

Современные проблемы физики

Проф. Горькавый Николай Николаевич

Вводная лекция

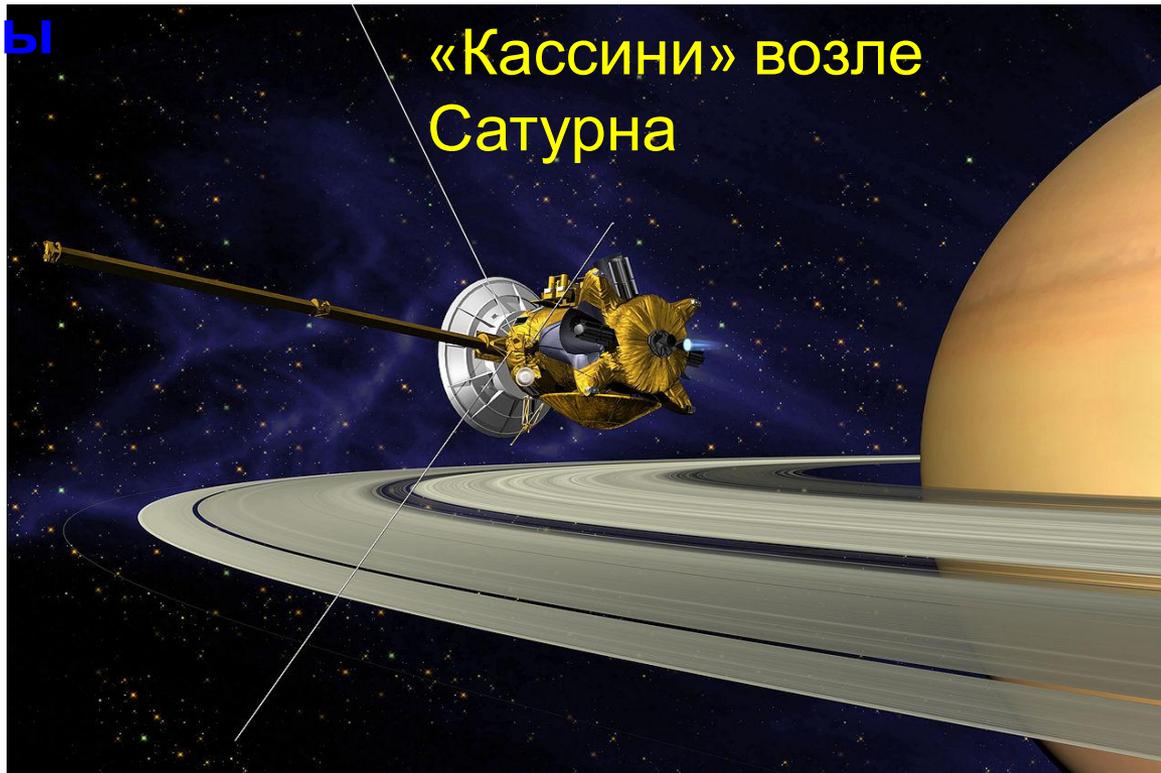
Тема 1. **Новости планетологии: кольца Сатурна вблизи и мульти-импактная модель образования Луны**

Тема 2. **Новости космологии: антигравитация и агония темной энергии – и, может быть, темной материи**

Литература к теме 1

1. R.Rufu, O.Aharonson, H.B.Perets “A multiple-impact origin for the Moon”, Nature Geoscience, 9 Jan 2017.
- 2.G.S. Collins “Punch combo or knock-out blow”, Nature Geoscience, 9 Jan 2017.

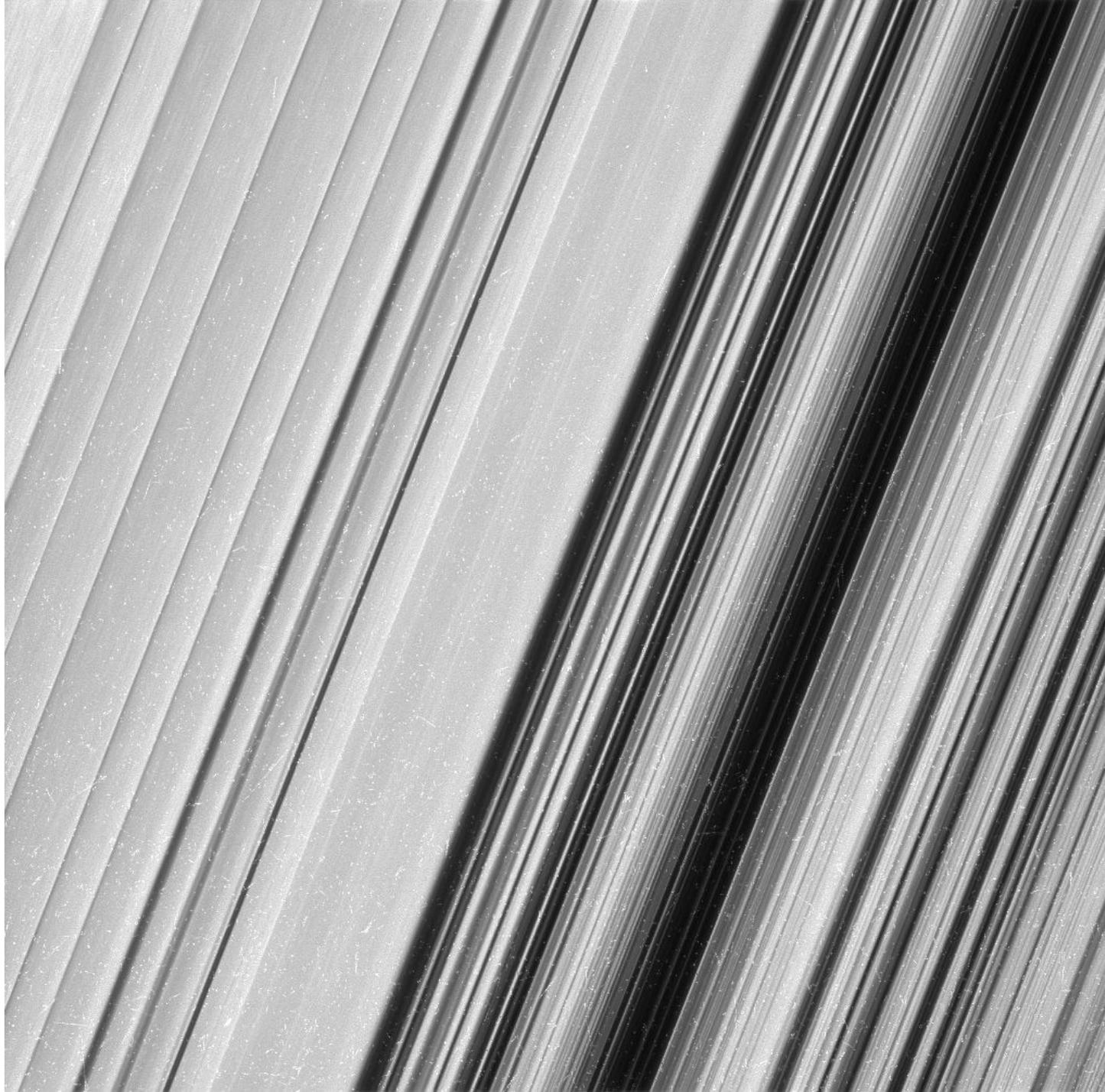
Тема 1. Новости планетологии: кольца Сатурна вблизи и мульти-импактная модель образования Луны



