

ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

В БЛИЗИ КОМЕТ, АСТЕРОИДОВ И МЕТЕОРИТОВ

Юрий Михайлович Кочетков, д.т.н.

Александр Иванович Бажанов, член-корр. РИА и МИА

Рассмотрены некоторые результаты космических исследований применительно к изучению и свойств комет, астероидов и метеоритов как объектов универсальной космической газодинамической лаборатории. Были выявлены закономерности процессов турбулентности вблизи их поверхности. Показано, что в Космосе, а конкретнее, в непосредственной близости от этих малоразмерных космических тел применимы законы, открытые на Земле. Подтверждена адекватность процессов на Земле и во Вселенной. При этом ни там, ни там не найдено противоречащих предпосылок, следствий и эффектов.

Discusses some results of space research applied to the study and properties of comets, asteroids and meteorites as objects of universal cosmic gas dynamics laboratory. Were the regularities of the processes of turbulence near the surface. It is shown that in Space, more specifically, in the vicinity of these small cosmic bodies applicable laws derived on Earth. The adequacy of processes on Earth and in the Universe. However, neither there nor there not found contrary to the assumptions, consequences and effects.

Ключевые слова: турбулентность, комета, астероид, метеорит.

Keywords: turbulence, comet, asteroid, meteorite.

Кометы, астероиды и метеориты - это ещё одна субстанция, наполняющая космическое пространство. Это тела, которые по размеру меньше планет и их нерукотворных спутников, но которые могут существенно повлиять на их траектории и даже целостность. На первый взгляд кажущаяся хаотичность в движении этих малоразмерных космических тел на самом деле таковой не является. Движение их строгонаправленное и практически всегда предопределено. Такой особенностью эти космические тела обязаны природе их появления. Вполне вероятен их прилёт из других галактик. После наших, либо галактических метаморфоз: акреции однородной космической сферы и последующих взрывов, столкновений различных объектов, завершения жизненного цикла звёздных систем, разрушения и прочее, множество осколков, сгустков и скоплений различного рода материи покидают свои места нахождения и летят по направлению к другим галактикам, звёздам и в том числе к нашей Солнечной системе. При этом со всех сторон Солнечную систему пронизывают эти многочисленные полидисперсные куски других миров. Они подлетают к оболочке Солнечной системы и пробивают её под различными углами и с различными скоростями движения. Они захватываются гравитационным полем Солнца и других планет Солнечной системы, и уже после этого их движение внутри Солнечной системы определяется законами

Первая космическая скорость (круговая скорость) - это минимальная скорость, при которой тело, движущееся горизонтально над поверхностью планеты, не упадёт на неё, а будет двигаться по круговой орбите (без учёта сопротивления атмосферы и вращения планеты).

Вторая космическая скорость (параболическая скорость, скорость освобождения, скорость убегания) - наименьшая скорость, которую необходимо иметь объекту, масса которого пренебрежимо мала по сравнению с массой небесного тела (например, планеты или звезды), для преодоления гравитационного притяжения этого небесного тела. Предполагается, что после приобретения телом этой скорости оно не получает негравитационного ускорения (двигатель космического аппарата выключен). Вторая космическая скорость определяется радиусом и массой небесного тела, поэтому она своя для каждого небесного тела и является его характеристикой. Для Земли вторая космическая скорость равна 11,2 км/с. Тело, имеющее около Земли такую скорость, покидает окрестности Земли и становится спутником Солнца. А вот для самого Солнца вторая космическая скорость составляет уже 617,7 км/с.

Параболическая скорость уменьшается с увеличением рас-



Рис. 1 Объекты Солнечной системы и ближнего Космоса

притяжения. Но! Как мы знаем из физических наблюдений диапазон возможностей определяется цифрой три. Именно три космические скорости определяют траектории внутри Солнечной системы. Это первая космическая скорость, которой соответствует окружность (эллипс), вторая космическая, при которой тела движутся по параболе и третья, когда тела движутся по гиперболе.

стояния от небесного объекта. Параболическую скорость у поверхности небесного объекта называют второй космической скоростью. Для Земли вторая космическая скорость равна 11,18 км/с.

