



№ 10 (53), 2010

ОКТАБРЬ

НАУКА@ТЕХНИКА

ЖУРНАЛ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ МОЛОДЕЖИ



**БРОНЕКАТАЛОГ:
СТАЛЬНЫЕ ИСПОЛИНЫ**



БИОНАНОТЕХНОЛОГИИ



**ГЛАВНЫЙ КАЛИБР
ФЮРЕРА**



**СПАСИТЕЛЬНОЕ
СТАРЕНИЕ?**



РОЛЛС-РОЙС

КОСМОС АТАКУЕТ

Мушаилов Б.Р., ГАИШ МГУ

КОСМОС АТАКУЕТ

За последнее время вблизи Земли пролетели несколько сравнительно крупных небесных тел. Сильную тревогу вызвало в 1936 г. прохождение астероида Адонис на расстоянии около 2 млн. км от Земли. А настоящую панику вызвал в 1937 г. астероид Гермес, имеющий диаметр $\approx 1,5$ км, промчавшийся лишь на расстоянии 800 тыс. км от Земли (удвоенное расстояние до Луны). Позже (в 1992 г.) большой ажиотаж был связан с приближением к Земле малой планеты Тоутатис. Астероид диаметром около полукилометра пролетел мимо Земли 19 мая 1996 г. на расстоянии всего 450 тыс. км.

Эти астероиды (за исключением последнего) были обнаружены и каталогизированы задолго до их прохождения в окрестности Земли. В настоящее время зарегистрировано уже более 6000 малых планет-астероидов, движущихся вокруг Солнца по орбитам, близким к эллиптическим. Для этих астероидов определены приближенные орбиты и введена соответствующая нумерация. Однако обнаруженных, но не зарегистрированных астероидов (орбиты которых по разным причинам не удалось определить) существенно больше.

Общее число малых планет, размеры которых превышают 1 км (тела меньших размеров иногда именуют «метеороидами»), порядка 1 млн. Значительная часть астероидов движется в плоскостях, близких к плоскостям орбит больших планет Солнечной системы, главным образом располагаясь в поясе (тороидальном кольце) между орбитами Марса и Юпитера. Внутренний край пояса (или кольца) малых планет находится на расстоянии 2,2 а.е. от Солнца, а внешний — на расстоянии 3,6 а.е. (среднее расстояние между Землей и Солнцем составляет 1 а.е. $\approx 149,6$ млн. км). Верхний предел для общей массы малых планет кольца астероидов оценивается в $1/1000$ массы Земли.

Эксцентриситеты (e) орбит для большинства малых планет составляют 0,1-0,2, но в отдельных случаях достигают 0,8. Благодаря этому некоторые астероиды проникают внутрь орбит Марса и Земли. А вот астероид Икар в перигелии оказывается в два раза ближе к Солнцу, чем Меркурий, за что он и получил свое имя.

Хотя некоторые малые планеты подходят достаточно близко к Земле, их поверхности, как правило, не могут наблюдаться из-за того, что они очень малы. Обычно они кажутся звездооб-

разными объектами. Отсюда и их название — астероиды («звездообразные»).

Астероиды, сближающиеся с Землей (АСЗ), условно можно разделить на следующие группы: астероиды группы Атона ($a < 1$ а.е., и $Q = a(1+e) \geq 1,02$ а.е.), астероиды группы Аполлона ($a \geq 1$ а.е., $q = a(1-e) \leq 1,02$ а.е.), астероиды группы Амура ($a \geq 1$ а.е.; $1,02 \text{ а.е.} < q < 1,33$ а.е.) и астероиды, для которых $a < 1$ а.е., $Q < 1,02$ а.е. (здесь q и Q — перигелийные и афелийные расстояния, соответственно). АСЗ с диаметрами $d \geq 1$ км около 1000.

К числу объектов, сближающихся с Землей, следует отнести также короткопериодические кометы¹ и крупные фрагменты метеорных потоков. При этом значительная часть так называемых АСЗ может приходиться на «угасшие» кометы, т.к. трудно объяснить наблюдаемое число объектов групп Аполлона и Амура и их орбиты (например, средние наклонения их орбит существенно больше, чем у астероидов основного пояса), если рассматривать только астероидные источники происхождения. Так, орбита «астероида» Фазтон почти совпадает с орбитой метеорного потока Геминид, что может непосредственно указывать на кометное происхождение Фазтона. Согласно некоторым оценкам, в окрестности Земли около 99% метеорных тел (с массами менее 0,1 кг) имеют кометное происхождение.

Источниками пополнения небесных объектов, сближающихся с Землей (а также метеоритов, выпадающих на Землю), являются: астероиды основного астероидного пояса (орбиты, соответствующие орбитальным резонансам с Юпитером, Сатурном, Марсом, объекты, которые могут мигрировать из занептунных поясов (пояса Койпера, облака Хиллса и Оорта).