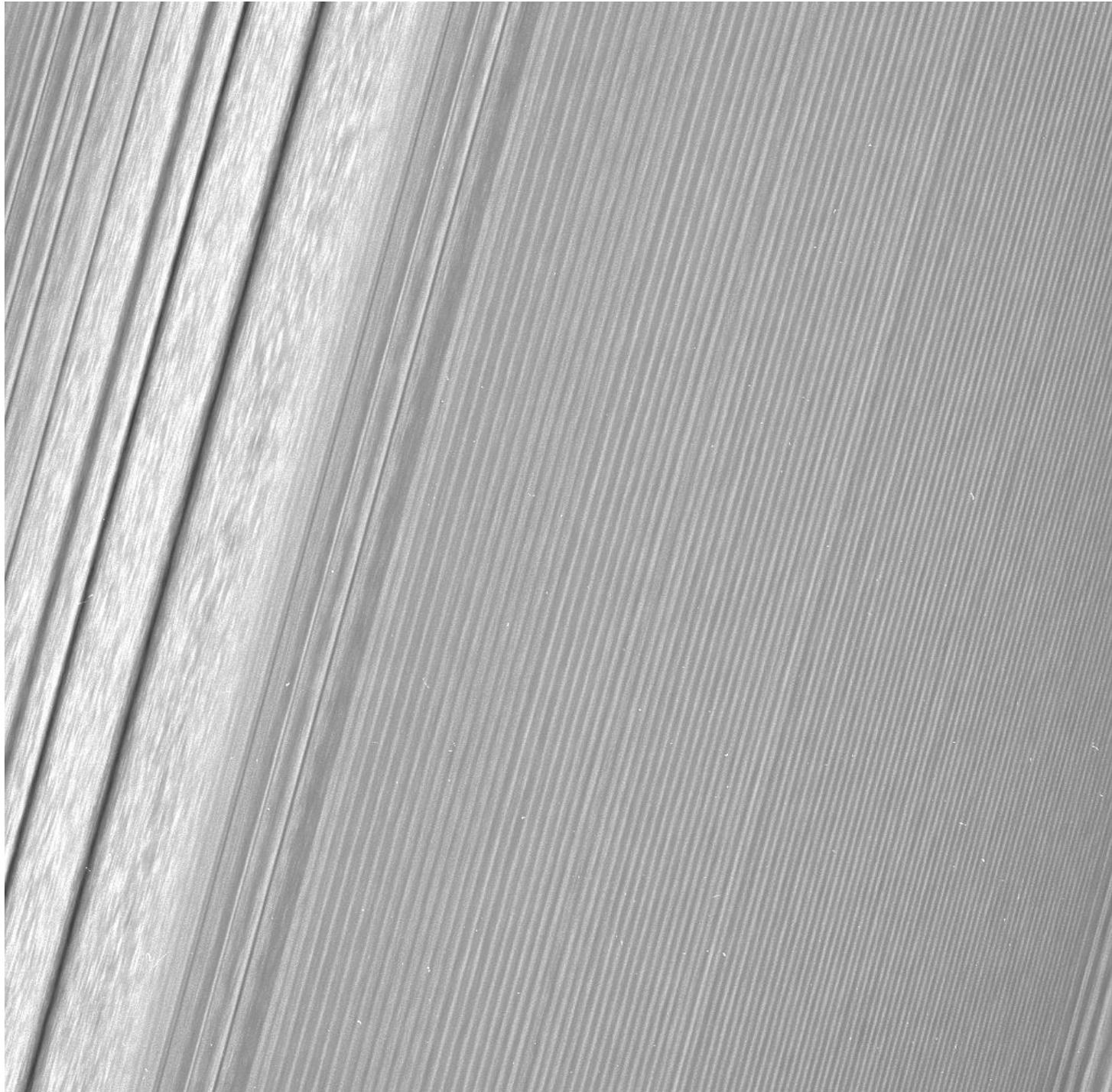
The spacecraft launched on October 15, 1997 aboard a Titan I/B/Centaur and entered orbit around Saturn on July 1, 2004, after an interplanetary voyage that included flybys of Earth, Venus, and Jupiter. On December 25, 2004, *Huygens* separated from the orbiter and landed on Saturn's moon Titan on January 14, 2005. It successfully returned data to Earth, using the orbiter as a relay. This was the first landing ever accomplished in the outer Solar System.

Cassini continued to study the Saturn system in the following years, and continues to operate as of January 2017. However, due to the spacecraft's dwindling fuel resources for further orbital corrections, it is currently planned to be destroyed by diving into the planet's atmosphere in September 2017. This method of disposal was chosen to avoid potential biological contamination of Saturn's moons.

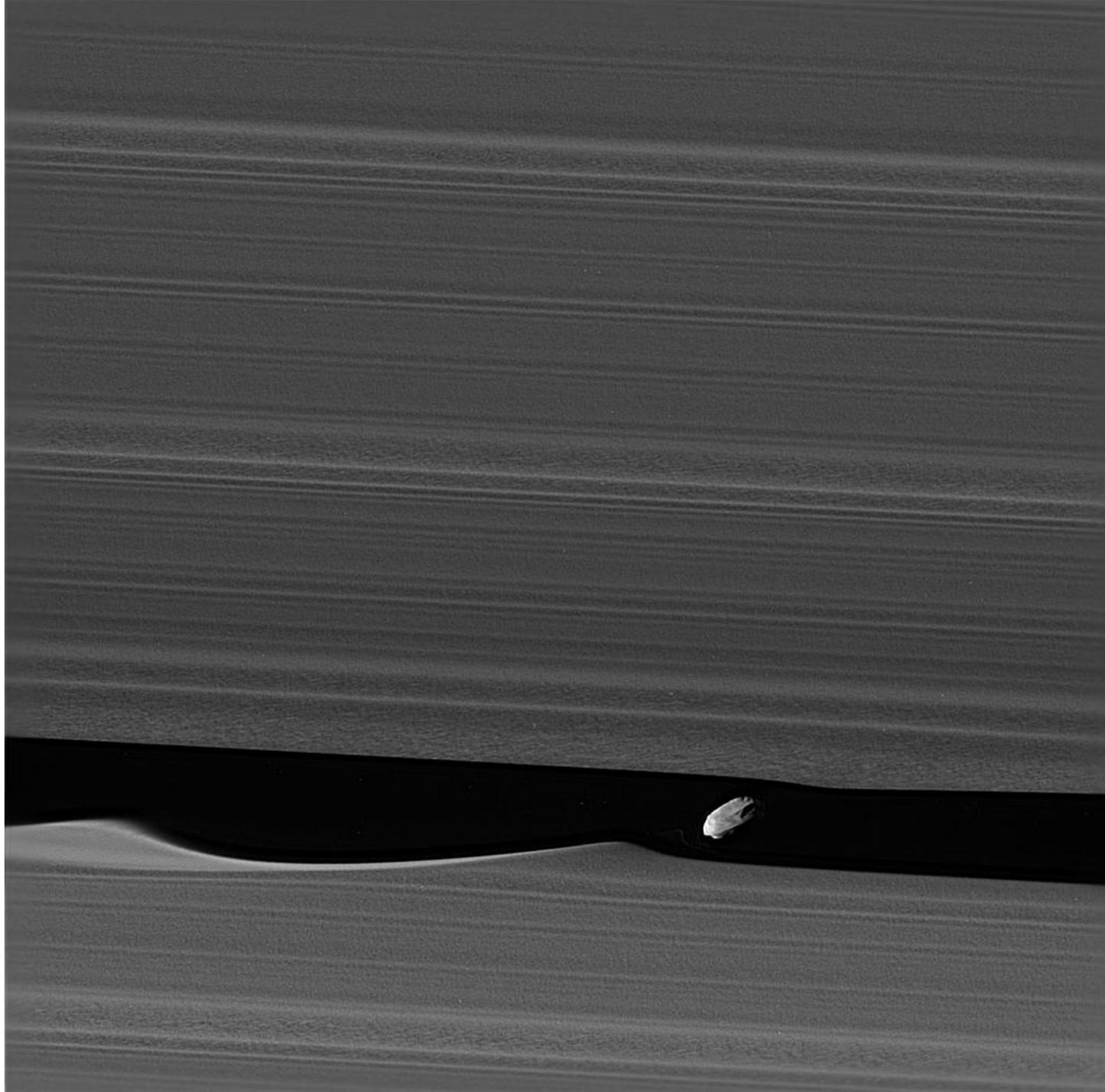
On November 30, 2016, *Cassini* entered the final phase of the project. *Cassini* will dive through the outer ring of Saturn 20 times, once every seven days. The spacecraft will enter areas that have been untouched up until this point, getting the closest look ever at Saturn's outer rings. The first pass of the rings took place on December 4, 2016.



Снимки с
последних
пролетов
«Кассини»:
кольцо В
(все
данные
- NASA/JPL)

