

---

7–8 классы

---

1. Можно ли наблюдать где-нибудь на Земле какие-либо планеты круглосуточно? Какие именно и при каких условиях?

**Решение:**

Поскольку все планеты Солнечной системы движутся вокруг Солнца примерно в одной и той же плоскости, то и на небе планеты могут наблюдаться примерно в тех же местах, где может (в принципе) оказаться Солнце. Как известно, в приполярных областях Земли бывает полярный день и полярная ночь, поэтому если во время полярной ночи, когда Солнце не восходит над горизонтом, какая-либо планета окажется в направлении от Земли, примерно противоположном направлению на Солнце (как говорят, в противостоянии), то она, наоборот, не будет заходить за горизонт и будет наблюдаться круглосуточно. Таким образом, все внешние планеты наблюдать точно можно.

Однако на самом деле планета может находиться и не в противостоянии. Достаточно лишь того, чтобы она во время полярной ночи находилась на некотором расстоянии от Солнца, достаточном, чтобы оказаться над горизонтом. Тогда (подобная ситуация может возникнуть незадолго до весеннего и после осеннего равноденствий) планета будет круглосуточно находиться над горизонтом, хотя и на небольшой высоте. Так что общий ответ: все планеты, во время полярной ночи (и там, где она возможна), если угловое расстояние между Солнцем и планетой на небе достаточно велико.

Вообще говоря, от условия наблюдения во время полярной ночи можно избавиться. При наблюдении в телескоп некоторые планеты можно увидеть и днем. Кроме этого, в условии задачи ничего не сказано про диапазон электромагнитных волн, в котором ведутся наблюдения (а он может быть и не оптическим, а, например, радиодиапазоном). В этом случае достаточно лишь, чтобы планета в течение суток не уходила под горизонт, что также возможно в приполярных областях Земли.

2. 21 января 2014 года в 20 часов по местному времени из города с координатами  $0^\circ$  широты и  $120^\circ$  восточной долготы на восток одновременно отправились корабль и самолет. Через некоторое время самолет приземлился в городе с координатами  $0^\circ$  широты и  $60^\circ$  западной долготы. Найдите дату и местное время в городе прибытия в момент приземления самолета, а также дату и местное время на корабле в тот же момент. Считать, что и самолет, и корабль движутся равномерно и прямолинейно, скорость самолета равна  $1000$  км/ч, скорость корабля —  $25$  км/ч.

**Решение:**

Начнем с того, что найдем расстояние, которое пролетел самолет. Так как и начальная, и конечная точки его маршрута находятся на экваторе (широта обеих равна нулю), то он и двигался по экватору. Сравнив долготы начальной и конечной точек, можно обнаружить, что отличаются они на  $180^\circ$ , т.е. самолет пролетел ровно половину окружности земного экватора. Зная длину экватора ( $40\,000$  км) или вычислив ее по известному радиусу Земли, получаем, что самолет пролетел  $20\,000$  км и, поскольку двигался со скоростью  $1000$  км/ч, потратил на это 20 часов.

Теперь выясним, насколько отличается местное время в начале и конце пути самолета. Поскольку находятся они в диаметрально противоположных точках Земли, ответ достаточно очевиден — на 12 часов. Причем, поскольку начинался полет в восточном полушарии, а закончился — в западном, время в конце пути *отстает* от времени в начале на 12 часов (самолет во время пути

пересек линию перемены дат). Поэтому местное время в точке прилета в момент прилета самолета будет на  $20 - 12 = 8$  часов больше, чем местное время в точке старта в момент старта, и самолет приземлится в 4 часа 22 января по местному времени.

За те же 20 часов корабль успел проплыть всего лишь  $25 \cdot 20 = 500$  км. Так как он тоже движется на восток, то местное время в той точке, в которой он окажется, будет обгонять местное время в точке старта (корабль линию перемены дат пересечь не успеет). Оценим, насколько. Так как вся окружность земного экватора соответствует 24 часам, то на один час местное время будет отличаться в точках экватора, отстоящих друг от друга на  $40/24 = 5/3$  тыс. км. Разница в одну минуту соответствует расстоянию  $5/3/60 = 1/36$  тыс. км. Поскольку, как мы уже выяснили, корабль прошел  $1/2$  тыс. км, то местное время в начальной и конечной точках его плавания различается на 18 минут. Заметим, что тот же результат можно получить, если учесть, что корабль движется в 40 раз медленнее самолета и, как следствие, разница во времени также должна быть ровно в 40 раз меньше 12 часов.

Следовательно, в конечной точке плавания корабля местные дата и время будут такими: 16 часов 18 минут 22 января.

