

**Задание 1. (§7.1. Схемы и принципы работы телескопов)**

Один из способов отличить планету от звезды связан с наблюдением за её перемещением относительно звёзд и созвездий в течение нескольких дней или недель, благодаря этому в древности планеты получили название «блуждающих светил». При наблюдении невооружённым глазом и в телескоп легко также заметить, что в отличие от звёзд планеты не мерцают на ночном небе, отражаемый ими от Солнца свет является постоянным и ровным, как и цвет планеты. Объясните физическую природу этого явления. В чём отличие в мерцании звёзд и в постоянности блеска планет? Как зависит интенсивность мерцания звезды от её высоты? Мерцают или нет звёзды и планеты при наблюдении с телескопа «Хаббл»?

**Решение**

- 1) Причина мерцания – земная атмосфера. (1 балл)
- 2) Когда свет проходит сквозь атмосферу, он неоднократно как рассеивается, так и преломляется, прежде чем попадает в наш глаз или телескоп, поэтому точечные объекты-звёзды мерцают. (2 балла)
- 3) Планеты находятся к нам близко, поэтому они видны в виде дисков. Каждая точка диска, конечно, периодически мерцает, но через разные интервалы времени. Следовательно, падение яркости в одной точке компенсируется усилением яркости в другой. Из-за этого мы видим свет от планет ровным и статичным. (2 балла)
- 4) У горизонта звёзды мерцают сильнее, так как между нашим глазом и объектом находится больше слоёв атмосферы. (2 балла)
- 5) При наблюдении с помощью любого телескопа, расположенного вне атмосферы, звёзды и планеты не мерцают. На орбите телескопа «Хаббл» плотность земной атмосферы незначительна. (1 балл)

**Задание 2. (§ 6.3. Движение искусственных спутников и Луны вокруг Земли (приближение круговой орбиты). Движение спутников планет)**

Чему равен период вращения на синхронной орбите Юпитера? Чему равен радиус этой орбиты?

**Решение**

- 1) На синхронной орбите период обращения спутника равен периоду осевого вращения планеты. Для Юпитера это 9,924 часа (2 балла)
- 2) Для поиска радиуса орбиты  $a_{st}$  необходимо воспользоваться третьим

законом Кеплера  $\left(\frac{a_{st}}{a_{sp}}\right)^3 = \left(\frac{T_{st}}{T_{sp}}\right)^2$ , при этом необходимо взять значения  $a_{sp}$  и  $T_{sp}$

для некоторого спутника Юпитера, например, Ио, имеющего радиус орбиты 421800 км и период обращения 1,769 суток. (3 балла, формула, выбор произвольного спутника)

$$3) \quad a_{st} = a_{sp} \left( \frac{T_{st}}{T_{sp}} \right)^{2/3} \approx 421800 \left( \frac{9.924}{1.769 \cdot 24} \right)^{2/3} \approx 160000 \text{ км} \quad (3 \text{ балла} -$$

формула и вычисления)

Ответ: 9,924 часа, 160000 км

### Задание 3. (§ 4.2. Параллакс и геометрические способы измерений расстояний)

Покрытие звёзд астероидами активно используется для уточнения орбиты, размеров и формы астероида, определения угловых размеров и исследования атмосферы покрываемой звезды. 3 ноября 2020 года состоялось покрытие астероидом (519) Sylvania звезды HIP 31816 из созвездия Возничий. Определить расстояние до астероида, оценить его размеры, а также скорость астероида относительно Земли (то есть трансверсальную составляющую полной скорости), если наблюдателю на Земле удалось измерить горизонтальный параллакс астероида 4,26", угловой диаметр 0,03", а также время покрытия звезды 7,9 с (данные взяты из [asteroidocultation.com](http://asteroidocultation.com)). Радиус Земли считать равным 6400 км.

#### Решение

1) Горизонтальный параллакс  $\pi = 4,26''$  выражаем в радианах

$$\frac{4,26}{3600} \cdot \frac{2\pi}{360} \approx 2,065 \cdot 10^{-5} \text{ рад и находим расстояние до астероида}$$

$$r = \frac{R_3}{\pi} \approx \frac{6400}{2,065 \cdot 10^{-5}} \approx 309920000 \text{ км} \approx 2,066 \text{ а.е.} \quad (3 \text{ балла: перевод в радианы, формула}$$

параллакса, вычисления)

2) Зная расстояние до астероида и его угловой размер

$$\alpha = 0,03'' = 0,03 \cdot \frac{\pi}{180 \cdot 3600} \approx 1,45 \cdot 10^{-7} \text{ рад, из треугольника Земля – края астероида}$$

найдем линейные размеры: из малости угла и большого расстояния до астероида следует, что  $s = \alpha r = 1,45 \cdot 10^{-7} \cdot 309920000 \approx 45 \text{ км}$ . (3 балла: перевод в радианы, вывод формулы для треугольника, вычисления)

3) Зная время покрытия и размеры астероида, определяем скорость относительно Земли  $v = s/t = 45/7,9 \approx 5,7 \text{ км/с}$ . (2 балла, формула, вычисления)

Ответ: 2,066 а.е, 45 км, 5,7 км/с

### Задание 4. (§5.1. Кинематика планет в Солнечной системе (приближение круговых орбит))

Считая орбиты планет круговыми, оценить соотношение максимального значения углового размеров Юпитера к минимальному значению углового размера Венеры.