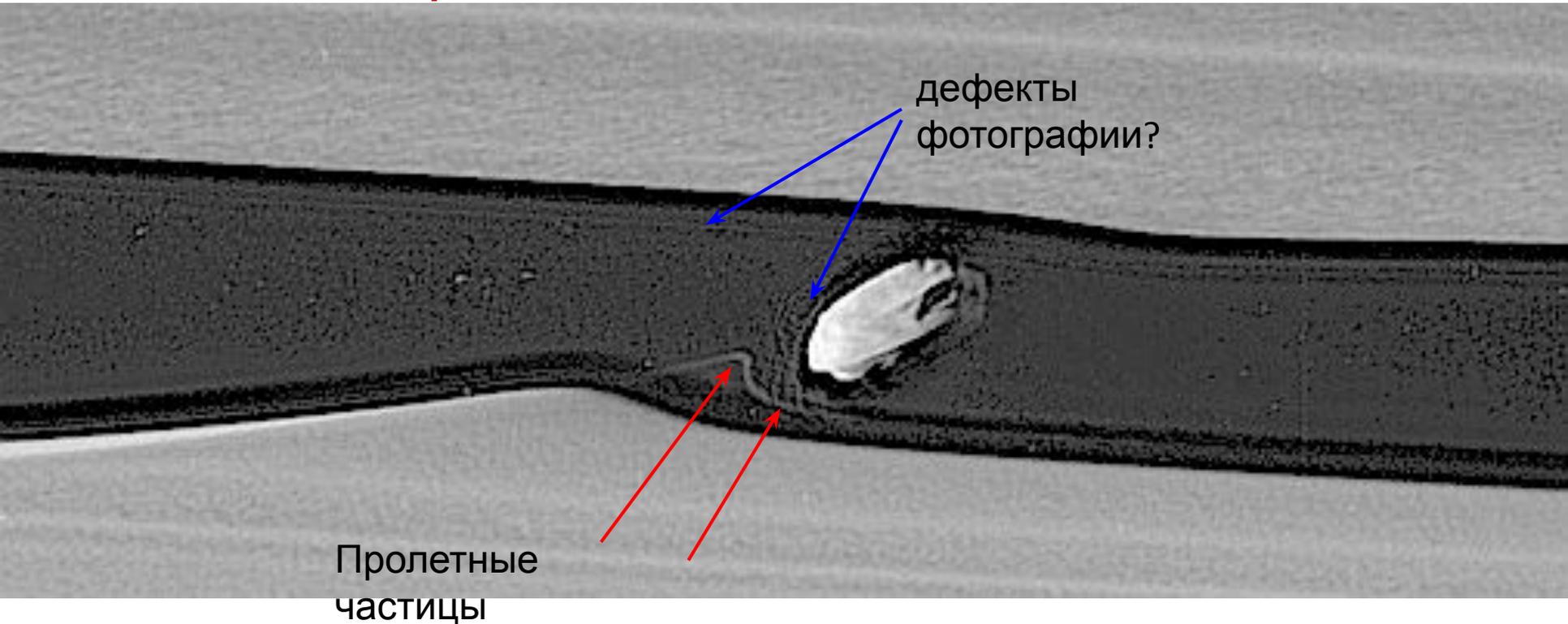


Кольцо
А

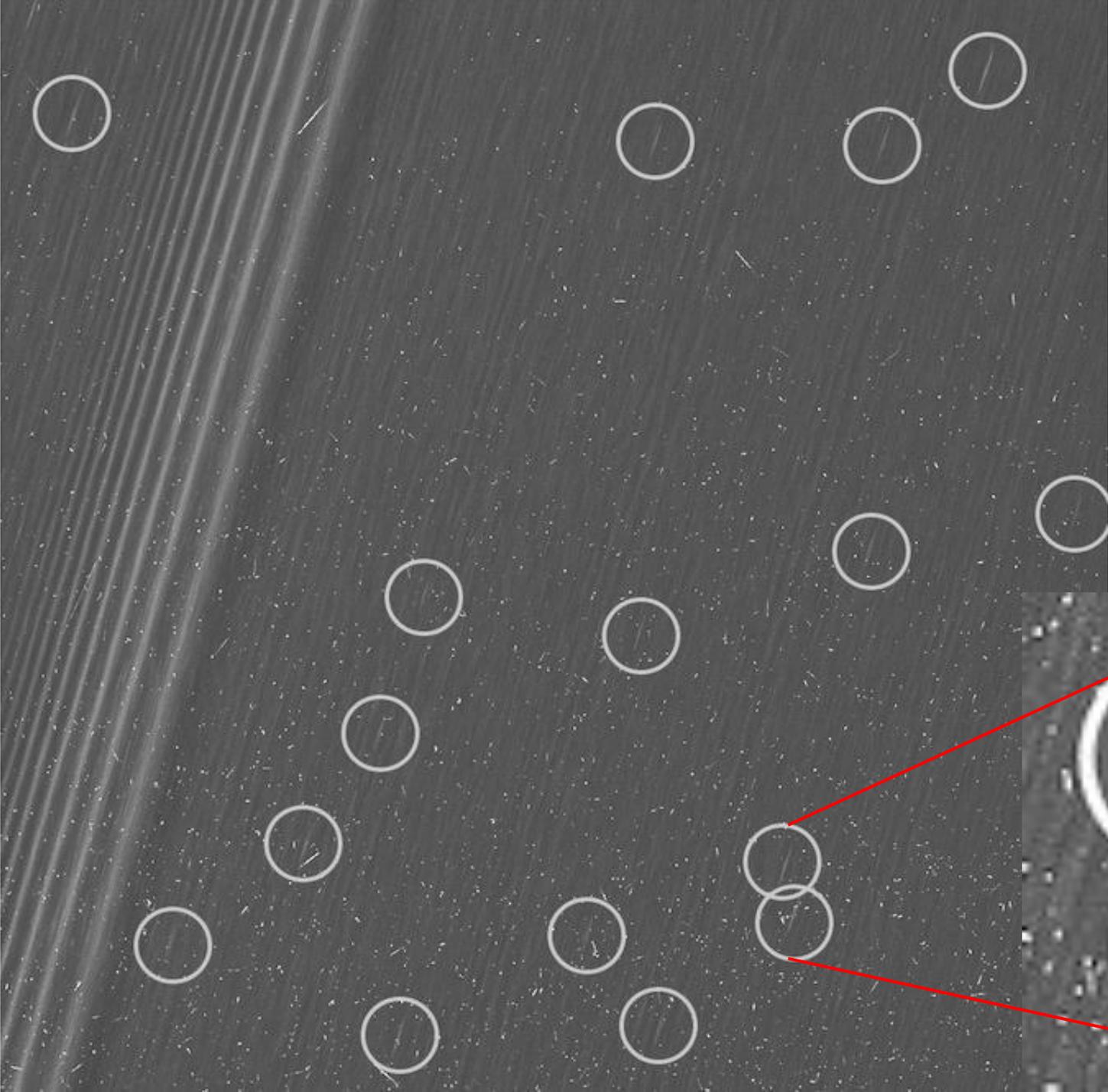


Кольцо А
Спутник
Дафнис
в щели Килера

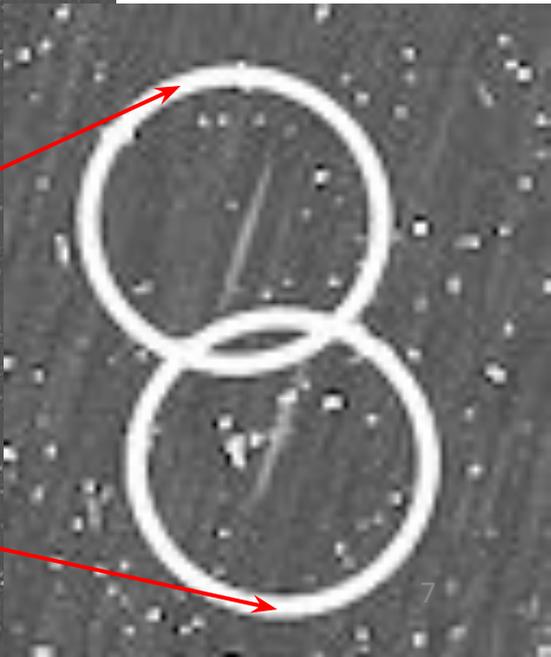
Траектории частиц (потоков?) возле Дафниса



Полагаю, что и форма и ориентация (стабильная?) спутника не случайны и определяются потоком набегающих частиц, и балансом их и эжекты (аккрецией, разрушение и сметанием частиц). Было бы интересно промоделировать эти процессы.



Маленькие
луны
с
пропеллерами





НОВОСТИ

ПОЛИТИКА

БИЗНЕС

ОБЩЕСТВО

АРМИЯ

МНЕНИЯ

КУЛЬТУРА

НАУКА

ТЕХНОЛОГ



Биология

История

Космос

Медицина

Мракобесие

Наука и власть

Социальные науки

Технологии

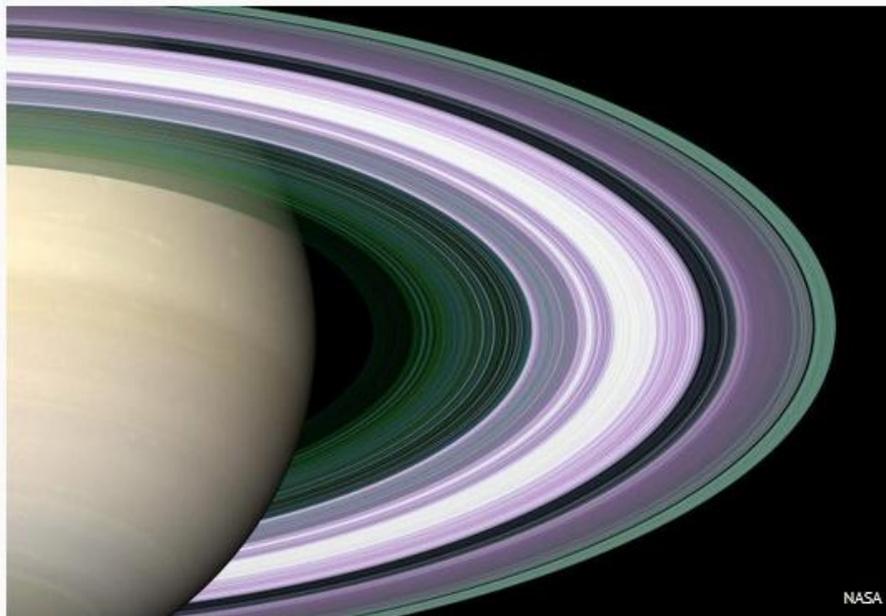
Физмат Лек

ОТКРЫТО ИЗ РОССИИ

Кольца Сатурна в суперкомпьютере

Как устроены кольца Сатурна и откуда они взялись

Григорий Колпаков, Владимир Гелаев 05.08.2015, 13:17



Международная группа ученых с участием сотрудников МГУ имени М.В. Ломоносова объяснила строение колец Сатурна и смоделировала их на суперкомпьютере. Этот результат может быть применен к самым разным системам как в природе, так и в индустрии.

