

11 класс

Справочная информация: Период вращения Земли – 23ч56мин04 сек

Период обращения Земли – 365, 256 суток

Сидерический (звездный) период обращения Луны – 27, 3217 суток

Гравитационная постоянная $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{Нм}^2/\text{кг}^2$.

1. На какой широте проходит южная граница территории, в пределах которой хотя бы одну ночь в году не прекращаются навигационные сумерки, т.е. центр Солнца не опускается под горизонт ниже, чем на 12° ? Плоскость небесного экватора наклонена к эклиптике на $\varepsilon = 23^\circ 27'$.

Решение: Ниже всего Солнце опускается в полночь. В северном полушарии его полуденная высота (высота нижней кульминации) находится по формуле: $h_n = \varphi + \delta - 90^\circ$, где δ – склонение Солнца. Если h имеет отрицательное значение, это означает, что Солнце находится под горизонтом. Наибольшее склонение Солнца имеет 22 июня, когда $\delta = \varepsilon = 23^\circ 27'$.

Граница территории, на которой хотя бы одну ночь в году не прекращаются навигационные сумерки, находится из формулы для высоты $h = -12^\circ$ и $\delta = \varepsilon$: $\varphi = -12^\circ + 90^\circ - 23^\circ 27' = 54^\circ 33'$.

Для южного полушария ситуация не рассматривается, т.к. там существует лишь северная граница подобной территории.

Рекомендации жюри: Записана формула для вычисления высоты Солнца в нижней кульминации для северного полушария - 2 балла. Указано условие наибольшего склонения Солнца – 2 балла. Записана формула для вычисления широты φ – 2 балла. Проведены численные расчеты для φ – 1 балл. Обосновывается отсутствие рассмотрения φ для южного полушария – 1 балл.

2. В 2019 году исполняется 410 лет начала эры телескопической астрономии. В 1609 – 1610 гг. Галилео Галилей сделал ряд замечательных астрономических открытий с помощью собранного им самим телескопа. Эти первые телескопические открытия перевернули существовавшие тогда представления об устройстве мира. Назовите эти открытия. Какое из них и как именно свидетельствовало о справедливости гелиоцентрической системы мира Н. Коперника?

Ответ: Телескопические открытия Галилео Галилей: горы на Луне, 4 спутника Юпитера, фазы Венеры, пятна на Солнце, вращение Солнца вокруг оси, сложная структура Млечного Пути. Открытие фаз Венеры – открытие, свидетельствующее о справедливости гелиоцентрической системы мира. Наблюдаемые фазы Венеры не отвечают тем фазам, которые предсказывала геоцентрическая теория. С Земли нельзя наблюдать «полновенерие», т.е. когда Венера имеет вид полного круга. Характер смены фаз Венеры убедительно доказывал, что Венера вращается вокруг Солнца.

Рекомендации жюри: За каждое верное указание открытия – по 0,5 балла ($0,5 \cdot 6 = 3$ балла). Верное название открытия, подтверждающего гелиоцентрическую систему мира - фаз Венеры – 2 балла. Указание того, что с Земли нельзя наблюдать «полновенерие» и это противоречит геоцентрической теории, но объясняется гелиоцентрической системой мира – оценивается в 3 балла.

3. В каком случае продолжительность центрального покрытия звезды Луной (покрытия, при котором звезда проходит за центром диска Луны) больше – если Луна находится в перигее (видимый диаметр 33.5') или в апогее (видимый диаметр 29.5') орбиты? Эффектами осевого вращения Земли пренебречь.

Ответ: С первого взгляда может показаться, что вблизи перигея орбиты Луна, имеющая больший угловой диаметр, будет покрывать звезду на большее время. На самом деле, ситуация противоположна. Если пренебречь эффектами осевого вращения Земли и считать наблюдателя неподвижным, то продолжительность центрального покрытия звезды будет равна интервалу времени, за которое Луна в ходе своего орбитального движения преодолест расстояние, равное собственному диаметру. Иными словами, продолжительность центрального покрытия обратно пропорциональна величине тангенциальной скорости Луны. По II закону Кеплера (или по закону сохранения момента импульса) тангенциальная скорость обратно пропорциональна расстоянию от Земли до Луны. В итоге, продолжительность центрального покрытия звезды прямо пропорциональна расстоянию от Земли до Луны и будет больше, когда Луна находится в апогее, чем когда она – в перигее.

