Введение

Космическая геодезия - одна из наиболее молодых наук. так как она напрямую связана с космонавтикой и технологией, она получила бурное развитие. Если вначале использовали космические методы для исследования Земли, то со временем появилась возможность исследовать и другие небесные объекты. Первым небесным телом, которое было изучено методами космической геодезии, явилась Луна. В изучении Луны преуспели как советские, так и американские ученые.

Затем был предпринят "штурм" Венеры и Марса. Однако, в исследовании внешних планет приоритет получили американцы. Одним из ярчайших примеров этого успеха явились программы "Пионер" и "Вояджер". В программу этих проектов входило исследование планеты Сатурн. Полеты АМС позволили уточнить основные характеристики планеты и ее спутников.

Данный реферат основан на информации, полученной с помощью этих космических аппаратов.

1. Атмосфера и облачный слой.

Всякий, кто наблюдал планеты в телескоп, знает, что на поверхности Сатурна, то есть на верхней границе его облачного покрова, заметно мало деталей и контраст их с окружающим фоном невелик. Этим Сатурн отличается от Юпитера, где присутствует множество контрастных

деталей в виде темных и светлых полос, волн, узелков, свидетельствующих о значительной активности его атмосферы.

Возникает вопрос, действительно ли атмосферная активность Сатурна (например скорость ветра) ниже, чем у Юпитера, или же детали его облачного покрова просто хуже видны с Земли из-за большего расстояния (около 1,5 млрд. км.) и более скудного освещения Солнцем (почти в 3,5 раза слабее освещения Юпитера)?

"Вояджерам" удалось получить снимки облачного покрова Сатурна, на которых отчетливо запечатлена картина атмосферной циркуляции: десятки облачных поясов, простирающихся вдоль параллелей, а также отдельные вихри. Обнаружен, в частности, аналог Большого Красного Пятна Юпитера, хотя и меньших размеров. Установлено, что скорости

ветров на Сатурне даже выше, чем на Юпитере: на экваторе 480 м/с, или 1700 км/ч. Число облачных поясов больше, чем на юпитере, и достигают они более высоких широт. Таким образом, снимки облачности демонстрируют своеобразие атмосферы Сатурна, которая даже активнее юпитерианской.

Метеорологические явления на Сатурне происходят при более низкой температуре, нежели в земной атмосфере. Поскольку Сатурн в 9,5 раз дальше от Солнца, чем Земля, он получает в 9,5 =90 раз меньше тепла.

Температура планеты на уровне верхней границы облачного покрова, где давление равно 0,1 атм, составляет всего 85 К, или -188 С. Интересно, что за счет нагревания одним Солнцем даже такой температуры получить нельзя. Расчет показывает: в недрах Сатурна имеется свой собственный источник тепла, поток от которого в 2,5 раза больше, чем от Солнца. Сумма этих двух потоков и дает наблюдаемую температуру планеты. Космические аппараты подробно исследовали химический состав надоблачной атмосферы Сатурна. В основной она состоит почти на 89% из водорода. На втором месте гелий (около 11% по массе). Отметим, что в атмосфере Юпитера его 19%. Дефицит гелия на Сатурне объясняют гравитационным разделением гелия и водорода в недрах планеты: гелий, который тяжелее, постепенно оседает на большие глубины (что, кстати говоря, высвобождает часть энергии, "подогревающей" Сатурн). Другие газы в атмосфере - метан, аммиак, этан, ацетилен, фосфин - присутствуют в малых количествах. Метан при столь низкой температуре ( около -188 С)находится в основном в капельножидком состоянии. Он образует облачный покров Сатурна. Что касается малого контраста деталей, видимых в атмосфере Сатурна, о чем говорилось выше, то причины этого явления пока еще не вполне ясны. Было высказано предположение, что в атмосфере взвешена ослабляющая контраст дымка из мельчайших твердых частиц. Но наблюдения "Вояджера-2" опровергают это: темные полосы на поверхности планеты оставались резкими и ясными до самого края диска Сатурна, тогда как при наличии дымки они бы к краям замутнялись из-за большого количества частиц перед ними. Вопрос, таким образом, не может считаться решенным и требует дальнейшего расследования.

