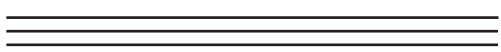




50 лет со дня первого полета человека в космос

1961  2011



ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР



9 класс

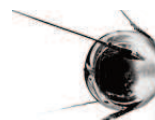


9

1

КАНУН ЭРЫ КОСМОНАВТИКИ

О.С. Угольников



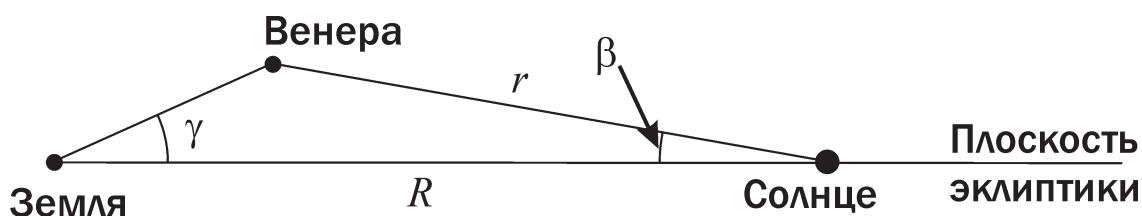
? В канун дня первого полета человека в космос, 11 апреля 1961 года в 03^ч30^м по Московскому времени планета Венера оказалась в нижнем соединении с Солнцем. В некоторой точке поверхности нашей планеты в этот момент Солнце было видно на горизонте, а Венера располагалась точно над Солнцем. На какой высоте над горизонтом ее можно было увидеть в этот момент? Найдите расстояние (по поверхности Земли) между этой точкой Земли и космодромом Байконур. Координаты космодрома: 45°58' с.ш., 63°18' в.д. Гелиоцентрическая эклиптическая широта Венеры была равна +2°48'. Орбиты Венеры и Земли считать круговыми. Рефракцией, угловыми размерами Солнца и уравнением времени пренебречь. Летнее время на территории СССР в 1961 году не вводилось.

! В момент нижнего соединения Венеры гелиоцентрические долготы Венеры и Земли совпадают. Изобразим положение Солнца, Венеры и Земли в плоскости, перпендикулярной плоскости орбиты Земли (плоскости эклиптики).

Обозначим радиусы орбит Венеры и Земли через r и R соответственно, а гелиоцентрическую эклиптическую широту Венеры – через β . Этот угол невелик, поэтому мы можем достаточно просто вычислить угловое расстояние γ между Солнцем и Венерой при наблюдении с Земли:

$$\sin \gamma = \frac{r}{R-r} \sin \beta.$$

Угол γ получается равным 7.3°. При наблюдении из точки поверхности Земли, описанной в условии задачи, Солнце находилось на горизонте, а Венера – в точности над Солнцем. Следовательно, высота Венеры над горизонтом была равна 7.3°. Этого вполне достаточно, чтобы увидеть Венеру невооруженным глазом



даже в день ее нижнего соединения. Линия Солнце-Венера на небе перпендикулярна линии эклиптики и горизонту, а Солнце находится на эклиптике и одновременно на горизонте. Из этого можно сделать вывод, что эклиптика в этот момент в данной точке Земли совпадает с горизонтом.

В зените должен находиться один из полюсов эклиптики. Очевидно, что это северный полюс эклиптики, так как Венера располагается к северу от Солнца и видна над ним на небе. Склонение северного полюса эклиптики равно $+66.6^\circ$ и совпадает с широтой места наблюдения φ . Итак, описанная в условии картина наблюдалась на Северном полярном круге.

Прямое восхождение Северного полюса эклиптики составляет 18 часов, такое же значение принимает звездное время в пункте наблюдения S . В день весеннего равноденствия (21 марта) звездное время отличается от местного на 12 часов (небольшой поправкой на уравнение времени мы пренебрегаем). Совпадение эклиптики с горизонтом на Северном полярном круге произошло в этот день 6 часов утра по местному времени и далее повторялось через каждые звездные сутки ($23^{\text{ч}}56^{\text{м}}04^{\text{с}}$).

11 апреля отстоит от 21 марта на 21 день. Умножив продолжительность звездных суток на 21, мы получаем 20 дней 22 часа и 37 минут. Следовательно, для даты 11 апреля момент 18 часов по звездному времени S придется на 4 часа 37 минут утра по местному времени T , и в указанной точке Северного полярного круга Солнце будет восходить над горизонтом.

