 4\%$), подтверждает правильность определения эффективной массы ступка, равной 0,2 г.

Из полученных результатов также следует, что средняя скорость выброса массы преграды составляет $\sim 1,5$ км/с.

Считается, что космические частицы близки по форме к шаровым, тогда как зависимости [10] для оценки размеров кратера получены на основе экспериментальных данных со ступком в форме цилиндра с отношением длины к диаметру от 1 до 2. Необходимо было проверить пригодность этих зависимостей для сферических частиц.

Результаты работы [11], где исследовался удар по различным преградам сферическими частицами вольфрама диаметром 80—100 мкм и скоростью встречи 6 км/с, наиболее достоверны для калибровки зависимостей [10], так как частицы разгонялись в легкогазовой пушке и, как нам представляется, хорошо сохраняли свою первоначальную массу и форму.

На рис. 3 приведены расчетная кривая для ударника сферической формы и экспериментальные точки, взятые из [11]. Видно, что данные [10] с точностью не ниже $\pm 15\%$ описывают результат взаимодействия

Рис. 2. Относительный импульс, сообщаемый ступком преграде.

1—3 — опыты по схемам а, б, в рис. 1; 4 — аппроксимация результатов.

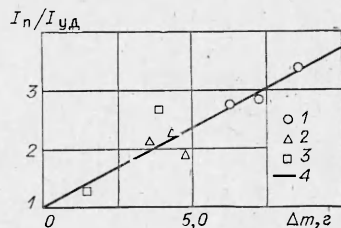
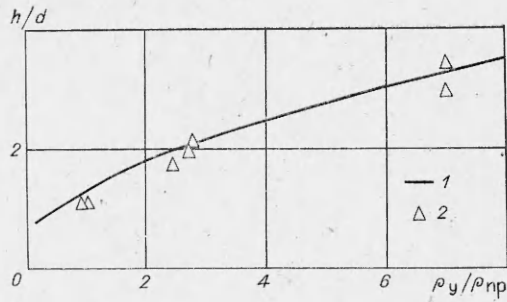


Рис. 3. Относительная глубина кратера в зависимости от относительной плотности сферического ударника.
 1 — расчет по [10]; 2 — эксперимент по [11]. h, d — глубина и диаметр кратера; ρ_y, ρ_{up} — плотности ударника и преграды.



сферической частицы с преградой. На основании изложенного можно считать, что зависимости удовлетворительно описывают удар сферическими частицами при скоростях до ~ 25 км/с.

Распространение рассмотренных зависимостей на большие скорости, по нашему мнению, не вызывает существенных опасений, так как в исследованном диапазоне скоростей в преграде достигается давление $\sim 5 \cdot 10^6$ бар, которое на три порядка превышает предел прочности такого материала, как сталь, и при разгрузке материал преграды уже испытывает все характерные для его разрушения моменты, свойственные и более высоким скоростям соударения: плавление, испарение и механическое разрушение в волнах разгрузки.

Для сравнения полученных результатов с данными других исследователей проведен расчет параметров кратера при условиях, принятых в [1, 2]: преграда из алюминиевого сплава АМГ6М, масса микрометеоритов $1 \cdot 10^{-7}$ и $1,1 \cdot 10^{-11}$ г, скорость 80 км/с. Для давлений $p > 3 \cdot 10^6$ бар принималось уравнение состояния ударника и преграды в виде $p \sim u^2$, где u — массовая скорость в преграде. При этом анализ зависимостей, полученных в [10], показывает, что глубина и диаметр кратера пропорциональны $u^{2/3}$. Для АМГ6М твердость взята $H_B = 80$ кг/мм². Возрастание прочностных свойств материала преграды в зависимости от скорости деформирования, связанное с размерами ударника и скоростью удара, учитывалось по данным [2, 12].

Результаты вычислений настоящего исследования и других авторов приведены на рис. 4: численные расчеты [1, 2] и эмпирические зависимости $h \sim u^{0,58}$ [3], $h \sim u^{0,88}$ [6], $h = 6,2 \cdot d^{1,056}$ [4], $h = 9,6 \cdot d^{1,056}$ [5] для скорости ударника 80 км/с диаметром d и плотностью 1 г/см³.

Выполненные оценки дают значение глубины кратера в 1,5 раза больше, а диаметра — в 1,2—1,3 раза меньше по сравнению с [1, 2]. Сравнение с другими работами показывает удовлетворительное совпадение с [3, 4] и значительное расхождение с [5, 6].