Данные, полученные с "Вояджера-1", помогли с большой точностью определить экваториальный радиус Сатурна. На уровне вершины облачного покрова экваториальный радиус составляет 60330 км. или в 9,46 раза больше земного. Уточнен также период обращения Сатурна вокруг оси: один оборот он совершает за 10 ч. 39,4 мин - в 2,25 раза быстрее Земли. Столь быстрое вращение привело к тому, что сжатие Сатурна значительно больше, чем у Земли. Экваториальный радиус Сатурна на 10% больше полярного (у Земли - только на 0,3%).

2. Магнитные свойства Сатурна.

До тех пор, пока первые космические аппараты не достигли Сатурна, наблюдательных данных о его магнитном поле не было вообще. но из наземных радиоастрономических наблюдений явствовало, что Юпитер обладает мощным магнитным полем. Об этом свидетельствовало тепловое радиоизлучение на дециметровых волнах, источник которого оказался больше видимого диска планеты, причем он вытянут вдоль экватора Юпитера симметрично по отношению к диску. Такая геометрия, а также поляризованность излучения свидетельствовали о том, что наблюдаемое излучение магнитно-тормозное и источник его - электроны, захваченные магнитным полем Юпитера и населяющие его радиационные пояса, аналогичные радиационным поясам Земли. Полеты к Юпитеры подтвердили эти выводы. Поскольку Сатурн весьма сходен с Юпитером по своим физическим свойствам, астрономы предположили, что достаточно заметное магнитное поле есть и у него. Отсутствие же у Сатурна наблюдаемого с Земли магнитно-тормозного радиоизлучения объясняли влиянием колец. Эти предложения подтвердились. Еще при подлете "Пионера-11" к Сатурну его приборы зарегистрировали в около планетном пространстве образования, типичные для планеты, обладающей ярко выраженным магнитным полем: головную ударную волну, границу магнитосферы (магнитопаузу), радиационные пояса (Земля и Вселенная, 1980, N2, с.22-25 - Ред.). В целом магнитосфера Сатурна весьма сходна с земной, но, конечно, значительно больше по размерам. Внешний радиус магнитосферы Сатурна в подсолнечной точке составляет 23 экваториальных радиуса планеты, а расстояние до ударной волны - 26 радиусов. Для сравнения можно напомнить, что внешний радиус земной магнитосферы в подсолнечной точке - около 10 земных радиусов. Так что даже по относительным размерам магнитосфера Сатурна превосходит земную более чем вдвое. Радиационные пояса Сатурна настолько обширны, что охватывают не только кольца, но и орбиты некоторых внутренних спутников планеты. Как и ожидалось, во внутренней части радиационных поясов, которая "перегорожена" кольцами Сатурна, концентрация заряженных частиц значительно меньше. Причину этого легко понять, если вспомнить, что в радиационных поясах частицы совершают колебательные движения примерно в меридиональном направлении, каждый раз пересекая экватор. Но у Сатурна в плоскости экватора располагаются кольца: они поглощают почти все частицы, стремящиеся пройти сквозь них. В результате внутренняя часть радиационных поясов, которая в отсутствие колец была бы в системе Сатурна наиболее интенсивным источником радиоизлучения, оказывается ослабленной. Тем не менее "Вояджер-1", приблизившись

к Сатурну, все же обнаружил нетепловое радиоизлучение его радиационных поясов.

В отличие от Юпитера Сатурн излучает в километровом диапазоне длин волн. Заметив, что интенсивность излучения модулирована с периодом 10ч. 39,4 мин., предположили, что это и есть период осевого вращения радиационных поясов, или, другими словами, период вращения магнитного поля Сатурна. Но тогда это и период вращения Сатурна. В самом деле, магнитное поле Сатурна порождается электрическими токами в недрах планеты, - по-видимому, в слое, где под влиянием колоссальных давлений водород перешел в металлическое состояние. При вращении этого слоя с той угловой скоростью вращается и магнитное поле. Вследствие большой вязкости вещества внутренних частиц планеты все они вращаются с одинаковым периодом. Таким образом, период вращения магнитного поля - это в то же время период вращения большей части массы Сатурна (кроме атмосферы, которая вращается не как твердое тело).