Существование занептунного пояса было предсказано К.Эджеверсом (1949) и Дж.Койпером (1951). Пояс Койпера (или «банк Койпера») располагается на расстоянии 40-60 а.е. от Солнца. Суммарная масса тел этого пояса сопоставима (не меньше) с массой Земли. Первый объект (1992 QB1) занептунного пояса был обнаружен в 1992 г. на расстоянии в 42 а.е. от Солнца. В 1993 г. было найдено еще несколько занептунных объектов с большими полуосьями орбит $32,3 \leq a \leq 43,8$ а.е., эксцентриситетами $e \leq 0,07$ и наклонениями орбит (к плоскости эклиптики) $i < 8^\circ$.² Их диаметры лежали в интервале от 100 до 280 км. В 1996 г. было известно о существовании уже более 30 объектов пояса Койпера

с большими полуосьми орбит от 35 до 48 а.е. Эксцентриситеты орбит этих тел оказались малыми, а их диаметры составили 100-300 км. При этом некоторые из новых небесных объектов находились между орбитами планет-гигантов (1993HA2, 1994TA, 1995DW2). Из некоторых оценок следует, что диаметры наибольших объектов пояса Койпера могут достигать 1000 км.

Облако Хиллса находится на расстоянии $10^3 \leq a \leq 2 \cdot 10^4$ а.е., а облако Оорта (которое имеет форму двумерного тора) — $2 \cdot 10^4 \leq a \leq 10^5$ а.е. от Солнца. Масса облака Хиллса на два порядка может превышать массу тел облака Оорта.

При определенных предположениях за счет гравитационного влияния наиболее крупных тел занептунного пояса и гравитационного влияния планет-гигантов отдельные тела пояса Койпера за время существования Солнечной системы могли мигрировать из центральной и внешней областей этого пояса в его внутреннюю часть. А большинство тел с эксцентриситетами $e \geq 0,1$ могло мигрировать из внутренней части занептунного пояса к орбите Нептуна и далее к Солнцу. Размеры тел, которые могли, в конечном итоге, мигрировать к орбите Земли из занептунного пояса, сопоставимы с размерами Хирона $d \geq 200$ км).³ Конкретные оценки масс мигрирующего к Земле вещества из занептунного пояса зависят от распределения тел этого пояса по их массам и элементам орбит, которое в настоящее время неизвестно.

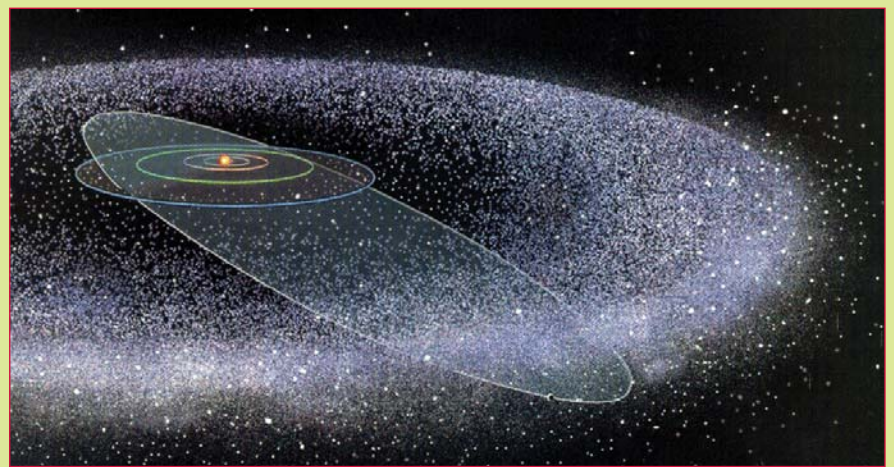
Среди тел, пришедших из зон планет-гигантов, доля тел, пересекающих орбиту Земли, на порядок больше доли небесных тел, орбиты которых только пересекают орбиту Марса. При этом время жизни астероидов, пересекающих только орбиту Марса, оценивается в ≈ 2 млрд. лет, а динамическое (до столкновения с планетой или до «выброса» на гиперболическую орбиту) время жизни астероида, пересекающего орбиту Земли, — 10-100 млн. лет.

Часть тел, мигрировавших к Земле из различных областей Солнечной системы, в дальнейшем пополняло семейство астероидов, орбиты которых почти целиком находятся внутри орбиты Земли (а некоторые орбиты — внутри орбиты Венеры). Число подобных объектов может быть велико. Эти объекты опасны тем, что приближаются к Земле со стороны Солнца, и их появление трудно прогнозировать.