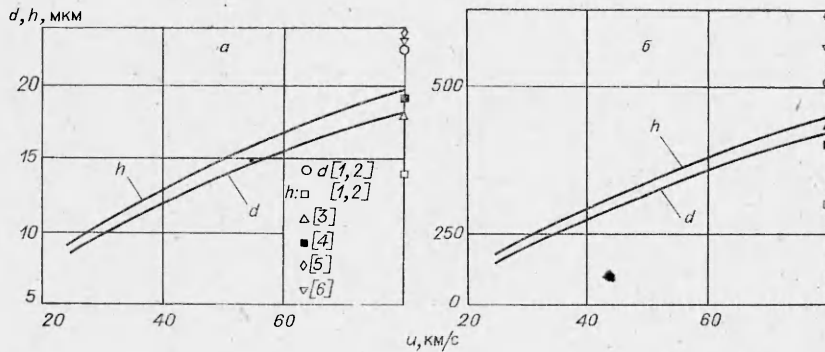


Рис. 4. Размеры кратера при ударе микрометеорита массой $1,1 \cdot 10^{-11}$ (а) и $1 \cdot 10^{-7}$ г (б).

1 — d [1, 2]; 2 — h [1, 2]; 3 — h [3]; 4 — h [6]; 5 — h [4]; 6 — h [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. С. И. Анисимов, А. В. Бушман, Г. И. Канель и др. Письма в ЖЭТФ, 1984, 39, 9.
2. В. А. Агурейкин, С. И. Анисимов, А. В. Бушман и др. ТФТ, 1984, 22, 5, 964.
3. Ю. Г. Малама. ФГВ, 1984, 20, 4, 117.
4. D. Humes. Proc. Meteor. Hazard Workshop ESA SP-153, 1979.
5. H. Fechtig. Ibid.
6. N. Pailer, E. Grün. Planet. Space Sci., 1980, 28, 3.
7. М. М. Русаков. ПМТФ, 1966, 4, 167.
8. М. М. Русаков, М. А. Лебедев. Космич. исслед., 1972, X, 1, 168.
9. М. М. Русаков, М. А. Лебедев. Космич. исслед., 1968, VI, 4, 634.
10. М. М. Русаков, Б. К. Шейдуллин. Космич. исслед., 1979, XVII, 1, 172.
11. Гэннон, Лашло, Лей, Уолник. РТК, 1965, 11, 148.
12. Г. И. Канель, С. В. Разоренов, В. Е. Фортов. ПМТФ, 1984, 5, 60.

Поступила в редакцию 20/III 1986

УДК 536.424

ОСОБЕННОСТИ УДАРНОЙ СЖИМАЕМОСТИ ДВУОКИСИ КРЕМНИЯ КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ КИНЕТИКИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

М. А. Подурец, Р. Ф. Трушин

(Москва)

Изучение ударного полиморфизма в системе кремнезема (SiO_2) вызывает большой интерес, поскольку в ней экспериментально обнаружены значительные отклонения от результатов, предсказываемых условиями фазового равновесия. Это обстоятельство, с одной стороны, открывает пути исследования кинетики фазовых превращений в ударных волнах (УВ), а с другой — налагает определенные ограничения на возможности определения уравнения состояния фаз высокого давления из ударно-волновых экспериментов, поскольку в конечных состояниях имеются остаточные концентрации исходных фаз.

На рисунке представлены результаты по ударной сжимаемости сплошных и пористых образцов кварца и коэсита в диапазоне давлений до 1 Мбар [1, 2]. Обращают на себя внимание следующие особенности (как согласующиеся с фазовыми диаграммами, так главным образом и не согласующиеся).

1. Переход кварца в стишовит в случае малой пористости ($\rho \geq 1,55 \text{ г/см}^3$) и в коэсит при большой пористости ($\rho \leq 1,15 \text{ г/см}^3$). При $1,12 < \rho < 1,55 \text{ г/см}^3$ наблюдается большая неустойчивость в положении ударных адиабат.

2. Непосредственный переход кварца в стишовит, минуя коэсит, что противоречит последовательности областей стабильности кварца, коэсита и стишовита на фазовой $p-T$ диаграмме. Это утверждение следует не только из анализа хода ударных адиабат, но и подтверждается рентгеноструктурным анализом сохраненных после ударного сжатия образцов. В них обнаруживается стишовит и нет коэсита, несмотря на

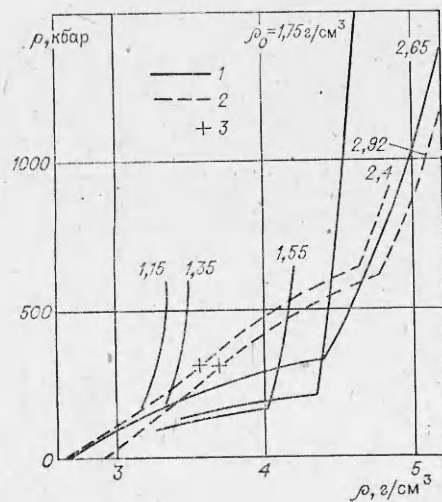


Диаграмма давление — плотность для SiO_2 .
1 — кварц; 2 — коэсит; 3 — состояния, соответствующие началу фазового перехода коэсита.