

01;03;04;05;06

Опасность взрыва Каллисто и приоритетность космических миссий

© Э.М. Дробышевский

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Поступило в Редакцию 14 января 1999 г.)

Лед — проводник протонного типа, что было многократно доказано экспериментами по его электролизу. Загрязненные льды, составляющие толстые ($\sim 10^3$ km) оболочки некоторых удаленных луноподобных тел (ЛПТ), подвергаются объемному электролизу токами, возбуждаемыми движением ЛПТ в космических магнитных полях (так, Вояджер-1 измерил ток силой $\sim 10^7$ А, текущий через спутник Юпитера Ио и его окрестности). Накопление во льду продуктов электролиза в количестве 10–15 wt% делает такой твердый раствор способным к детонации. Глобальные взрывы оболочек ЛПТ объясняют происхождение и известные свойства многих астероидов, короткопериодических комет, малых спутников и колец планет, возникновение атмосферы Титана, различия Галилеевых спутников Юпитера и т.д. Многие предсказания, сделанные на этой основе, уже подтвердились, другие ждут своей проверки. По всем признакам только льды четвертого Галилеева спутника Каллисто пока не взрывались. Если они взорвутся, Земля подвергнется массивной бомбардировке кометными ядрами. В среднем раз в 60 лет она будет создавать "ядерную зиму". Отсюда следует, что исследованиям Каллисто *in situ* с целью определения степени насыщения ее льдов продуктами электролиза должен быть придан наибольший приоритет.

Две исследовательских стратегии и две космогонии Солнечной системы

Исследование новых явлений можно разделить на два этапа: 1) экстенсивный (пассивный), когда, не имея каких-либо ведущих идей, проводят простые наблюдения и сбор самых разных фактов, пытаясь как-то увязать их между собой, и 2) интенсивный (активный), когда уже есть некая рабочая гипотеза и на ее основе ведется поиск предсказанных связей и явлений с целью ее уточнения и подтверждения. Все новые факты, получаемые в последние десятилетия в процессе исследований *in situ* тел Солнечной системы, оказываются "неожиданными", "загадочными" и т.п. Это говорит о том, что мы пребываем здесь на первом этапе исследований и что двухвековая "очевидная", но наивная канто-лапласовская парадигма происхождения Солнечной системы и ее тел из обширного газопылевого диска, окружавшего Солнце, парадигма, которой до сих пор руководствуются при планировании космических миссий, неверна в своей основе. Действительно, она была создана *ad hoc* для объяснения возникновения только нашей системы и в те времена в принципе не могла основываться на знании происхождения и эволюции звезд и их систем, на газодинамике и т.п. Вот почему ни одно из ее предсказаний не оправдалось и она не может объяснить множество старых и новых фактов без привлечения дополнительных гипотез.

Новая планетная космогония основана на современном понимании возникновения и эволюции кратных звезд, каковыми являются почти все звезды. Она считает, что планетные системы возникают в них как побочный продукт их эволюции или же являются предельным случаем тесных двойных, образующихся в результате ротационно-обменного распада плотной быстровращающейся протозвезды — последнего продукта много-

стадийной фрагментации исходного газопылевого облака вследствие наличия у него стандартного избытка углового момента [1,2]. Этот подход, давая короткую ($\sim 10^4$ – 10^5 лет) временную шкалу образования планет внутри очень плотного быстровращающегося прото-Юпитера, масса которого из-за перетекания на Солнце быстро падала от $\sim 1M_{\odot}$ до $0.001M_{\odot}$, и который поэтому терял образующиеся в нем планеты, непротиворечиво объясняет все известные факты. Недавнее открытие С. Тереби и др. с помощью Хаббловского телескопа (NASA Press Release 98-19) планеты-гиганта, выброшенной из новорожденной тесной двойной системы, говорит в пользу новой космогонии и подтверждает одно из ее многочисленных предсказаний (см. стадию 5 на рис. 1 в [2]). Проверяемым предсказанием является также наличие на не слишком далекой (50–3000 AU) периферии Солнечной системы совместного плането-кометного облака — основного источника долгопериодических (LP) комет (с периодом > 200 лет), содержащего до ~ 10 – 100 еще не открытых ЛПТ типа Плутона и более крупных [2,3]. Другим важным следствием является создание совершенно новой космогонии малых тел Солнечной системы. В свою очередь из нее вытекают следствия, возможно, весьма важные для будущего всего человечества. Этот подход сразу выводит исследование тел Солнечной системы на второй — активный этап.