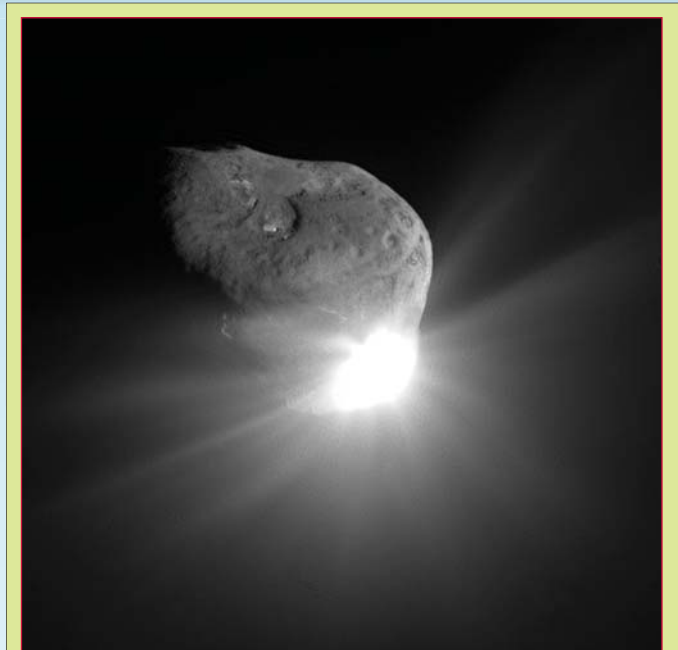
Время «активной жизни» кометы Энке ($a=2,2$ а.е., $e=0,85$, $i=12^\circ$, $Q=4,1$ а.е.) оценивается в $\approx 10^4$ лет. Поэтому для пополнения группы Аполлона только кометами требуется захват одной кометы типа Энке ($d=5,10$ км) за 10 тыс. лет.

В работе [Hahn G, Bailey M. Быстрая динамическая эволюция гигантской кометы Хирон // Nature, 1990, V. 348, P. 132] на интервале ≈ 100 тыс. лет рассматривалась эволюция орбит 83 гипотетических тел (типа Хирона), движущихся по близким начальным орбитам. Было установлено, что на исследуемых интервалах времени изменения больших полуосей достигали 20-30 а.е. В одном из вариантов расчета орбита гипотетического тела пересекала в течение 4 тыс. лет орбиту Земли. Исследование динамической эволюции орбиты Гидальго ($a=3,79$ а.е., $e=0,71$, $i=42,5^\circ$, $d \approx 50$ км) также свидетельствует о том, что оскулирующая орбита Гидальго (в течение более чем 10% времени) пересекает орбиту Земли.

Более половины из известных АСЗ с перигелиями орбит $q < 1,33$ а.е. пересекает орбиту Земли. Поэтому число астероидов, пересекающих орбиту Земли (АПОЗ), с диаметром $d \approx 1$ км оценивается в $N \approx 500$. Среднее время до столкновения АПОЗ составляет ≈ 50 млн. лет. Вероятность выброса АСЗ на гипер-



Пояс Койпера. Расстояние — 40-60 а.е. Объекты пояса Койпера могут достигать в диаметре от 100 до 1000 км. По оценкам, насчитывается 100 000 объектов более 100 км в диаметре. Вытянутая орбита — орбита Плутона

