



Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии
Ленинградская область

2021
19
ноября

11 класс

Максимальный балл за всю работу равен 40

1. В одном из современных мультфильмов (Кунг-фу панда 2) персонаж произносит фразу: «Отплываем через три дня, в полную Луну и высокий прилив». Почему же в момент полнолуния прилив будет выше, чем, например, в момент последней четверти?

Решение (8 баллов):

Приливы на Земле создаются в основном Луной и Солнцем (причем вторые примерно в два раза слабее первых). Поскольку приливные «горбы», созданные каким-либо телом, располагаются примерно там, где соответствующее тело находится в зените и в надире, то в ситуации, когда Солнце и Луна оказываются на одной прямой, созданные ими приливы складываются (а в такой ситуации Луна находится либо в полнолунии, либо в новолунии). Если же направления на Солнце и на Луну перпендикулярны (т.е. Луна находится в первой или в последней четверти), то приливы компенсируют друг друга и эффект оказывается наименее заметным.

Комментарии:

Упоминание о том, что «приливообразующими» телами на Земле являются Луна и Солнце — 1 балл. Понимание того, что каждое тело создает два приливных горба (и знание их положения) — 4 балла. Соотнесение фаз Луны и взаимного расположения Солнца, Земли и Луны — 2 балла. Итоговый вывод — 1 балл.

2. Звезды Бетельгейзе и главный компонент двойной звезды EQ Пегаса обладают одинаковыми температурами поверхности, но Бетельгейзе обладает массой 15 масс Солнца при радиусе 760 радиусов Солнца, а компонент EQ Пегаса обладает массой 0.36 массы Солнца при радиусе 0.36 радиуса Солнца. Во сколько раз отличаются ускорения свободного падения в фотосферах этих звезд?

Решение (8 баллов):

Звезды можно считать сферически-симметричными, поэтому ускорение свободного падения мы можем рассчитать как

$$g = \frac{GM}{R^2}.$$

Тогда отношение ускорений:

$$\frac{g_{\text{EQ}}}{g_{\text{Б}}} = \frac{GM_{\text{EQ}}}{R_{\text{EQ}}^2} : \frac{GM_{\text{Б}}}{R_{\text{Б}}^2} = \frac{M_{\text{EQ}}}{M_{\text{Б}}} \cdot \left(\frac{R_{\text{Б}}}{R_{\text{EQ}}} \right)^2 = \frac{0.36M_{\odot}}{15M_{\odot}} \cdot \left(\frac{760R_{\odot}}{0.36R_{\odot}} \right)^2 = 10^5.$$

Это число не должно вызывать удивление: Бетельгейзе — сверхгигант, обладающий очень протяженной атмосферой, поэтому, несмотря на большую массу, эта звезда обладает небольшой поверхностной гравитацией.

Комментарии:

Запись выражения для ускорения свободного падения — 4 балла. Вычисление отношения ускорений — 4 балла.

3. Космический аппарат движется по наиболее энергетически выгодной траектории от Земли к астероиду Солнечной системы: после вывода на траекторию перелета аппарат движется с выключенными двигателями под действием тяготения Солнца. На расстоянии 1.5 а.е. от Солнца космический аппарат обладал скоростью 27.2 км/с. Чему будет равна скорость КА на расстоянии 2.5 а.е. от Солнца?

Решение (8 баллов):

Поскольку корабль летит с выключенными двигателями, то для него сумма кинетической и потенциальной энергии сохраняется. Запишем закон сохранения энергии для первого и второго положения объекта:

$$\frac{mv_1^2}{2} - \frac{GM_\odot m}{r_1} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{GM_\odot m}{r_2}, \quad \frac{v_1^2}{2} - \frac{GM_\odot}{r_1} = \frac{v_2^2}{2} - \frac{GM_\odot}{r_2}.$$

Вспомним, что средняя орбитальная скорость Земли равна

$$v_c = \sqrt{\frac{GM_\odot}{a_\oplus}} = 30 \text{ км/с},$$

тогда

$$\frac{v_1^2}{2} - v_c^2 \cdot \frac{a_\oplus}{r_1} = \frac{v_2^2}{2} - v_c^2 \cdot \frac{a_\oplus}{r_2}, \quad v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2v_c^2 \cdot \left(\frac{a_\oplus}{r_2} - \frac{a_\oplus}{r_1} \right)} = 16 \text{ км/с}.$$

Комментарии:

Запись закона сохранения энергии — 3 балла. Оценка орбитальной скорости Земли — 2 балла. Вычисление итогового ответа — 2 балла.