#### Решение

1) Юпитер имеет максимальный угловой размер в момент его нахождения на минимальном расстоянии от Земли, то есть в момент противостояния  $r_{J_{\max}} = r_J - r_E = 5,20 - 1,00 = 4,20 \text{ а.е.}$ , Венера имеет минимальный угловой размер, когда находится на максимальном расстоянии от Земли, то есть

в момент верхнего соединения  $r_{V \min} = r_V + r_E = 0,72 - 1,00 = 1,72 \text{ а.е.}$  (2 балла – определены условия для угловых размеров)

2) Определим угловые радиусы  $\alpha$  планет, воспользовавшись треугольниками с вершинами Земля-центр планеты-край планеты, угловой радиус можно выразить через радиус планеты и расстояние до неё, из малости углов следует, что  $\sin \alpha \approx \alpha = \frac{R_{пл}}{r}$ . Для Венеры  $\alpha_{\min} = \frac{R_V}{r_{\min V}}$ , для Юпитера  $\alpha_{J \max} = \frac{R_J}{r_{\max J}}$

(3 балла – формулы для угловых размеров)

3) Соотношение угловых размеров принимает вид  $\frac{\alpha_{J \max}}{\alpha_{\min}} = \frac{R_J}{R_V} \cdot \frac{r_{\min V}}{r_{\max J}}$  (3

балла – конечная формула)

4) Расчёты:  $\frac{\alpha_{J \max}}{\alpha_{\min}} = \frac{71492}{6051} \cdot \frac{1,72}{4,2} \approx 4,84$  (1 балл)

Ответ: 4,84

### Задание 5. (§ 3.1. Географические координаты)

Длина тени от столба высотой 2 м в Курске в день летнего солнцестояния в момент, когда Солнце находилось в верхней кульминации, составила 1,076 м, а в Москве тень от такого же столба была равна 1,264 м. Определите широту городов. Как определить радиус Земли, зная, что кратчайшее расстояние между Курском и Москвой равно примерно 456 км?

#### Решение

1) Найдём высоту Солнца  $\varphi_0$  из прямоугольного треугольника с катетами, образованными столбом и его тенью. Тогда  $\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{h}{L}$ . Для Курска  $\varphi_0 \approx 61.72^\circ$ , а для Москвы  $\varphi_0 \approx 57.7^\circ$  (2 балла, найдена высота Солнца)

2) Летом Солнце находится над тропиком, поэтому его высота увеличивается на  $23^\circ 27'$ , для определения широты необходимо воспользоваться формулой  $\varphi = 90^\circ + 23.45^\circ - \varphi_0$ . Таким образом, широта Курска составляет  $51.73^\circ$ , Москвы  $55.75^\circ$  (2 балла, формула, определена широта)

3) Между Курском и Москвой  $55.75 - 51.73 = 4.02^\circ$ , считая, что Земля имеет шарообразную форму, рассмотрим её сечение плоскостью, проходящей через центр Земли, Курск и Москву. Сечение будет окружностью. Тогда длина дуги окружности между Курском и Москвой вычисляется по формуле  $r = \alpha R$  (2 балла, объяснение принципа счёта)

4) Находим радиус Земли, переведя градусы в радианы  
 $R = \frac{456 \cdot 180}{4.02 \cdot \pi} \approx 6500 \text{ км}$ , что лишь на 1% отличается от истинного значения (2

балла, проведена оценка радиуса).

Ответ: широта Курска составляет  $51,73^\circ$ , Москвы  $55,75^\circ$ , радиус 6500 км.

### Задание 6. (§5.3. Движение Луны и спутников планет (приближение круговых орбит))

Период обращения спутника Ио вокруг Юпитера был определен путём поиска разности времён между двумя последовательными "затмениями" спутника планетой и составил 42 часа 28 минут. Датский астроном Оле Рёмер в 1676 г. обнаружил, что время появления спутника из тени Юпитера во время противостояния и соединения Юпитера с Солнцем отличалось от расчётного на 22 минуты. Данное наблюдение позволило учёному впервые оценить скорость света. Каким образом Рёмер провёл оценку скорости света? 22 минуты – это время отставания или опережения момента выхода из тени во время соединения, если расчёты время выхода проводились в момент противостояния? Скорость света, полученная Рёмером, отличается от реальной, подумайте, какие причины могли повлиять на точность измерений?

#### Решение

1) Причиной наблюдаемого явления является конечность скорости света, которому в момент противостояния требуется пройти большее расстояние, чем в момент соединения Юпитера с Солнцем (2 балла, объяснение)

2) Свет проходит расстояние приблизительно равное двум радиусам орбиты Земли, таким образом скорость света может быть вычислена по формуле  $c = \frac{2R_z}{\Delta t} = \frac{2 \cdot 1 \text{ а.е.}}{22 \text{ мин}} \approx \frac{2 \cdot 150000000}{22 \cdot 60} \approx 227000 \text{ км/с}$ , что существенно меньше реального значения скорости света (2 балла, расчёт)

3) Так как свету в ситуации с соединением требуется пройти большее расстояние, чем в противостоянии, то 22 минуты – это временная задержка в случае соединения, то есть для наблюдателя с Земли Ио зашёл за Юпитер позже, чем в прогнозе (2 балла, ответ на вопрос)

4) Сразу видно, что не верно было определено время (например, свет от Солнца проходит расстояние до Земли примерно за 8 минут 20 секунд, а не 22), то есть точность измерений была не велика (+ Ио выходит из тени Юпитера примерно 3,5 минуты) – это основная причина; кроме того, в зависимости от положения Земли в разных точках орбиты, расстояние от Солнца слегка меняется, а не равно всегда 1 а.е., как и расстояние Юпитера от Солнца (2 балла)

Ответ: см. решение