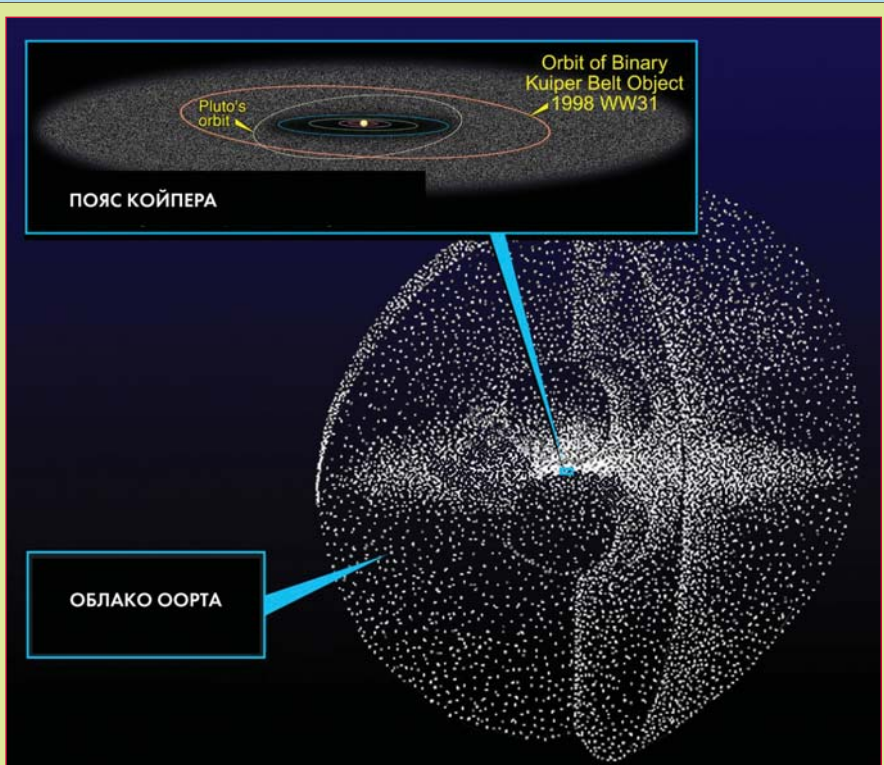


Объект из пояса Койпера. Комета Tempel 1. Снимок получен после того, как 370-кг зонд NASA врезался в поверхность кометы 2.07.2005 г.

болическую орбиту на порядок больше вероятности его столкновения с Землей. Выпадение на Землю АСЗ диаметром около 1 км может происходить в среднем чаще, чем раз в 100 тыс. лет. Перигелии или афелии орбит тел, сталкивающихся с Землей, в основном лежат вблизи орбиты Земли. При этом орбита АСЗ сильно меняется за время (от момента «выхода на орбиту» АПОЗ) до столкновения астероида с Землей.

В настоящее время известно около 10 АСЗ с диаметром $d \geq 5$ км. По современным оценкам небесные тела с такими диаметрами могут сталкиваться с Землей не реже, чем раз в 20 млн. лет. Для крупнейшего представителя популяции астероидов, приближающихся к земной орбите, 40-километрового амурца Ганимеда вероятность столкновения с Землей в ближайшие 20 млн. лет не превышает 0,0005%. Вероятность же столкновения с Землей 20-км астероида Эрос оценивается за тот же период примерно в 2,5%.

Более велика вероятность «встречи» Земли с мелкими небесными объектами. Среди астероидов, орбиты которых в результате долгопериодических возмущений планет могут пе-



Облако Оорта. Предполагаемое расстояние до внешних границ облака Оорта от Солнца составляет от 50 000 до 100 000 а. е. — почти световой год. Это составляет почти четверть расстояния до Проксимы Центавра, ближайшей звезды к Солнцу. Пояс Койпера и рассеянный диск, две другие известные области транснептуновых объектов, в тысячу раз меньше облака Оорта. Внешняя граница облака Оорта определяет гравитационную границу Солнечной системы — сферу Хилла, определяемую для Солнечной системы в 2,0 св. года

ресекают орбиту Земли, имеется не менее 200 тыс. объектов с $d \geq 100$ м. Планета Земля сталкивается с подобными телами не реже, чем раз в 5 тыс. лет, а потому на Земле каждые 100 тыс. лет образуется не менее 20 кратеров поперечником более 1 км. Ежегодно с Землей сталкиваются в среднем 2 железных или каменных тела массой более 100 т. Мелкие же астероидные осколки (глыбы метровых размеров, камни и пылевые частицы, включая и кометного происхождения) непрерывно падают на Землю ежегодно в виде десятков тысяч тонн космического вещества. Метеороидные объекты размером свыше нескольких метров могут быть обнаружены оптическими средствами на расстоянии порядка 1 млн. км от Земли. Более крупные объекты (десять и сотни метров в диаметре) могут быть обнаружены и на значительно больших расстояниях.

Геохимические и палеонтологические данные свидетельствуют о том, что примерно 65 млн. лет назад небесное тело размером 10-15 км столкнулось с Землей в северной части полуострова Юкатан (Мексика). При этом образовался кратер диаметром в 180 км. В результате произошла гибель значительного числа видов животных и растений.

Среди импактных структур, выявленных на территории России, выделяются: Попигаевская (диаметр кратера $D \approx 100$ км, возраст $T \approx 35$ млн. лет), Пучеж-Катунская ($D \approx 80$ км, $T \approx 180$ млн. лет), Карская ($D \approx 70$ км, $T \approx 70$ млн. лет).

За последнее столетие кроме Тунгусского явления (30 июня 1908 г.) наблюдалось падение на Землю крупного метеорита в Бразилии (в 1930 г.) и Сихотэ-Алинского метеорита (1947 г.). Для большинства обнаруженных на поверхности Земли метеоритов не удается определить моменты падения. Крупнейший из известных метеоритов упал в Аризоне (США) примерно 50 тыс. лет назад. Возраст каменных метеоритов различных групп колеблется

от 0,1 до 300 млн. лет. Древний возраст (несколько сотен млн. лет) обнаруживаемых на Земле железных метеоритов может быть связан с их большей прочностью и с тем, что образовавшиеся при столкновении железные осколки до их выпадения на Землю почти не дробились.

