

КОЛЬЦА ПЛАНЕТ

Авторы: М. Я. Маров

КОЛЬЦА ПЛАНЕТ, образования, обращающиеся вокруг планеты в её экваториальной плоскости и имеющие вид диска. К. п. расположены на определённом расстоянии от планеты и состоят из совокупности твёрдых частиц небольшого размера, представляющих собой практически бесконечное число мелких спутников планеты. В Солнечной системе кольцами обладают все планеты-гиганты, у планет земной группы колец нет. Наиболее известна система колец Сатурна (впервые наблюдал Г. [Галилей](#) в 1610; Х. [Гюйгенс](#) в 1655 установил, что это система колец). У др. планет-гигантов кольца открыты лишь в 1970–80-х гг. (у Урана – при покрытии им звезды, у Юпитера и Нептуна – при пролёте вблизи планет КА «Вояджер»).

Структура колец

Кольцо Юпитера расположено на расстоянии 50 тыс. км от условной границы в атмосфере планеты (с давлением ок. 1 атм) и имеет ширину ок. 1000 км. Кольцо представляет собой область относительно малой плотности, заполненную преим. силикатными частицами малого размера (менее 10^{-5} м), придающими области оранжеватый цвет. По направлению к Юпитеру и от него эту область продолжает диффузная туманность более или менее однородной структуры.



Рис. 1. Сатурн (с кольцами и спутниками) в контрастных

Кольца Сатурна обладают значительно более сложной структурой. В них выделяют семь областей (зон). Три осн. концентрич. зоны: внешнее кольцо А, наиболее яркое среднее кольцо В (эти кольца можно наблюдать даже в обычный бинокль) и довольно прозрачное «креповое» внутр. кольцо С, не имеющее

искусственных цветах. Снимок космического телескопа «Хаббл».

резкой границы (рис. 1). Кольца А и В разделены т. н. щелью Кассини шириной ок. 4700 км, кольца В и С – т. н. щелью Максвелла

шириной ок. 270 км. Наиболее близкую к планете внутр. область кольца С выделяют как кольцо D. У внешней границы кольца А находится очень узкое кольцо F нерегулярной формы, за которым расположено кольцо G и самое внешнее, практически прозрачное кольцо E. Внешняя граница кольца А находится на расстоянии ок. 75 тыс. км от условной границы в атмосфере планеты (с давлением 1 атм), внутр. граница кольца С – на расстоянии ок. 20 тыс. км. Т. о., протяжённость чётко различимых колец Сатурна – ок. 55 тыс. км, в то время как их толщина не превышает 3,5 км. Преобладающий размер частиц колец – неск. сантиметров, но встречаются также частицы с характерным размером неск. микрометров и крупные фрагменты размером в единицы и десятки метров. Мелкие частицы участвуют в образовании пылевой плазмы, находящейся над плоскостью кольца В. Пылевая плазма образует радиальные тёмные полосы (т. н. спицы – dark spokes), контролируемые магнитным полем планеты. Угловая скорость «спиц» (в отличие от кеплеровой скорости частиц колец) совпадает с угловой скоростью собственного вращения планеты. Плотность колец не велика – сквозь них просвечивают звёзды. По данным ИК-спектрометрии, частицы колец Сатурна, вероятно, состоят из водяного льда или покрытых льдом частиц др. химич. состава. Суммарная масса частиц колец примерно соответствует спутнику диаметром ок. 200 км. В соответствии с законами Кеплера, скорость движения частиц во внутр. зоне кольца больше, чем во внешней. Экватор Сатурна наклонён к плоскости эклиптики под углом 27° , поэтому в разных точках орбиты планеты кольца при наблюдении с Земли видны под разными углами. При наиболее благоприятной конфигурации видна вся их ширина – наблюдается т. н. раскрытие колец. В др. предельном случае кольца выглядят как очень тонкая полоска, видимая лишь в крупные телескопы. Это происходит, когда плоскость колец проходит точно через центр Солнца и их боковая поверхность оказывается неосвещённой либо когда кольца обращены к наблюдателю на Земле «ребром». Период обращения Сатурна вокруг Солнца и, соответственно, полный цикл изменения фаз колец составляет ок. 29,5 лет.

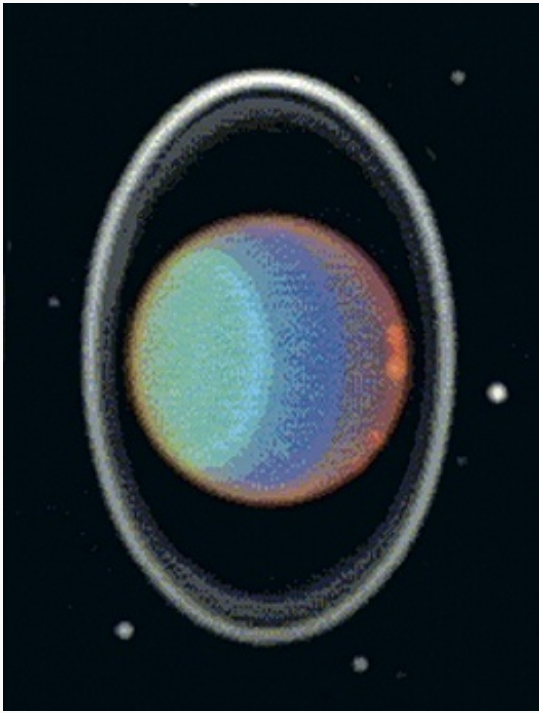


Рис. 2. Уран (с кольцами и спутниками) в контрастных искусственных цветах. Снимок космического телескопа «Хаббл».

