

Столкновение кометы Шумейкеров – Леви с планетой Юпитер

А. К. ШАНЕНКО, В. А. РЫЖАНСКИЙ, И. П. ПОПОВИДЧЕНКО

В настоящее время широко обсуждается возможность организации защиты Земли от опасных космических объектов. События, происходившие на Юпитере в 1994 г., способствовали лучшему пониманию масштабов возможной угрозы и дали новый импульс развитию этого научного направления.

В 1994 г. произошло уникальное явление в космологии – атака Юпитера кометой Шумейкеров–Леви 9 (SL9). Эту необычную комету открыли известные искатели и исследователи комет Каролина и Юджин Шумейкеры и Дэвид Леви. Они в ночь на 18 марта 1993 г. сфотографировали несколько участков звездного неба с помощью 46-см телескопа Шмидта. На одном из снимков в участке созвездия Девы была обнаружена эта комета, названная их именем.

В течение недели (16–22 июля 1994 г.) фрагменты кометы бомбили планету (Юпитер), распадаясь в верхних слоях атмосферы. Кинетическая энергия кометы оценивается энергией взрыва от $4 \cdot 10^{11}$ до $\sim 2 \cdot 10^{15}$ т ТНТ (от $2 \cdot 10^7$ до $\sim 10^{11}$ бомб Хиросимы). Этот случай стал первым наблюдавшимся столкновением двух небесных тел Солнечной системы.

На фотографии приводится композиция фрагментов цепочки обломков кометы, приближающихся к Юпитеру.

Феномен цепочки – это уникальное явление до сих пор с трудом воспроизводимое расчетами с использованием определенных предположений. Рядом авторов был рассмотрен возможный механизм образования цепочки фрагментов малого космического тела (МКТ). Одними было показано, что если представить ядро SL9 в виде груды «малоплотных» камней, связанных только гравитационными силами, то оно распадется на фрагменты при сближении с Юпитером.



Составное изображение Юпитера и обломков кометы Шумейкеров–Леви, собранное из снимков телескопа имени Хаббла

Затем под действием гравитации фрагменты ядра объединяются в более крупные образования. В процессе расчетов удалось воспроизвести цепочку фрагментов SL9 при условии, что «родительское» тело имело диаметр 1,5 км при плотности $0,5 \text{ г/см}^3$ и состояло из нескольких тысяч камней.

Другими авторами рассмотрен процесс распада кометы под действием аэродинамического сопротивления (АДС) [Иванов А. Г., Рыжанский В. А. Хрупкие разрушения метеороидов в атмосферах планет: Монография. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2006]. Оценки показали, что в зависимости от материала кометы для ее распада на ~ 20 частей она должна была пройти в 1992 г. через верхние слои атмосферы Юпитера на высоте $\sim 450\text{--}650$ км (за нулевой уровень отсчета была принята высота, где начинается конденсация атмосферных газов). Как показали расчеты, вторая космическая скорость для Юпитера составляет 59 км/с, поэтому рассматриваемая комета, имея скорость 60 км/с, «убегает» от гравитационного захвата даже будучи очень близко к поверхности планеты.

SL9 кометой называют по традиции, хотя определенно сказать, что это, комета или астероид, не представляется возможным. В связи с этим, расчеты проводились не только для льда, но и для других плотных и прочных материалов. Как известно, перед падением на Юпитер SL9 распалась на 20–25 частей. Предположительно, примерно за два года до падения на Юпитер при «транзитном пролете» через его атмосферу, произошел распад кометы. На основе разработанной модели были произведены оценки высоты пролета Z_0 над планетой, при которой возможна такая фрагментация, в дальнейшем приводящая к образованию цепочки.

При проведении расчетов было принято во внимание, что число фрагментов SL9, выпавших на Юпитер, составляло 25, то есть распад (согласно теории хрупкого разрушения) произошел за четыре акта. В этом случае отклонения от модели (образование на отдельных этапах не двух, а трех фрагментов) легко объясняется неоднородностью МКТ, которая, несомненно, имела место.

Размеры фрагментов, полученные экспериментально, позволяют оценить общий исходный

диаметр $D_0 \sim 7,5$ км (в сферическом приближении). Скорость принималась $V = 60$ км/с. Ранее параметры кометы вычислялись по значению кинетической энергии $U_0 = 4,2 \cdot 10^{23}$ Дж и скорости $V = 60$ км/с.