Реальной оценкой энергии Тунгусского феномена является величина ≈ 6 Мт ($E = 2,5 \cdot 10^{23}$ эрг), мощность взрыва бразильского метеорита составила 1 Мт (взрыв водородной бомбы с тротильным эквивалентом в 1 Мт), а энергия Сихотэ-Алинского метеорита оценивается в ≈ 20 кт ($8 \cdot 10^{20}$ эрг). Энергия соударения с Землей Аризонского метеорита эквивалента ≈ 250 Мт.

Учитывая эмпирическую зависимость, связывающую энергию землетрясения (E) с магнитудой (M) землетрясения по шкале Рихтера

$$\lg E = 11,8 + 1,5 M,$$

находим, что энергия Тунгусского феномена эквивалентна землетрясению с магнитудой $M = 7,7$, а для Аризонского метеорита $M = 8,8$.

Энергия сильнейшего землетрясения ($M = 12$) составляет примерно $6,3 \cdot 10^{29}$ эрг ($15 \cdot 10^6$ Мт), поэтому энергия соударения порядка 10^{30} эрг (что соответствует астероиду диаметром $d \approx 8$ км) должна приводить к катастрофе глобального масштаба с нарушением земной коры. При этом размер кратера, образующегося на поверхности Земли, составит величину около $D = 100$ км

(в этом случае глубина кратера лишь примерно в 2 раза будет меньше средней толщины $h = 35$ км земной коры).

При падении космического тела (астероида) диаметром около 10 км в океан глубиной 4-5 км возникнет «водяной» вал высотой порядка глубины океана на расстоянии около 25 км от места удара (при скорости падения тела в 20-30 км/с). При диаметре космического тела в 2 км высота вала на тех же расстояниях составит уже примерно 1 км. В случае падения метеорита диаметром всего ≈ 200 м в область океана со средней глубиной $\approx 0,6$ км (средняя глубина Балтийского моря) должна образоваться волна с начальной амплитудой около 500 м.

При распространении волны от места удара (места падения тела) амплитуда волны затухает примерно обратно пропорционально ее радиусу, но оставаясь достаточно значительной на больших расстояниях. Так, для тела диаметром 2 км высота волны составляет примерно 10 м на расстоянии до 2 тыс. км от места падения. Цунами возникают при падении в океаны и моря даже не очень крупных космических тел.⁴

Если космическое тело не является астероидом (метеоритом), а является кометным ядром, то последствия столкновения с Землей могут быть еще более катастрофическими для биосферы из-за интенсивного рассеивания кометного вещества.

За всю историю человеческой цивилизации уже наблюдалось около 2 тысяч кометных появлений. Но почти для половины из них нет сведений о точных положениях этих комет (хотя бы для трех различных моментов времени). Поэтому ничего определенного об их орбитах сказать нельзя.

Наиболее точный и полный каталог кометных орбит — каталог Марседена — за промежуток времени, равный 2065 годам, содержит сведения о 1029 кометных появлениях. Среди них только 659 различных комет: 114 являются короткопериодическими

кими, 162 — долгопериодическими, 285 — с параболическими и 98 — с гиперболическими орбитами. Эксцентриситеты гиперболических орбит комет незначительно превышают единицу (например, наибольшим эксцентриситетом $e=1,0063$ обладала комета Сандиджа — 1972IV).

Это свидетельствует о том, что эти орбиты образовались из эллиптических (с эксцентриситетами, близкими к единице) под действием гравитационных возмущений от планет, поскольку из межзвездного пространства должны были бы попадаться кометы с большими скоростями и движущиеся по резко выраженным гиперболическим орбитам. Следовательно, кометы являются членами Солнечной системы, а не пришельцами из межзвездных просторов.

