

**Национальный центр аэрокосмического образования  
молодежи им.А.М.Макарова**

**КАК УСТРОЕН МИР**  
Методические разработки

Тема: «Венера»

**Подготовил:**  
доктор технических наук,  
профессор ДГМА  
А.М.Яншин

г. Днепропетровск  
2015г.

Венера - вторая внутренняя планета Солнечной системы с периодом обращения в 224,7 Земных суток. Планета получила своё название в честь Венеры, богини любви из римского пантеона. Её астрономический символ - стилизованная версия дамского зеркала - атрибута богини любви и красоты. Венера - третий по яркости объект на небе Земли после Солнца и Луны и достигает видимой звёздной величины в -4,6. Поскольку Венера ближе к Солнцу, чем Земля, она никогда не кажется слишком удалённой от Солнца: максимальное угловое расстояние между ней и Солнцем составляет 47,8°. Своей максимальной яркости Венера достигает незадолго до восхода или через некоторое время после захода Солнца, что дало повод называть её также Вечерняя звезда или Утренняя звезда.

Венера классифицируется как землеподобная планета и иногда её называют «сестрой Земли», потому, что обе планеты похожи размерами, силой тяжести и составом. Однако условия на двух планетах очень разнятся. Поверхность Венеры скрывает чрезвычайно густая облачность из облаков серной кислоты с высокими отражательными характеристиками, что не даёт возможности увидеть поверхность в видимом свете (но её атмосфера прозрачна для радиоволн, с помощью которых впоследствии и был исследован рельеф планеты). Споры о том, что находится под густой облачностью Венеры, продолжались до XX столетия, пока многие из тайн Венеры не были приоткрыты планетологией. У Венеры самая плотная среди прочих землеподобных планет атмосфера, состоящая главным образом из углекислого газа. Это объясняется тем, что на Венере нет никакого круговорота углерода и органической жизни, которая могла бы перерабатывать его в биомассу.

В глубокой древности Венера, как полагают, настолько разогрелась, что подобные земным океаны, которыми, как считается, она обладала, полностью испарились, оставив после себя пустынный пейзаж с множеством плитоподобных скал. Одна из гипотез полагает, что водяной пар из-за слабости магнитного поля поднялся так высоко над поверхностью, что был унесён солнечным ветром в межпланетное пространство.

Атмосферное давление на поверхности Венеры в 92 раза больше, чем на Земле. Детальное картографирование поверхности Венеры проводилось в течение последних 22 лет и в частности проектом «Магеллан». Поверхность Венеры носит на себе яркие черты вулканической деятельности, а атмосфера содержит большое количество серы. Некоторые эксперты полагают, что вулканическая деятельность на Венере продолжается и сейчас. Однако явных доказательств этому не было найдено, потому что пока не из одной вулканической кальдеры не было замечено лавовых потоков. Удивительно низкое число ударных кратеров говорит в пользу того, что поверхность Венеры относительно молода и ей приблизительно 500 миллионов лет. Никаких свидетельств тектонического движения плит на Венере не обнаружено, возможно, потому что кора планеты без воды, придающей ей большей вязкости, не обладает должной подвижностью. Полагают также, что Венера постепенно теряет внутреннюю высокую температуру. Венера и Земля — единственные в Солнечной системе планеты, носящие женские имена (Церера и Эрида — карликовые планеты).

## ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ.

Среднее расстояние от Венеры до Солнца - 108 млн км (0,723 а.е.). Орбита Венеры очень близка к круговой — эксцентриситет составляет всего 0,0068. Период обращения вокруг Солнца равен 224,7 суток; средняя орбитальная скорость — 35 км/с. Наклон орбиты к плоскости эклиптики равен 3,4°.

Венера вращается вокруг своей оси, отклонённой на 2° от перпендикуляра к плоскости орбиты, с востока на запад, т. е. в направлении, противоположном направлению вращения большинства планет. Один оборот вокруг оси занимает 243,02 суток. Комбинация этих движений даёт величину солнечных суток на планете 116,8 земных суток. Интересно, что один оборот вокруг своей оси по отношению к Земле Венера совершает за 146 суток, а синодический период составляет 584 суток, т. е. ровно вчетверо дольше. В результате, в каждом нижнем соединении Венера обращена к Земле одной и той же стороной. Пока неизвестно, является ли это совпадением, или же здесь действует гравитационное притяжение Земли и Венеры.