Классическая кометная космогония. Старые и новые проблемы

Стандартно в рамках канто-лапласовской гипотезы малые тела — астероиды, кометы, троянцы, малые спутники и кольца планет считаются строительным мусором, оставшимся со времен формирования планет. Как след-

ствие, в них не может быть источников энергии, кроме незначительных (карманов газа, ad hoc допускаемого аморфного льда, способного медленно кристаллизоваться и т.п.). Считается, что созданные первоначально резервуары комет и других малых тел практически не пополняются, а лишь истощаются со временем. Традиционный сценарий активности комет предполагает сублимацию их грязных льдов под действием излучения Солнца с последующим фотолизом истекающих паров. Поначалу такая ледяная модель Всехсвятского–Уиппла была крупным шагом в понимании комет. Однако при более внимательном рассмотрении в этой картине выявляется множество несоответствий. Перечислим самые существенные.

1) Сильное разнообразие в проявлениях разных комет. Оно не может быть приписано только их возрасту. Оно непонятно, если постулировать конденсацию ядер в хорошо перемешанной, сильно турбулизованной среде, каким должен быть газ в околосолнечном диске.

2) Старой проблемой является гораздо большая жизнь так называемых "родительских" молекул (по идее, никто не знает, каковы они на самом деле) в поле Солнечного излучения при лабораторном моделировании по сравнению с наблюдениями.

3) Не ясны причины вспышечной активности комет. Она коррелирует с Солнечной активностью и наблюдается на расстояниях до 10 AU и более, где водяной лед не сублимирует.

4) Довольно часто вспышки ведут к распаду ядра на km фрагменты, расходящиеся со скоростью 1–10 m/s, что требует большой энергии.

Многочисленные попытки решения этих проблем имеют отчетливые признаки гипотез ad hoc и нередко пренебрегают не только другими фактами, но даже законами сохранения. Явного успеха ни одна из таких попыток не имела.

Пролет армады космических аппаратов вблизи ядра кометы P/Halley в 1986 г. и недавнее прохождение ядра P/Shoemaker-Levy 9 вблизи Юпитера, его распад и выпадение осколков на Юпитер добавили много новых фактов, не находящихся простого объяснения в традиционных рамках. Перечислим основные.

P/Halley: 1) струи запыленных паров истекают из пятен составляющих < 10% площади освещенной поверхности, тогда как для сублимации этих паров необходима энергия, падающая от Солнца на 40% поверхности; неожиданно высокая (≈ 400 K) для льда температура неожиданно темной поверхности ядра; 2) чем ближе к ядру (измерения до 700 km), тем больше концентрация и температура радикалов, а также положительных, отрицательных и тяжелой органики ионов; 3) присутствие крайне активного атомарного углерода и его ионов в околоядерной области; 4) большой избыток CO над CO₂ в окрестности ядра; 5) обнаружение многочисленных субмикронных CHON частиц, неустойчивых в поле солнечной радиации; 6) случай практически мгновенного (за 9 min) испарения $4 \cdot 10^8$ kg водяного льда; 7) далекая

(при 14.3 AU) (двойная?) вспышка, коррелирующая с переходом через секторную границу солнечного ветра.

P/Shoemaker-Levy 9: 1) распад ядра на 21 фрагмент; 2) события распада происходили спустя недели и даже месяцы после прохождения ядром предела Роша Юпитера, что нельзя объяснить только приливным действием Юпитера; 3) при распаде крупные фрагменты получали относительные скорости до 1 m/s; 4) гораздо большая относительная скорость пыли по сравнению со скоростью крупных фрагментов; 5) практическое отсутствие следов воды в SL-9 на момент ее открытия через девять месяцев после прохождения перииовия; 6) локальный избыток Li в одной части ядра SL-9, именно во фрагменте L.

К этим примерам можно добавить классические рекуррентные вспышки P/Schwassmann-Wachmann 1 за Юпитером, коррелированные с солнечной активностью, и необъяснимое присутствие CO⁺ в ней, а также открытие кометной активности далекого Хирона с обнаружением там CN.