Так как летнее время в 1961 году не вводилось, Московское время отличалось от Всемирного на 3 часа, и Всемирное время UT составляло $0^{\text{ч}}30^{\text{м}}$. Вычитая Всемирное время из местного, мы получаем долготу места наблюдения:

$$\lambda = T - UT = 4^{\text{ч}}07^{\text{м}}$$

или $61^\circ45'$ восточной долготы. Мы видим, что долготы данного пункта и Байконура отличаются всего на 1.5° , а широты – значительно больше. Поэтому мы можем считать, что оба пункта находятся на одном меридиане и определить расстояние между ними по разности широт:

$$L = 2\pi R_0 \cdot \frac{|\varphi - \varphi_0|}{360^\circ} = 2300 \text{ км.}$$

Здесь R_0 – радиус Земли, φ_0 – широта Байконура.

9

2

КОСМИЧЕСКИЙ ЛОКАТОР

О.С. Угольников



? Лазерный локатор на поверхности Земли посылает короткие импульсы в направлении космического аппарата, расположенного вблизи нашей планеты, ровно через 1 секунду друг после друга. Находящийся рядом с лазером приемник регистрирует отраженные сигналы, разделенные промежутком времени 1.00008 секунды. Является ли аппарат искусственным спутником Земли или это межпланетная станция? Атмосферными эффектами пренебречь.

Теоретический тур – 9 класс

Интервалы между импульсами лазера и между моментами регистрации отраженного сигнала не равны друг другу. Это может иметь место в том случае, если космический аппарат имеет некоторую скорость относительно локатора. При этом поперечная скорость, не изменяющая расстояние между аппаратом и локатором, на время регистрации сигнала влиять не будет. Нас будет интересовать радиальная (лучевая) скорость аппарата. Обозначим ее как v и будем считать положительной, если аппарат удаляется от локатора, и отрицательной, если он приближается к локатору. Тогда в течение некоторого интервала времени будет справедливо выражение для расстояния между аппаратом и локатором:

$$S = S_0 + v \cdot t.$$

Здесь S_0 – некоторая постоянная величина. Пусть в момент времени t_1 лазер отправил импульс в сторону аппарата. Расстояние, на котором этот импульс будет регистрироваться в момент времени t , составит

$$S_1 = c(t - t_1).$$

Здесь c – скорость света. Обозначим через t' момент прихода импульса к аппарату. Приравняв величины S и S_1 , мы получаем уравнение для этой величины:

$$t' = \frac{S_0 + ct_1}{c - v}.$$

Расстояние между локатором и аппаратом в этот момент составит

$$S' = S_0 + v \cdot t' = \frac{S_0 c + vct_1}{c - v}.$$

В этот же момент произойдет отражение сигнала, которому будет предстоять обратный путь длиной S' к приемнику. Отраженный сигнал будет принят в момент

$$\tau_1 = t' + \frac{S'}{c} = \frac{2S_0 + (c + v)t_1}{c - v}.$$

Пусть следующий сигнал посылается в момент t_2 , а его отражение принимается в момент τ_2 . Выпишем формулу для отношения интервалов регистрации и отправления сигналов:

$$K \equiv \frac{\tau_2 - \tau_1}{t_2 - t_1} = \frac{c + v}{c - v}.$$

По условию задачи, величина K составляет 1.00008. Из нее мы получаем значение лучевой скорости v :

$$v = c \frac{K - 1}{K + 1} \approx \frac{c}{2}(K - 1).$$

Лучевая скорость аппарата получается равной 12 км/с. Это больше величины второй космической скорости у поверхности Земли (11.2 км/с). Полная скорость аппарата будет не меньше лучевой, а при удалении от Земли вторая космическая скорость уменьшается. Учет движения локатора за счет осевого вращения Земли со скоростью не более 0.5 км/с не изменяет ситуации. Аппарат движется со скоростью более второй космической и при этом удаляется от Земли (значение скорости v положительно). Следовательно, он не останется в поле действия Земли и отправится в путешествие по межпланетному пространству.



? Спутник сферической формы движется по круговой орбите вокруг Марса в плоскости его экватора в том же направлении, в котором планета обращается вокруг своей оси. Космонавт, находящийся на поверхности планеты, обнаружил, что спутник в зените на одну звездную величину ярче, чем на горизонте. Условия освещения спутника Солнцем (угол «Солнце-спутник-наблюдатель») были при этом одинаковыми. С какой стороны горизонта – западной или восточной – восходит этот спутник при наблюдении с поверхности Марса? Поглощением света в атмосфере Марса пренебречь.

