
Гипотезы, дискуссии, предложения

На чем держатся кольца планет

Н. Н. ГОРЬКАВЫЙ,
кандидат физико-математических наук
Симеизская научная база Астрономического совета АН СССР
А. М. ФРИДМАН,
доктор физико-математических наук
Астрономический совет АН СССР



Кольца Урана

Авторы разработали теорию коллективных и столкновительных процессов в кольцах планет [Государственная премия СССР за 1989 г.]. На ее основе была предсказана система новых спутников Урана. В результате сближения в августе 1989 г. аппарата «Вояджер-2» с Нептуном [Земля и Вселенная, 1991, №№ 2, 3] получены новые подтверждения созданной модели образования колец планет.

НЕ ПРИВЛЕКАЯ «ПАСТУХОВ»

В 1979 г. «Вояджеры» открыли прозрачное кольцо Юпитера, и стало ясно, что наличие колец — закономерность в системах внешних планет (к тому времени в 1977 г. уже были открыты кольца Урана).

В 1980—1981 гг. ученые недоверчиво разглядывали полученные из космоса снимки колец Сатурна. С Земли кольца казались гладкими и блестящими, а вблизи превратились в подобие граммофонной пластинки, так как состояли из множества более узких колечек, причем среди них обнаружили несколько узких, плотных эксцентриситетных колечек — аналогов девяти колец Урана.

Эксцентриситетные кольца доставили массу хлопот теоретикам: по всем «нормальным» законам механики они должны быть неустойчивыми. Американские ученые предложили устойчивую модель колец, допустив, что каждое из колечек сопровождается парой невидимых спутников-«пастухов», не позволяющих частицам кольца разбежаться в разные стороны.

Модель подтвердилась на одном, самом внешнем из эксцентриситетных колец Сатурна — кольце F. И вот «Вояджер-2» подлетает к Урану, и снова только внешнее кольцо планеты оказалось под опекой «пастухов», у остальных колец не было обнаружено ни одного спутника ожидаемых размеров. Более того, после пролета «Вояджера» проблема устойчивости усугубилась: оказалось, планета имеет очень протяженную верхнюю атмосферу, поэтому получалось, что из-за аэродинамического трения кольца должны упасть на планету через считанные миллионы лет. Причем удержать

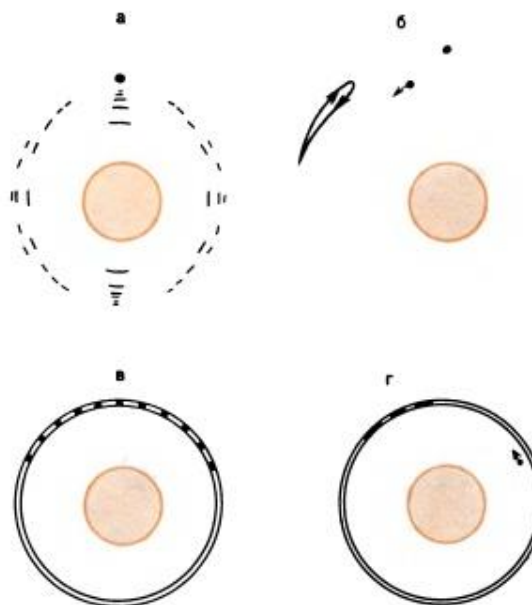
их не смогут даже спутники-«пастухи» (если предположить, что их размеры не превышают 10 км и поэтому они не были открыты «Вояджером»).

Еще более «патологическими» выглядели изредка регистрируемые в середине 80-х годов кольца, вернее, «дуги» Нептуна. Данные о них приводились крайне недостоверные. Бесспорно было только одно — достаточно плотные арки резко обрывались вдоль орбиты. Что могло преодолеть мощное дифференциальное вращение и расплывание дуги вдоль орбиты?

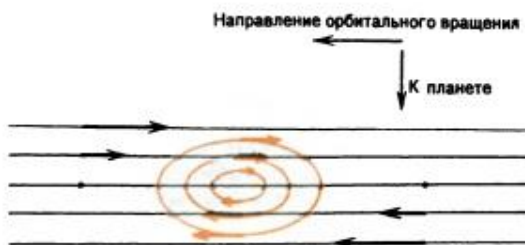
Модели с «пастухами» и тут пользовались бесспорным предпочтением среди теоретиков. По одной из них на орбите вместе с дугами должен находиться массивный спутник, удерживающий дуги в точках Лагранжа, отстоящих на 60° вдоль орбиты в ту и другую сторону от спутника. По другой модели дуги удерживаются резонансным влиянием внешнего неоткрытого спутника на наклонной орбите, образуя симметричный узор вокруг планеты.

Подходы, предполагающие жесткий контроль за динамикой вещества колец со стороны спутников-«пастухов», строились на основе классических задач небесной механики, где всегда присутствуют несколько гравитирующих центров (задача N тел). Поэтому кольца стали моделироваться из пробных частиц, которые могут организовывать структуры только под действием гравитационных полей крупных спутников.