Галилеевы спутники, Титан и новая эруптивная космогония (НЭК) малых тел

Из новой космогонии Солнечной системы следует, что все Галилеевы спутники, которые являются последними (и поэтому непотерянными) планетами, сформированными в прото-Юпитере, должны иметь сходный состав. Это не так. Заметим, что различия спутников не находят объяснения и с позиций старой космогонии.

Тщательное изучение причин различий выявило, что за них может быть ответственна детонация грязных льдов, составлявших исходно толстые (толщиной ~ 700 – 800 km при радиусе тела ≈ 2500 km) оболочки спутников и насыщенных до ~ 10 – 15 wt% продуктами их объемного электролиза — $2\text{H}_2 + \text{O}_2$. Электролиз твердого льда — проводника протонного типа — хорошо понимаемый и изученный процесс [4,5]. В оболочках из грязного льда он происходит на границах многочисленных достаточно крупных минеральных включений, имеющих электронный или дырочный тип проводимости. Необходимый электрический ток генерируется движением ЛПТ в магнитном поле планет или солнечного ветра. Благодаря высокому давлению $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ не выделяется в виде газа, а накапливается в виде твердого раствора во льду и перераспределяется твердотельной конвекцией по объему оболочки.

Взрыв имевшей спутника ледяной плутоноподобной планетки между Марсом и Юпитером примерно 3.9 Вуг назад породил, по-видимому, астероиды Главного пояса [6,7] и вместе с последующей столкновительной эволюцией объясняет все известные их свойства. Он дает источник для массивированной Имбрийской бомбардировки Луны, а также позволяет оценить интенсивность солнечного ветра в то время ($\sim 2 \cdot 10^{-11} M_{\odot}/yr$, в согласии с более поздними оценками других авторов).

Вследствие трех глобальных взрывов оболочки Ио потеряла все свои льды. Европа испытала два взрыва, а Ганимед — один (по-видимому, 570 Муг назад на границе Криптозоы и Фанерозоя, которая датирует грандиозную геологическую катастрофу). Льды Каллисто пока не взрывались [8]. Всем этим и объясняются различия спутников и, в частности, совершенно разная топография Ганимеда и Каллисто. Поверхность последнего самая кратерированная в Солнечной системе, но распределение кратеров по размерам сильно отличается от такового для Луны или Меркурия. На Ганимеде два типа поверхностей с разной степенью кратерированности, но вопреки ожидания (с учетом фокусирующего действия Юпитера) степень кратерированности здесь меньше, чем на Каллисто (подробнее о других деталях, объясняемых взрывами, см. [9,10]).

Возникновение колец Сатурна, атмосферы Титана и некоторых комет обязано недавнему взрыву ледяной оболочки этого спутника. Действительно, распределение LP комет семейства Сатурна (минимальные расстояния между орбитами кометы и Сатурна $\Delta \leq 2 \text{ AU}$) по Δ имеет острый пик при $\Delta \leq 0.5 \text{ AU}$ (радиус сферы Хилла Сатурна = 0.57 AU). Подобного пика нет у LP комет семейства Юпитера [11]. Если принять во внимание значительный эксцентриситет орбиты Сатурна ($e = 0.056$) и то, что ее большая ось делает один оборот за $P = 47000 \text{ уг}$, можно считать, что столь узкий пик распределения сохранится, если его возраст $\leq P/4 \approx 10^4 \text{ уг}$ [12,13]. В противном случае некоторые кометы окажутся за пределом $\Delta = 0.5 \text{ AU}$. Интересно, что для более ярких (=более молодых) комет эффект концентрации при $\Delta < 0.5 \text{ AU}$ еще более усиливается [14].

В предположении взрыва Титана нами до подлета к нему Вояджера были сделаны предсказания наличия двух населений (см и km размеров) в кольцах, присутствия HCN, N₂, CO и CO₂ — продуктов взрыва грязных льдов в атмосфере Титана (до того было известно наличие метана), а также действительного радиуса его твердой оболочки [12]. Они были подтверждены. Предсказания довольно тонкой ледяной с легкой органикой коры (1–10 km) на глубоким (~ 700 km) жидком океане, избыточного теплого потока вследствие замерзания океана и подобия все еще формирующейся поверхностной топографии Титана топографии Ганимеда, уже снова промерзшего после взрыва оболочки, ждут своего подтверждения.

