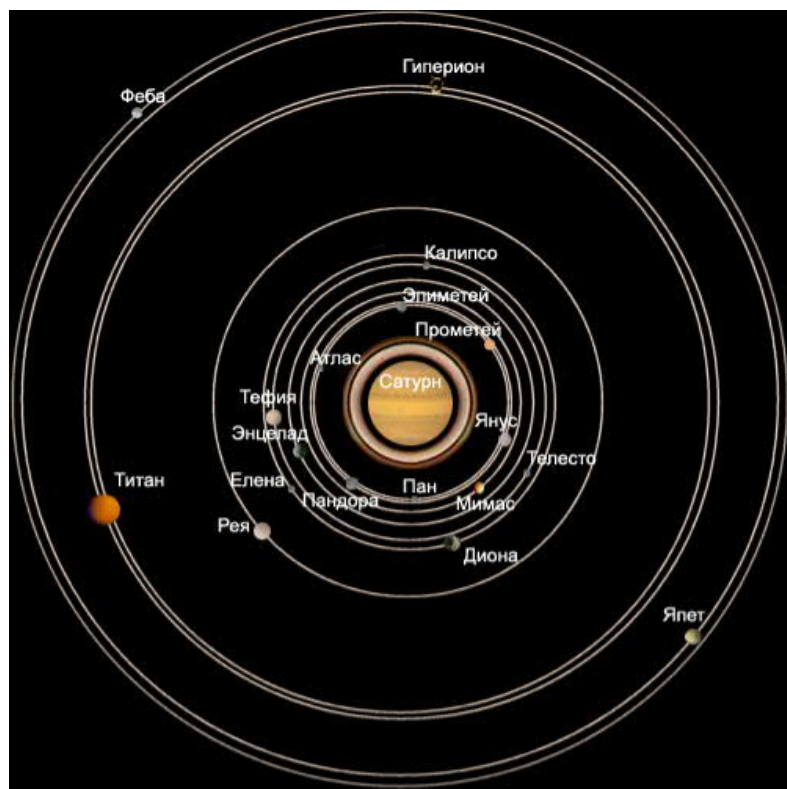


## Отчет группы разработчиков

Экспедиционное оборудование для спутников планеты

# Сатурн



## Спутники Сатурна

Система спутников Сатурна довольно сложна. Известен 31 спутник, характеристики их внесены в таблицу. Тринадцать из них открыты за последние несколько лет.

