

**Задание 1. (§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 от Солнца до Юпитера (2 балла)

Ответ: см. решение

**Задание 2. (§ 3.2. Горизонтальные координаты на небесной сфере)**

13 октября 2020 г. Солнце вошло в Курске в 06:57, а продолжительность дня составила 10 ч. 48 мин. Во сколько в этот день вошёл Марс, и во сколько наступила его следующая верхняя кульминация? 14 октября 2020 года Марс вступил в противостояние с Солнцем, находясь на расстоянии 62.6 млн км от Земли и имея блеск  $-2.6^m$ .

**Решение**

1) Во время противостояния планета находится на линии Солнце-Земля-планета, то есть видна с Земли в направлении противоположном Солнцу. Таким образом, время восхода планеты практически совпадает с временем захода Солнца, а верхняя кульминация планеты – с нижней кульминацией Солнца (3 балла – принцип решения)

2) Зная время восхода и продолжительность дня найдём время захода Солнца, это и есть время восхода Марса  $6:57+10:48=17:45$  (2 балла – восход)

3) Солнце находилось в верхней кульминации через 5:24 после восхода, то есть в 12:21, Солнце будет в нижней кульминации через 12 часов – в 00:21. Значит Марс будет в верхней кульминации примерно в 00:21 (3 балла – кульминация)

Ответ: восход в 17:45, верхняя кульминация в 00:21.

### **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 [asteroidoccultation.com](http://asteroidoccultation.com)). Радиус Земли считать равным 6400 км.

#### **Решение**

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

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

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

параллакса, вычисления)

2) Зная расстояние до астероида и его угловой размер  $\alpha = 0,03'' \approx 1,45 \cdot 10^{-7} \text{ рад}$  из треугольника Земля-края астероида найдём 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 a.e, 45 км, 5,7 км/с

### **Задание 4. (§ 2.3. Объекты далёкого космос)**

22 февраля 2016 года в созвездии Дракона был зафиксирован взрыв сверхновой SN2016aps, которая, по оценкам астрономов, вспыхнула ярче, чем вся наша Галактика. За всю историю наблюдений она стала самой мощной

сверхновой: процесс наблюдался более 1000 дней и по подсчётам в результате взрыва было выброшено от 50 до 100 масс Солнца. Оцените в годах, когда произошёл взрыв звезды, если известно, что расстояние до звезды равно примерно 1100 Мпк.

**Решение**

1) Переводим парсеки в километры:

$$r = 1107 \cdot 10^6 \cdot 206265 \cdot 150000000 \approx 3,425 \cdot 10^{22} \text{ км} \quad (3 \text{ балла})$$

2) Свет от взрыва шёл к нам со скоростью света, то есть произошёл

$$t = \frac{r}{c} \approx 1,14 \cdot 10^{17} \text{ с} \text{ назад} \quad (3 \text{ балла})$$

$$3) \quad t = 1,14 \cdot 10^{17} \text{ с} = \frac{1,14 \cdot 10^{17}}{60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365} \approx 3,6 \text{ млн лет} \quad (2 \text{ балла})$$

Ответ: 3.6 млн лет

**Задание 5. (§ 5.1. Кинематика планет в Солнечной системе (приближение круговых орбит))**

3 июня 2020 года Венера находилась в нижнем соединении. Определить среднее угловое смещение Венеры за сутки. В какой день Венера в следующий раз будет находиться в восточной элонгации? Угловое расстояние до Солнца в момент восточной элонгации равно  $47^\circ$ .

**Решение**

$$1) \quad \text{Угловое движение Венеры относительно Солнца } \alpha_V = \frac{360^\circ}{T_V} \approx 1,6^\circ,$$

$$\text{угловое движение Земли } \alpha_E = \frac{360^\circ}{T_E} \approx 0,99^\circ \quad (2 \text{ балла, движения планет}$$

относительно Солнца)

2) Таким образом, за сутки Венера на небесной сфере смещается на  $\Delta\alpha = 0,61^\circ$  (2 балла, определено среднее угловое смещение)

3) Угловое смещение Венеры на небесной сфере должно составить  $\beta = 360^\circ - 47^\circ \approx 313^\circ$  (1 балл, определено условие восточной элонгации)

4) До восточной элонгации должно пройти  $\frac{\beta}{\Delta\alpha} \approx 513$  дней, то есть событие произойдёт 29 октября 2021 года (3 балла: 1 балл – определено количество дней до события, 2 балла – определена дата).

Ответ:  $0,61^\circ$ , 29 октября 2021 г.