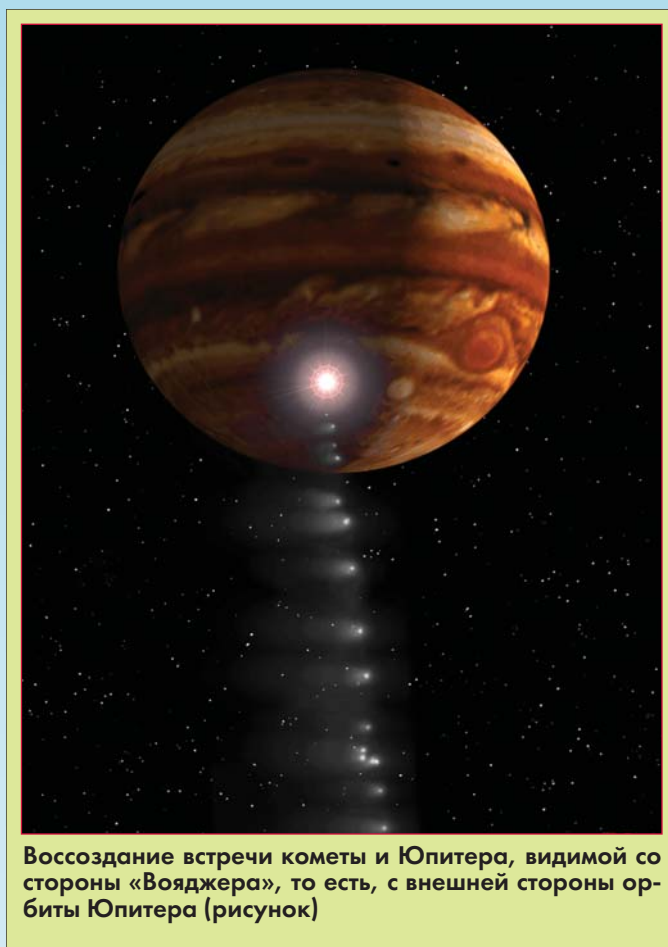
Ежегодно открываются около десятка комет, а сотни и тысячи, вероятно, остаются необнаруженными. Довольно часто — один раз в два-три года — вблизи Земли и Солнца проходит яркая комета с большим хвостом, а общее число комет, подходящих к Солнцу на перигелийные расстояния $q < 1$ а.е. (т.е. пересекающих орбиту Земли), не более пяти в год. Вероятность столкновения кометы с Землей за время жизни одного поколения (примерно 70 лет) оценивается как 6 шансов из 10 миллионов. Однако, несмотря на ничтожную малость этой величины, земляне в 1908 г., по-видимому, «вытащили выигрышный билет», когда в Сибири в бассейне реки Подкаменной Тунгуски упало небесное тело, именуемое теперь «Тунгусским феноменом». В настоящее время существуют весомые основания считать, что это небесное тело было осколком ядра кометы Энке.

Деление ядра кометы на несколько частей (фрагментов) наблюдалось многократно. Так, периодическая комета Биелы (1846II) разделилась на две части на глазах у наблюдателей в середине января 1846 г. При этом каждый из компонентов попеременно оказывался ярче другого. В марте 1976 г. яркая комета Уэста (1976VI) после тесного сближения с Солнцем распалась на четыре вторичных ядра. Причиной разрушения кометы Уэста мог стать существенный прогрев ее ледяного ядра вблизи перигелия орбиты. Это способствовало образованию многочисленных микротрещин в ядре и взрывному выходу газов из полостей в ядре. Аналогичное явление наблюдается с айсбергами в океанах, которые иногда с оглушительным взрывом рассыпаются на мелкие куски.

А комета Шумейкеров-Леви 9 в 1992 г. «имела неосторожность» сблизиться с Юпитером. В результате могучие гравитационные объятия Юпитера разнесли ядро кометы на множество осколков. Летом 1994 г. они врезались в «поверхность» Юпитера, образовав гигантские вихревые структуры, сравнимые по размерам с Землей.

«Не удержалась» и комета Галлея. После очередного прохождения перигелия в 1986 г. она, удаляясь от Солнца и находясь между орбитами Сатурна и Урана, неожиданно «вспыхнула». 12 февраля 1991 г. было обнаружено увеличение ее яркости в триста раз! Ядро кометы, состоящее из «смеси» снега, льда, замерзших газов и космической пыли и имеющее размеры $14 \times 7,5 \times 7,5$ км, по-видимому, столкнувшись с небольшим метеоритом, выбросило пылевое облако, растянувшееся на 300 тыс. км и светящееся отраженным солнечным светом. После этого комета раскололась на несколько частей (фрагментов).

В настоящее время установлена непосредственная связь между метеорными потоками и кометами (например, Галлея, Энке, Биелы), двигавшимися ранее по тем же орбитам. Метеорные тела — рой частиц, окружавших ядро кометы, — распределены по всей орбите кометы. Поскольку распад кометы есть процесс постепенный, то метеорные потоки могут существовать достаточно длительное время. Когда Земля пересекает орбиту кометы, она сталкивается с этим роем частиц, и наблюдается великолепное зрелище в виде огромного числа метеоров (иногда наблюдается до 1000 метеоров в минуту), разбегающихся



