

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ
КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Государственное бюджетное учреждение
дополнительного образования
Краснодарского края
«ЦЕНТР РАЗВИТИЯ ОДАРЕННОСТИ»

350000 г. Краснодар,
ул. Красная, 76
тел. 259-84-01
E-mail: cro.krd@mail.ru

Всероссийская олимпиада школьников
по астрономии

2017-2018 учебный год

Муниципальный этап

10 класс, ответы

Председатель предметно-методической
комиссии: Тумаев Е. Н., д.ф.-м.н.,
профессор

Задача 1

Двойная звезда, состоящая из близко расположенных звезд со звездными величинами 5^m и 7^m . Плоскость, в которой движутся звезды, ориентирована по лучу наблюдения, так что звезды периодически затмевают друг друга (затменно-переменная звезда). В каких пределах изменяется блеск двойной звезды? Чему был бы равен блеск такой же двойной звезды, но с плоскостью движения звезд, перпендикулярной лучу зрения?

Решение задачи 1

Если луч зрения лежит в плоскости движения звезд, имеется три характерных расположения звезд

– первая звезда (блеск 5^m) заслоняет вторую звезду. В этом случае излучение второй звезды поглощается акввой звездой и видимая звездная величина равна 5^m ;

– вторая звезда (блеск 7^m) заслоняет первую звезду. В этом случае видимая звездная величина равна 7^m ;

– звезды не заслоняют друг друга. В этом случае если освещенность, создаваемая второй звездой в точке наблюдения, равна J_0 , то освещенность, создаваемая первой звездой равна $(2,512)^2 J_0$, и суммарная освещенность равна

$$J_0 + (2,512)^2 J_0 = 7,310 J_0 .$$

Тогда видимая звездная величина равна

$$m = 7 - 2,5 \lg 7,310 = 4,84$$

В случае, когда плоскость, в которой вращаются звезды, перпендикулярна лучу зрения, звездная величина также равна 4,84.

Рекомендуемая оценка решения задачи 1

За найденную звездную величину в каждом из трех случаев – по 2 балла, за найденную звездную величину в последнем случае – еще 2 балла. Итого – 8 баллов.

Задача 2

Каково должно быть соотношение размеров красного гиганта (температура поверхности 3500 К) и белого карлика (температура поверхности 10^4 К), если они имеют одинаковую светимость?

Решение задачи 2

Согласно закону Стефана-Больцмана, светимость единицы площади звезды с температурой T равна σT^4 , где σ – постоянная Стефана-Больцмана. Следовательно, суммарная светимость звезды радиуса R равна $\sigma T^4 \cdot 4\pi R^2$. Отношение светимостей красного гиганта (звезда 1) и белого карлика (звезда 2) равно

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{\sigma T_1^4 \cdot 4\pi R_1^2}{\sigma T_2^4 \cdot 4\pi R_2^2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^4 \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2.$$

По условию, это отношение равно 1, следовательно

$$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 = \left(\frac{10^4}{3 \cdot 10^2}\right)^2 = 1,11 \cdot 10^4$$

Рекомендуемая оценка задачи 2

Запись закона Стефана-Больцмана – 2 балла, формула для полной светимости звезды – 2 балла, выражение для отношения светимостей – 2 балла, вычисление отношений радиусов – 2 балла. Итого – 8 баллов.

Задача 3

Вычислить, с какой силой действует на углеродную нанопылинку сферической формы (радиус $r=0,2$ мкм, плотность углерода $\rho=2$ г/см³) свет, испускаемый Солнцем, поток солнечных альфа-частиц (ядер гелия, $M=4,664 \cdot 10^{-27}$ кг). Сравнить эти силы с силой притяжения частицы Солнцем. Частица неподвижна, находится на расстоянии 1 а.е. от Солнца, концентрация альфа-частиц $n=10^8$ 1/м³, их скорость $v=450$ км/с.

Решение задачи 3

За время Δt наночастица получит от потока альфа-частиц импульс Δp , равный

$$\Delta p = mn\pi r^2 v \Delta t \cdot v = mnv^2 \pi r^2 \Delta t$$

Сила, с которой на наночастицу действует поток альфа-частиц, равна

$$F_1 = \frac{\Delta p}{\Delta t} = mnv^2 \pi r^2 =$$

$$= 4,664 \cdot 10^{-27} \cdot 10^8 \cdot (4,5 \cdot 10^5)^2 \cdot 3,14 \cdot (2,0 \cdot 10^{-7})^2 = 1,187 \cdot 10^{-20} \text{ Н.}$$

Сила, давления света, действующая на наночастицу, равна

$$F_2 = \frac{I}{c} \pi r^2 = \frac{1,38 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8} 3,14 \cdot (2,0 \cdot 10^{-7})^2 = 6,781 \cdot 10^{-19} \text{ Н}$$