4. Начинаящий петербургский астроном наблюдает Процион в момент, когда ее высота над горизонтом максимальна. Его друг из города Сент-Питерсберг ($\varphi = 28^\circ$ с.ш., $\lambda = 83^\circ$ з.д.) во Флориде хочет провести такие же наблюдения. Спустя какое время после наблюдения в Санкт-Петербурге Процион достигнет наибольшей высоты в городе Сент-Питерсберг? И насколько выше звезда будет над горизонтом?

Решение (8 баллов):

Долгота Санкт-Петербурга равна примерно 30° в.д. Расстояние по долготе между двумя городами составляет $30^\circ - (-83^\circ) = 113^\circ$, при этом Санкт-Петербург расположен восточнее, поэтому в Санкт-Петербурге наблюдение проводится раньше на $\frac{113^\circ}{360^\circ} \cdot 24 \text{ ч} = 7.5$ часов. Процион — звезда вблизи небесного экватора, поэтому в обоих городах она наблюдается на юге, при этом высота объекта тем больше, чем меньше широта пункта наблюдения, поэтому в городе Сент-Питерсберг высота Проциона над горизонтом будет на $60^\circ - 28^\circ = 32^\circ$ больше.

Комментарии:

Вычисление расстояния по долготе между городами — 1 балл. Явное или неявное указание на то, что разность моментов кульминаций равна разности долгот — 2 балла. Вычисление интервала времени — 1 балл. Указание на то, что Процион недалеко от небесного экватора — 2 балла. Вычисление разности высот кульминаций — 2 балла.

5. У первооткрывателя Плутона Клайда Томбо был собственноручно изготовленный любительский телескоп с зеркалом диаметром 23 см (9 дюймов). Смог бы Томбо увидеть в свой телескоп Плутон, если в момент открытия тот имел 15 видимую звездную величину?

Решение (8 баллов):

При максимально благоприятных условиях (отсутствие потерь света в телескопе, правильно подобранный окуляр и т.д.) предельные освещенности, доступные

для наблюдения в телескоп (E) и невооруженным глазом (E_0), обратно пропорциональны площадям объектива телескопа и зрачка глаза, т.е. $E/E_0 = (d/D)^2$, где D — диаметр объектива телескопа, d — диаметр зрачка. Тогда проникающая способность телескопа m и глаза m_0 могут быть записаны как

$$\begin{cases} m = -2.5 \lg E + \text{const} \\ m_0 = -2.5 \lg E_0 + \text{const} \end{cases}$$

откуда $m - m_0 = -2.5 \lg \left(\frac{d}{D}\right)^2 = 5 \lg \frac{D}{d}$.

Поскольку предельная проникающая способность человеческого глаза $m_0 = 6^m$, а диаметр зрачка $d = 6$ мм, то проникающая способность телескопа

$$m = 6 + 5 \lg \frac{230}{6} \approx 14^m.$$

Отсюда итоговый вывод: нет, при проведении визуальных наблюдений с этим телескопом увидеть Плутон было невозможно. В действительности Клайд Томбо открыл Плутон, наблюдая на более крупном телескопе и используя в качестве приемника изображения фотопластинки.

Комментарии:

Получение или запись выражения для оценки проникающей способности телескопа — 4 балла. Вычисление итогового результата и вывод — 4 балла. Участник может в качестве оценки диаметра зрачка использовать значения от 5 мм до 7 мм, это не является ошибкой.