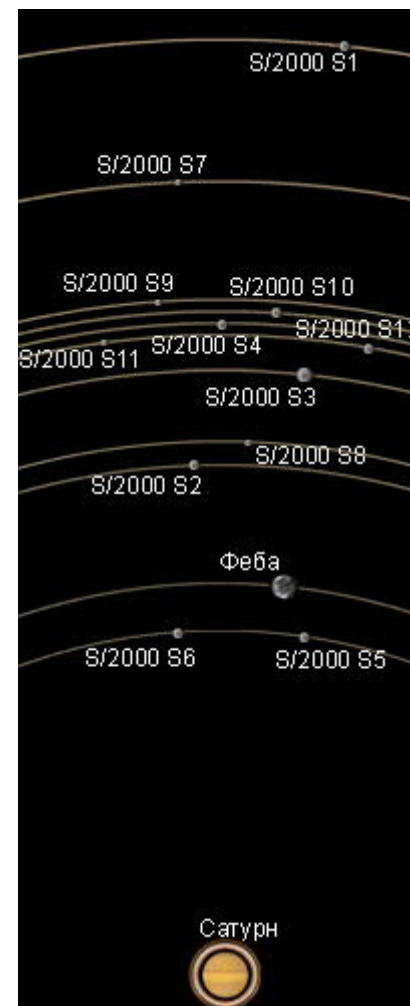


Рисунок 3.2.  
Внешние спутники  
Сатурна

Название	Блеск,m	Радиус орбиты, тыс. км	Период обращения вокруг Сатурна, "-" обрат., сут	Радиус, км	Масса, кг	Открыт
Пан	20	133,58	0,5750	10	$2,7 \cdot 10^{17}$	1990
Атлас	18,0	137,67	0,6019	14×20	$2,2 \cdot 10^{17}$	1980
Прометей	15,8	139,35	0,6130	145×85×62	$2,7 \cdot 10^{17}$	1980
Пандора	16,5	141,70	0,6285	114×84×62	$2,2 \cdot 10^{17}$	1980
Эпиметий	15,7	151,42	0,6942	115×108×98	$5,7 \cdot 10^{17}$	1966
Янус	14,5	151,47	0,6945	89	$2,01 \cdot 10^{18}$	1966
Мимас	12,9	185,52	0,94242	196	$3,80 \cdot 10^{19}$	1789
Энцелад	11,7	238,02	1,37022	260	$8,4 \cdot 10^{19}$	1789
Тетфия	10,2	294,66	1,8878	530	$7,55 \cdot 10^{20}$	1684
Телесто	18,7	294,66	1,8878	34×15×36	$6,0 \cdot 10^{15}$	1980
Калипсо	19,0	294,66	1,8878	34×13×22	$4,0 \cdot 10^{15}$	1980
Диона	10,4	377,40	2,7369	560	$1,1 \cdot 10^{21}$	1884
Елена	18,4	377,40	2,7369	36×16×30	$1,4 \cdot 10^{23}$	1980
Рея	9,4	527,04	4,5175	765	$2,5 \cdot 10^{21}$	1672
Титан	8,3	1221,83	15,945	2575	$1,4 \cdot 10^{23}$	1655
Гиперион	14,2	1481,1	21,2766	410×260×220	$1,8 \cdot 10^{19}$	1848
Япет	12,0	3561,3	79,3302	730	$1,9 \cdot 10^{21}$	1671
Феба	16,5	12 952	-551,48	110	$4,0 \cdot 10^{18}$	1898

Название	Блеск, m	Радиус орбиты, а.е.	Период обращения вокруг Сатурна, лет.	Радиус, км	Масса, кг	Открыт
S/2000 1	S 23	0,156	3,63	10		2000

S/2000 2	S 23	0,100	1,87	12		2000
S/2000 3	S 24	0,111	2,2	22,5		2000
S/2000 4	S 24	0,120	2,46	8		2000
S/2000 5	S 24	0,076	1,24	8,5		2000
S/2000 6	S 24	0,076	1,24	7		2000
S/2000 7	S 24	0,136	2,95	3,5		2000
S/2000 8	S 24	0,103	1,95	4		2000
S/2000 9	S 23	0,123	2,54	3,5		2000
S/2000 10	S 24	0,121	2,48	5		2000
S/2000 11	S 24	0,119	2,43	15		2000
S/2000 12	S 24	0,119	2,41	3,5		2000

Спутники Сатурна (и других планет-гигантов) можно разделить на две группы – регулярные и иррегулярные. Регулярные спутники движутся по почти круговым орбитам, лежащим недалеко от планеты вблизи ее экваториальной плоскости. Все регулярные спутники обращаются в одном направлении – в направлении вращения самой планеты. Это указывает на то, что сформировались эти спутники в газопылевом облаке, окружавшем планету в период ее рождения. В отличие от них, иррегулярные спутники обращаются далеко от планеты, по хаотическим орбитам, ясно указывающим, что эти тела были захвачены планетой сравнительно недавно из числа пролетавших мимо нее астероидов или ядер комет.

В настоящее время уточняются параметры орбит спутников и их размеры. После уточнения орбит спутников Генеральная ассамблея МАС присвоит им



Рисунок 3.3.  
Мимас.

Огромный ударный кратер Гершель имеет около 130 км в диаметре

имена.

Большинство спутников состоит из льда: их плотность не превышает  $1400 \text{ кг/м}^3$ . У наиболее крупных спутников формируется каменное ядро. Почти все спутники всегда повернуты к планете одной стороной.



Рисунок 3.4.

Энцелад – самое светлое тело Солнечной системы (альbedo близко к 1). Оно покрыто, по-видимому, тонким слоем льда. Два наиболее крупных кратера справа носят имена Али Бабы и Аладина



Рисунок 3.5.

Тефия знаменита кратером Одиссей (400 км, около 2/5 диаметра спутника) и гигантским каньоном Итака, протянувшимся на 3 тысячи километров

Тефия, открытая в 1684 Джованни Кассини, как бы «пасет» два других спутника – Телесто и Калипсо, расположенных на  $60^\circ$  впереди и позади Тефии. Подобным образом двигаются Троянцы вместе с Юпитером. Спутник перед собой имеет и другая крупная луна – Диона.