Из сказанного вытекает, что содержащие ~ 10% органики и хондритную минеральную матрицу (~ 10%) осколки самых внешних слоев взрывающихся ледяных оболочек ЛПТ также должны быть насыщены 2H₂ + O₂ до концентрации, близкой к необходимой для горения или детонации. Естественно предположить, что это — ядра короткопериодических (SP) комет. Таким образом, они несут мощный внутренний источник химической энергии, который может быть активирован излучением Солнца или электрическим током.

Первый случай реализуется, когда продукты сублимации, содержащие легкую органику и 2H₂ + O₂, освещаются солнечным светом. Он инициирует обычное горение, которое по струям паров способно проникнуть в богатые 2H₂ + O₂ места во льду ядра.

Второй случай имеет место, когда ядро летит в сильном околопланетном магнитном поле (случай SL-9) или пересекает несущие ток зоны между секторами солнечного ветра. Здесь электрические токи текут вдоль газовых струй, ионизованных горением, в ядро, где они способны поджечь обогащенные 2H₂ + O₂ области, включая даже такие, которые не сообщаются с поверхностью.

Весь комплекс процессов горения, его внезапных вспышек и даже детонации в одних местах и тления в других, исходной причиной которых является наличие растворенных во льду продуктов электролиза, легко объясняет все разнообразные и загадочные проявления комет, упомянутые выше. Действительно, присутствие различных (горячих) ионов и радикалов вблизи ядра, так же как атомарного и молекулярного (C₂, C₃) углерода (сажи), высокое CO/CO₂ отношение, CHON частицы (дым) и т.д. сразу объясняются горением в продуктах сублимации при недостатке окислителя [15]. Отсутствие воды во фрагментах SL-9 может быть вызвано выгоранием летучих на момент открытия кометы, тогда как обнаружение Li в одной части ядра можно приписать только геохимической дифференциации в оболочке родительской планеты [16].

Возникновение вспышек, зачастую приводящих к распаду ядра, также очевидным образом обусловлено инициацией горения или даже детонации в таких энергетизированных льдах.

Если основываться на развитых выше представлениях, довольно легко дать непротиворечивое объяснение и другим проявлениям комет.

Открытие S₂ в коме некоторых комет [17], отношение концентраций испускаемых ядром орто/пара молекул воды, характерное для 25–50 K [18], и довольно широко бытующее мнение о низкой плотности ядер (0.2–0.3 g/cm³) часто трактуются в пользу конденсационной космогонии комет. Нетрудно видеть, что два первых фактора как раз просто объясняются горением с быстрым расширением его продуктов в вакуум. Оценки малой плотности основаны на расчетах реактивного действия истекающего вещества на ядро при известном темпе потери массы им. Результаты оценок зависят от принятой модели. В опубликованных работах (например, [19]) не учтен струйный характер реального истечения (из газовой динамики известно, что струя дает больший импульс, чем истечение с поверхности), а также, как следствие, его газодинамический, а не свободномолекулярный в данном случае характер. Естественно, не принято во внимание более высокое начальное теплосодержание продуктов горения (бралась температура сублимирующего льда — всего лишь ≈ 200 K). Учет указанных факторов поднимает плотность ядра до 1–1.5 g/cm³.

Малые осколки, остающиеся от взрыва большого ледяного фрагмента, насыщенного $2\text{H}_2 + \text{O}_2$, способны получить скорость до 5 km/s . Именно так могли быть захвачены на свои орбиты спутники Марса, иррегулярные спутники Юпитера, троянцы. Такой подход объясняет их известные свойства и дает предсказания для проверки (например, наличие льдов в некоторых троянцах и в Деймосе и их отсутствие в Фобосе, выход некоторых комет из троянского резервуара и т.д.) [20,21].

Последствия возможного взрыва Каллисто для Земли

Судя по всему, оболочка Каллисто пока не взрывалась. Назовем главные последствия ее возможного взрыва [9,10].