Альтернативная концепция колец, разрабатываемая авторами данной статьи, предполагает способность колец к самоорганизации. В 1988 г. нами была высказана гипотеза, согласно которой дуги Нептуна — плотные части непрерывных колец (это существенно облегчает решение проблемы устойчивости дуг без притяжения «пастухов»). В 1989 г. Н. Н. Горькавым предложена конкретная модель устойчивых дуг Нептуна без «пастухов». По этой модели, дуги Нептуна представляют собой набор из нескольких десятков плотных вихрей с обратным вращением, как бы нанизанных на стабилизирующее прозрачное и непрерывное пылевое кольцо, невидимое с Земли. Частицы в таких вихрях движутся по закону Кеплера и имеют одинаковые большие полуоси орбит, что обеспечивает их равные периоды обращения и нерасплывание вдоль орбиты. А. М. Фридман заметил, что такие вихри подобны антициклонам в дифференциально-вращающейся атмосфере и напоминают Большое Красное Пятно Юпитера. Нужно отметить, что вихри с подобной организацией движения частиц рассматривал еще в 1943 г. К. Вайцзеккер



Теоретические модели арок Нептуна, предложенные до пролета его «Вояджером-2»: Голдрайха-Тремайна-Бордери (а), Лиссауера (б), Горькавого (в), и вид внешнего кольца Нептуна по данным, полученным «Вояджером» (г)



Эпидиклический вихрь (эпитон) в пылевом кольце. Стрелками соответствующей длины показаны скорости частиц вихря и пылинок кольца

в своей космогонической модели происхождения планет.

ОТКРЫТИЕ СОСТОЯЛОСЬ, ВОПРОСЫ ОСТАЮТСЯ

«Вояджер» безжалостно разбил классическую небесномеханическую модель. Он сфотографировал два узких, очень прозрачных и непрерывных колечка (и еще два совсем малозаметных пылевых). На внешнем кольце оказались нанизаны три плотных, ярких дуги. Ни расположение дуг, ни фотографии, полученные с «Вояджера», не



Два наиболее плотных кольца Нептуна. На внешнем кольце видны арки



Структура, образовавшаяся при фотографировании цепи движущихся сгущений внутри дуги. Расстояние между сгущениями, по оценкам американских специалистов, 100—200 км

содержали даже намека на существование «пастуха», ограничивающего движение частиц по орбите. Кольцам Нептуна, «попирающим законы небесной механики», было посвящено интервью с ведущими специалистами проекта «Вояджер» в «Нью-Йорк таймс» от 15 декабря 1989 г. Все они говорили о возбуждении, царящем среди теоретиков, и о неспособности ранее существовавших моделей объяснить наблюдаемую картину.

С другой стороны, как легко может убедиться читатель, гипотеза самоорганизующихся колец хорошо согласуется с данными «Вояджера-2». Впрочем, даже в такой ситуации поверить в столь экзотическую теорию было трудно. Решающим доводом стало открытие «Вояджером-2» регулярной цепи сгустков внутри отдельных дуг. Фотографии, на которых удалось их зафиксировать, были впервые опубликованы в декабре 1989 г. Таким образом, безоговорочно подтвердилась предложенная модель дуг Нептуна, по которой вихри-бусины нанизаны на нитку непрерывного кольца.

Интересно, что только случай помог открыть эти сгущения внутри дуги. Дело в том, что экспозиция при съемке составляла десятка секунд. За это время вихри пролетают вдоль орбиты многие сотни километров, оставляя на фотографии длинный трек. Если бы этот снимок был сделан покая-

щимся наблюдателем, то треки слились бы в одну светлую линию. Но «Вояджер» летел со скоростью 19 км/с, и, как ни старались ученые скомпенсировать эту скорость движением телекамер, следы отдельных вихрей на фотографии удачно сместились и не наложились друг на друга.

Запечатленная картина отличается от ожидаемой только тем, что вихри не распределены равномерно вдоль всей орбиты (как предполагали, считая, что вихри отталкиваются друг от друга при гравитационном взаимодействии), а образуют скопления в виде дуг. Последующий аналитический и компьютерный анализ показал — вихри обмениваются угловым моментом друг с другом посредством вомущения пылевого кольца. Это приводит к сближению далеко отстоящих вихрей. Притяжение на больших расстояниях и отталкивание вблизи приводят к тому, что вихри уравниваются на расстоянии 100—200 км друг от друга (размер самих вихрей около 20 км), образуя регулярную цепь.

Исследование этого удивительного, ранее неизвестного ученым типа устойчивых космических объектов только начинается. Возникает много новых вопросов. Так, протопланетный и протоспутниковый диски, как и планетные кольца, — тоже дифференциально-вращающиеся диски неупругих макрочастиц. Неужели фантастические структуры в кольцах планет не имеют аналогов в протопланетном диске? Неужели динамика протодисков была скучнее и беднее процессов в современных кольцах?

Научная значимость проекта «Вояджер» уникальна, проект практически завершил эпоху «великих географических открытий в Солнечной системе», где не исследованным вблизи остался только крошечный Плутон с, по-видимому, единственным спутником Хароном.

Будущие проекты предусматривают создание искусственных спутников планет-гигантов. В 1989 г. в США запущен аппарат «Галилей», который выйдет в 1995 г. на орбиту вокруг Юпитера, где проведет около двух лет и осуществит зондирование атмосферы планеты (Земля и Вселенная, 1990, № 1, с. 70.— Ред.). На 1996 г. планируется старт к Сатурну аппарата «Кассини» (см. «Земля и Вселенная», 1990, № 4, с. 47). Авторы статьи совместно с В. А. Мининым выдвинули проект «Кронос» — зондирования колец Сатурна с касательной траектории. Это позволило бы получить уникальные данные, например, решить окончательно вопрос о существовании «пастухов» вблизи эллиптических колечек и сфотографировать составляющие их кольца частицы.