По размерам Венера довольно близка к Земле. Радиус планеты равен 6051,8 км (95 % земного), масса — 4,87\*10<sup>24</sup>кг (81,5 % земной), средняя плотность — 5,24 г/см<sup>3</sup>. Ускорение свободного падения равно 8,87 м/с<sup>2</sup>, вторая космическая скорость — 10,46 км/с.

## АТМОСФЕРА.

Атмосфера Венеры состоит в основном из углекислого газа (96 %) и азота (почти 4 %). Водяной пар и кислород содержатся в ней в следовых количествах (0,02 % и 0,1 %). Давление у поверхности достигает 93 атм, температура — 737 К. Это превышает температуру поверхности Меркурия, находящегося вдвое ближе к Солнцу. Причиной столь высокой температуры на Венере является парниковый эффект, создаваемый плотной углекислотной атмосферой. Плотность атмосферы Венеры у поверхности всего в 14 раз меньше плотности воды. Интересно, что, несмотря на медленное вращение планеты, перепада температур между дневной и ночной стороной планеты не наблюдается — настолько велика тепловая инерция атмосферы.

Облачный покров расположен на высоте 30 — 60 км и состоит из нескольких слоёв. Химический состав облаков пока не установлен. Предполагается, что в них могут присутствовать капельки концентрированной серной кислоты, соединения серы и хлора. Измерения, проведённые с борта космических аппаратов, спускавшихся в атмосфере Венеры, показали, что облачный покров не очень плотный, и скорее, напоминает лёгкую дымку.

Атмосферу на Венере открыл М. В. Ломоносов 6 июня 1761 года.

Во время пролёта «Galileo» мимо Венеры была проведена съёмка инфракрасным спектрометром NIMS, и неожиданно выяснилось, что на волнах длиной 1,1, 1,18 и 1,02 мкм сигнал коррелирует с топографией поверхности, то есть для соответствующих частот существуют «окна», через которые видно поверхность Венеры.

В ультрафиолетовом свете облачный покров выглядит как мозаика светлых и тёмных полос, вытянутых под небольшим углом к экватору. Их наблюдения показывают, что облачный покров вращается с востока на запад с периодом 4 суток. Это означает, что на уровне облачного покрова дуют ветры со скоростью 100 м/с.

О нерешённых проблемах, связанных с атмосферой планеты, высказался сотрудник Института исследований Солнечной системы Общества Макса Планка (ФРГ) Дмитрий Титов: «практически вся её атмосфера вовлечена в один гигантский ураган: она вращается вокруг планеты со скоростью, достигающей 120—140 м/с у верхней границы облаков. Мы пока совершенно не понимаем, как это происходит и что поддерживает это мощнейшее движение. Ещё один пример: известно, что основной серосодержащий газ на Венере — это двуокись серы. Но когда мы начинаем моделировать химию атмосферы на компьютере, то выясняется, что двуокись серы должна быть «съедена» поверхностью в течение геологически короткого времени. Этот газ должен исчезнуть, если нет какой-то постоянной подпитки. Её приписывают, как правило, вулканической активности».

В атмосфере Венеры молнии бьют в два раза чаще, чем в земной. Это явление получило название «Электрический дракон Венеры». Природа такой электрической активности пока неизвестна. Впервые этот феномен был зафиксирован аппаратом «Венера-2». Причём, обнаружили его как помехи в радиопередаче.

## КЛИМАТ

Топографическая карта Венеры. Расчёты показывают, что при отсутствии атмосферы максимальная температура поверхности Венеры не превышала бы 80 °С. В действительности же температура на поверхности Венеры (на уровне среднего радиуса планеты) — около 750 К (475 °С), причём её суточные

колебания незначительны. Давление — около 93 атм, плотность газа почти на два порядка выше, чем в атмосфере Земли. Установление этих фактов явилось разочарованием для многих исследователей, полагавших, что на этой, так похожей на нашу, планете условия близки к тем, что были на Земле в каменноугольный период, а, следовательно, там может существовать похожая биосфера. Первые определения температуры, казалось, могли оправдать такие надежды, но уточнения (в частности, при помощи спускаемых аппаратов) показали, что благодаря парниковому эффекту возле поверхности Венеры исключена всякая возможность существования жидкой воды.