3. Кольца Сатурна

С Земли в телескоп хорошо видны три кольца: внешнее, средней яркости кольцо А; среднее, наиболее яркое кольцо В и внутреннее, не яркое полупрозрачное кольцо С, которое иногда называется креповым. Кольца чуть белее желтоватого диска Сатурна. Расположены они в плоскости экватора планеты и очень тонки: при общей ширине в радиальном направлении примерно 60 тыс. км. они имеют толщину менее 3 км. спектроскопически было установлено, что кольца вращаются не так, как твердое тело, - с расстоянием от Сатурна скорость убывает. Более того, каждая точка колец имеет такую скорость, какую имел бы на этом расстоянии спутник, свободно движущийся вокруг Сатурна по круговой орбите. Отсюда ясно: кольца Сатурна по существу представляют собой колоссальное скопление мелких твердых частиц, самостоятельно обращающихся вокруг планеты. Размеры частиц столь малы, что их не видно не только в земные телескопы, но и с борта космических аппаратов. Характерная особенность строения колец - темные кольцевые промежутки (деления), где вещества очень мало. Самое широкое из них (3500 км) отделяет кольцо В от кольца А и называется "делением Кассини" в честь астронома, впервые увидевшего его в 1675 году. При исключительно хороших атмосферных условиях таких делений с Земли видно свыше десяти.Природа их, по-видимому, резонансная. Так, деление Кассини - это область орбит, в которой период обращения каждой частицы вокруг Сатурна ровно вдвое меньше, чем у ближайшего крупного спутника Сатурна - Мимаса. Из-за такого совпадения Мимас своим притяжением как бы раскачивает частицы, движущиеся внутри деления, и в конце концов выбрасывает их оттуда.

Бортовые камеры "Вояджеров" показали, что с близкого расстояния кольца Сатурна похожи на граммофонную пластинку: они как бы расслоены на тысячи отдельных узких колечек с темными прогалинами между ними. Прогалин так много, что объяснить их резонансами с периодами обращения спутников Сатурна уже невозможно. Чем же объясняется эта тонкая структура? Вероятно, равномерное распределение частиц по плоскости колец механически неустойчиво. Вследствие этого возникают круговые волны плотности - это и есть наблюдаемая тонкая структура.

Помимо колец А,В и С "Вояджеры" обнаружили еще четыре: D,E,F и

G. Все они очень разрежены и потому неярки. Кольца D и E с трудом видны с Земли при особо благоприятных условиях; кольца F и G обнаружены впервые. Порядок обозначения колец объясняется историческими причинами, поэтому он не совпадает с алфавитным. Если расположить кольца по мере их удаления от Сатурна, то мы получим ряд: D,C,B,A,F,G,E. Особый интерес и большую дискуссию вызвало кольцо F. К сожалению, вывести окончательное суждение об этом объекте пока не удалось, так как наблюдения двух "Вояджеров" не согласуются между со бой. Бортовые камеры "Вояджера-1" показали, что кольцо F состоит из нескольких колечек общей шириной 60 км., причем два из них перевиты друг с другом, как шнурок. Некоторое время господствовало мнение, что ответственность за эту необычную конфигурацию несут два небольших новооткрытых спутника, движущихся непосредственно вблизи кольца F, - один из внутреннего края, другой - у внешнего (чуть медленнее первого, так как он дальше от Сатурна). Притяжение этих спутников не дает крайним частицам уходить далеко от его середины, то есть спутники как бы "пасут" частицы, за что и получили название "пастухов". Они же, как показали расчеты, вызывают движение частиц по волнистой линии, что и создает наблюдаемые переплетения компонентов кольца. Но "Вояджер-2", прошедший близ Сатурна девятью месяцами позже, не обнаружил в кольце F ни переплетений, ни каких-либо других искажений формы, - в частности, и в непосредственной близости от "пастухов". Таким образом, форма кольца оказалась изменчивой. Для суждения о причинах и закономерностях этой изменчивости двух наблюдений, конечно, мало. С Земли же наблюдать кольцо F современными средствами невозможно - яркость его слишком мала. Остается надеяться, что более тщательное исследование полученных "Вояджерами" снимков кольца прольет свет на эту проблему.