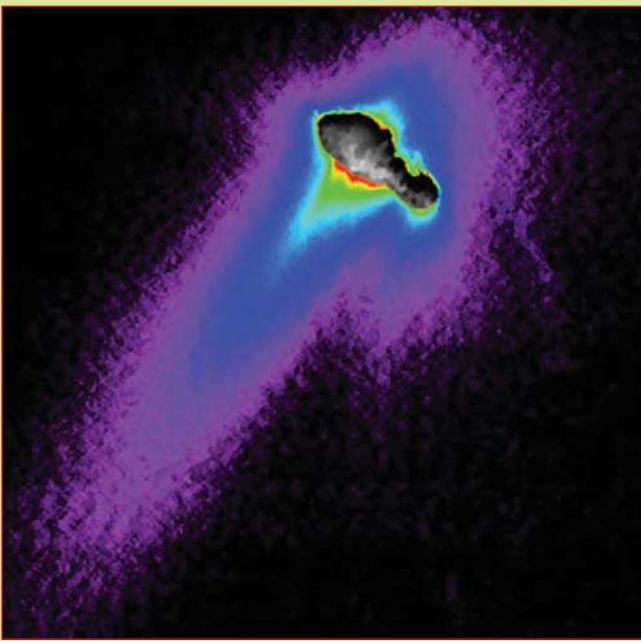
Воссоздание встречи кометы и Юпитера, видимой со стороны «Вояджера», то есть, с внешней стороны орбиты Юпитера (рисунок)

как будто из одной точки неба — радианта. Это так называемый «метеорный дождь». Возмущение орбит метеоров планетами постепенно рассеивает метеорные потоки, и в итоге возникают так называемые спорадические (случайно появляющиеся) метеоры, не относящиеся к какому-то определенному потоку.

Распределения долгопериодических комет по большим полуосям их невозмущенных орбит (т.н. первичных орбит до момента вхождения кометы в зону действия планет) группируются в области больших полуосей $2 \times 10^4 \leq a \leq 10^5$ а.е. Опираясь на этот факт, Я.Оорт в 1950 г. сделал вывод о том, что Солнечная система должна быть окружена гигантским облаком комет (т.н. «облако Оорта»), располагающимся на расстоянии до 10^5 а.е. от Солнца. Оно и является источником, из которого под действием тяготения близко проходящих звезд время от времени вырываются кометы. Те из них, которые попадают во внутреннюю область Солнечной системы, и наблюдаются как новые кометы.⁵

Однако облако Оорта, скорее всего, представляет собой лишь слабый ореол («гало»), который окружает намного более вместительное хранилище комет с числом в сотни или тысячи раз большим ($\approx 10^{13} - 10^{14}$)! Это хранилище (банк Хиллса) располагается гораздо ближе к Солнцу, на расстоянии не более $a=20000$ а.е. Внутренний банк Хиллса явно не проявляется, поскольку, в отличие от гало, кометы непосредственно из него не вырываются и, следовательно, не приходят во внутренние области Солнечной системы.⁶ Внутренний банк комет, уже более «жестко связанный» с Солнцем (более устойчивый к внешним возмущениям, обусловленным, например, прохождением вблизи него ближайших к Солнцу звезд), может быть источником, поставляющим кометные ядра в гало, откуда они и направляются в глубины Солнечной системы.

Возмущения внутреннего (более плотного, чем облако Оорта) кометного банка способны привести к резкому усилению потока в направлении к Солнцу, а следовательно, к довольно час-



В 1983 году комета IRAS-Araki-Alcock прошла на расстоянии 5 миллионов километров от Земли, самый близкий путь из всех известных комет за 200 лет. Она была замечена лишь за две недели до наибольшего приближения к Земле. Это «темная комета», так как лишь один процент ее поверхности был активен

тым столкновениям комет с Землей. «Бомбардировка» Земли кометами должна происходить не непрерывно, а относительно короткими порциями. За время существования Солнечной системы ($\approx 4,4$ млрд. лет) могло произойти около десяти кометных бомбардировок, вызванных прохождением звезд через внутренний кометный банк Хиллса. Длительность каждой такой бомбардировки в среднем в 1000 раз короче, чем промежуток времени между ними. С этими «кометными ливнями» (по некоторым оценкам, во время такого ливня за 500 тыс. лет на Землю может выпасть до 200 комет!) может быть связано вымирание некоторых биологических видов и массовое возникновение кратеров на Земле (значительное уменьшение прозрачности земной атмосферы за счет «кометной бомбардировки» может приводить к вымиранию сначала простейших, а затем более сложных видов, в частности, динозавров).⁷

Некоторые современные исследования свидетельствуют о том, что вымирание отдельных биологических видов, а также массовое появление кратеров на Земле в среднем происходило с одной и той же периодичностью примерно в 26 млн. лет. Причиной подобных событий могли быть интенсивные бомбардировки поверхности Земли кометными ливнями, а периодичность связана с повторяющимися с интервалом около 30 млн. лет прохождениями Солнца через галактическую плоскость. Массивные облака пыли и газа, сосредоточенные в плоскости Галактики, должны приводить к сильным возмущениям кометного банка, вызывая появление кометных ливней.