Кольца Урана (рис. 2) очень тёмные и узкие, состоят из частиц, не имеющих ледяной оболочки. К кон. 2008 у Урана открыто 13 колец, обозначаемых буквами греч. алфавита ($\alpha, \beta, \gamma, \dots$). Самое крупное из этих колец (ϵ) имеет неравномерную ширину и форму. Плоскость колец Урана почти перпендикулярна плоскости эклиптики.

Кольца Нептуна образованы тёмными частицами и состоят из четырёх узких зон. Они отличаются ещё более нерегулярной формой и переменной плотностью, поэтому выглядят состоящими из отд. «арок». Два наиболее характерных кольца с арками названы в честь учёных Дж. К. [Адамса](#) и У. [Леверье](#), предсказавших существование Нептуна путём

расчёта его орбиты.

Формирование колец

Образование систем колец вокруг планет-гигантов является прямым следствием законов механики и напоминает процесс формирования планет. Все кольца находятся внутри т. н. [Роша предела](#) – области, в которой спутник планеты может быть разорван на части за счёт приливных сил. Этот эффект препятствует консолидации частиц, находящихся вблизи планеты, и, соответственно, образованию крупных спутников. Совр. конфигурация колец обязана своим происхождением влиянию гравитац. притяжения спутников планеты, находящихся в ближайших окрестностях (или даже внутри) структуры колец и называемых по этой причине «пастухами». Частицы колец, сами представляющие собой маленькие спутники, оказываются в резонансах с более крупными спутниками планеты (т. е. отношение периода их обращения к периоду обращения спутника выражается простой дробью – $1/2, 2/3$ и т. п.). Это приводит к нарушению однородной структуры колец, в частности к образованию внутри них

щелей (напр., щели Кассини в кольцах Сатурна), по своей природе аналогичных «пустым» областям (т. н. люкам Кирквуда) в Главном поясе астероидов (см. [Астероиды](#)). Те же причины вызывают генерацию волн плотности, формирование иерархич. структуры колец и их расслоение на тысячи тонких спиральных колечек (ringlets), наблюдаемых в структуре осн. колец Сатурна (рис. 3).

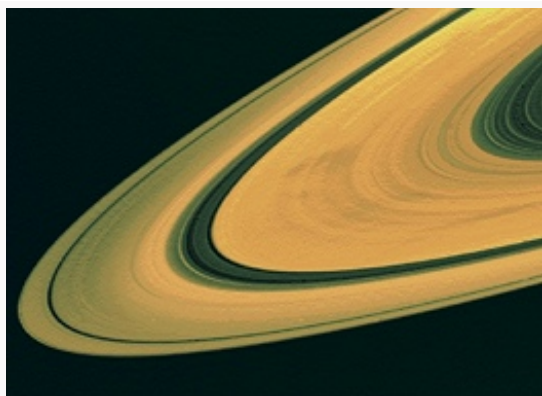


Рис. 3. Кольца Сатурна. Снимок космического аппарата «Вояджер-2».

Наличие спутников с очень близкими орбитами приводит также к эффекту гравитац. фокусировки и концентрации частиц в тонких кольцах Урана и к образованию сгустков частиц (арок), дрейфующих в азимутальном направлении у колец Нептуна. Механизм образования арок до конца не понят, хотя одним из объяснений служит наличие резонансов частиц колец со спутником Нептуна Галатеей, поскольку эксцентриситеты и наклоны орбит частиц и спутника

практически одни и те же. Резонансы препятствуют равномерному распределению частиц вдоль орбиты. Т. о., К. п. представляют собой сложную открытую систему частиц, находящихся в орбитальном движении и одновременно испытывающих хаотич. взаимодействия. В результате в системе возникает эффект самоорганизации, создающий упорядоченность в конфигурациях колец (в первую очередь за счёт возникновения коллективных процессов и наличия в дисковой системе неупругих столкновений макрочастиц). Механизм самоорганизации заложен в самой системе; близкие спутники планеты оказывают на процесс дополнит. «стимулирующее» влияние.

Существуют две осн. гипотезы происхождения К. п.: 1) образование колец из частиц протопланетного облака (из которых сформировались спутники вне предела Роша); 2) возникновение К. п. в результате распада астероида или кометы, попавших внутрь предела Роша. Характерным примером последнего события служит кольцо Юпитера. В пользу второй гипотезы говорит также оценка времени существования колец – ок. 0,5 млрд. лет, что существенно меньше возраста Солнечной системы (ок. 4,5 млрд.

лет). В рамках этой гипотезы нужно считать, что К. п. периодически возникают и исчезают в результате гравитац. захвата планетой малого тела и его последующего разрушения. Другим аргументом, подтверждающим гипотезу распада, могут служить, напр., преимущественно ледяные частицы колец Сатурна. Эти частицы обладают высоким альбедо, т. е. не покрыты тёмным микрометеорным веществом, как это произошло бы с реликтовыми кольцами за время существования Солнечной системы.

Литература

Лит.: Planetary rings / Ed. R. Greenberg, A. Brahic. Tucson, 1984; Горькавый Н. Н., Фридман А. М. Физика планетных колец. М., 1994; Miner E., Wessen R., Cuzzi J. Planetary ring systems. B.; N. Y., 2007.