В начале августа 2015 г в российской и в англоязычной прессе появились многочисленные сообщения, что «Загадка колец Сатурна окончательно решена» с помощью международного научного коллектива и суперкомпьютера Чебышева из МГУ. «Saturn Ring Riddle Finally Solved»

http://www.huffingtonpost.com/entry/mystery-of-saturns-rings-solved_55c39c2ee4b0923c12bbeef7

Речь идет о статье: «Size distribution of particles in Saturn's rings from aggregation and fragmentation» целого международного коллектива авторов – Николая Бриллиантова, П.Л. Крапивского, Анны Бодровой, Frank Spahn, Hisao Hayakawa, Владимира Стадничука, Jurgen Schmidt - опубликованной в PNAS: «Трудах» Национальной академии наук США: <http://www.pnas.org/content/112/31/9536> В статье теоретически получен степенной закон для мелких частиц и закон обрезания спектра для крупных частиц в кольцах.

После выхода статьи и МГУ, где работает Стадничук и Бодрова, и британский университет, где работает Бриллиантов, сделали пресс-релизы, разослали их по редакциям газет – и информация о работе широко распространилась.

Цитаты из газетных сообщений и интервью

Международная группа исследователей, в которую входят четверо россиян — выпускник [МГУ](#) имени М.В. Ломоносова Николай Бриллиантов (профессор Лестерского Университета, Великобритания), Павел Крапивский (профессор Бостонского Университета, США), а также научные сотрудники кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Анна Бодрова и Владимир Стадничук, внесли наконец ясность в этот вопрос, изучив распределение частиц по размерам в кольцах Сатурна. В ходе работы исследователи показали, что наблюдаемое распределение имеет универсальный характер, то есть свойственно всем кольцам, возникающим у небесных тел, частицы которых имеют схожую природу. Более того, **ученым удалось разгадать загадку магического закона «обратных кубов»**. Соответствующая статья коллектива авторов, в который входят профессора Франк Шпан (Университет Потсдама, Германия), Юрген Шмидт (Университет Оулу, Финляндия) и Хисао Хаякава (Университет Киото, Япония), опубликована в журнале [Proceedings of the National Academy of Sciences](#). Ученые построили математическую модель этих процессов, которую исследовали различными методами, в том числе проводя численное решение огромного числа дифференциальных уравнений. **Это можно было сделать только на суперкомпьютере**. В результате был задействован один из мощнейших суперкомпьютеров Европы — суперкомпьютер МГУ «Чебышев». Данная часть работы была выполнена московскими коллегами научной группы. Ученые объяснили как отсутствие в кольцах Сатурна частиц больше определенного размера, **так и загадочный закон «обратных кубов»**. Более того, из полученной модели следовал и такой важный вывод, что указанные закономерности должны наблюдаться для всех колец, будь это кольцо планеты или астероида.

Мои комментарии

Наблюдатели нашли распределение частиц по размерам в кольцах Сатурна в начале 80-х годов из данных «Вояджеров». Оказалось, что число мелких частиц с размером $R \sim 1 \text{ см} - 1 \text{ м}$ приблизительно подчиняется закону $1/R^3$ – то есть, чем больше размер частиц, тем меньше их число. Но с учетом того, что масса отдельной частицы растет как R^3 , то получается, что частицы разных размеров дают примерно одинаковый вклад в массу колец. Показатель плавает около 3 и может быть, например, 2.7, отчего вклад больших частиц увеличивается. В области самых крупных частиц $>5 \text{ м}$ распределение становится совершенно другим: $1/R^6$, что означает быстрое вымирание числа крупных частиц.

Впервые спектр частиц в кольцах Сатурна – как для мелких $1/R^3$, так и для крупных $1/R^6$ - теоретически установил молодой итальянский исследователь Пьер-Ив Лонгаретти, на эту тему защитивший диссертацию в 1987 году в Гренобльском университете (Франция) и опубликовавший большую статью в *Icarus* в 1989 году. В своей диссертации он даже численно промоделировал переходную зону между двумя спектрами. Бриллиантов и др. в своей статье не сказали ни одного слова о факте теоретического получения Лонгаретти спектров частиц ещё 26 лет назад. Почему закон $1/R^3$, который установили в 2015 году Бриллиантов и К, является «великолепным и универсальным», а закон $1/R^3$, который опубликовал Лонгаретти в 1989 году, не стоит даже упоминания? Авторы сослались на работу Лонгаретти одной короткой фразой как на «ранний полуколичественный подход», в котором для обрезания спектра крупных частиц привлекался «дополнительный механизм».

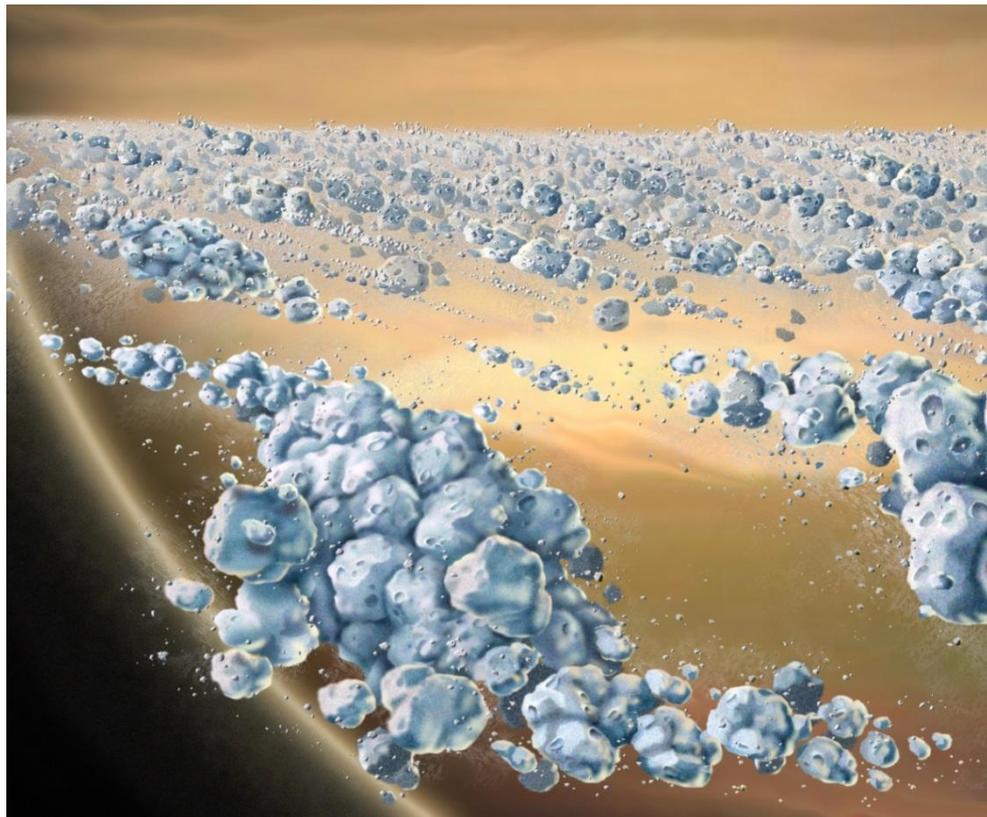
Больше ста лет учёные полагали, что кольца Сатурна существуют благодаря приливным силам, которые разрушают крупные частицы. Даже когда наблюдатели установили, что типичный размер частиц в кольцах Сатурна всего несколько метров, то миф о важности приливных сил остался. А ведь стоит сравнить приливные силы с прочностью частиц колец и понять, что приливные силы в 10-100 тысяч раз слабее, чем нужно – и они не могут обеспечить разрушение частиц. Лонгаретти это понял одним из первых и указал, что скорость соударения крупных частиц растёт с их радиусом из-за дифференциального вращения колец как ΩR , где Ω – угловая скорость вращения колец, а R – радиус крупной частицы. Отсюда Лонгаретти получил объяснение повышенного разрушения крупных частиц (потому что удельная энергия их столкновения растёт с их радиусом), а также причину перехода зоны колец в зону спутников, потому что Ω падает с расстоянием от планеты как $1/r^{1.5}$, и когда Ω становится достаточно малой, крупные частицы, обладающие значительной самогравитацией, перестают разрушаться. Так как мы с Фридманом независимо пришли к ТОЧНО таким же выводам, то я полностью согласен с работой Лонгаретти.

Что думают Бриллиантов и др. по поводу дифференциального вращения?