Параболическая скорость на высоте 300 километров над поверхностью Земли (уровнем моря) равна 10,93 км/с, на высоте 1000 км - 6,98 км/с.

Для Солнца вторая космическая скорость равна 617,7 км/с, а параболическая скорость на расстоянии 1 астрономической единицы от нашего светила (средний радиус земной орбиты) - 42,1 км/с. Для самой большой планеты Солнечной системы (Юпитера) вторая космическая скорость равна 59,5 км/с, для наименьшей (Меркурия) - 4,2 км/с.

Параболической второй космической скоростью называется потому, что тела, имеющие скорость, в точности равную второй космической, движутся по дуге параболы относительно небесного тела. Однако, если у тела скорость чуть больше, его траектория становится гиперболической и для Солнца это означает, что тело покинет Солнечную систему; если чуть меньше - эллиптической, т.е. тело вновь вернётся к Солнцу.

Третья космическая скорость - минимальная скорость, кото-

Вот и вся наука. Если тело в условиях гравитационного воздействия Солнца и планет продолжает движение по гиперболе, то это гостевой вариант посещения, и, если ему ничто не мешает, пролетит через Солнечную систему и покинет её. Если же тело влетает в Солнечную систему и далее движется по параболе, то оно останется внутри Солнечной системы.

За всё время наблюдения за космическим пространством было зарегистрировано достаточно большое число комет и астероидов. Траектории их полета рассчитаны, и их появление в районе Земли известно с очень высокой точностью.

Но не только траектории и местоположение малых космических объектов интересно для науки. Эти знания очень важны для человека с точки зрения предсказаний будущего нашей Солнечной системы и, конечно, нашей планеты Земля. Но для науки весьма интересна ситуация вблизи этих объектов, в частности термодинамическая ситуация. Что происходит в ближайшей окрестности этих тел? Какие термодинамические и газодинамические особенности таятся на их поверхности при полёте с огромными гиперзвуковыми скоростями? На эти вопросы и даёт ответ уникальная вселенская газодинамическая лаборатория. Вопрос только в том, способен ли человек адекватно идентифицировать этот ответ. Ведь единственным идентификатором для человека, тем не менее, является только Земля. Процессы происходят на ней. Физические законы установлены в её условиях. Диапазоны параметров характерны только для неё. Итак, что мы имеем?..

Турбулентность внутри комет

Кометы - это небольшие космические тела от 16 до 40 км в поперечном измерении, которые обращаются вокруг Солнца по огибающим коническим сечением с весьма вытянутой орбитой. При приближении к Солнцу вокруг ядра кометы образуется кома и иногда хвост из газа и пыли. Благодаря хвосту эти небесные объекты и получили название комета (на греческом - "длинноволосый"). Считается, что кометы прилетают в центральную часть Солнечной системы из Облака Оорта (названо в честь голландского астронома Яна Хендрика Оорта), в котором находится огромное количество кометных ядер.



Рис. 2 Облако Оорта

Юридически необходимо сообщить находящемуся вблизи поверхности Земли телу, чтобы оно могло преодолеть гравитационное притяжение Земли и Солнца и покинуть пределы Солнечной системы.

При старте с Земли, наилучшим образом используя осевое вращение (около 0,5 км/с) и орбитальное движение планеты (почти 29,8 км/с), космический аппарат может достичь третьей космической скорости уже при ~16,6 км/с[1] относительно Земли. Для исключения влияния атмосферного сопротивления предполагается, что космический аппарат приобретает эту скорость за пределами атмосферы. Наиболее энергетически выгодный старт для достижения третьей космической скорости должен осуществляться вблизи экватора, движение объекта должно быть сонаправлено осевому вращению Земли и орбитальному движению Земли вокруг Солнца. При этом скорость движения аппарата относительно Солнца составит

$$29,8 + 16,6 + 0,5 = 46,9 \text{ км/с.}$$

Траектория аппарата, достигшего третьей космической скорости, будет частью ветви параболы, а скорость относительно Солнца будет асимптотически стремиться к нулю.