Кольцо D - ближайшее к планете. Видимо, оно простирается до самого облачного шара Сатурна. Кольцо E - самое внешнее. Крайне разряженное, оно в то же время наиболее широкое из всех - около 90 тыс. км. Величина зоны, которую оно занимает, от 3,5 до 5 радиусов планеты. Плотность вещества в кольце E возрастает по направлению к орбите спутника Сатурна Энцелада. Возможно, Энцелад - источник вещества этого кольца. Частицы колец Сатурна, вероятно, ледяные, покрытые сверху инеем. Это было известно еще из наземных наблюдений, и бортовые приборы космических аппаратов лишь подтвердили правильность такого вывода. Размеры частиц главных колец оценивались из наземных наблюдений в пределах от сантиметров до метров (естественно, частицы не могут быть одинаковыми по величине: не исключается также, что в разных кольцах типичный поперечник частиц различен). Когда "Вояджер-1" проходил вблизи Сатурна, радиопередатчик космического аппарата последовательно пронизывал радиолучом не волне 3,6 см. кольцо А, деление Кассини и кольцо С. Затем радиоизлучение было принято на Земле и подверглось анализу. Удалось выяснить, что частицы указанных зон рассеивают радиоволны преимущественно вперед, хотя и несколько по-разному. Благодаря этому оценили средний поперечник частиц кольца А в 10 м, деления Кассини - в 8 м и кольца С - в 2 м. Сильное рассеяние вперед, но на этот раз в видимом свете, обнаружено у колец F и E. Это означает наличие в них значительного количества мелкой пыли (поперечник пылинки около десятитысячных долей миллиметра). В кольце В обнаружили новый структурный элемент – радиальные образования, получившие названия "спиц" из-за внешнего сходства со спицами колеса. Они также состоят из мелкой пыли и расположены над плоскостью кольца. Не исключено, что "спицы" удерживаются там силами электростатического отталкивания. Любопытно отметить: изображения "спиц" были найдены на некоторых зарисовках Сатурна, сделанных еще в прошлом веке. Но тогда никто не придал им значения. Исследуя кольца, "Вояджеры" обнаружили неожиданным эффект - многочисленные кратковременные всплески радиоизлучения, поступающего от колец. Это не что иное, как сигналы от электростатических разрядов - своего рода молнии. Источник электризации частиц, по-видимому, столкновения между ними. Кроме того6 была открыта окутывающая кольца газообразная атмосфера из нейтрального атомарного водорода. "Вояджерами" наблюдалась линия Лайсан-альфа (1216 А) в ультрафиолетовой части спектра. По ее интенсивности оценили число атомов водорода в кубическом сантиметре атмосферы. Их оказалось примерно 600. Нужно сказать, некоторые ученые задолго до запуска к Сатурну космических аппаратов предсказывали возможность существования атмосферы у колец Сатурна. "Вояджерами" была также сделана попытка измерить массу колец. Трудность состояла в том, что масса колец по крайней мере в миллион раз меньше массы Сатурна. Из-за этого траектория движения космического аппарата вблизи Сатурна в громадной степени определяется мощным притяжением самой планеты и лишь ничтожно возмущается слабым притяжением колец. Между тем именно слабое притяжение и необходимо выявить. Лучше всего для этой цели подходила траектория "Пионера-11". Но анализ измерений траектории аппарата по его радиоизлучению показал, что кольца ( в пределах точности измерений) на движение аппарата не повлияли. Точность же составила 1,7 х 10 массы Сатурна. Иными словами, масса колец заведомо меньше 1,7 миллионных долей массы планеты.