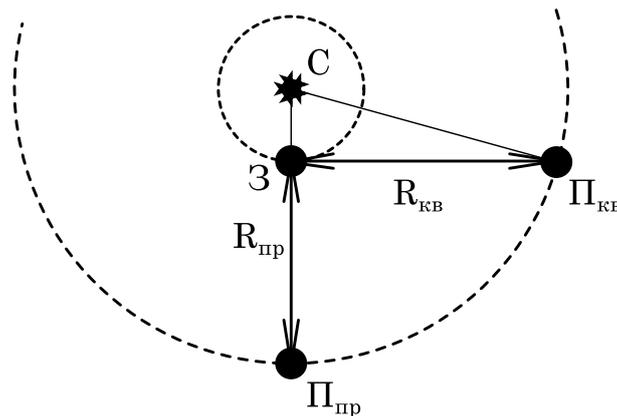
3. Одна и та же внешняя планета наблюдается с Земли в квадратуре (когда угол «Солнце–Земля–планета» прямой) и в противостоянии (когда Земля находится между Солнцем и планетой на одной прямой с ними). Докажите, что видимая яркость планеты в противостоянии будет больше, чем в квадратуре.

**Решение:**

Если светящийся объект сам не меняет свою яркость, то изменение его яркости для наблюдателя связано только с изменением расстояния до него. Чем дальше от наблюдателя находится объект, тем он слабее.

Планеты светят отраженным солнечным светом. Так как орбиты планет практически круговые, то расстояние от Солнца до планеты практически неизменно. Таким образом, можно считать, что количество солнечного света, попадающего на планету, почти всегда одно и то же и, следовательно, планета отражает всегда одно и то же количество света. Однако из-за того, что планеты движутся относительно Солнца, изменяется расстояние между Землей и другими планетами.

Если доказать, что расстояние от любой внешней планеты до Земли в квадратуре всегда больше, чем в противостоянии, то тем самым будет доказано, что в противостоянии любая планета ярче, чем в квадратуре.



Сделаем рисунок. Так как орбиты планет круговые, то  $СП_{кв} = СП_{пр}$

Рассмотрим треугольник  $СЗП_{кв}$ . По неравенству треугольника

$$СЗ + ЗП_{кв} = СЗ + R_{кв} > СП_{кв}.$$

С другой стороны

$$СЗ = СП_{пр} - ЗП_{пр} = СП_{кв} - R_{пр}$$

Подставим получившееся выражение в неравенство:

$$СП_{\text{КВ}} - R_{\text{ПР}} + R_{\text{КВ}} > СП_{\text{КВ}},$$

Отсюда получаем:

$$R_{\text{КВ}} > R_{\text{ПР}},$$

что и требовалось доказать.

Заметим также, что во время противостояния с Земли виден весь диск планеты (как говорят, фаза планеты равна 1), а при наблюдении в квадратуре — только часть диска (фаза меньше 1), что дополнительно усиливает полученный результат.

4. В повести А.Н. и Б.Н. Стругацких «Страна багровых туч», один из героев читает статью о Венере в энциклопедии, в которой написано следующее:

Венера — вторая по порядку от Солнца планета. Среднее расстояние от Солнца 0.723 астрономических единицы. . . Полный оборот вокруг Солнца В. совершает в 224 дня 17 часов. . . Средняя скорость движения по орбите 35 км/с. В. — самая близкая к нам планета. При прохождении между Землей и Солнцем ее расстояние от Земли может составлять 39 млн. км. Когда В. проходит за Солнцем, она находится от Земли на удалении в 258 млн. км. Диаметр В. составляет 12400 км, сжатие незаметно. Принимая данные для Земли за 1, для В. будем иметь: диаметр 0.973, площадь поверхности 0.95, объем 0.92, сила тяжести на поверхности 0.85, плотность 0.88 (или 4.86 г/см<sup>3</sup>), масса 0.81. Период вращения вокруг оси составляет около 57 часов. В. окружена чрезвычайно плотной атмосферой из углекислоты и угарного газа, в которой плавают облака кристаллического аммиака.

Повесть была написана в 1959 году и статья соответствует представлениям о Венере того времени. Как Вы думаете, какие из приведенных в ней данных можно считать достоверными, а какие — нет? Укажите конкретные причины появления ошибок в данных.

#### **Решение:**

К середине XX века механика Солнечной системы была уже очень хорошо известна. Орбиты планет рассчитывались с такой высокой точностью, что отклонения между наблюдаемыми и предвычисленными положениями планет позволяли обнаруживать, например, эффекты общей теории относительности (эффект аномального смещения перигелия орбиты Меркурия, составляющий 38"/столетие, был обнаружен на целый век раньше, еще в 1859 году). Поэтому информацию о расстоянии от Венеры до Солнца, периоде обращения Венеры вокруг Солнца, расстояниях от Венеры до Земли можно считать правильной (и, заметим, это действительно так).