! При одинаковых условиях освещения Солнцем (одинаковом фазовом угле) разница в видимом блеске спутника возникает вследствие изменения его расстояния от наблюдателя. Когда аппарат находится над горизонтом, он дальше, чем при наблюдении в зените. По условию задачи, разница блеска равна 1^m , и отношение освещенностей, создаваемых спутником, K , равно 2.512:

$$\frac{E_z}{E_h} = \frac{H^2}{h^2} = K = 2.512,$$

где h – высота орбиты спутника, H – расстояние до спутника, когда он находится на горизонте. Эти величины легко выразить через радиус орбиты спутника r и радиус Марса R :

$$\begin{aligned} h &= r - R; \\ H^2 &= r^2 - R^2. \end{aligned}$$

Тогда

$$\frac{(r - R)(r + R)}{(r - R)^2} = \frac{r + R}{r - R} = K; \quad r = R \cdot \frac{K + 1}{K - 1} \approx 7890 \text{ км.}$$

Спутник обращается вокруг Марса в том же направлении, в котором Марс обращается вокруг своей оси. Чтобы ответить на вопрос задачи, нужно сравнить период обращения спутника с периодом осевого вращения Марса. Орбитальный период спутника определяется из III закона Кеплера:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}.$$

Здесь M – масса Марса. Период получается равным около 6 часов, что значительно меньше марсианских звездных суток (около 25 часов). В итоге, спутник, двигаясь по орбите с запада на восток, будет обгонять осевое вращение планеты и при наблюдении с поверхности восходить в западной части горизонта и заходить с восточной стороны.

К данному выводу можно прийти даже без вычисления орбитального периода. Достаточно вспомнить, что спутник Марса Фобос обращается вокруг планеты по орбите с большим радиусом (9380 км) и восходит над западным горизонтом. Можно также вычислить радиус стационарной орбиты для Марса, который примерно вдвое меньше аналогичной высоты для Земли, но существенно больше радиуса орбиты спутника, рассматриваемого в задаче.