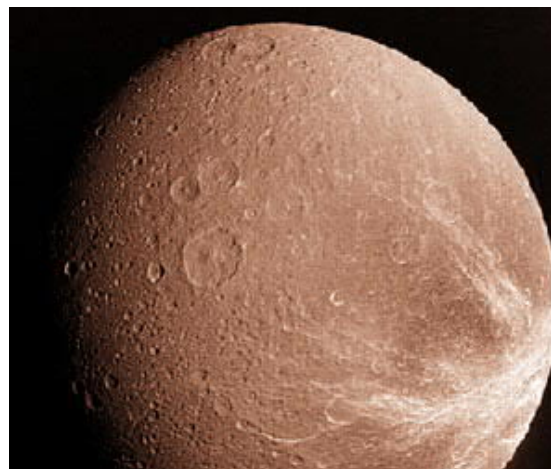


Рисунок 3.6.

Диона. Крупнейший кратер имеет размеры около 100 км в поперечнике



Рисунок 3.7.

На спутнике Сатурна Рея есть кратеры диаметром вплоть до 300 км. Это второй по размерам (после Титана) спутник Сатурна



Рисунок 3.8.

Гиперион – темный спутник неправильной формы с хаотическим собственным вращением

Темный Гиперион не имеет постоянной скорости вращения вокруг своей оси: она меняется в течение месяца на десятки процентов. Спутник Сатурна Феба обращается вокруг планеты в обратную сторону. Мелкая пыль от него попадает на «переднюю» (по ходу движения) поверхность Япета, вызывая сильное ее почернение.

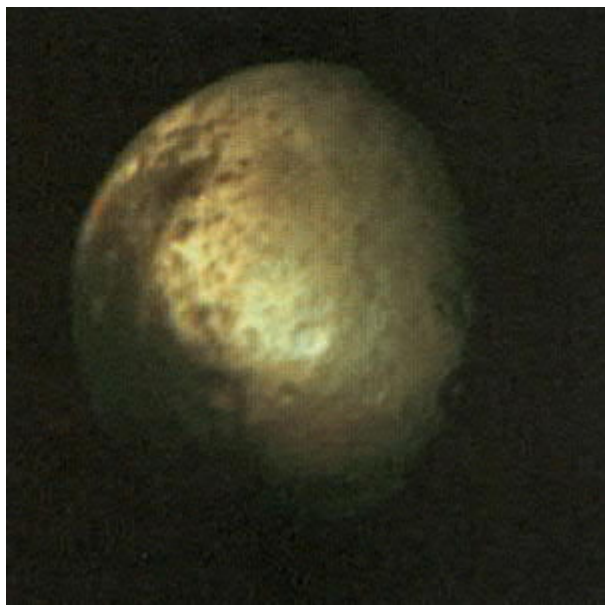


Рисунок 3.9.  
Япет

## Титан

Самый крупный спутник Сатурна, Титан, открытый в 1655 году [Христианом Гюйгенсом](#), по своей величине превосходит планету Меркурий. Его диаметр 5150 км. Плотность Титана  $\rho = 1888 \text{ кг/м}^3$ .



Рисунок 4.1.  
Самый большой спутник  
Сатурна Титан

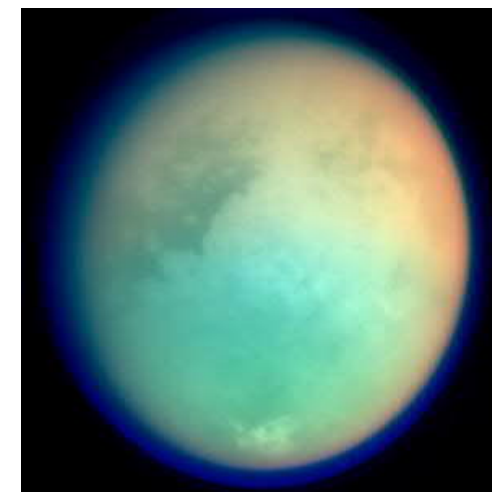


Рисунок 4.2.  
Фотография Титана с АМС  
«Каллисто»

Его внутреннее строение похоже на строение юпитерианских спутников. У Титана предполагается наличие твердого каменистого ядра и ледяной оболочки. АМС «Вояджер-1» прошел на расстоянии всего 7000 км от спутника. У Титана плотная красно-оранжевая атмосфера с облаками высотой около 200 км, через которую нельзя различить детали поверхности. Атмосфера Титана состоит на 85 % из азота, на 12 % из аргона, около 3 % занимает метан, обнаружены также примеси кислорода, водорода, этана, пропана и других газов. Появились свидетельства о существовании кратковременных метановых облаков; возможно, на Титане идут метановые дожди.