Этот эффект в атмосфере планеты, приводящий к сильному разогреванию поверхности, создают углекислый газ и водяной пар, которые интенсивно поглощают инфракрасные (тепловые) лучи, испускаемые нагретой поверхностью Венеры. Температура и давление сначала падают с увеличением высоты. Минимум температуры  $150^{\circ}$ — $170^{\circ}$  К ( $-125^{\circ}$ ... $-105^{\circ}$  °С) определён на высоте 60-80 км, а по мере дальнейшего подъёма температура растёт, достигая на высоте 90-120 км  $310^{\circ}$ — $345^{\circ}$  К ( $35^{\circ}$ - $70^{\circ}$  °С).

Ветер, весьма слабый у поверхности планеты (не более 1 м/с), в районе экватора на высоте свыше 50 км усиливается до 150—300 м/с. Наблюдения с автоматических космических станций обнаружили в атмосфере Венеры грозы.

## **ПОВЕРХНОСТЬ И ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ.**

Исследование поверхности Венеры стало возможным с развитием радиолокационных методов. Наиболее подробную карту составил американский аппарат «Магеллан», заснявший 98 % поверхности планеты. Картографирование выявило на Венере обширные возвышенности. Крупнейшие из них — Земля Иштар и Земля Афродиты, сравнимые по размерам с земными материками. На поверхности планеты также выявлены многочисленные кратеры. Вероятно, они образовались, когда атмосфера Венеры была менее плотной. Значительная часть поверхности планеты геологически молода (порядка 500 млн лет). 90 % поверхности планеты покрыто застывшей базальтовой лавой.

В 2009 году была опубликована карта южного полушария Венеры составленная с помощью аппарата «Venus Express». На основе данных этой карты возникли гипотезы о наличии в прошлом на Венере океанов воды и сильной тектонической активности.

Предложено несколько моделей внутреннего строения Венеры. Согласно наиболее реалистичной из них, на Венере имеется три оболочки. Первая — кора, толщиной примерно 16 км. Далее — мантия, силикатная оболочка, простирающаяся на глубину порядка 3300 км до границы с железным ядром, масса которого составляет около четверти всей массы планеты. Поскольку собственное магнитное поле планеты отсутствует, то следует считать, что в железном ядре нет перемещения заряженных частиц — электрического тока, вызывающего магнитное поле, следовательно, движения вещества в ядре не происходит, то есть оно находится в твёрдом состоянии. Плотность в центре планеты достигает  $14$  г/см<sup>3</sup>.

Интересно, что все детали рельефа Венеры носят женские имена, за исключением высочайшего горного хребта планеты, расположенного на Земле Иштар близ плато Лакшми и названного в честь Джеймса Максвелла.

## **РЕЛЬЕФ**

«Венера-15» и «Венера-16» в 1983—1984 годах произвели с помощью радиоволн картографирование большей части северного полушария. Американский «Магеллан» с 1989 по 1994 год произвёл более детальное (с разрешением 300 м) и почти полное картографирование поверхности планеты. На ней обнаружены тысячи древних вулканов, извергавших лаву, сотни кратеров, горы. Поверхностный слой (кора) очень тонок, ослабленный высокой температурой, он даёт лаве возможность вырваться наружу.

Венера — самое активное небесное тело, вращающееся вокруг Солнца. Два венерианских континента — Земля Иштар и Земля Афродиты — по площади не меньше Европы каждая. Низменности, похожие на океанские впадины, занимают на Венере только одну шестую поверхности. Горы Максвелла на Земле Иштар возвышаются на 11 км над средним уровнем поверхности. Кстати, горы Максвелла, а также области Альфа и Бета являются единственными исключениями из правила, принятого МАС. Всем остальным районам Венеры даны женские имена, в том числе русские: на карте можно найти Землю Лады, равнину Снегурочки и даже каньон Бабы-Яги.