9

4

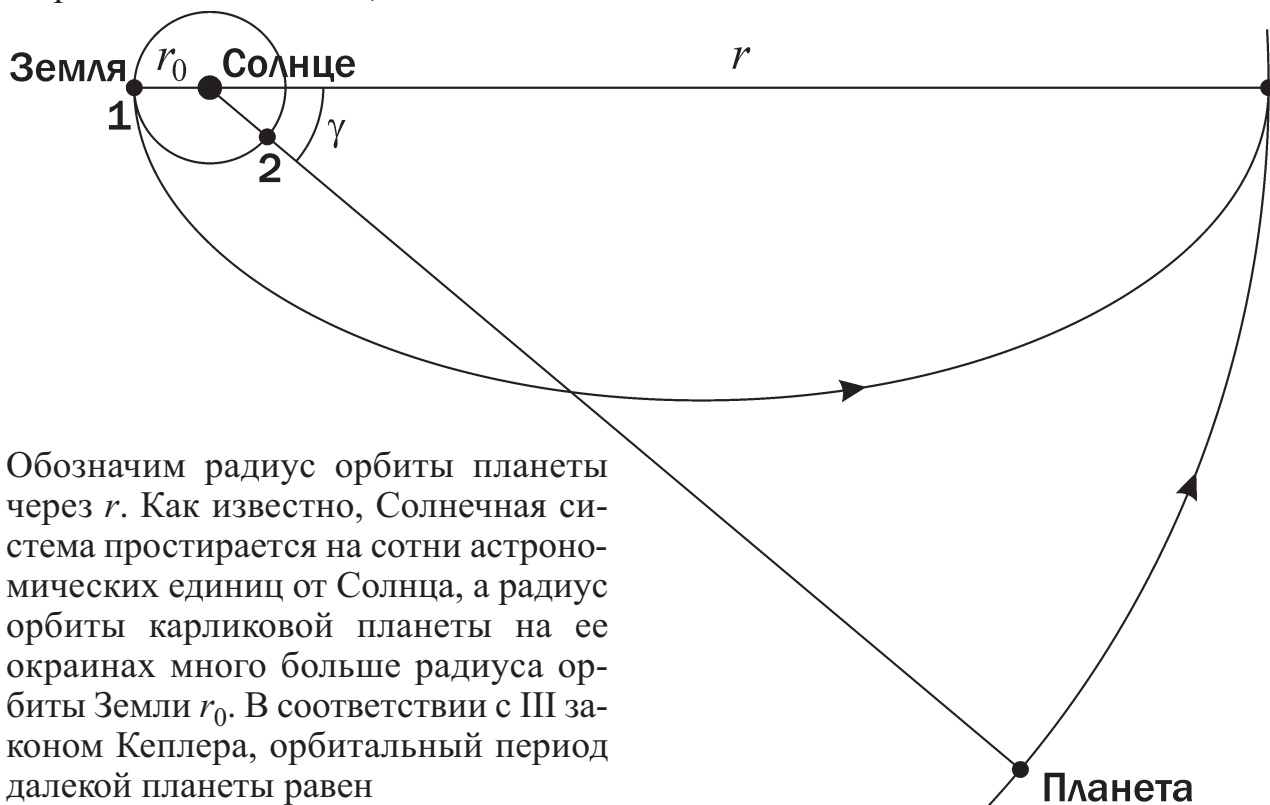
СТАРТ В ДАЛЬНИЙ ПУТЬ

О.С. Угольников



? Дальняя межпланетная станция стартует с Земли 1 января, чтобы потом без последующих коррекций орбиты по энергетически выгодной траектории достигнуть далекой карликовой планеты, обращающейся вокруг Солнца на окраинах Солнечной системы. В какой день начавшегося года эта планета вступит в противостояние с Солнцем? Орбита планеты круговая, она лежит в плоскости эклиптики, планета обращается по ней в том же направлении, что и Земля по своей орбите. Орбиту Земли также считать круговой.

! В случае круговых орбит Земли и планеты энергетически выгодная траектория перелета без коррекций представляет собой половину эллипса, касающегося орбиты Земли в перигелии и орбиты планеты – в афелии. Этот эллипс, как и орбиты обеих планет, также лежит в плоскости эклиптики.



Обозначим радиус орбиты планеты через r . Как известно, Солнечная система простирается на сотни астрономических единиц от Солнца, а радиус орбиты карликовой планеты на ее окраинах много больше радиуса орбиты Земли r_0 . В соответствии с III законом Кеплера, орбитальный период далекой планеты равен

$$T = T_0 \left(\frac{r}{r_0} \right)^{3/2},$$

где T_0 – орбитальный период Земли. Большая полуось орбиты межпланетной станции составит

$$a = \frac{r + r_0}{2} \approx \frac{r}{2}.$$

Время перелета станции от Земли к планете t есть половина орбитального периода этой станции:

$$t = \frac{1}{2} T_0 \cdot \left(\frac{r}{2r_0} \right)^{3/2} = T \cdot \frac{1}{4\sqrt{2}}.$$

За это время сама планета сместится по своей орбите на угол

$$\gamma = 360^\circ \cdot \frac{t}{T} = 63.6^\circ.$$

Это перемещение будет происходить в ту же сторону, что и движение Земли по орбите (на рисунке – против часовой стрелки). В момент запуска Земля находилась в положении 1 на рисунке, с другой стороны от Солнца относительно точки, где станция прибудет на далекую планету. Ближайшее противостояние планеты наступит, когда Земля окажется в положении 2. Это произойдет менее чем через полгода, и смещением планеты по орбите за это время можно пренебречь, так как оно будет значительно меньше 1° (перемещение Земли за 1 день). Чтобы перейти из положения 1 в положение 2, Земле нужно пройти по орбите дугу в $180^\circ - \gamma$, то есть в 116.4° . Время, которое на это потребуется, составляет

$$\tau = T_0 \frac{180^\circ - \gamma}{360^\circ}.$$

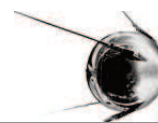
Этот интервал равен 118 дням. Старт межпланетной станции произошел 1 января, а ближайшее противостояние далекой планеты наступит 28 или 29 апреля, в зависимости от того, является ли данный год високосным или нет.

9

5

ЛУНОХОД – СПАСАТЕЛЬ

Н.Ю. Подорванюк, О.С. Угольников



? Космический аппарат потерпел аварию при посадке на Луну. Известно, что он прилунился на самом краю кратера у центра видимого полушария Луны. Этот кратер с трудом различим с Земли в телескоп при увеличении 30 крат. Какое время могло бы потребоваться советскому луноходу “Луноход-1”, чтобы обследовать границы кратера и найти пострадавший аппарат? “Луноход-1” работал на солнечных батареях, двигался только при освещении Солнцем и преодолевал не более 2 км за один лунный световой день.