Согласно вышеупомянутой монографии значения минимальной высоты «транзитного» пролета над Юпитером Z_0 , необходимой для осуществления хрупкого разрушения, вычислялись для трех видов материалов МКТ: лед, гранит и железо. Она составила 350–370 км для льда, 200–250 км для гранита и 120–170 км для железа. Хотя, по мнению многих специалистов, SL9 не могла относиться к никель-железным телам. В расчетах средний радиус Юпитера был принят равным $R_{\text{пл}} \sim 68836$ км, плотность атмосферы рассчитывалась по формуле:

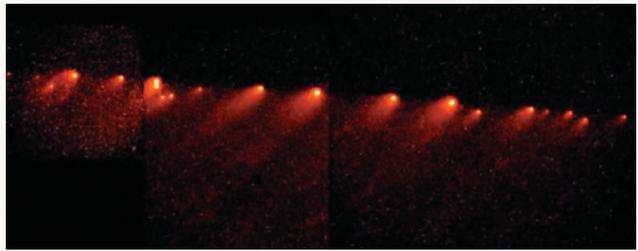
$$\rho_\alpha = \rho_0 \exp\left(\frac{Z_0}{H}\right) \exp\left(\frac{Z}{H}\right),$$

где Z_0 – минимальная высота; Z – переменная часть высоты; $\rho_0 = 1,29$ кг/м; $H = 21,86$ км.

В более поздних работах, представляющихся наиболее достоверными, диаметр родительского тела кометы (лед) был оценен в $D_0 \approx 2$ км, при той же скорости. Если принять данные МКТ с этой же массой, но в форме параллелепипеда, то его базовый размер составил бы $L_0 = 1,6$ км.

Согласно результатам расчетов значения Z_0 , как и для случая $D_0 \approx 7,5$ км, практически совпадают. Полученные данные показывают, что при «транзите» в отличие от «косого» падения на стадии сближения с планетой распад тел обеих геометрий протекает очень вяло с ничтожными угловыми и поперечными скоростями. Зато размеры тел влияют существенно. Так при $D_0 \approx 7,5$ км угловые и поперечные скорости фрагментов меньше на 1–2 порядка, а диаметр поля рассеяния в три с лишним раза меньше таковых при $D_0 \approx 2$ км.

Нетрудно оценить, что в момент последнего «свидания» с Юпитером диаметр раздробленного ядра ($2R_k$) сферической кометы с $D_0 \approx 2$ км увеличивается примерно в 12 раз, а прямоугольной – в 27 раз. Это объясняется лучшим аэродинамическим качеством сферы и ее фрагментов, обусловившим их сравнительно меньший разлет. Таким образом, на этапе удаления от планеты в пределах атмосферы реальные фрагменты даже одного родительского тела отличаются размерами (один – крупнее, другой – поменьше), геометрией (сфероидные, угловатые) и, следовательно, аэродинамическим качеством (одни будут опережать, а другие – отставать).



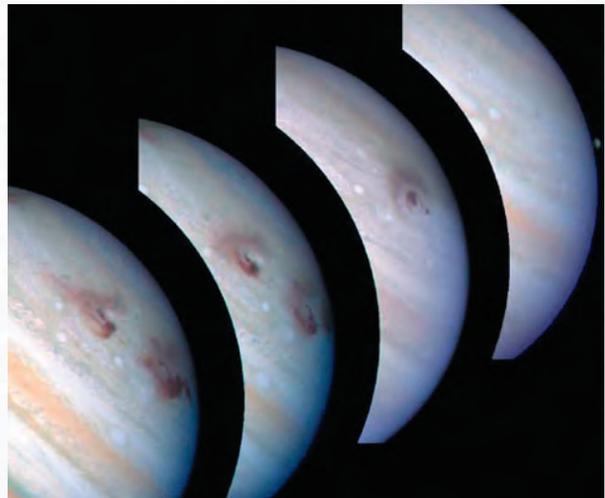
Фрагменты кометы Шумейкеров–Леви 9, известные под названием «нить жемчуга»

В результате при ничтожных скоростях разлета при «транзите» через атмосферу планеты они могут вытянуться в цепочку, вследствие чего на следующем витке орбиты подойти к Юпитеру «цугом» достаточно большой протяженности – свыше 1 млн. км (см. фото).

Во всяком случае, результаты расчетов не противоречат этому выводу. С этой точки зрения данная модель фрагментации и рассеяния кометы SL9 позволили вполне удовлетворительно описать процесс ее распада накануне уникального астрономического явления в июле 1994 г.

Необходимо отметить, что кроме рассмотренной модели разрушения, обусловленной аэродинамическим сопротивлением, рассматривались и другие. В частности, предполагалось и оценивалось воздействие приливных сил на комету, якобы попавшую в атмосферу Юпитера при «транзите». Хотя вероятность этого события значительно ниже, чем прохождение SL9 через зону Роша, минимальный радиус которой определяется соотношением:

$$a_R = 2,46 \left(\frac{\rho_{\text{сп}}}{\rho_{\text{пл}}} \right)^{1/3} R_{\text{пл}},$$



Падение кометы Шумейкеров–Леви

где $\rho_{\text{сп}}$, $\rho_{\text{пл}}$ – средние плотности спутника и планеты; $R_{\text{пл}}$ – радиус планеты.