По тем же причинам наверняка правильна и масса Венеры — ее ошибочное значение заметно сказалось бы на движении других объектов Солнечной системы.

А вот информация о «внутренних» свойствах Венеры (не связанных с ее движением в Солнечной системе) вполне могла быть и неверной. В процитированном тексте есть подсказка, из-за чего: как известно, Венера «окружена чрезвычайно плотной атмосферой», из-за которой ее поверхность невозможно увидеть (в оптическом диапазоне).

Следовательно, неверной может быть оценка диаметра планеты: измерить можно только диаметр планеты с атмосферой, толщину атмосферы не оценить, и в итоге планета может оказаться меньше, чем предполагается (и это действительно так — реальный диаметр Венеры меньше примерно на 300 км). При этом завышенными окажутся также и объем, и площадь поверхности (поскольку они определяются радиусом), а средняя плотность, наоборот, заниженной (в действительности она равна 5.24 г/см<sup>3</sup>).

По той же причине трудно заметить сжатие Венеры (хотя оно действительно мало), а также определить период ее осевого вращения — рельеф на поверхности не виден. Период осевого вращения в реальности намного больше, Венера делает один оборот вокруг оси за 243 земных суток.

Можно сделать и более сложный вывод: непрозрачность атмосферы также существенно осложняет и определение ее химического состава. Проще всего определять химический состав «на просвет» при наблюдениях покрытия планетой (и ее атмосферой) какой-либо звезды, однако мощная атмосфера Венеры плохо пропускала свет звезд, а последние (на тот момент) прохождения

Венеры по диску Солнца происходили тогда, когда спектральный анализ находился еще в зачаточном состоянии. В реальности углекислота (точнее, углекислый газ) действительно является основным компонентом атмосферы Венеры, а вот угарный газ, хотя и присутствует в атмосфере, но в крайне незначительных количествах.

5. Автоматическая станция, находящаяся на окраине Солнечной системы, удаляется от Солнца в направлении созвездия Козерога с постоянной скоростью, равной 90 км/с. С интервалами ровно в 24 часа станция испускает короткий радиосигнал в направлении Земли. На какое время может отличаться от 24 часов промежутки между приходами двух последовательных сигналов на Землю?

**Решение:**

Земля движется вокруг Солнца со скоростью, примерно равной 30 км/с. Если этот факт неизвестен, его легко получить, зная радиус земной орбиты ( $r = 1 \text{ а.е.} = 150 \text{ млн. км}$ ) и продолжительность года  $T$ , тогда  $v_{\oplus} = 2\pi r/T$ . Следовательно, относительно Земли скорость станции  $v$  меняется в пределах от 60 км/с до 120 км/с.

Теперь обсудим ситуацию с сигналами. Пусть станция испустила сигнал в направлении Земли. Через время  $T$ , по условию равное 24 часам, она испустила еще один сигнал. При этом первый сигнал успел удалиться от места «испускания» на расстояние, равное  $c \cdot T$ , где  $c = 300\,000 \text{ км/с}$  — скорость света (и радиоволн), а станция переместилась в противоположном направлении на расстояние, равное  $v \cdot T$ . Поэтому второй сигнал в момент посылки окажется на расстоянии  $(c+v) \cdot T$  от первого. Так как сигналы распространяются со скоростью, равной  $c$ , то интервал времени между приходами их в какую-то одну точку (в том числе и на Землю) окажется равным  $(c+v) \cdot T/c$ .

Найдем отличие полученного результата от  $T$ :

$$\Delta T = \frac{c+v}{c} \cdot T - T = \frac{v}{c} T.$$

В случае, если скорость удаления станции от Земли равна 60 км/с, получаем, что изменение времени составляет:

$$\Delta T = \frac{60}{300000} \cdot T = 2 \cdot 10^{-4} \cdot T \approx 17 \text{ секунд.}$$

В случае, когда скорость удаления станции 120 км/с, изменение времени будет, очевидно, также в два раза больше. Итоговый ответ: отличие может меняться в пределах от 17 до 34 секунд.

Можно также отметить, что подобное явление (изменение периода или частоты регистрации сигналов, испускаемых движущимся источником, изменение длины волны излучения движущегося источника и т.п.) хорошо известно в астрономии и в физике, носит название эффекта Доплера и используется, как правило, астрономами для определения скорости движения различных небесных тел (а также сотрудниками ГИБДД — скорости автомобилей). По сути дела, вышеприведенное решение представляет собой получение одного из видов формулы эффекта Доплера. Поэтому, если эта формула уже известна, ей можно воспользоваться сразу же, без предварительного вывода.