На начало 2015 г. только один космический аппарат (КА) покинул окрестности Земли с третьей космической скоростью. Наи-

большой скоростью покидания Земли обладал КА "Новые горизонты" - 16,26 км/с (гелиоцентрическая скорость 45 км/с), а благодаря гравитационному маневру у Юпитера в 2007 г. он еще прибавил 4 км/с. После окончания основной части своей миссии он покинет Солнечную систему с гелиоцентрической скоростью около 14 км/с. Аналогичным образом ускорялись и другие КА, уже покинувшие Солнечную систему (Вояджер-1, Вояджер-2, Пионер-10 и Пионер-11). Все они покидали окрестности Земли со скоростями, существенно меньшими третьей космической.

Четвёртая космическая скорость - минимально необходимая скорость тела, позволяющая преодолеть притяжение Галактики. Она зависит от расстояния от центра Галактики. По оценкам, в районе нашего Солнца четвёртая космическая скорость составляет около 550 км/с.

Скорость движения самого Солнца вокруг центра Галактики составляет примерно 217 км/с, и если бы оно двигалось примерно втрое быстрее, то со временем покинуло бы Млечный Путь. Но Солнцу и нам вместе с ним это не грозит. А вот пульсар B1508+55, удалённый от Земли на 7700 световых лет, движется со скоростью 1100 км/с, и когда-нибудь он станет "Летучим голландцем" Вселенной.

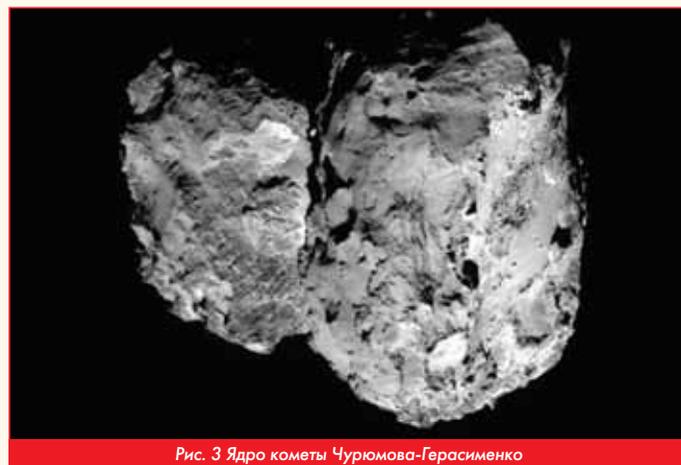


Рис. 3 Ядро кометы Чурюмова-Герасименко

Ядро окружено туманной оболочкой - комой. Это своеобразная атмосфера кометы. Яркость комет очень сильно зависит от расстояния от Солнца. Самые яркие, самые заметные кометы, которые можно увидеть невооружённым глазом, называются большими или великими кометами.

Многие короткопериодические кометы входят в так называемые семейства: семейства Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. К последнему относится знаменитая комета Галлея. Из последних обнаруженных комет следует отметить кометы Хейла-Боппа, Хякутакэ и Холмса.



Рис. 4 Кома и ядро кометы Галлея

Прусский астроном и математик Ф.В. Бессель установил сублимационную природу атмосферы комет. Он также показал, что кометы имеют два основных типа хвостов. Газовые и пылевые хвосты вследствие различной удельной массы их материи по-разному реагируют на воздействие солнечного излучения и тяготения, и поэтому имеют различную баллистику. Сублимационная природа комет определяется составом их ядра, материалом которого, как правило, является так называемый загрязнённый лёд H_2O . Он содержит летучие примеси ацетонитрил, синильную кислоту, сероуглерод и другие, преимущественно органические вещества. С приближением к Солнцу летучие вещества и лёд сублимируют, пополняя атмосферу кометы и её хвост газами и лёгкими пылинками.

Таким образом вокруг твёрдого ядра кометы формируется сложная турбулентная конфигурация. Очевидно, в непосредственной близости от ядра сублимационные потоки, выходящие в атмосферу по нормали к поверхности, являются ламинарными, подобно продуктам сгорания твёрдого ракетного топлива в РДТТ. Но потом в силу различных градиентов, порождаемых солнечным ветром и тяготением, эти потоки могут терять ламинарную устойчивость и становиться турбулентными. Кроме того, гиперзвуковая скорость полёта ядра также вносит в структуру потока свои определённые особенности.

