

## 11 класс

**Задача 1.** Почему день весеннего равноденствия не всегда приходится на 21 марта?

**Решение:** Промежуток времени между двумя последовательными весенними равноденствиями, называемый тропическим годом, составляет 365.24219 средних солнечных суток или примерно 365 суток 5 часов и 49 минут. Календарный год состоит из 365 или 366 суток. Поэтому в разные годы момент весеннего равноденствия может попадать как на 21, так и на 20 марта. К примеру, в 2003 году весеннее равноденствие наступило 21 марта ровно в 1 час по Всемирному времени, а в 2004 году оно произошло 20 марта в 6 часов 49 минут по Всемирному времени.

### Критерии оценивания

|                                                   |         |
|---------------------------------------------------|---------|
| Указана продолжительность тропического года       | 3 балла |
| Указаны отличия календарного года от тропического | 3 балла |
| Дано правильное объяснение этих отличий           | 2 балла |

**Задача 2.** Малые спутники двух планет обращаются по своим круговым орбитам с одинаковой линейной скоростью, но период обращения одного спутника вдвое больше периода обращения другого. Как соотносятся массы двух планет?

**Решение:** запишем формулировку обобщенного III закона Кеплера:

$$\frac{a^3}{T^2 M} = \frac{G}{4\pi^2}$$

Здесь  $a$  – большая полуось орбиты (в случае круговой орбиты – ее радиус),  $T$  – период обращения,  $M$  – суммарная масса планеты и спутника. Так как спутники малые, данная величина равна массе планеты. Линейная скорость орбитального движения спутника по круговой орбите равна

$$v = \frac{2\pi a}{T}$$

Выражая в этой формуле  $a$  через  $v$  и подставляя в III закон Кеплера, получаем

$$\frac{v^3 T}{2\pi} = GM$$

По условию задачи, орбитальные скорости спутников одинаковые, а период обращения у первого спутника вдвое больше, чем у второго. Получается, что масса первой планеты вдвое больше массы второй планеты.

### Критерии оценивания

|                                                                              |         |
|------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Дана формулировка обобщенного III закона Кеплера                             | 3 балла |
| Записана линейная скорость орбитального движения спутника по круговой орбите | 3 балла |
| Найдено отношение масс планет                                                | 2 балла |

**Задача 3.** Наблюдая полное лунное затмение, любитель астрономии обнаружил, что в телескоп с диаметром объектива 5 см с увеличением 20 крат красная окраска Луны видна значительно хуже, чем невооруженным глазом. В чем состоит причина? Диаметр зрачка человеческого глаза составляет 6 мм.

**Решение:** Во время полного лунного затмения видимая яркость Луны уменьшается в тысячи раз, а цвет нашего спутника приобретает красный оттенок. Объектив телескопа с диаметром 5 см (в 8.3 раза больше зрачка человеческого глаза) собирает в 69 раз больше света, чем глаз. Но при увеличении в 20 крат видимая площадь Луны и ее изображения на сетчатке глаза становится в 400 раз больше, и количество света, падающее на единицу площади сетчатки глаза, оказывается примерно в 6 раз меньшим, чем при наблюдении Луны невооруженным глазом без телескопа.

Для нормального восприятия света различной яркости наши глаза оснащены двумя типами светочувствительных клеток: колбочками и палочками. Колбочки воспринимают яркий свет, различая его цвета. Палочки включаются в ночных условиях (или в темном помещении). Они способны улавливать свет маленькой интенсивности, но не различают его цвет. Поэтому мы способны оценивать цвет ярких звезд 1-2 звездной величины, которые «видят» колбочки, а более слабые звезды кажутся нам белыми.

Яркость потемневшей во время затмения Луны близка к пределу видимости колбочками, замечающими ее красный цвет. Уменьшения ее поверхностной яркости в 6 раз может оказаться достаточно, чтобы Луна стала неразличимым для колбочек объектом. К ее наблюдению подключатся палочки, но Луна предстанет нашему взору уже не красным, а буро-серым диском. Необходимо отметить, что во время особенно темных лунных

затмений красный цвет нашего спутника незаметен и для невооруженного глаза.