Существует вероятность, что под атмосферой находится метан-этановый океан глубиной в несколько километров. Спускаемый аппарат «Гюйгенс», который в ноябре 2004 года будет доставлен к Титану АМС «Кассини», оборудован двумя посадочными системами: для посадки на твердую поверхность и приводнения на предполагаемый океан спутника.

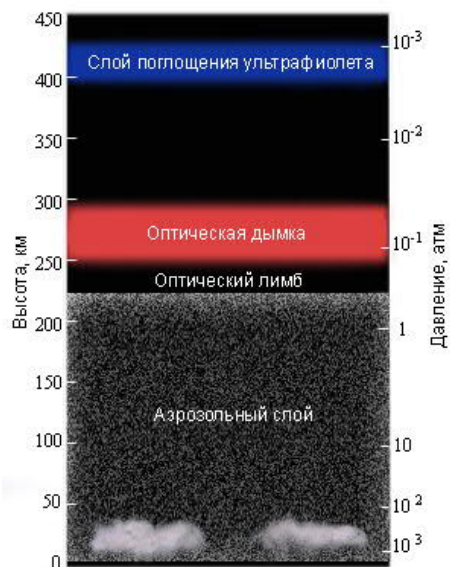


Рисунок 4.3.  
Строение атмосферы Титана



Рисунок 4.4.  
Поверхность Титана  
напоминает марсианскую  
равнину. Снимок зонда  
«Гюйгенс»

Давление на поверхности Титана примерно в полтора раза больше, чем на Земле. Температура верхних слоев атмосферы составляет 150 К. Поверхность Титана холоднее, примерно 100 К. Метан играет важную роль в поддержании теплового режима атмосферы. Благодаря ему на Титане наблюдается нечто подобное земному парниковому эффекту, из-за чего атмосфера Титана имеет более высокую температуру. Солнечные лучи разрушают молекулы метана; без постоянного его пополнения весь атмосферный метан должен был бы разрушиться в течение 10 миллионов лет. Выдвигаются две гипотезы пополнения запасов метана: падение комет и наличие действующих вулканов. На поверхности этот газ может существовать во всех трех фазах, поэтому на Титане могут быть метановые океаны и реки.



Рисунок 4.5.  
На берегу метанового океана

## Кольца Сатурна

Кольца Сатурна видимы с Земли в небольшой телескоп. Они состоят из тысяч и тысяч небольших твердых частиц из камней и льда, которые вращаются вокруг планеты.

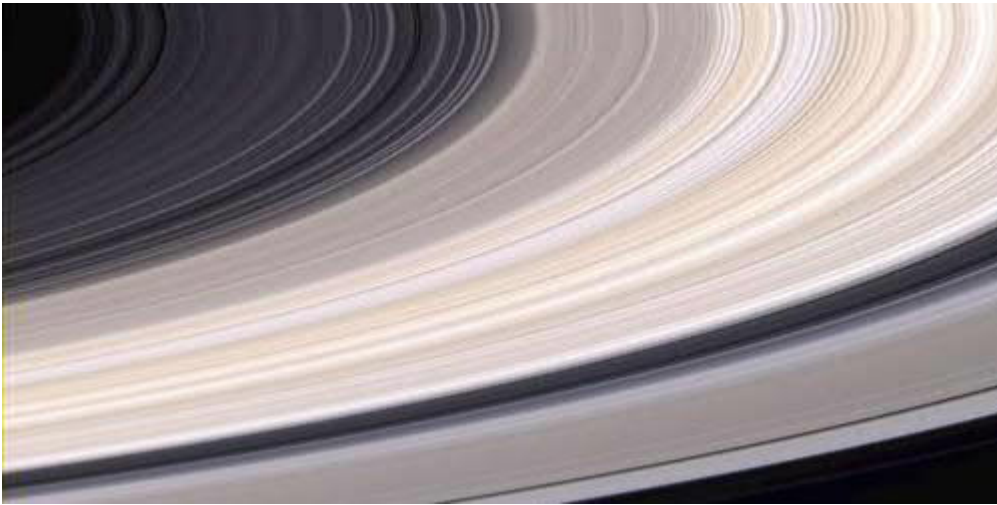


Рисунок 5.1.  
Кольца Сатурна. Снимок с АМС «Кассини»

Существует 3 основных кольца, названных А, В и С. Они различимы без особых проблем с Земли. Есть и более слабые кольца – D, E, F. При ближайшем рассмотрении колец оказывается великое множество. Между кольцами существуют щели, где нет частиц. Та из щелей, которую можно увидеть в средний телескоп с Земли (между кольцами А и В), названа щелью Кассини. В ясные ночи можно даже увидеть менее заметные щели. Внутренние части колец вращаются быстрее внешних.