Ничего. Они его не поняли и сочли «дополнительным механизмом», в то время как он является главной пружиной существования колец. У Бриллиантова и др. скорость соударения частиц НЕ ЗАВИСИТ ни от радиуса крупных частиц, ни от расстояния до планеты. Они получили разрушение крупных частиц, представив их неким непрочным скоплением биллиардных шаров, которые разлетаются от ударов более быстрых отдельных шаров. Самогравитация Бриллиантову и др. не мешает, потому что они её не учли. А если бы учли, то закрыли бы свою работу, получив, что такая встряска ничуть не вредит крупным частицам, которые, благодаря своему гравитационному полю, не выпускают обломки из своей сферы Хилла и снова собираются за считанные часы. Это качественно понятно из общих соображений, а количественно было показано численным расчетом в группе Фридмана – и очень давно. Спектр крупных частиц, который получили Бриллиантов и др. – экспоненциальный, а не степенной, как у Лонгаретти. И это большой минус – потому что закон Лонгаретти $1/R^6$ объясняет наблюдаемое наличие мелких спутников размером $\sim 100-1000$ метров, а экспонента Бриллиантова падает так быстро, что из неё нельзя получить никаких тел крупнее десятков метров. Значит, надо создавать ещё одну теорию по образованию микро-спутников. Спектры крупных и мелких частиц в кольцах связаны, так как частицы находятся в процессе постоянного роста и разрушения. Если модель Бриллиантова и др. не может объяснить спектр

Не понимая, где пролегает внешняя граница колец, Бриллиантов и др. рассчитывают на то, что их анализ применим к кольцам астероидов Карикло и Хирон. Это более чем сомнительно, потому что кольца Карикло и Хирона лежат далеко за пределами внешней границы плотных колец и являются остатками протоспутникового диска, из которого, видимо, растёт новый спутник. Это следует из диаграммы, которую я построил для распределения планетных колец и спутников астероидов .

Кинетический подход, при всей своей разработанности, применять к кольцам Сатурна нужно очень осторожно из-за тех ограничений, которые заложены при выводе кинетического уравнения. Забавный момент: пресс-релиз Лестерского университета был украшен картинкой художника из НАСА, где крупные частицы сталкиваются и разрушаются



Из картинки можно сделать вывод, что столкновения крупных частиц – нецентральные, и облако обломков растягивается дифференциальным вращением. И это совершенно верно, вот только картинка призвана проиллюстрировать статью Бриллиантова и др., где соударения частиц только ЦЕНТРАЛЬНЫЕ (ограничение кинетического подхода!) и дифференциальное вращение НЕ учитывается.

Честная аннотация статьи Бриллиантова и К была бы такой:
«Предложена третья (за последние четверть века) теоретическая модель, объясняющая наблюдаемый закон $1/R^3$ для мелких частиц в кольцах Сатурна. Она самая сомнительная, потому что, в отличие от предыдущих, предложенная модель не учитывает дифференциальное вращение колец и самогравитацию частиц, не объясняет наблюдаемое распределение крупных частиц в кольцах Сатурна, включающих мини-спутники размером до километра, а также не может отличать зону колец от зоны спутников».

Никаких тайн планетных колец, конечно, в статье открыто не было – потому что авторы игнорируют не только реального первооткрывателя законов распределения - Лонгаретти, но и базисные факты динамики колец. Зато эта статья была благополучно скормлена мировой прессе, как крупное достижение - и станет отчетом по нескольким грантам различных стран. Формат публикаций PNAS предполагает письма к редактору с краткими комментариями к опубликованным статьям с изложением альтернативной точки зрения. Я написал такое письмо редактору. PNAS отказался его публиковать, приведя в качестве аргументов несколько цитат от рецензента. Я получил огромное удовольствие от их чтения. Рецензент PNAS согласился со всеми моими конкретными доводами, но заявил следующее:

“I agree that the Brilliantov et al. model does not explain the moonlets in Saturn's rings, but it was not intended to and these may well have arisen from different processes. Nor was it intended to explain the transition from rings to satellites near the Roche limit.”

Примерный перевод: **«Да, теория Бриллиантова и др. не объясняет микро-спутники и внешнюю границу колец, но такой задачи в этой теории и не ставилось»** (!) Значит, одна теория отвергает другую, как «полуколичественную», но тот факт, что отвергаемая теория объясняет гораздо больше наблюдаемых явлений, совершенно ничего не значит!

Далее рецензент сделал прелестное и совершенно новое заявление в мировой теоретической науке: «The fact that other approaches can explain a wider variety of phenomena doesn't necessarily make them better». (**«Факт, что другие модели могут объяснить более широкий набор феноменов, не обязательно делает их лучшими»**). Рецензент не сказал, какие дополнительные критерии «лучшести» существуют для теорий. Кстати, математический уровень работы Лонгаретти ничем не уступает работе Бриллиантова, разве что суперкомпьютера Лонгаретти не использовал. Так что, видимо, остались те критерии «лучшести», которые в приличном обществе лучше не озвучивать.

Мой вывод: «Упрощенная физическая модель, которая не описывает микро-спутники и внешнюю границу колец, делает работу Бриллиантова и др. не шагом вперед, а шагом назад по сравнению с работами 20-30 летней давности».

Size distribution of particles in Saturn's rings, missed moonlets and misinterpretation of Chariklo rings

Nick Gorkavyi

Brilliantov et al. (1) propose a model for the size distribution $\sim R^{-3}$ for small particles with radius R and $\sim \exp(-(R/R_c)^3)$ for large particles, where $R_c=5.5$ m: "yet neither the power-law dependence nor the upper size cutoff have been established on theoretical ground" (1). The following comments are necessary:

In 1989 Longaretti found analytically $\sim R^{-3}$ for small particles and R^{-6} for large ones (2). Similar solutions R^{-6} for large bodies, and R^{-3} ($2.7 < q < 3.1$) for small particles have been found in the 1990-1992 independently from (2) using different method – see (3). The law R^{-6} also describes moonlets with size ~ 0.1 - 1 km. That allowed us to estimate the number of particles with $R = 5$ m in A-ring as $N \sim 5 \cdot 10^{13}$, $N \sim 2 \cdot 10^5$ for particles with $R = 125$ m and $N \sim 200$ for $R = 400$ m, which is comparable with observations. Cut-off law from (1) does not describe moonlets and requires new mechanism for the origin of ~ 1 km size bodies.

Collisional destruction of the large particles is ineffective if the debris stays inside the Hill's sphere of the large particle and during one revolution returns on the particle. Paper (1) does not take into account the key effect of self-gravitation of large particles. In (1) a velocity of particle does not depend on the particle size and the distance to the planet: $V = \text{const}(R, r)$. Consequently, the large particles with mass M and the escape velocity $V_{\text{esc}} = (GM/R)^{1/2} > V$ will grow indefinitely, contrary to the statement (1). Longaretti used a more accurate condition of destruction of particles: $\Omega R/2 > V$, where Ω – angular velocity of the rings: "A relative increase of the erosion/destruction rate of the large particles must take place, because these particles have relative velocities of collision larger than the dispersion velocity, due to the differential Keplerian motion" (2).

Decreasing $\Omega R \sim r^{-3/2}$ with distance r explains why planetary rings exist only near the planet. For the rings $\Omega R > \alpha(GM/R)^{1/2}$ where $\alpha < 1$: "the exterior radius R_e of a planet's primary... ring system and the size of the largest member particles are determined not by tidal forces but by a more efficient mechanism: erosion of the particles surfaces through grazing collisions in the differentially rotating disk" (4). Computer simulation of the behavior of debris of destroyed particle showed that with increasing distance from the planet, most of the debris returns back to the particles (5). This effect causes a sharp transition from the zone of the rings to the area of satellites. The new model (1) does not explain the difference between the rings and the satellites and the authors (1) suggest that their calculations are applicable to the rings of the Chariklo and Chiron. In fact, the Chariklo' rings are not examples of planetary rings, but proto-satellite disks (see Figure).

Simplified physical model that does not describe moonlets and the outer boundary of the rings makes the article (1) not a step forward but a step backwards in comparison with the papers of 20-30 years old.

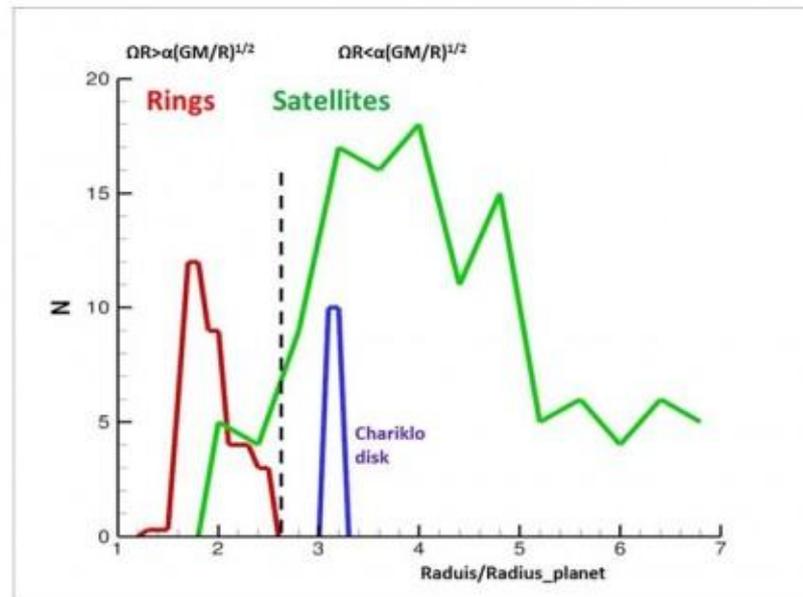


Fig. The distribution of planetary rings (red), satellites of asteroids (green) and Chariklo ring/disk (blue) by the distance from the central body.