Ударные кратеры — редкий элемент венерианского пейзажа. На всей планете имеется лишь около 1000 кратеров. Внутренняя область заполнена лавой. «Лепестки» вокруг кратеров представляют собой участки, покрытые раздроблённой породой, выброшенной наружу во время взрыва при образовании кратера.

## **НАБЛЮДЕНИЕ ВЕНЕРЫ. ВИД С ЗЕМЛИ.**

Венеру легко распознать, так как по блеску она намного превосходит самые яркие из звёзд. Отличительным признаком планеты является её ровный белый цвет. Венера, так же, как и Меркурий, не отходит на небе на большое расстояние от Солнца. В моменты элонгаций Венера может удалиться от нашей звезды максимум на  $48^\circ$ . Как и у Меркурия, у Венеры есть периоды утренней и вечерней видимости: в древности считали, что утренняя и вечерняя Венеры — разные звёзды. Венера — третий по яркости объект на нашем небе. В периоды видимости её блеск в максимуме около  $m = -4,4$ .

В телескоп, даже небольшой, можно без труда увидеть и пронаблюдать изменение видимой фазы диска планеты. Его впервые наблюдал в 1610 году Галилей.

### **ПРОХОЖДЕНИЕ ВЕНЕРЫ ПО ДИСКУ СОЛНЦА.**

Так как Венера является внутренней планетой Солнечной системы по отношению к Земле, её обитатель может наблюдать прохождение Венеры по диску Солнца, когда с Земли в телескоп эта планета предстаёт в виде маленького чёрного диска на фоне огромного светила. Однако это астрономическое явление — одно из самых редких, возможных для наблюдения с поверхности Земли. Примерно в течение двух с половиной столетий случается четыре прохождения — два декабрьских и два июньских.

Впервые наблюдал прохождение Венеры по диску Солнца 4 декабря 1639 года английский астроном Джеримайя Хоррокс (1619—1641). Он же это явление предвычислил.

Особый интерес для науки представляли наблюдения «явления Венеры на Солнце», которые сделал М. В. Ломоносов 6 июня 1761 года. Это космическое явление было также заранее вычислено и с нетерпением ожидалось астрономами всего мира. Исследование его требовалось для определения параллакса, позволявшего уточнить расстояние от Земли до Солнца (по методу, разработанному английским астрономом Э. Галлеем), что требовало организации наблюдений из разных географических точек на поверхности земного шара — совместных усилий учёных многих стран.

Аналогичные визуальные исследования производились в 40 пунктах при участии 112 человек. На территории России организатором их был М. В. Ломоносов, обратившийся 27 марта в Сенат с донесением, дающим обоснование необходимости снаряжения с этой целью астрономических экспедиций в Сибирь, ходатайствовал о выделении денежных средств на это дорогостоящее мероприятие, он составил руководства для наблюдателей и т. д. Результатом его усилий стало направление экспедиции Н. И. Попова в Иркутск и С. Я Румовского — в Селенгинск. Немалых усилий также стоила ему организация наблюдений в Санкт-Петербурге, в Академической обсерватории, при участии А. Д. Красильникова и Н. Г. Курганова. В их задачу входило наблюдение контактов Венеры и Солнца — зрительного касания краёв их дисков. М. В. Ломоносов, более всего интересовавшийся физической стороной явления, ведя самостоятельные наблюдения в своей домашней обсерватории, обнаружил световой ободок вокруг Венеры.

Это прохождение наблюдалось во всём мире, но только М. В. Ломоносов обратил внимание на то, что при соприкосновении Венеры с диском Солнца вокруг планеты возникло «тонкое, как волос, сияние». Такой же светлый ореол наблюдался и при схождении Венеры с солнечного диска.