Разная плотность газа и частиц (опять аналогия с двухфазными продуктами сгорания в РДТТ) приводит к сепарации и расслоению следа кометы и появлению двух хвостов. Под действием давления солнечного света пыль от комет уносится в противоположную от Солнца сторону, формируя изогнутый пылевой хвост.



Рис. 5 Два хвоста кометы Хейла-Боппа

Известны факты, когда хвост кометы становится обращённым в сторону Солнца - аномальный третий хвост. Этот факт можно объяснить медленным вращением ядра кометы, и вследствие этого сильным разогревом поверхности и подповерхностного вещества ядра, приводящим к выбросам, подобным выбросам вулканов и гейзеров. В таком хвосте наверняка имеются все виды турбулентности. Но ядер комет, имеющих низкую скорость вращения, крайне мало, этим и объясняется малое число наблюдений подобных событий.



Рис. 6 Кома и три хвоста кометы 2P/Энке

В августе 2006 г. астроном Макнот Роберт обнаружил комету C/2006 P1. Уже в январе-феврале 2007 г. комета Макнота стала самой яркой кометой, видимой с Земли, за последних 50 лет. Длина хвоста, состоящего из ионизированного газа кометы, составила около 224 млн км (измерение проведено космическим аппаратом "Улисс"), что намного больше пылевого хвоста, который был виден с Земли в 2007 году.



Рис. 7 Комета Макнота C/2006 P1

Астероиды

В отличие от комет, астероиды - это твёрдые тела относительно небольшого размера, движущиеся вокруг Солнца. Их называют малыми планетами. Астероиды значительно уступают по массе и размерам планетам, имеют неправильную форму и не имеют атмосферы. Астероидами считают тела с диаметром более 30 м. В настоящий момент в Солнечной системе обнаружены сотни тысяч астероидов. Большинство известных на данный момент астероидов сосредоточено в пределах пояса астероидов, расположенного между орбитами Марса и Юпитера.

Самым крупным астероидом в Солнечной системе является Церера, имеющая размер порядка 1000 км. Два других крупнейших астероида - Поллада и Веста - имеют диаметры около 500 км. Веста является единственным объектом пояса астероидов, которую можно наблюдать невооружённым глазом.

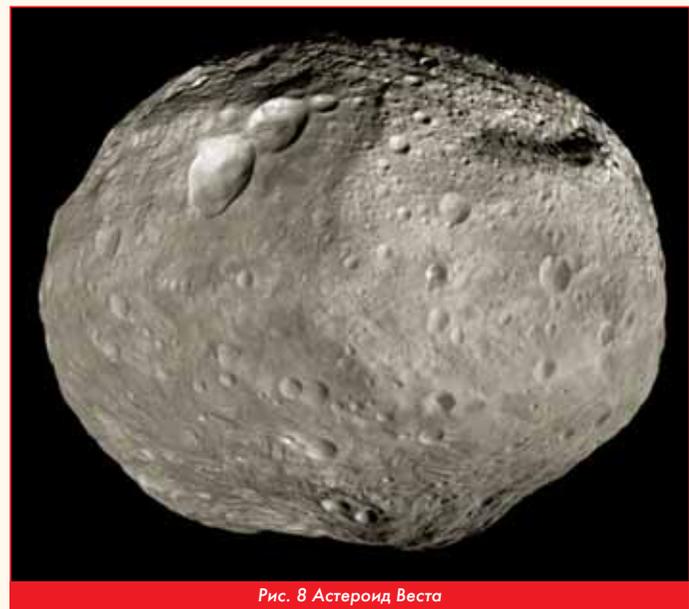


Рис. 8 Астероид Веста

Известны как минимум 150 астероидов, имеющих собственные спутники, а то и по два. Первой система астероид-спутник была открыта в 1993 г. межпланетным аппаратом "Галилео", когда он, пролетая мимо астероида Ида, обнаружил спутник, максимальный размер которого составил 1,5 км. Спутник получил название Дактиль, он вращается вокруг Иды на расстоянии порядка 100 км.