1. Brilliantov N. et al (2015) Size distribution of particles in Saturn's rings from aggregation and fragmentation. *Proc Natl Acad Sci USA* 112 (31):9536-9541.
2. Longaretti P.-Y. (1989) Saturn's Main Ring Particle Size Distribution: An Analytical Approach. *Icarus* 81: 51-73.
3. Fridman A.M., Gorkavyi N.N. (1999) *Physics of planetary ring* (Springer, Berlin).
4. Gorkavyi N.N., Fridman A.M. (1985) Origin of the gap between planetary ring and satellite systems, and the size and structure of the ring particles. *Sov Astron Lett* 11(4):264-266.
5. Gorkavyi N.N., Taidakova T.A. (1989) Collisional destruction of particles in planetary rings. *Sov Astron Lett* 15(3):229-234.

Size distribution of particles in Saturn's rings, missed moonlets and misinterpretation of Chariklo rings

Nick Gorkavyi

(Submitted on 26 Oct 2015)

Brilliantov et al. (PNAS, 2015) propose a model for the size distribution $\sim R^{-3}$ for small particles with radius R and $\sim \exp(-(R/R_c)^3)$ for large particles, where $R_c=5.5$ m. In 1989 Longaretti found analytically $\sim R^{-3}$ for small particles and R^{-6} for large ones (2). The law R^{-6} also describes moonlets with size ~ 0.1 - 1 km. Cut-off law from Brilliantov et al. model does not describe moonlets and requires new mechanism for the origin of ~ 1 km size bodies. This model does not take into account the key effects of self-gravitation of large particles and differential rotation of the rings. Longaretti used a more accurate model of destruction of particles: "A relative increase of the erosion/destruction rate of the large particles must take place, because these particles have relative velocities of collision larger than the dispersion velocity, due to the differential Keplerian motion". The new model does not explain the difference between the rings and the satellites and the authors suggest that their calculations are applicable to the rings of the Chariklo and Chiron. In fact, the Chariklo rings are not examples of planetary rings, but proto-satellite disks. Simplified physical model that does not describe moonlets and the outer boundary of the rings makes the new model not a step forward but a step backwards in comparison with the papers of 20-30 years old.

Аспирантка Ралука Руфу из Израиля вместе со своим профессором Одедом Ааронсоном и соавтором Хагаи Перецом совершили немыслимое: в первые дни 2017 опубликовали в Nature-Geoscience статью об мульти-импактном образовании Луны. <http://www.nature.com/ngeo/journal/vaop/ncurrent/full/ngeo2866.html>
Суть статьи: Луну можно сделать не одним большим, а многими более умеренными ударами.



A multiple-impact origin for the Moon

Raluca Rufu^{1*}, Oded Aharonson¹ and Hagai B. Perets²

The hypothesis of lunar origin by a single giant impact can explain some aspects of the Earth-Moon system. However, it is difficult to reconcile giant-impact models with the compositional similarity of the Earth and Moon without violating angular momentum constraints. Furthermore, successful giant-impact scenarios require very specific conditions such that they have a low probability of occurring. Here we present numerical simulations suggesting that the Moon could instead be the product of a succession of a variety of smaller collisions. In this scenario, each collision forms a debris disk around the proto-Earth that then accretes to form a moonlet. The moonlets tidally advance outward, and may coalesce to form the Moon. We find that sub-lunar moonlets are a common result of impacts expected onto the proto-Earth in the early Solar System and find that the planetary rotation is limited by impact angular momentum drain. We conclude that, assuming efficient merger of moonlets, a multiple-impact scenario can account for the formation of the Earth-Moon system with its present properties.

The Moon's origin remains enigmatic. The leading theory for the Moon's formation posits a scenario in which a Mars-sized planetesimal impacts the late-stage accreting Earth.

N-body simulations of terrestrial planet accretion¹⁶ show that the final angular momentum of the Earth's system is a result of several impacts. The largest impactor is not necessarily the last one. That

В статье рассматривается последовательность из 20 ударов тел в 0.1-0.01 от массы Земли, которые создают 20 лун, потом сливающихся в одну большую Луну.

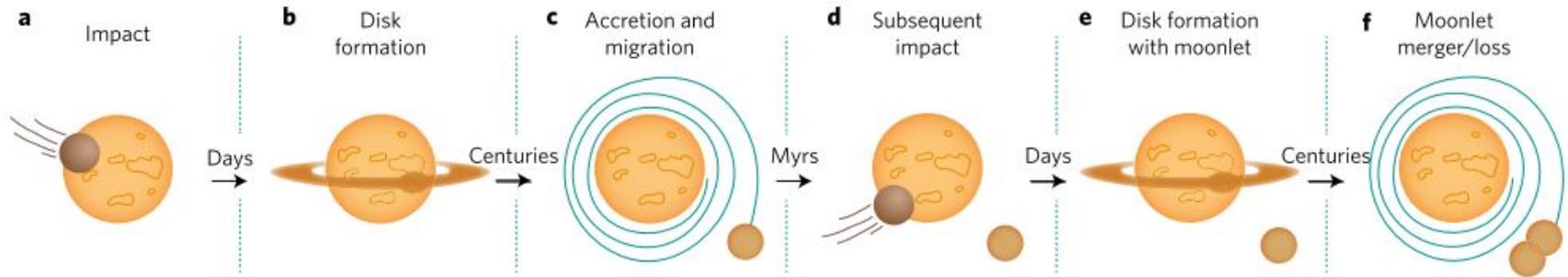


Figure 1 | Lunar formation in the multiple-impact scenario. **a,b**, Moon- to Mars-sized bodies impact the proto-Earth (**a**) forming a debris disk (**b**). **c**, Due to tidal interaction, accreted moonlets migrate outward. **d,e**, Moonlets reach distant orbits before the next collision (**d**) and the subsequent debris disk generation (**e**). As the moonlet–proto-Earth distance grows, the tidal acceleration slows and moonlets enter their mutual Hill radii. **f**, The moonlet interactions can eventually lead to moonlet loss or merger. The timescale between these stages is estimated from previous works^{1,27,32}.

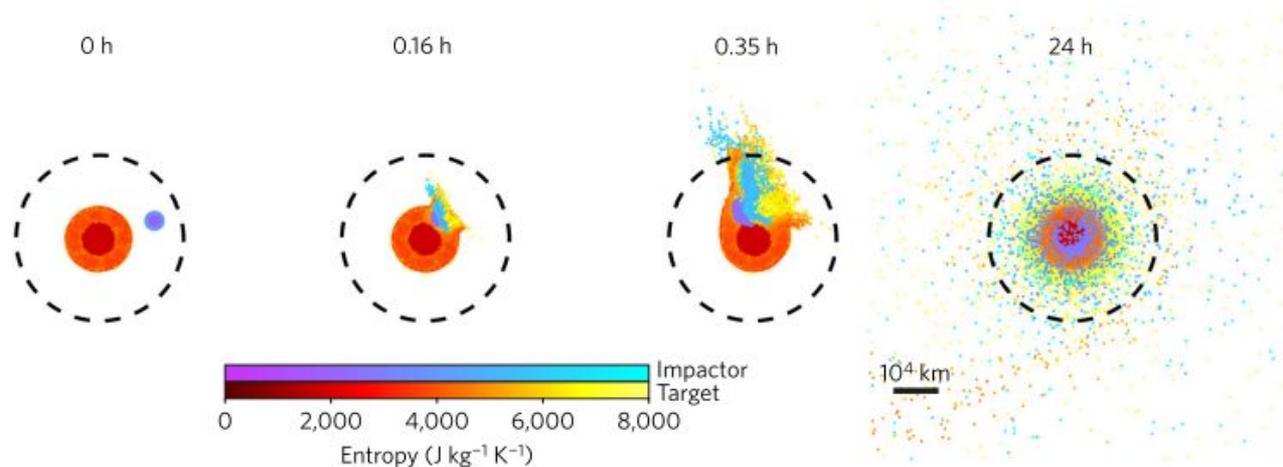


Figure 2 | Impact simulation. Several snapshots of one of the simulations with initial conditions of $\gamma = 0.025$, $V_{\text{imp}} = 2V_{\text{esc}}$, $\beta = 30^\circ$ and $\omega = 0.5\omega_{\text{max}}$. The colour bars represent the entropy of the impactor and target. All projections are on the equatorial plane with one hemisphere removed. The impactor core is shown over the target. The Roche limit is represented by the dashed line.

Nature поступила осторожно и после статьи Руфу-Ааронсона-Переца опубликовало скептическую и довольно несерьёзную статью Коллинса, который после исторической справки и пересказа работы Руфу и др., высказал лишь пару голословных и несущественных замечаний.