! Кратер располагается около центра видимого полушария Луны и обращен «плашмя» по отношению к земным наблюдателям. В этом случае его диаметр составляет

$$D = L \cdot d,$$

где d – угловой диаметр кратера при наблюдении с Земли (в радианах), а L – расстояние от Земли до Луны. Будем считать, что кратер можно было бы разглядеть невооруженным глазом, если его угловой диаметр был бы не меньше $2'$ или 0.0006 радиан (обозначим эту величину как d_0). Если увеличение телескопа M не слишком велико, то в него можно рассмотреть кратеры с угловым диаметром d_0/M . В итоге, мы получаем выражение для диаметра кратера:

$$D = \frac{L d_0}{M}.$$

Эта величина составляет 7.5 км. Окружность кратера S равна πD или 24 км. В зависимости от взаимного расположения пострадавшего аппарата и лунохода в начале поиска, луноходу придется пройти расстояние от нуля до всей длины окружности S . Чтобы обойти ее, «Луноход-1» потребовалось бы 12 лунных дней. При этом ему пришлось бы находиться в покое как минимум 11 лунных ночей. Весь поиск занял бы 11.5 лунных синодических месяцев (по 29.53 дня), то есть 340 дней – почти целый год. Это максимальная продолжительность поиска, она могла бы быть и меньше (в пределе – равной нулю). Интересно, что примерно столько (на один лунный день меньше) «Луноход-1» в действительности проработал на поверхности Луны.

9

6

КОСМИЧЕСКАЯ ЛЕТОПИСЬ

Е.Н. Фадеев



? Найдите все фактические ошибки в приведенном тексте. Объясните, в чем заключается каждая ошибка, и, по возможности, исправьте ее.

Пятьдесят лет назад произошел первый в истории пилотируемый космический полет. На рассвете 12 апреля 1961 г., в 9:07 московского времени, советский космический корабль «Восток-1» стартовал с космодрома «Байконур», унося в космос первого космонавта – Ю.А. Гагарина. Совершив три витка вокруг Земли, корабль благополучно приземлился через 1 час 48 минут после старта.

Полеты в космос принесли человечеству множество новых знаний об окружающем мире. Стали доступными наблюдения во всех диапазонах электромагнитных волн, тогда как с поверхности Земли можно работать только в оптической области спектра. Космические телескопы позволяют сфотографировать звезды в триллион раз более слабые, чем можно увидеть невооруженным глазом. Более того, стало возможным не только пассивное, наблюдательное исследование небесных тел, но и полет к некоторым из них. Большой вклад в исследование Солнечной системы, особенно Луны и Венеры, внесли советские ученые. Именно советские станции впервые совершили мягкие посадки на поверхность трех ближайших к нам больших тел – Луны, Венеры и Марса.

Первой целью для космических аппаратов стала Луна. Множество зондов исследовало её с орбиты. Благодаря аппаратам серии «Лунар орбитер» мы впервые смогли увидеть обратную сторону нашего спутника. На поверхности Луны побывали астронавты и луноходы, а лунный грунт исследовался в земных лабораториях. Удалось подтвердить гипотезу о том, что большая часть лунной поверхности покрыта метровым слоем пыли.

Космические аппараты посетили окрестности всех больших планет. Спускаемые аппараты определили состав атмосферы Венеры и обнаружили экстремальные условия на ее поверхности. Детальные исследования атмосферы производились с помощью аэростатных зондов. С помощью радарных наблюдений была построена подробная карта поверхности планеты. По отклонениям от предсказанной траектории движения спутников была уточнена её масса, из-

вестная до этого со значительно меньшей точностью, чем у большинства других планет.

Не менее успешными были исследования Марса. Спутниками «красной планеты» была составлена точная карта рельефа, открыты марсианские «пирамиды» и «сфинкс», которые при дальнейших исследованиях оказались лишь игрой света и тени. На Марсе обнаружен самый большой в Солнечной системе действующий вулкан высотой более 21 км. С помощью посадочных аппаратов и марсоходов получено множество данных по геологии и климату планеты. Были добыты свидетельства существования в прошлом на Марсе жидкой воды, а водяной лед найден не только в полярных шапках, но и в подповерхностном слое грунта.