Рекомендации для жюри. Ключевым моментом решения задания является доказательство того, что продолжительность центрального покрытия звезды Луной прямо пропорциональна расстоянию от Земли до Луны. Это доказательство можно производить разными способами, но оно должно основываться на II законе Кеплера или законе сохранения момента импульса. 4 балла выставляется за установление связи продолжительности покрытия и тангенциальной скорости Луны и 4 балла – за установление связи между тангенциальной скоростью Луны и ее расстоянием до Земли.

4. Определите, сколько звездных суток и звездных месяцев содержит один звездный год. Дайте определение каждому понятию.

Ответ: Звездные сутки T_1 - это время, за которое Земля совершает один оборот вокруг своей оси относительно далёких звёзд. Вследствие орбитального движения Земли данный период несколько меньше солнечных суток. $T_1 = 23^{\text{h}} 56^{\text{m}} 04^{\text{s}} = 0,99727$ солнечных суток.

Звездный месяц T_2 – период обращения Луны вокруг Земли относительно далеких звезд. Вследствие орбитального движения Земли звездный месяц меньше периода изменений лунных фаз и составляет $T_2 = 27, 3217$ солнечных суток.

Звездный год T_3 – период обращения Земли вокруг Солнца относительно далеких звезд. Его продолжительность составляет 365, 256 дня.

Исходя из этого получаем число звездных суток N_1 и звездных месяцев N_2 в одном звездном годе:

$$N_1 = 366,2559 \approx 366, 26; \quad N_2 = 13,3687$$

Рекомендации жюри: Определение звездных суток – 1 балл; определение звездного месяца – 1 балл; определение звездного года – 1 балл. Выражение продолжительности звездных суток от солнечных сутки – 1 балл. Верные окончательные вычисления – по 2 балла.

5. Исследователи решили совершить поездку на вездеходе вокруг небольшого астероида по его экватору. Определите минимальное время такого путешествия, учитывая, что вездеход не должен отрываться от поверхности астероида, иначе он рискует оказаться выброшенным на орбиту. Средняя плотность вещества астероида $\rho = 3500$ кг/м³. Форму астероида считать сферической.

Решение: Скорость движения не может превышать первой космической.

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{\frac{4\pi G\rho R^3}{3R}} = 2R\sqrt{\frac{\pi G\rho}{3}}$$

$$T = \frac{2\pi R}{v_1} = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}} = 6350 \text{ (с)} = 1\text{ч } 46 \text{ мин.}$$

Ответ: 1ч 46 мин.

Рекомендации жюри: Вывод о том, что скорость движения не может превышать первую космическую скорость – 1 балла. Вывод формулы для первой космической скорости – 3 балла. Вывод формулы для времени путешествия – периода - 3 балла. Верные вычисления – 1 балл.

6. Годичные параллаксы звезд Гемма (α Северной Короны) и Садр (γ Лебедя) равны соответственно $\pi_1 = 0.044''$ и $\pi_2 = 0.004''$, а их видимые звездные величины одинаковы: $m_1 = m_2 = 2,23^m$. Каковы расстояния r_1 и r_2 до этих звезд в парсеках? У какой звезды светимость L больше и во сколько раз? Каковы абсолютные звездные величины M_1 и M_2 Геммы и Садра? Межзвездным поглощением света пренебречь.

Решение: Расстояния соответственно равны:

$$r_1 = \frac{1}{\pi_1} = \frac{1}{0,044} = 23 \text{ пк}, \quad r_2 = \frac{1}{\pi_2} = \frac{1}{0,004} = 250 \text{ пк.}$$

Абсолютные звездные величины Геммы и Садра соответственно равны:

$$M_1 = m_1 + 5 - 5\lg r_1 = 2,23 + 5 - 5 \lg 23 = 0,42$$

$$M_2 = m_2 + 5 - 5\lg r_2 = 2,23 + 5 - 5 \lg 250 = -4, 76,$$

Так как видимые блески звезд одинаковы ($m_1 = m_2$), то светимость звезд пропорциональна квадратам расстояний до них:

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{250^2}{23^2} = 118$$

Это же можно найти и по-другому:

$$\frac{L_2}{L_1} = 10^{0,4(M_1 - M_2)} = 10^{0,4 \cdot 5,18} = 118$$

Светимость Садра больше в 118 раз.

Рекомендации жюри: вычисление расстояний до звезд в парсеках – по 1 баллу для каждой звезды. Вычисление абсолютных звездных величин по 2 балла для каждой звезды. Вычисления отношения светимостей звезд – 2 балла.