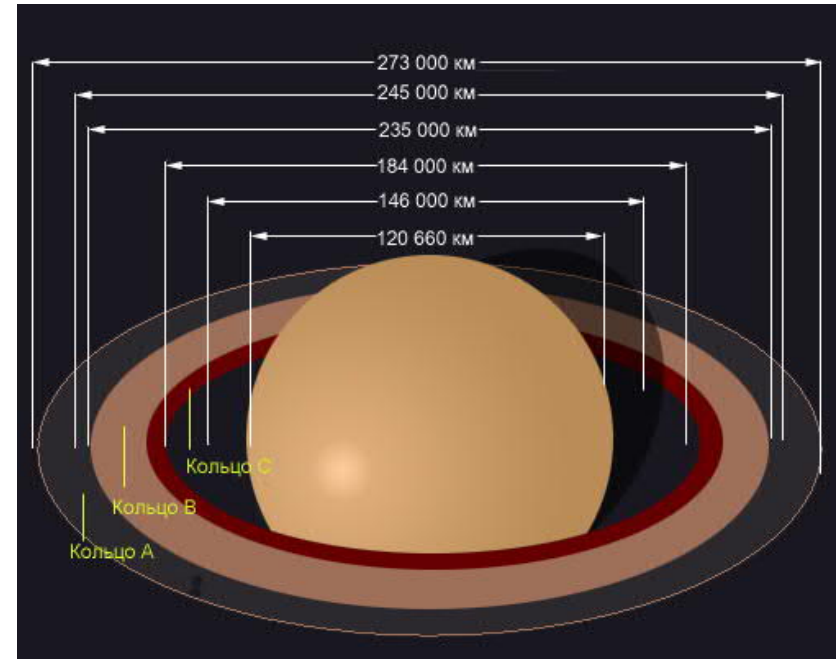


Рисунок 5.2.  
Схема строения колец

Ширина колец равна 400 тыс. км, однако в толщину они составляют всего несколько десятков метров. Сквозь кольца можно увидеть звезды, хотя свет их при этом заметно ослабевает. Все кольца состоят из отдельных кусков льда разных размеров: от пылинок до нескольких метров в поперечнике. Эти частицы движутся с практических одинаковыми скоростями (около 10 км/с), иногда сталкиваясь друг с другом. Под действием спутников кольцо немного выгибается, переставая быть плоским: видны тени от Солнца.

Плоскость колец наклонена к плоскости орбиты на  $29^\circ$ . Поэтому в течение года мы видим их максимально широкими, после чего их видимая ширина уменьшается, и, примерно через 15 лет, они превращаются в слабо различимую черту.

В 1610 году Галилео Галилей впервые увидел в телескоп кольца Сатурна, но не понял, что это такое, поэтому записал, что Сатурн состоит из частей. Полвека спустя Христиан Гюйгенс сообщил о наличии у Сатурна кольца, а в 1675 году Кассини обнаружил между кольцами щель.

Кольца Сатурна постоянно будоражили воображение исследователей своей уникальной формой. Кант первым предсказал существование тонкой структуры колец Сатурна. Пользуясь своей моделью протопланетного облака, он представлял себе кольцо в виде плоского диска из сталкивающихся частиц, вращающихся дифференциально вокруг планеты по закону Кеплера. Именно дифференциальное вращение, согласно Канту, является причиной расслоения диска на серию тонких колечек. Позднее Симон Лаплас доказал неустойчивость широкого кольца. В середине прошлого века астрономы обнаружили десять колечек вокруг Сатурна. Выдающийся вклад в исследование устойчивости колец Сатурна внес Джеймс Максвелл, получивший премию Адамса за труд, в котором он показал, что такие узкие кольца также неустойчивы и будут падать на планету. И хотя вывод Максвелла о падении гипотетического сплошного ледового кольца на планету был неправильным (такое кольцо гораздо раньше должно развалиться на куски), следствие из него – метеорное строение колец Сатурна – оказалось верным. Так, к концу XIX века гипотеза метеорного строения колец Сатурна, высказанная впервые Жаном Кассини, получила теоретическое, а в 1893 году – и наблюдательное подтверждение.