4. Спутники Сатурна

Если до полетов космических аппаратов к Сатурну было известно 10 спутников планеты, то сейчас мы знаем 17 (Земля и Вселенная, 1981, N2, с. 40-45-Ред.). Новые семь спутников весьма малы, но тем не менее некоторые из них оказывают серьезное влияние на динамику системы Сатурна. Таков, например, маленький спутник, движущийся у внешнего края кольца А; он не дает частицам кольца выходить за пределы этого края. Это Атлас. (В греческой мифологии многоглазый великан, стерегущий по приказу богини Геры возлюбленную Зевса Ио. В переносом смысле - бдительный страж). Титан является вторым по величине спутником в Солнечной Системе. Его радиус равен 2575 километров. Его масса составляет 1,346 х 10 грамм (0,022 массы Земли), а средняя плотность 1,881 г/см . Это единственный спутник, обладающий значительной атмосферой, причем его атмосфера плотнее, чем у любой из планет земной группы, исключая Венеру. Титан подобен Венере еще и тем, что у него имеются глобальная дымка и даже небольшой тепличный подогрев у поверхности. В его атмосфере, вероятно, имеются метановые облака, но это твердо не установлено. Хотя в инфракрасном спектре преобладают метан и другие углеводороды, основным компонентом атмосферы является азот, который проявляется в сильных УФ-эмиссиях. Верхняя атмосфера весьма близка к изотермическому состоянию на всем пути от стратосферы до экзосферы, а температура на поверхности с точностью до нескольких градусов одинакова по всей сфере и равна 94 К. Радиусы темно-оранжевых или коричневых частиц стратосферного аэрозоля в основном не превышают 0,1 мкм, а на больших глубинах могут существовать более крупные частицы. Предполагается, что аэрозоли являются конечным продуктом фотохимических превращений метана и что они аккумулируются на поверхности (или растворяются в жидком метане или этане). Наблюдаемые углеводороды и органические молекулы могут возникать при естественных фотохимических процессах. Удивительным свойством верхней атмосферы являются УФ-эмиссии, приуроченные к дневной стороне, но слишком яркие, чтобы их могла возбудить поступающая солнечная энергия. Водород быстро диссипирует, пополняя наблюдаемый тор, вместе с некоторым количеством азота,

выбиваемого при диссоциации N2 электронными ударами. На основе наблюдаемого расщепления температуры можно построить глобальную систему ветров. Глобальный состав Титана, по-видимому, определяется тем набором конденсируемых веществ, которые образовались в плотном газовом диске вокруг прото-Сатурна. Существуют три возможных сценария происхождения: холодная аккреция (означающая, что повышение температуры в ходе образования пренебрежимо мало), горячая аккреция при отсутствии плотной газовой фазы и горячая аккреция в присутствии плотной газовой фазы. На рис. показано, как могут выглядеть в разряде недра Титана. Вероятно наличие горячего дегидротированного силикатного ядра, а также расплавленного слоя NH -H O, однако детальное расположение ледяных слоев в настоящее время достоверно неизвестно. Конвекция преобладает повсюду, кроме внешней оболочки. Япете. Возможно, что самый таинственный из спутников Сатурна, Япете, является единственным по интервалу альбедо его поверхности - от 0,5 (типичное значение для ледяных тел) до 0,05 в центральных частях его ведущего по ходу обращения полушария. "Вояджером - 1" были получены изображения с максимальным разрешением 50 км/пара линий, показывающие в основном полушарие обращенное к Сатурну, и границу между ведущей (темной) и ведомой (светлой) сторонами. Было зарегистрировано огромное темное экваториальное кольцо диаметром около 300 км с долготой центра около 300 . Вояджеровские наблюдения, полученные с наибольшим разрешением, показывают, что светлая сторона ( и особенно область северного полюса) сильно кратеризована: поверхностная плотность составляет 205+16 кратеров ( D>30 км) на 10 км . Экстраполяция до диаметров 10 км приводит к плотности более 2000 кратеров ( D>10 км) на 10 км . Такая плотность сравнима с плотностями на других сильно кратеризованных телах, таких, как Меркурий и Каллисто, или с плотностью кратеров на лунных континентах. Характерной чертой границы между темной и светлой областями на Япете является существование многочисленных кратеров с темным дном на светлом веществе и отсутствие на темном веществе кратеров со светлым дном или кратеров с гало (или других белых пятен). Плотность Япета, равная 1,16+0,09 г/см характерна для ледяных Спутников Сатурна и согласуется с моделями, в которых водяной лед является главной составляющей. Белл считает, что темное вещество является основным компонентом исходного конденсата, из которого образовался Япет.