<http://www.nature.com/ngeo/journal/vaop/ncurrent/full/ngeo2880.html>

news & views

MOON FORMATION

Punch combo or knock-out blow?

The twin isotopic signatures of the Moon and Earth are difficult to explain by a single giant impact. Impact simulations suggest that making the Moon by a combination of multiple, smaller moonlet-forming impacts may work better.

Gareth S. Collins

Among the wide diversity of isotopic signatures found in our samples of planetary bodies and meteorite families, those of the Moon and Earth are nearly identical¹⁻³. This unique shared identity is difficult to reconcile with the hypothesis of Moon formation by a single giant impact. In most numerical giant-impact simulations the Moon is derived primarily from the impacting planetesimal, not Earth, and it is likely that the moon-forming impactor and proto-Earth were isotopically distinct. In this issue, Rufu *et al.*⁴ offer a resolution to this isotopic identity crisis: they show how a Moon that is formed largely out of Earth-derived material may be a more natural consequence of building the Moon from a number of moonlets, formed by a series of large impacts, rather than in one go (Fig. 1).

Since it was proposed in the mid-1970s, the giant-impact hypothesis⁵ has become the favoured explanation for how the Moon was born. Numerical simulations showed how a grazing, low-speed collision of a Mars-sized planetary embryo with the proto-Earth would produce a hot, massive,



Figure 1 | Moon formation. The Moon was born at a time of intense bombardment. Rufu and colleagues⁴ suggest that not one giant impact — but a series of smaller ones — may have expelled material from proto-Earth that accreted into moonlets and eventually merged to form the Moon.

Например, Коллинс высказал опасение, что какие-то из 20 лун могут потеряться. Видно, что Коллинс, специалист по кратерообразованию и не специалист в небесной механике, совершенно не понимает, насколько невозможно выбросить из системы Земли спутник, аккреционно сформировавшийся на круговой орбите и имеющий диаметр более тысячи километров (Луна имеет диаметр в 3.4 тысячи). Даже уронить его на Землю немыслимо сложно. Если он не войдет в Луну, то останется на своей орбите – и мы его непременно заметили бы!

Вейцмановский институт сделал видеоролик с моделью

<http://wis-wander.weizmann.ac.il/space-physics/multiple-impact-origin-moon>.

О мульти-импактной статье в Nature зашумела мировая пресса, включая «Вашингтон пост», «Нью-Йоркер», «Популярная механика» и т.д.

The moon may have formed after moonlets collided with Earth and the pieces merged, a study said.

<https://www.pressreader.com/usa/the-washington-post/20170111/281569470416287>.

Planet's satellite might be amalgamation formed after many collisions

The Washington Post 11 Jan 2017 +14 more BY SARAH KAPLAN sarah.kaplan@washpost.com More at washingtonpost.com/ news/ speaking-of-science

The moon is the most obvious and familiar object in Earth's night sky — constant, consistent, predictable in its monthly cycles and its daily rising and setting. Astronomers understand its movements so thoroughly that even a break from the routine, like an eclipse, can be anticipated 1,000 years in advance.

standard explanation for the moon's existence. That hypothesis proposed that the satellite came about during a single, violent collision between Earth and a hypothetical protoplanet called Theia. Theia sideswiped Earth about 4.4 billion years ago, scattering debris that eventually coalesced into the moon, which drifted away and started to circle Earth.

told The Washington Post last year, “to the point where people thought it might be completely wrong because we couldn't make it work in its details.”

Scientists added other elements to the hypothesis in an attempt to resolve that chemistry issue. Maybe Theia was chemically identical to Earth? Maybe the collision vaporized both bodies, mixing

rampant in the system, bumping into things like rambunctious toddlers. Although a collision with a major protoplanet like Theia would have been rare, bombardment by these smaller bodies happened frequently.

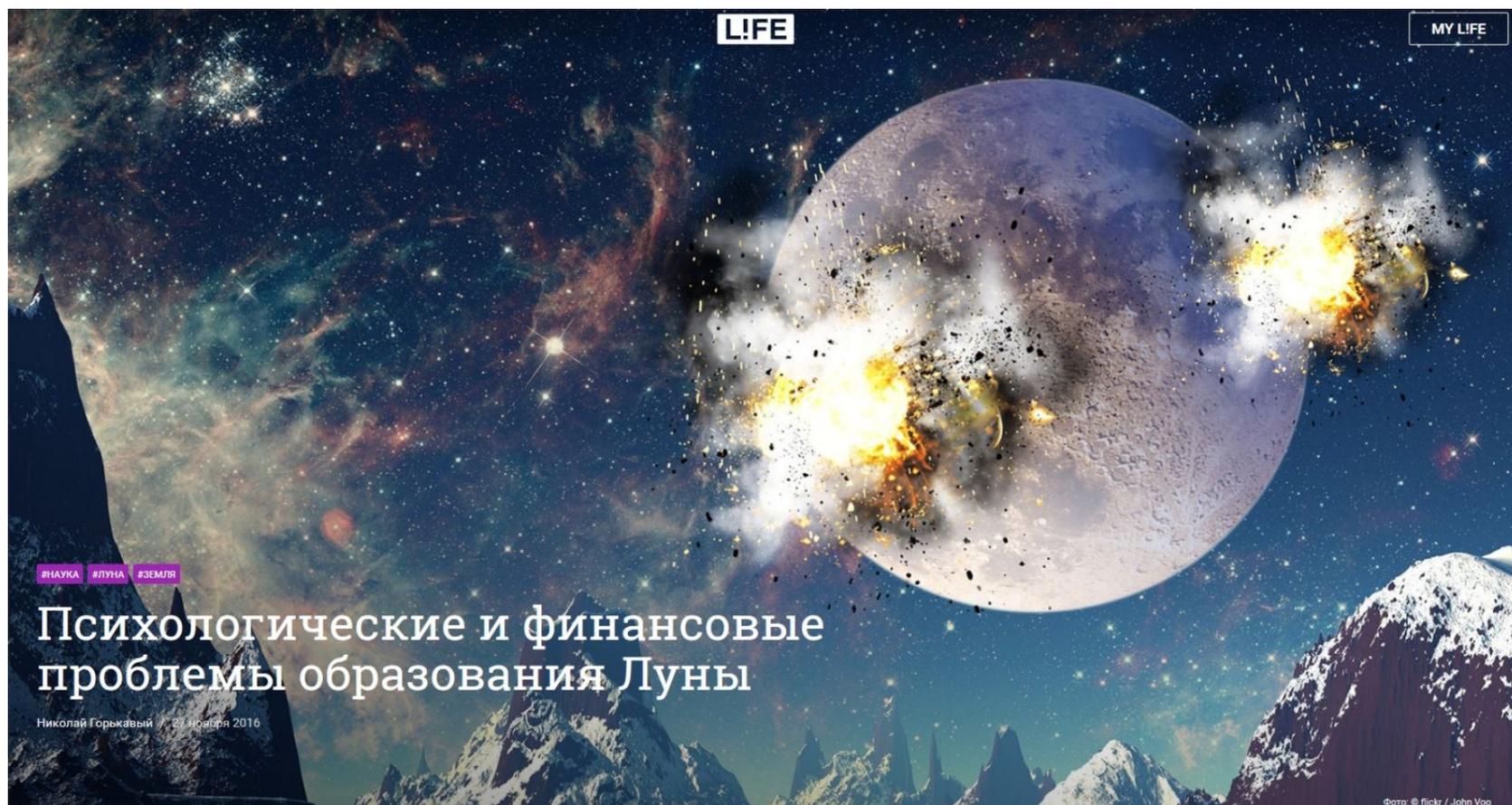
Each collision would have sent a spray of debris into orbit around Earth, forming disks made mostly of material

This version of the moon's origin story solves the big chemistry question that dogs proponents of the giant-impact model. Creating a moon from many impacts dilutes the influence of each impactor on its chemistry — their individual signatures would have been lost

Пресса такого уровня не ограничивается пересказом истории, она вызывает «на ковёр» публичности главных действующих лиц и заставляет их высказываться. Так «Вашингтон-Пост» опросил Сару Симмонс, которая активно работает в области осторожных модификаций мегаимпакта. Она сказала «**Вся теория мегаимпакта оказалась в кризисе несколько лет назад, и люди стали думать, что может быть она полностью неверна, потому что мы не можем заставить работать её в важных моментах**». (Поясню, что речь идет в первую очередь о геохимических противоречиях). Журналист пишет, что учёные стали добавлять новые предположения, чтобы разрешить космохимические проблемы – может Тейя была химически идентична Земле? может столкновение испарило оба тела – и потом они сконденсировались в современные планету и спутник? Но «**Каждый такой трюк делал теорию мегаимпакта еще более невероятной**». Сара соглашается: «**Если вы делаете это слишком часто, то все начинают чувствовать неловкость**».