В течение XX века шло постепенное накопление новых данных о планетных кольцах: получены оценки размеров и концентрации частиц в кольцах Сатурна, спектральным анализом установлено, что кольца – ледяные, открыто загадочное явление азимутальной переменности яркости колец Сатурна. Размеренный темп научной деятельности сменился бурным подъемом всеобщего интереса к планетным кольцам в конце семидесятых годов, когда 10 марта 1977 году несколькими исследовательскими группами независимо были открыты узкие и далеко отстоящие друг от друга угольно-черные кольца Урана. Открытие было сделано совершенно случайно, когда, готовя аппаратуру для исследования параметров атмосферы Урана

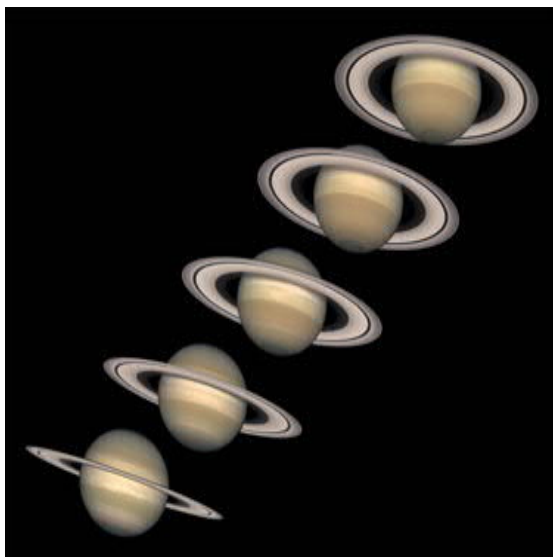


Рисунок 5.3.

Внешний вид колец меняется от года к году. Это обусловлено наклоном плоскости колец Сатурна к плоскости орбиты планеты

методом покрытия звезды и заранее настроив приборы, исследователи обнаружили короткие затмения при подходе звезды к планете и при ее удалении. Через два года – 4 марта 1979 года – американский межпланетный аппарат «Вояджер-1» обнаружил прозрачные каменные кольца и вокруг Юпитера. Десятью годами позже были открыты кольца Нептуна.

Планетные кольца оказались обязательным элементом и закономерным явлением в спутниковых системах планет-гигантов. Обилие экспериментального материала не могло не вызвать интенсивного развития теоретических моделей. Это не просто интерес к новым астрономическим объектам. Все большее распространение получает мнение, что планетные кольца – ключ к пониманию космогонии всей Солнечной системы. Считается, что кольца, в которых отдельно вращаются отдельные частицы, являются древнейшими представителями Солнечной системы. Исследование таких дисковых систем имеет принципиальную важность для космогонии, так как на протостадии это самый распространенный тип динамической системы (протопланетное облако, протоспутниковые диски, протокольца планет). К этому же классу объектов нужно отнести и протопланетные облака вокруг других звезд, аккреционные диски в системах двойных звезд, галактические и протогалактические диски. Таким образом, планетные кольца предоставляют уникальную возможность получить важнейшую информацию о коллективных и других процессах, протекавших на стадии образования планет и Солнечной системы.

Перечислим основные проблемы физики планетных колец.

- Почему существуют планетные кольца? Классические модели формирования колец предполагали, что кольца – это область приливного разрушения крупных тел. Но после полетов «Вояджеров» стало ясно, что для разрушения частиц наблюдаемых размеров (10 м) приливные силы слишком слабы. Вопрос о причинах существования колец оказался прямо связан с механическими характеристиками типичной частицы.

- Что вызвало расслоение колец Сатурна? Наблюдаемая иерархическая структура колец Сатурна составлена по принципу «матрешки»: широкие ~1000 км кольца состоят из системы более узких ~100 км колец и т.д. До сих пор не существует теории, объясняющей наличие тонких колечек.

- Как образовались и почему не разрушаются кольца Урана? Наиболее популярна гипотеза о том, что узкие, эллиптические кольца Урана сформировались и сохраняют стабильность благодаря двум спутникам-«пастухам» по краям каждого кольца. Однако «Вояджер-2» в 1986 году не обнаружил между кольцами Урана столь необходимых для этой гипотезы спутников-«пастухов». При этом данные «Вояджера-2» подтвердили альтернативную гипотезу о резонансной природе колец Урана.

Для того, чтобы дать физически цельную картину существующих планетных колец, приходится обращаться к самым различным методам и областям науки: к небесной механике и физике льда и снега, к теории удара и кинетической теории газов, к теории неустойчивостей и физике плазмы. Этот вопрос все еще ждет своих исследователей.