М. В. Ломоносов дал правильное научное объяснение этому явлению, считая его результатом рефракции солнечных лучей в атмосфере Венеры. «Планета Венера — писал он, — окружена знатной воздушной атмосферой, таковой (лишь бы не большею), какова обливается около нашего шара земного». Так впервые в истории астрономии, ещё за сто лет до открытия спектрального анализа, было положено начало физическому изучению планет. В то время о планетах Солнечной системы почти ничего не было известно. Поэтому наличие атмосферы на Венере М. В. Ломоносов рассматривал как неоспоримое доказательство сходства планет и, в частности, сходства между Венерой и Землёй. Эффект увидели многие наблюдатели: Шапп Д'Отерош, С. Я. Румовский, Л. В. Варгентин, Т. О. Бергман, но только М. В. Ломоносов правильно его истолковал. В астрономии этот феномен рассеяния света, отражение световых лучей при скользящем падении (у М. В. Ломоносова — «пупырь»), получил его имя — «Явление Ломоносова».

Интересен второй эффект, наблюдавшийся астрономами с приближением диска Венеры к внешнему краю диска Солнца или при удалении от него. Данное явление, открытое также М. В. Ломоносовым, не было удовлетворительно истолковано, и его, следует расценивать как зеркальное отражение Солнца атмосферой планеты — особенно велико оно при незначительных углах скольжения, при нахождении Венеры вблизи Солнца. Учёный описывает его следующим образом: «ожидая вступления Венерина на Солнце около сорока минут после предписанного в эфемеридах времени, увидел наконец, что солнечный

край чаемого вступления стал неясственен и несколько будто стусеван, а прежде был весьма чист и везде ровен. Полное выхождение, или последнее прикосновение Венеры заднего края к Солнцу при самом выходе, было также с некоторым отрывом и с неясностью солнечного края».

### **ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНЕТЫ С ПОМОЩЬЮ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.**

Венера довольно интенсивно исследовалась с помощью космических аппаратов. Первым космическим аппаратом, предназначавшимся для изучения Венеры, была советская «Венера-1». После попытки достижения Венеры этим аппаратом, запущенным 12 февраля 1961, к планете направлялись советские аппараты серии «Венера», «Вега», американские «Маринер», «Пионер-Венера-1», «Пионер-Венера-2», «Магеллан». В 1975 году космические аппараты «Венера-9» и «Венера-10» передали на Землю первые фотографии поверхности Венеры, в 1982 году «Венера-13» и «Венера-14» передали с поверхности Венеры цветные изображения. Впрочем, условия на поверхности Венеры таковы, что ни один из космических аппаратов не проработал на планете более двух часов. В 2016 году Роскосмос планирует запуск более живучего зонда, который проработает на поверхности планеты как минимум сутки.

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ.**

Венера наряду с Меркурием считается планетой, не имеющей естественных спутников. В прошлом имели место многочисленные заявления о наблюдении спутников Венеры, но открытие всегда оказывалось основанным на ошибке. Первые заявления о том, что обнаружен спутник Венеры, относятся к XVII веку. Всего за 120-летний период до 1770 года было зарегистрировано более 30 наблюдений спутника как минимум 20 астрономами.

К 1770 году поиски спутников Венеры были практически прекращены, в основном из-за того, что не удавалось повторить результаты предыдущих наблюдений, а также в результате того, что никаких признаков наличия спутника не было обнаружено при наблюдении прохождения Венеры по диску Солнца в 1761 и 1769 году.

У Венеры (как у Марса и Земли) существует квази-спутник, астероид 2002 VE68, обращающийся вокруг Солнца таким образом, что между ним и Венерой существует орбитальный резонанс, в результате которого на протяжении многих периодов обращения он остаётся вблизи планеты.

### **ТЕРРАФОРМИРОВАНИЕ ВЕНЕРЫ.**

Венера — кандидат на терраформирование. По одному из планов предполагалось распылить в атмосфере Венеры генетически модифицированные сине-зелёные водоросли, которые, перерабатывая углекислый газ (атмосфера Венеры на 96 % состоит из углекислого газа) в кислород, значительно уменьшили бы парниковый эффект и понизили бы температуру на планете.

Однако для фотосинтеза необходимо наличие воды, которой, по последним данным, на Венере практически нет (даже в виде паров в атмосфере). Поэтому для реализации такого проекта необходимо в первую очередь доставить на Венеру воду — например, посредством бомбардировки её водно-аммиачными астероидами или иным путём.

Необходимо отметить, что на высоте ~ 50—100 км в атмосфере Венеры существуют условия, при которых могут существовать некоторые земные бактерии.