«Нью-Йоркер» призвал к ответу Роберту Кануп, лунную гранд-даму, которая больше всех возилась с теорией мегаимпакта, унавоживала эту плодородную грядку, старательно охраняла её от набегов чужаков – и собрала с неё немалый урожай. Вот что она вынуждена была сказать: “I applaud the group,” Canup said. “They’ve convinced me that maybe it’s now worth considering. Suddenly, the multiple-impact scenario looks equally probable—or improbable, depending on your perspective.” – «**Я аплодирую группе. Они убедили меня, что может быть это стоит рассмотреть. Внезапно, мульти-импактный сценарий стал выглядеть одинаково вероятным [с теорией мегаимпакта] – или невероятным – в зависимости от вашей точки зрения**».

Это конец «ступора мегаимпакта», о котором я с В.В.Прокофьевой писал в «Науке и жизни» в 2015 году в статье **«Двойные астероиды и одиночество Луны»** а также в приложении к книге «Челябинский суперболид» в феврале 2016 года (Горькавый Н., Тайдакова Т. **«Одинокая Луна, двойные астероиды и многократные столкновения»**, стр.203-214.) и в «Life» в ноябре 2016 года <https://life.ru/935306>.



Из статьи в Life

Новый взгляд

«За последние годы три группы планетологов — из Крымской астрофизической обсерватории (основная работа опубликована в Известиях КрАО в 2007 году), из московской космогонической команды Сафронова — Рускол — Витязева — Печерниковой ([статья из сборника за 2014 год](#)) «За последние годы три группы планетологов — из Крымской астрофизической обсерватории (основная работа опубликована в Известиях КрАО в 2007 году), из московской космогонической команды Сафронова — Рускол — Витязева — Печерниковой (статья из сборника за 2014 год), а также израильская команда Руфу — Ааронсона из Вейцмановского института ([статья A multiple impact hypothesis for Moon formation](#)) в трудах Аризонской лунно-планетной конференции за 2015) — независимо друг от друга выдвинули модель, по которой творение Луны было вызвано не одним мегаимпактом, а многими ударами гораздо меньших тел с радиусом от 10 до 1000 километров. Согласно расчётам московских специалистов, максимальный размер падающих тел на Землю не превосходил одного процента от массы голубой планеты, то есть был "лунных", а не "марсианских" масштабов. Это сразу делает модель мегаимпакта нереалистичной».

«Мультиимпактная модель не требует расплавления Земли и маловероятного уникального соударения. В такой модели океаны на Земле сохраняются, а изотопный состав Луны совпадает с составом земной мантии. Мультиимпактная модель соединяет в себе наиболее важные и достоверные моменты теории мегаимпакта (выброс вещества земной мантии в космос при соударении с крупным телом) и аккреционной модели (существование долгоживущего протоспутникового диска), одновременно избавляясь от трудностей обеих концепций.

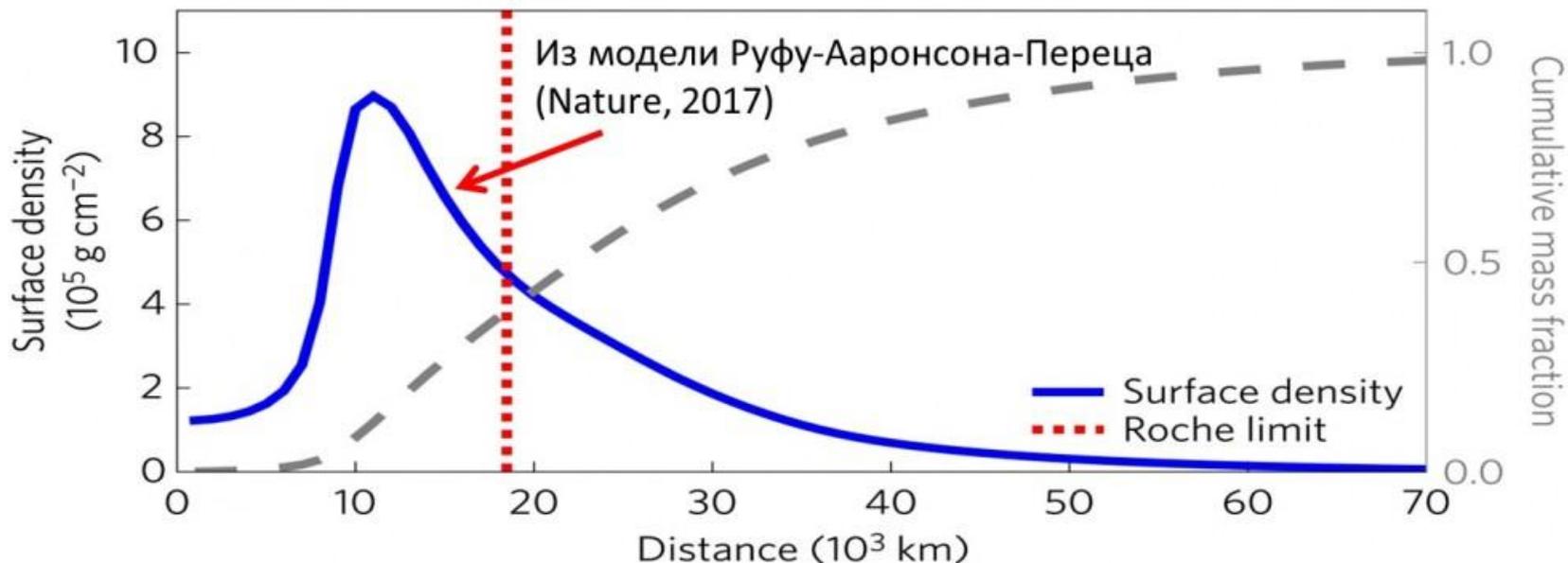
К сожалению, в американской теоретической планетологии нереально рассматривать альтернативные теории происхождения Луны по психологическим, или точнее — по финансовым причинам. В статье в *Nature* [речь идет о статье 2016 года Чука, Стюарта, Гамильтона и Лока, где продолжено развитие модели быстровращающейся (в сутках 2,5 часа) протоземли и небольшой Тейи – прим. НГ] авторы называют модель мегаимпакта "канонической". Обратим внимание, что все альтернативные модели образования Луны

Рост протолунного кольца внутри полости Роша



Горькавый Н.Н. Образование Луны и двойных астероидов. Известия КрАО. 2007. т.103. N 2, стр. 143-155.

Аннотация. Предлагаемая мульти-импактная модель объясняет образование Луны, Харона и двойных астероидов без космических катастроф. Основные положения новой модели: 1. Вокруг прото-Земли существовал начальный маломассивный протоспутниковый диск с прямым вращением. 2. Большинство лунного материала было выброшено из земной мантии с помощью многочисленных ударов крупных астероидов. Это объясняет дефицит железа на Луне. 3. Столкновения земной эжекта с частицами прямого протоспутникового диска стабилизируют обломки на спутниковых орбитах. Мы показали высокую эффективность мульти-импактного механизма: земная эжекта, обладающая прямыми орбитами, легко присоединяется к прямому протоспутниковому диску, а обратная эжекта возвращается на Землю.



Теория мегаимпакта для Луны была предложена Хартманном и Дэвисом в 1975 г. и быстро стала сверхпопулярной. Но еще в 1989 году видный специалист **Рингвуд**, на статью которого ссылаются авторы Nature-2017, опубликовал в европейском журнале Earth and Planetary Science Letter статью с красноречивым названием «**Изыяны в мегаимпактной гипотезе лунного образования**», в которой привел три аргумента, совершенно убийственных для любой обычной теории (к которой, увы, теорию мегаимпакта отнести было нельзя, она была уже канонизирована):

- 1. Вероятность такого гигантского столкновения мала.**
- 2. Такой мегаимпакт вызвал бы расплавление и гравитационную дифференциацию Земли, что привело бы к геохимическим свойствам земной коры, заметно отличающимся от наблюдаемых.**
- 3. Мегаимпакт приводит к тому, что Луна создается в основном из мантии налетающего тела, в то время как геохимические факты утверждают, что лунный материал произошел из земной мантии.**

Хочу подчеркнуть, что все три возражения сохранили свою силу до сих пор, разве что третье значительно усилилось из-за изотопных исследований. В заключение Рингвуд предлагает строить Луну с помощью ударов более мелких тел с массой 0.001-0.01 от массы Земли. Предложение Рингвуда, автора известной книги «Происхождение Земли и Луны» (переведена на русский в 1982 году в издательстве «Недра») было проигнорировано. Правда, он был не американец, а всего лишь австралиец. Коллинс, упоминая предложение Рингвуда об мультиимпактной теории образования Луны, пишет «Но было неясно, смогут ли такие удары сформировать достаточно большие спутники для последующего образования Луны». Но, к сожалению, Коллинс не пишет, какие могучие причины помешали многочисленным лунным теоретикам проверить эффективность такой мульти-импактной модели за 28 лет, прошедших после статьи Рингвуда. Ведь в ней ничего принципиально сложного не было. Почему только израильская студентка оказалась способна на такой подвиг?

Значительный прогресс в планетологии за 2016-2017:

1. В области колец Сатурна - благодаря новым наблюдательным результатам «Кассини»
2. В области образования Луны - благодаря теоретическому моделированию мульти-импакта и «давлению» экспериментальных результатов по изотопному анализу лунных и земных пород