### Критерии оценивания

|                                                                                                                                   |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Установлено, что при наблюдении Луны в телескоп количество света, падающее на сетчатку, меньше, чем в случае невооруженного глаза | 3 балла |
| Дано физиологическое объяснение явления                                                                                           | 3 балла |
| Получен правильный ответ                                                                                                          | 2 балла |

**Задача 4.** Какие звезды больше – голубые сверхгиганты или красные сверхгиганты? Почему?

**Решение:** По закону Стефана-Больцмана светимость звезды составляет

$$L = 4\pi^2\sigma R^2T^4,$$

где  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана,  $R$  и  $T$  – радиус и температура поверхности звезды. Как известно, красные и голубые сверхгиганты имеют практически одинаковую светимость

$L$ . Это отражается на диаграмме Герцшпрунга-Рассела, на которой ветвь сверхгигантов имеет горизонтальный вид. В то же время голубые сверхгиганты значительно горячее красных. Следовательно, чтобы обеспечить такую же светимость, красные сверхгиганты должны быть существенно больше голубых сверхгигантов.

### Критерии оценивания

|                                                          |         |
|----------------------------------------------------------|---------|
| Записан закон Стефана-Больцмана                          | 3 балла |
| Указана разница между красными и голубыми сверхгигантами | 3 балла |
| Получен правильный ответ                                 | 2 балла |

**Задача 5.** Звезда Барнарда имеет собственное движение  $10.3''/\text{год}$  и лучевую скорость, равную  $-111 \text{ км/с}$ . Когда она пройдет (или прошла) на минимальном расстоянии от Солнца и какую будет иметь звездную величину, если ее параллакс составляет  $0.547''$ , а видимая звездная величина равна  $9.53^m$ ?

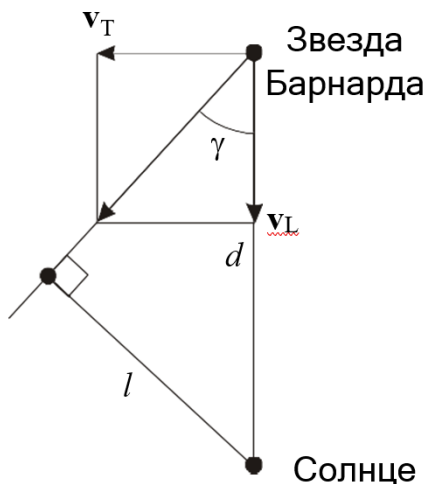
**Решение:** По данным условия задачи, расстояние до звезды Барнарда в настоящий момент составляет

$$d = \frac{1}{\pi} = 1.83 \text{ пк},$$

$\pi$  – параллакс звезды. Тангенциальная скорость равна

$$v_T = \alpha d = \alpha \pi = 18.8 \frac{\text{а. е.}}{\text{год}} = 89.3 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

Здесь  $\alpha$  – собственное движение звезды Барнарда.



Лучевая скорость звезды  $v_L$  равна  $-111$  км/с. Знак минус указывает, что звезда Барнарда приближается к Солнцу, двигаясь под углом

$$\gamma = \arctg \left| \frac{v_T}{v_L} \right| = 38.8^\circ$$

относительно направления на Солнце. Минимальное расстояние между Солнцем и звездой Барнарда составит

$$l = d \sin \gamma = 1.15 \text{ пк.}$$

Время, оставшееся до максимального сближения звезды Барнарда и Солнца, равно

$$\Delta t = \frac{d \cos \gamma}{\sqrt{v_L^2 + v_T^2}}$$

что составляет примерно 9800 лет. Нам остается определить звездную величину звезды Барнарда  $m$  в это время. Обозначим ее звездную величину в настоящее время как  $m_0$ . Тогда искомая звездная величина составит

$$m = m_0 + 5 \lg \frac{l}{d} = m_0 + 5 \lg \sin \gamma = 8.51$$

#### Критерии оценивания

|                                                                               |         |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Найдено расстояние до звезды Барнарда в настоящий момент                      | 2 балла |
| Определена тангенциальная скорость звезды                                     | 2 балла |
| Найдено минимальное расстояние между Солнцем и звездой Барнарда               | 2 балла |
| Найдено время, оставшееся до максимального сближения звезды Барнарда и Солнца | 2 балла |