Возможно, однако, и иное объяснение, если предположить, что наше Солнце является не одиночной звездой, а компонентом двойной системы, тем более что кратные системы достаточно распространены в звездном мире. Спутница Солнца (уже названная в честь древнегреческой богини возмездия Немезидой) могла бы представлять собой небольшую «невидимую звезду» (т.н. черный карлик — практически несамосветящийся объект типа планеты), массой в несколько сотых долей (или еще меньше) массы Солнца. Обращаясь относительно Солнца (центра масс системы) по сильно вытянутой эллиптической орбите с периодом в 26 млн. лет, в перигелии своей орбиты эта звезда,

приближаясь достаточно близко к Солнцу (на расстояние порядка тысячи астрономических единиц), вызвала бы обильные кометные ливни.

Периоду обращения этой звезды по эллиптической орбите $T=26$ млн. лет соответствует, согласно 3-му закону Кеплера, большая полуось орбиты, равная $a=8,8 \cdot 10^4$ а.е. Учитывая, что последняя «кометная активность» (вызвавшая очередное исчезновение некоторых биологических видов) произошла около 11 млн. лет назад (что составляет почти половину периода T), спутница Солнца должна сейчас находиться вблизи наиболее удаленной от Солнца точки орбиты (афелия), что и не позволяет обнаружить ее в настоящее время.

Таким образом, кометно-астероидная опасность представляет собой реальную угрозу для значительного числа биологических видов организмов, находящихся на Земле. Падение на Землю небесных тел (астероидов или комет) с диаметрами $d \geq 5$ км способно вызвать катастрофу глобального масштаба (характерное время выпадения на Землю подобных объектов $T=20-30$ млн. лет), а при $0,5 < d < 1$ км ($T=10-100$ тыс. лет) — разрушения регионального масштаба. Небесные объекты меньших размеров могут вызвать локальные повреждения на поверхности Земли. При этом масштабы повреждений (поражений) существенно зависят от степени заселенности местности, в которой произойдет падение небесного тела.

В настоящее время ввиду отсутствия достаточной информации о распространенности различных объектов в Солнечной системе (особенно небесных тел размерами десятки и сотни метров, которые могут представлять опасность при их падении на Землю), а также неэффективности ныне возможных (обсуждаемых) методов отклонения объектов, падение которых на Землю способно вызвать глобальную катастрофу (ударное воздействие, доставка на поверхность объекта ракетных двигателей большой и малой тяги, использование солнечных парусов и т.п.), для разрешения проблемы предотвращения столкновений небесных тел с Землей необходимо проведение дальнейших исследований.



1) Хотя кометы подобно астероидам движутся вокруг Солнца, они существенно отличаются от них по химическому составу; кометы интенсивно рассеивают солнечный свет и поэтому, несмотря на малые размеры их ядер, они часто видны невооруженным глазом.

2) Обнаруженные на расстоянии от 32 до 35 а.е. от Солнца объекты астероидного типа, по-видимому, движутся в окрестности устойчивых треугольных точек либрации Нептуна и являются «троянскими астероидами» семейства Нептуна.

3) В настоящее время считается, что Хирон ($a=13,7$ а.е., $e=0,38$, $i=6,9^\circ$) был «захвачен» из занептунного пояса.

4) При определении степени кометно-астероидной опасности необходимы оценки последствий по различным факторам — световое излучение, ударные волны, загрязнение атмосферы пылью и аэрозолями и т.п. Выброс соленой воды морей и океанов (в результате падения космического тела) на высоты порядка 20-30 км может приводить к сложным физико-химическим процессам (возможно, к разрушению озонового слоя и другим необратимым последствиям) в атмосфере Земли.

5) Под влиянием возмущений от близко проходящих звезд кометы облака Оорта могут направляться как в межзвездное пространство за пределы Солнечной системы, так и по направлению к Солнцу — во внутренние области Солнечной системы, образуя долгопериодические кометы. При этом ориентация орбит комет не должна иметь какого-либо привилегированного положения относительно плоскости эклиптики, что на самом деле и наблюдается.

6) Если число кометных ядер в банке Хиллса достаточно велико (ок. 10^{14}), то на пределе чувствительности современной аппаратуры в принципе можно наблюдать тепловое излучение заключенных в нем кометных ядер.

7) Однако не исключено, что кометные ливни, «высыпавшие» на Землю большое количество вещества (в частности, органические молекулы), способны были дать начало органической жизни на Земле.