Как известно, в этой зоне приливные силы не разрушают комету. Таким образом, на наш взгляд, основным механизмом разрушения SL9 является аэродинамическое сопротивление (АДС), приведшее к реализации картины бомбардировки Юпитера в июле 1994 г., которая представлена на фото.

Когда комета Шумейкеров–Леви 9 сталкивалась с Юпитером в 1994 г., каждый кусочек кометы поглощался обширной атмосферой Юпитера. На фото изображена последовательность снимков, на которых показано столкновение с Юпитером двух фрагментов кометы. По мере того, как фрагменты погружались в атмосферу, образовывались темные следы, которые постепенно исчезали. Под верхними облаками Юпитера находится высокотемпературный газ, да и сама планета не имеет твердой поверхности, а состоит преимущественно из газа, поэтому фрагменты кометы быстро расплавились, не успев нырнуть глубоко в атмосферу Юпитера.

Ровно через три года после падения наибольшего ядра кометы на Юпитер, 18 июля 1997 г., Юджин Шумейкер погиб в автомобильной катастрофе при лобовом столкновении его автомобиля во время путешествия супругов Шумейкеров по Северной Австралии. Профессор Юджин Шумейкер, на счету которого 32 кометы, открытые им вместе с коллегами в течение 1983–1994 гг., погиб так же, как и открытая им вместе с Каролиной и Дэвидом Леви знаменитая комета Шумейкеров–Леви 9 в результате столкновения на большой скорости с другим телом. Разница только в том, что комета погибла в далеком космосе, а один из ее первооткрывателей – на Земле. Прах выдающегося ученого Юджина Шумейкера был развеян в том же месяце, а 12 февраля 2001 г. космический аппарат «Шумейкер» осуществил посадку на астероид Ерос. Это была первая в истории науки посадка искусственного зонда на астероид.

Впервые воочию наблюдаемое человечеством столкновение космических тел такого масштаба и процессы его сопровождающие всколыхнули население Земли и научную общественность мира. Как-то стало очевидным, что, если однажды астероид столкнется с Землей и уничтожит все живое, виноваты в этом будем мы – земляне.

В дальнейшем, как следствие, последовала волна различных симпозиумов и конференций, целью которых было исследование возможности предотвращения события, аналогичного упомя-

нутому в статье. Рассматривались вопросы своевременного обнаружения опасных космических объектов, изучения их параметров (траектория и физические характеристики), тактики их перехвата и средств противодействия (включая возможный ядерный взрыв).

Так, в Снежинске в сентябре 1994 г. состоялась международная конференция по «Проблемам защиты Земли от столкновения с опасными космическими объектами». Аналогичная конференция повторилась в Америке в Лос-Аламосе.

Затем, в сентябре 1996 г. в Снежинске – международная конференция «Космическая защита Земли-96».

Во ВНИИЭФ также состоялся ряд встреч американских и российских ученых по вопросам космической опасности.

В 2013 г. в октябре в Снежинске во время Забабахинских чтений состоялась международная встреча. В ней приняли участие и ученые ВНИИЭФ. Доминирующим мотивом стало обсуждение падения в феврале 2013 г. метеорита в районе г. Челябинска (Чебаркульское явление), которое явилось реальным напоминанием о космической угрозе.

Ожидается, что в декабре 2014 г. состоится встреча-телемост между американцами и россиянами. То есть можно сказать, что все-таки на каком-то уровне ученый мир не упускает из поля зрения проблему космической опасности.

К сожалению, работы по исследованию возможности избежать столкновения нашей планеты с опасными астероидами идут вяло по причине недостаточного финансирования. А ведь наша страна не такая уж бедная, раз мы ежегодно вывозим за рубеж около ста миллиардов долларов.

Пора уже выделить какую-то сумму на исследование и создание противокосмического щита. За это когда-то, будучи представителем России в НАТО, ратовал Д. Рогозин. И слышали?

Хочется сказать, что космическая угроза «в лице» астероида Апофис на пороге. Осталось примерно 20 лет до его возможного удара по Земле.

ШАНЕНКО Аркадий Константинович –
ведущий научный сотрудник ИТМФ
РФЯЦ-ВНИИЭФ, кандидат физ.-мат. наук
РЫЖАНСКИЙ Владимир Александрович –
кандидат физ.-мат. наук

ПОПОВИДЧЕНКО Ирина Петровна –
научный сотрудник ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