

Появление вертикального выброса при падении метеорита на небесное тело

Дорофеева Алиса

Класс:11

Секция: Физика и астрономия

СУНЦ МГУ, г. Москва

Научные руководители: Сергеев Сергей Николаевич, Дмитриев Константин Вячеславович

Известно, что на поверхности Луны наблюдаются два вида кратеров ударного (метеоритного) происхождения. Условно будем называть их «кратером с горкой» и «кратером без горки». Целью данной работы было экспериментальное исследование механизма образования горки на «кратере с горкой».

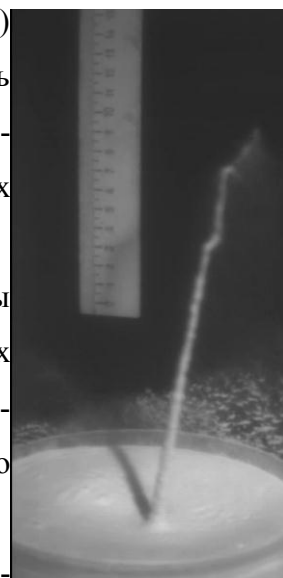
Основное используемое в работе свойство лунного грунта (реголита) — его сыпучесть. Для моделирования образования кратера использовалась пищевая сода, роль падающего метеорита выполнял стальной шарик. Технически сложной частью работы являлось обеспечение повторяемости начальных условий, для чего была изготовлена пусковая установка.

В процессе проведения эксперимента удалось получить диапазоны начальных условий (масса шарика-«метеорита», скорость падения), в которых образуются кратеры без горок и кратеры с горками. В последнем случае падение сопровождалось выбросом тонкой высокой струи вещества, образующего грунт, в виде джета, который и образовывал горку.

Установлено, что высота джета определяется массой и размером метеорита, скоростью падения метеорита, количеством вовлеченного внутрь пласта воздуха (плотностью грунта, атмосферным давлением).

Было предложено объяснение возникновения струи и несколько выводов по этому поводу. Выяснено экспериментально, что струя состоит из двух ступеней: нижняя толстая, и верхняя тонкая. Нижняя толстая ступень образуется так: шарик, погружаясь в слой соды, «утаскивает» за собой воздух. Воздух сжимается, и, стремясь расшириться, выталкивает вверх расположенный над ним слой песка. Механизм образования верхней ступени иной: верхняя тонкая ступень образуется из-за кумулятивного эффекта и не зависит от количества воздуха, вовлеченного внутрь слоя песка. Потому при погружении шарика на достаточную глубину верхняя ступень струи будет образовываться даже при очень низком давлении.

Таким образом, основную роль в образовании нижней ступени струи на Земле (и, по-видимому, других планет, обладающих атмосферой) играет воздух (газ в атмосфере), верхняя ступень



пень не зависит от давления атмосферы и образуется из-за волновых и кумулятивных эффектов. Это было подтверждено нами следующим образом.

Во-первых, струя возникает только при «средних» значениях высот падения шарика. Если шарик падает с высоты нескольких метров, то реакция соды становится настолько большой, что шарик не погружается в пласт. Если шарик падает с высоты до полуметра, то импульса шара снова не хватает для погружения в слой. В обоих случаях струя не возникает. Однако если шарик падает с высоты от полуметра до метра с половиной, то шарик погружается в пласт и возникает струя.

В отличие от Земли на Луне нет атмосферы, поэтому там процесс образования кратера с горкой должен объясняться только вторым механизмом.

Таким образом, предложен механизм образования разных типов кратеров и проведено экспериментальное исследование этого механизма.

Целью нашего исследования было изучение причин появления вертикального выброса струи при падении метеорита на планету. Вертикальная струя является причиной появления центральной горки в крупных кратерах.

В ходе исследования была предложена такая теоретическая модель: роль метеорита играет стальной шарик, пласт вещества планеты представляется сыпучим веществом. Для наглядности эксперимента сыпучим веществом использовалась сода. Далее была собрана пусковая установка, которая при нажатии кнопки роняла шарик с определенной высоты в емкость с содой. Принцип работы пусковой установки основывался на жестко закрепленном электромагните, который притягивал шарик при включении электричества и отпускал его при отключении электричества. Были измерены высота падения шарика, масса соды в емкости и масса шарика, диаметр шарика, при которых у нас возникала струя соды. Процесс был заснят с помощью скоростной камеры.

Было предложено объяснение возникновения струи и несколько выводов по этому поводу. Для начала было получено, что струя состоит из двух ступеней: нижняя толстая, и верхняя тонкая. Нижняя, толстая ступень образуется так: шарик, погружаясь в слой песка, «утаскивает» за собой воздух. Воздух сжимается, и, стремясь расшириться, выталкивает вверх расположенный над ним слой песка. Механизм образования верхней ступени иной: верхняя, тонкая ступень образуется из-за кумулятивного эффекта и не зависит от количества воздуха, вовлеченного внутрь слоя песка. Потому при погружении шарика на достаточную глубину верхняя ступень струи будет образовываться даже при очень низком давлении.

Таким образом основную роль в образовании нижней ступени струи играет воздух (газ в атмосфере), верхняя ступень не зависит от давления атмосферы и образуется из-за волновых и кумулятивных эффектов. Это было подтверждено нами следующим образом.

Во-первых, струя возникает только при «средних» значениях высот падения шарика. Если шарик падает с высоты нескольких метров, то реакция соды становится настолько большой, что шарик не погружается в пласт. Если шарик падает с высоты до полуметра, то импульса шара снова

не хватает для погружения в слой. В обоих случаях струя не возникает. Однако если шарик падает с высоты от полуметра до метра с половиной, то шарик погружается в пласт и возникает струя.

Однако данные о высоте слишком приблизительные. Их нельзя измерить более точно, потому что большую роль играет степень утрамбовки слоя. Однако сыпучие вещества распределяются неравномерно по объему, уплотняясь с глубиной. Поэтому без необходимого оборудования более точные опыты произвести невозможно. Были проделаны опыты в расчете на среднюю плотность вещества, и пласты были разделены на «слабоутрамбованные», «среднеутрамбованные» и «сильноутрамбованные». Струя наибольшей величины получилась в «среднеутрамбованном» слое. Это объясняется тем, что в этом случае в пласт соды увлекается наибольшее количество сжатого воздуха. При слабой утрамбовке весь вовлеченный воздух просачивается вверх сквозь песчинки, и над воздухом находится меньшее количество сыпучего вещества. При сильной утрамбовке песка шарик не может проникнуть на достаточную глубину и количество проникшего воздуха оказывается меньше.

Был выяснен механизм образования вертикальной струи при падении шарика в сыпучий материал. Задачу можно и нужно развивать. Возможно проследить зависимость высоты поднятия струи от изменения плотности пласта, размера и массы шарика, высоты падения шарика, от атмосферного давления, от особых свойств материала.

Результаты исследования интересны с точки зрения фундаментальной науки, это может послужить толчком для исследования случаев, когда сыпучее вещество ведет себя как жидкость. Если будут поняты все аспекты данной задачи, то по массе выброшенного вещества станет возможным определить размеры и массы метеоритов, что важно для исследования их влияния на Землю.