В результате первых пролетных миссий к планетам-гигантам у всех этих планет были обнаружены радиационные пояса. В атмосфере Юпитера и Сатурна были зафиксированы вспышки молний. Выяснилось, что все планеты-гиганты обладают кольцами. Число известных спутников планет многократно возросло. Обогатились наши знания о галилеевых спутниках Юпитера: на Ио был открыт активный вулканизм; оказалось, что поверхность Европы представляет собой холодный океан, а плотная атмосфера Титана, по всей видимости, скрывает озера жидких углеводородов.

Отправлен космический аппарат для исследования самой дальней большой планеты – Плутона. Несколько аппаратов продолжают передавать данные из столь отдаленных областей Солнечной системы, где даже контуры созвездий сильно отличны от земных.

Космические аппараты приблизились и к малым телам Солнечной системы. Ряд астероидов удалось сфотографировать, а на некоторые даже осуществлена посадка и забор грунта. Кометы тоже не остались без внимания. Для их исследования пришлось разработать специальные материалы для космических кораблей, способные выдерживать громадную температуру частиц в ярких кометных хвостах.

Не за горами новые эксперименты. Исследование космического пространства продолжается!



Ниже приводится список всех ошибок и неточностей в тексте.

1. “На рассвете 12 апреля 1961 г., в 9:07 московского времени...”

Байконур находится восточнее и южнее Москвы. Значит, местное время там на несколько часов опережает московское, т.е. события происходили около полудня. В это время года Солнце находится севернее небесного экватора и в полдень кульминирует на большой высоте на юге. Момент запуска корабля не мог приходиться на рассвет.

2. “... совершив три витка вокруг Земли.”

За указанное время полета «Восток-1» не мог совершить три витка, в чем можно убедиться, рассчитав минимальный период обращения спутника (по орбите с нулевой высотой).

3. *“...тогда как с поверхности Земли можно работать только в оптической области спектра...”*

С поверхности Земли успешно наблюдают в радиодиапазоне и отдельных полосах инфракрасного диапазона.

4. *“Космические телескопы позволяют сфотографировать звезды в триллион раз более слабые, чем можно увидеть невооруженным глазом.”*

Уменьшение яркости объекта в триллион раз соответствует его ослаблению на 30 звездных величин. Если с поверхности Земли глазом можно рассмотреть объекты, чей блеск не меньше $6-7^m$, то космический телескоп должен регистрировать объекты примерно до $36-37^m$. Такая проникающая способность на данном этапе развития техники не достигнута.

5. *“Благодаря аппаратам серии «Лунар орбитер» мы впервые смогли увидеть обратную сторону нашего спутника.”*

Первые фотографии обратной стороны Луны были получены советской станцией «Луна-3».

6. *“Удалось подтвердить гипотезу о том, что большая часть лунной поверхности покрыта метровым слоем пыли.”*

Дискуссия о лунной пыли развернулась в конце 50-х годов, но уже после первых полетов к Луне ученые пришли к мнению, что слой пыли должен быть весьма небольшим. Успешные прилунения космических аппаратов окончательно опровергли гипотезу пылевого слоя.

7. *“На Марсе обнаружен самый большой в Солнечной системе действующий вулкан...”*

В современную эпоху на Марсе отсутствует вулканизм, можно наблюдать лишь потухшие вулканы.

8. *“...оказалось, что поверхность Европы представляет собой холодный океан.”*

Жидкая вода не может существовать на поверхности Европы, так как Европа находится далеко от Солнца, и её поверхность очень холодная. Даже на Марсе, который почти в три раза ближе к Солнцу, температура редко поднимается выше 0°C , а на полюсах вымерзает даже углекислый газ CO_2 .

9. *“Галилеевых спутниках Юпитера: ... Титана.”*

Титан – спутник Сатурна, а не Юпитера.

10. *“...большой планеты – Плутона.”*

Согласно решению МАС от 2006 года, Плутон – карликовая планета.

11. *“...контуры созвездий сильно отличаются от земных.”*

Расстояния в Солнечной системе слишком малы по сравнению с межзвездными. Контуры созвездий при наблюдении из окрестностей Плутона такие же, как и на Земле.

12. *“...выдерживать громадную температуру частиц в ярких кометных хвостах.”*

Плотность и температура частиц в кометных хвостах не столь велики, чтобы заметно изменить температуру корабля.