1) Потеря $\sim 15\% \approx 1.6 \cdot 10^{25} \text{ g}$ массы, в основном пары воды, пиролизованной органики, песка и камней — минеральной хондритной компоненты, исходно содержащейся в грязном льде, а также, что наиболее существенно, невзорвавшихся осколков самых внешних слоев оболочки. Их размер может достигать нескольких десятков км. Их лед также насыщен $2\text{H}_2 + \text{O}_2$, что делает его способным к дальнейшим взрывам или горению. Это типичные ядра SP комет.

2) За год-два сфера действия Юпитера превратится в светило размеров $\sim 15^\circ$, освещающее Землю рассеянным светом в ~ 60 раз сильнее полной Луны.

3) Столкновение ледяных осколков вызывают их новые взрывы, так что вторичные осколки общей массой $\sim 10^{24} \text{ g}$, получившие дополнительное приращение скорости, способны покинуть сферу действия Юпитера, выйдя на гелиоцентрические орбиты SP комет. При распределении по размерам, характерном для астероидов Главного пояса, число таких ядер с $\varnothing > 300 \text{ m}$ составит $\sim 10^9$.

4) Через 10–30 лет распространившаяся вдоль орбиты Юпитера ледяная и минеральная пыль будет освещать Землю в ~ 2 –3 тыс. раз сильнее полной Луны.

5) Через несколько десятков лет начнется массивная бомбардировка Земли SP кометами. Она будет длиться 10^4 – 10^5 лет. Из существующей статистики известно, что средняя вероятность выпадения на Землю SP кометы семейства Юпитера составляет $\sim 0.45 \cdot 10^{-9}$ в год при скорости удара $\approx 29 \text{ km/s}$ [9,22]. Отсюда следует, что ежедневно на Землю будет выпадать осколок, при ударе которого освобождается энергия $\geq 1 \text{ Mt TNT}$, ежегодно — $\geq 10^3 \text{ Mt TNT}$, раз в 60 лет — $\geq 10^5 \text{ Mt TNT}$. Удар такой силы выбрасывает в атмосферу столько пыли, что вызывает ядерную зиму [9,10].

Основные выводы

1. Малые тела в своей массе не являются остатками со времен образования Солнечной системы. Они являются продуктом последующей взрывной и/или столкновительной эволюции (ледяных) луноподобных (плутоноподобных) планет. Только новая эруптивная космогония

(НЭК) малых тел, в основе которой лежит физически достаточно надежная гипотеза о возможности объемного электролиза льдов, предлагает как простое объяснение всех известных высокоэнергетических проявлений SP комет и свойств других малых тел (астероидов, троянцев, спутников планет), так и многочисленные предсказания, относящиеся к свойствам этих и связанных с ними тел.

Многие из предсказаний уже подтверждены, другие ждут проверки. За полтора десятилетия существования НЭК не встретила сколь-нибудь обоснованных возражений. Ее широкому признанию препятствуют, похоже, только психологические моменты. Немногочисленная критика (например, [23]) апеллирует к эмоциям и основана или на невнимательном прочтении работ по НЭК, или же нежелании изучить лежащие в ее основе элементы электрохимии, газодинамики и МГД, физики горения и взрыва и т.п. [24].

2. НЭК объясняет свойства Титана и известные различия Галилеевых спутников. Она выделяет Каллисто с его невзорвавшейся ледяной оболочкой как потенциально опасный для Земли объект. Из сказанного выше следует, что в случае взрыва эта бомбардировка будет самой сильной после Имбрийских событий 3.9 Вуг назад. Атмосфера Земли будет отравлена, а ее поверхность буквально перепахана на глубину в сотни метров. Известных земных ресурсов недостаточно для предотвращения такой бомбардировки. Произойдет самое массовое вымирание биоты за всю историю Земли. Не составит исключения вид *Homo Sapiens*.

3. Основной далеко идущий практический вывод из НЭК — это необходимость организации целенаправленной космической программы второго поколения для исследований тел Солнечной системы. Ее главной целью должно стать выяснение степени реальной опасности со стороны Каллисто. Программа распадается на два этапа: а) проверка справедливости НЭК путем исследования *in situ* ядер SP на предмет открытия растворенного в их льдах молекулярного O_2 и, как следствие, горения в струях и источниках истекающего вещества; б) *in situ* исследование льдов Каллисто с целью определения степени их насыщения продуктами электролиза.