Рея. Почти двойник Япета по размерам, но без его темного вещества, Рея может представлять собой относительно простой прототип ледяного спутника внешних областей Солнечной системы. Диаметр Реи 1530 км, а плотность 1,24+0,05 г/см . Ее геометрическое альбедо равно 0,6 и оказывается подобным альбедо полюсов и ведомого полушария Япета.

Это позволило сделать важный шаг в исследовании природы спутников. Зная диаметр спутника, легко вычислить его объем. Разделив массу спутника на объем, получим среднюю плотность - характеристику, помогающую установить, из каких веществ состоит данное небесное тело. Выяснилось, что плотности внутренних спутников Сатурна - от Мимаса до Реи, а также Япета - близки к плотности воды: от 1,0 до 1,4 г/см ,Есть основания полагать, что эти спутники главным образом, и состоят из воды (конечно, не жидкой, так как их температура около -180 С). Тефия, плотность которой 1 г/см , особенно похожа на кусок чистого льда. В других спутниках также должна иметься большая или меньшая примесь каменистых веществ. "Вояджеры" подходили к спутникам Сатурна так близко, что удалось не только определить диаметры спутников, но и передать на Землю изображения их поверхности. Уже составлены первые карты спутников.

Наиболее распространенные образования на их поверхности - кольцевые кратеры, подобные лунным. Происхождение кратеров ударное: летящее в межпланетном пространстве метеорное тело сталкивается со спутником, его космическая скорость почти мгновенно падает до нуля, кинетическая энергия переходит в тепло. Происходит взрыв с образованием кольцевого кратера.

Некоторые кратеры нужно упомянуть особо. Например, большой кратер на маленьком Мимасе. Диаметр кратера около 130 км., или треть диаметра спутника. Вероятно, ударного кратера большего размера на Мимасе быть не может. При несколько большей кинетической энергии космического тела, нанесшего удар, Мимас разлетелся бы на куски. Множество кратеров, которые мы сейчас видим на снимках спутников Сатурна, - это летопись их истории, уходящая вглубь времен по меньшей мере на сотни миллионов лет. Отметины, произведенные небесными камнями, свидетельствуют, что в отдаленную эпоху формирования планетной системы околосолнечное пространство (по крайней мере до орбиты Сатурна) было насыщено множеством отдельных твердых тел , из которых постепенно сложились планеты и спутники. И даже после того, как формирование планет и спутников в основном завершилось, остаток этих твердых тел долгое время продолжал двигаться в пространстве. Таковы, в основном, наши сегодняшние сведения о Сатурне. Необходимо только оговориться, что в первую очередь речь шла о непосредственных фактических данных. Более глубокие выводы, которые могут быть из них сделаны и, вероятно, будут сделаны , потребуют длительной работы ученых. Она еще впереди.

Заключение

В своей работе я попыталась обобщить результаты, полученные "Пионером" и "Вояджером", о Сатурне и его спутниках. По этим данным была построена планетоцентрическая система координат и уточнена теория колец Сатурна. В связи с этим появились новые перспективы развития космической геодезии. К 1995 году намечен запуск американского проекта "Кассини", который проверит гипотезы о происхождении и эволюции системы Сатурна, в частности Титана. "Кассини" уточнит данные, полученные предыдущими миссиями, а также исследует малые ледяные спутники Сатурна.