Астероиды и кометы - это остатки того вещества, из которого 4,5 млрд лет назад сформировались большие планеты. Если считать, что вся совокупность планет, вращающихся вокруг



Рис. 9 Астероид Ида и её спутник Дактиль

Солнца, - это строго упорядоченная система, то множество летающих в этой системе астероидов и комет может оказаться непричастной к ней. Ведь это образование, получившееся по остаточному принципу. Образования, не вошедшие в ту генеральную последовательность, в которой уже распределены функциональные свойства. Эти образования можно считать нестационарными членами общего мирового уровня, описывающего релаксационный процесс, который ещё не приведён к вселенскому равновесию. А значит, возможна коррекция всей системы.

Возможны ситуации пересмотра пересмотра, перезагрузки системы. Человечество называет такую возможность астероидно-кометной опасностью. Действительно, к Земле постоянно настойчиво рвутся посланцы вечности - астероиды и всевозможные кометы. Наибольшую опасность у учёных вызывает астероид Апофиз, который в 2029 году пролетит на минимальном расстоянии от Земли. И тогда уже нам будет не до турбулентности. Может произойти удар и появится новая луна. Не радует и последний анализ самых больших земных и лунных "шрамов" - кратеров. Теперь ясно, что большинство из них - результаты столкновений именно с кометами и астероидами. Но не будем, как говорится, о грустном. Будем спокойно изучать природу и свойства этих космических тел.



Рис. 10 Астероид Апофиз и представление о его вероятном столкновении с Землёй

Метеориты

Метеориты - это тела космического происхождения, упавшие на поверхность планет. И хотя в 1772 году на заседании Парижской академии наук по поводу метеоритов был вынесен вердикт: "Как известно, камней в небе нет и быть не может. А потому всякое известие о том, что они оттуда падают, заведомо ложно", камни с неба падают и современные учёные считают, что каждый год на Землю падает до 500 (другие ученые называют цифру 1000) метеоритов весом от нескольких граммов до килограмма. Например, 11 февраля 2012 г. около сотни метеоритных камней упали на площади 100 км² в одном из районов Китая. Самый крупный найденный метеорит весил 12,6 кг. Крупнейший из найденных на Земле метеоритов - Гоба. Сейчас его масса оценивается в 60 т, а была больше - после его обнаружения от него откалывали кусочки для многочисленных научных исследований, свою лепту внесли эрозия и вандалы.

Полагают, что в сутки на Землю падает 5 тонн метеоритов. Однако, из Космоса на земную поверхность выпадает гораздо больше внеземного материала, чем обычно принято думать. Космической пыли, мельчайшие частицы которой захватываются атмосферой, выпадает на Землю около одного миллиона тонн ежегодно.



Ян Хендрик Оорт

Фридрих Вильгельм Бессель

Эдмунд Галлей



Рис. 11 Метеорит Гоба

Известно, что метеориты, подлетая к Земле, имеют скорость от нескольких до десятков километров в секунду. Такая скорость при входе метеорита в атмосферу приводит к выделению на его поверхности огромного количества тепла из-за трения. Температура на поверхности метеорита достигает 5000 К. Эта температура близка к температуре на поверхности Солнца (6000 К). Некоторые метеориты не долетают до поверхности Земли, они сгорают в атмосфере, а некоторым, наиболее тугоплавким, удаётся долететь. И тогда они приносят из Космоса бесценную информацию для Человечества.

Пролетая через атмосферу планеты, метеорит испытывает на себе её газодинамическое воздействие. Возникает сложная турбулентная структура со скачками уплотнения и ударной головной волной. В силу того, что метеорит имеет практически всегда неправильную форму, и к тому же он ещё и вращается, и летит с громадной скоростью, то вокруг него возникают отрывные течения и относительные градиентные потоки.



Рис. 12 Метеорит над Байкалом

Конечно, пока эта картина ещё не представлена в виде локальных экспериментальных результатов, но совершенно очевидно, что в непосредственной близости от метеорита могут реализовываться все известные на Земле виды элементарных движений газа: колебательное, поступательное, вращательное и торсионное [2]. И как говорил герой известного фильма: "Будем искать".

Литература

1. Ю.М. Кочетков, А.И. Бажанов. Турбулентность Солнечной системы // Двигатель № 3, 2016 г.
2. Ю.М. Кочетков. Турбулентность, сжимаемость и вязкость // Двигатель № 5, 2011 г.

Связь с авторами: swgeorgiy@gmail.com