Россия, которая обладает всеми ресурсами и развитыми космическими технологиями, могла бы, оставаясь в рамках своих многовековых традиций, объявить на пороге III тысячелетия своей национальной идеей защиту и спасение Земной цивилизации от возможной опасности и выступить с соответствующими инициативами на международной арене. Предложенная выше программа, преследуя ясно очерченную крупномасштабную цель, затрагивающую интересы каждого, могла бы объединить усилия всех космических держав как в оценке потенциальной угрозы человечеству, так и в достижении понимания действительных путей возникновения и эволюции тел Солнечной системы, что облегчило бы их будущее освоение. В качестве первого простейшего шага было бы полезно при организации уже планируемых миссий к малым телам и спутникам планет учитывать следствия из НЭК и ее рекомендации.

Список литературы

- [1] *Drobyshevski E.M.* // Nature. 1974. Vol. 250. P. 35–36.
- [2] *Drobyshevski E.M.* // Astron. Astrophys. Trans. 1996. Vol. 10. P. 211–217.
- [3] *Drobyshevski E.M.* // Moon Planets. 1978. Vol. 18. P. 145–194.
- [4] *Decroli J.C., Granicher H., Jaccard C.* // Helv. Phys. Acta. 1957. Vol. 30. P. 465–469.
- [5] *Drobyshevski E.M., Chesnakov V.A., Sinitsyn V.V.* // Adv. Space Res. 1995. Vol. 16. N 2. P. 73–84.
- [6] *Drobyshevski E.M.* // Moon Planets. 1980. Vol. 23. P. 339–344.
- [7] *Drobyshevski E.M.* // Astron. Astrophys. Trans. 1997. Vol. 12. P. 327–331.
- [8] *Drobyshevski E.M.* // Moon Planets. 1980. Vol. 23. P. 483–491.
- [9] *Drobyshevski E.M.* // Earth, Moon & Planets. 1989. Vol. 44. P. 7–23.
- [10] *Дробышевский Э.М.* // Проект "Каллисто". Экспресс-информация № 2-89. Л.: изд-во АН СССР, 1989. С. 24.
- [11] *Konopleva V.P.* // Cometary Exploration /Ed. T.I. Gambosi. Budapest, 1982. Vol. I. P. 13–19.
- [12] *Drobyshevski E.M.* The history of Titan, of Saturn's Rings and Magnetic Field, and the Nature of Short-period Comets. Preprint PhТI-674. Leningrad, 1980.
- [13] *Drobyshevski E.M.* // Moon Planets. 1981. Vol. 24. P. 13–45.
- [14] *Drobyshevski E.M.* // Evolution & Source Regions of Asteroids & Comets (IAU Coll. 173) / Ed. E.M. Pittich, H. Rickman, J. Svoreň. 1998.
- [15] *Drobyshevski E.M.* // Earth, Moon & Planets. 1988. Vol. 43. P. 87–99.
- [16] *Drobyshevski E.M.* // Astron. Astrophys. Trans. 1997. Vol. 13. P. 215–224.
- [17] *A'Hearn M.F., Feldman P.D., Schleicher D.G.* // Ap. J. 1983. Vol. 274. P. L99–L103.
- [18] *Mumma M.J., Blass W.E., Weaver H.A., Larson H.P.* // Bull. Amer. Astron. Soc. 1988. Vol. 20. P. 286.
- [19] *Rickman H.* // Adv. Space Rev. 1989. Vol. 9(3). P. 59–71.
- [20] *Agafonova I.I., Drobyshevski E.M.* // Earth, Moon & Planets. 1985. Vol. 33. P. 1–17. P. 111–132.
- [21] *Drobyshevski E.M.* // Earth, Moon & Planets. 1988. Vol. 40. P. 1–19.
- [22] *Olsson-Steel D.* // Mon. Not. R. Astr. Soc. 1987. Vol. 227. P. 501–524.
- [23] *Цицин Ф.А., Чепурова В.М., Генкин И.Л.* // Астрон. вестник. 1993. Т. 27. № 6. С. 55–67.
- [24] *Дробышевский Э.М.* // Астрон. вестник. 1995. Т. 29. № 6. С. 572–573.