Сила, с которой наночастица притягивается Солнцем, равна

$$F_3 = \frac{GM}{R^2} \frac{4}{3} \pi r^3 \rho =$$

$$= \frac{6,672 \cdot 10^{-11} \cdot 1,989 \cdot 10^{30}}{(1,496 \cdot 10^{11})^2} \cdot \frac{4 \cdot 3,14 \cdot (2,0 \cdot 10^{-7})^3 \cdot 2,0 \cdot 10^3}{3} = 3,974 \cdot 10^{-19} \text{ Н.}$$

Сравнение вычисленных значений сил показывает, что доминирующей является сила светового давления, а силой притяжения наночастицы к Солнцу можно пренебречь.

Рекомендуемая оценка задачи 3

За вычисление каждой из сил F_1 , F_2 , F_3 – по 2 балла, сравнение сил и вывод на основе этого сравнения – еще 2 балла. Итого – 8 баллов.

Задача 4

Спутник, движущийся по круговой экваториальной орбите в сторону вращения Земли, проходит над наземной станцией слежения 5 раз в сутки. Другой спутник, движется почти по такой же орбите, но в противоположном направлении. Сколько раз в сутки он проходит над станцией слежения?

Решение задачи 4

Для решения задачи следует использовать аналогию между синодическим периодом обращения планеты и периодами обращения спутников относительно станции наблюдения. Периоды обращения спутников относительно Земли в неподвижной системе координат одинаковы и равны

$$T_1 = T_2 = \left(\frac{1}{S_1} + \frac{1}{T_0} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{1/5} + \frac{1}{1} \right)^{-1} = \frac{1}{6} \text{ суток.}$$

Синодический период обращения второго спутника равен

$$S_2 = \left(\frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_0} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{1/6} + \frac{1}{1} \right)^{-1} = \frac{1}{7} \text{ суток.}$$

Второй спутник проходит над станцией слежения 7 раз в сутки.

Рекомендуемая оценка задачи 4

Вычисление периодов обращения спутников в неподвижной системе координат – 4 балла, вычисление синодического периода обращения второго спутника – 2 балла, окончательный ответ – еще 2 балла. Итого – 8 баллов.

Задача 5

Для исследования внешних планет солнечной системы к ним запущен зонд, который в окрестности орбиты Юпитера имел скорость $v=18$ км/с относительно станции слежения на Земле. Для синхронизации работы аппаратуры зонда на нем установлен генератор эталонной частоты, вырабатывающий синхроимпульсы с частотой следования 1 МГц, сигналы которого передаются на Землю. Какова должна быть полоса пропускания приемной аппаратуры, необходимая для определения скорости зонда?

Решение задачи 5

Доплеровский сдвиг частоты Δf при удалении зонда со скоростью $v=1,8 \cdot 10^4$ м/с равен (c – скорость света)

$$\Delta f = \frac{v}{c} f = \frac{1,8 \cdot 10^4}{3 \cdot 10^8} \cdot 10^6 = 600 \text{ Гц.}$$

Итак, приемник должен иметь селективность (полосу пропускания) не менее, чем 600 Гц. Обычно для гарантированного измерения доплеровского сдвига селективность должна быть на порядок выше.

Рекомендуемая оценка задачи 5

Формула для доплеровского сдвига частоты – 4 балла, вычисление доплеровского сдвига – 2 балла, оценка селективности (полосы пропускания) приемника – 2 балла. Итого – 8 баллов.

Задача 6

Протопланета движется по параболической траектории вблизи молодой звезды. В точке перицентра она сталкивается с протопланетой, движущейся по круговой орбите. Перед ударом скорости обеих тел были направлены, противоположно, а после удара оба тела соединились в одно без потери массы. При каком соотношении масс планет образовавшееся тело не упадет на центральное светило?

Решение задачи 6

Считаем первым телом то, которое движется по параболической орбите, а вторым – то, которое движется навстречу по круговой орбите. Обозначим массы тел через m_1 , m_2 , а их скорости – через v_1 и v_2 . Поскольку круговая скорость – это та минимальная скорость, при которой тело не падает на притягивающий центр, после соударения соединившееся тело будет двигаться в ту же сторону, что и первое тело. Далее, поскольку $v_1 = \sqrt{2}v_2$ то суммарный импульс соединившегося тела равен $m_1v_1 - m_2v_2 = m_2v_2(x\sqrt{2} - 1)$, где $x = m_1 / m_2$ – отношение масс. Скорость соединившегося тела равна

$$u = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2} = v_2 \frac{x\sqrt{2} - 1}{x + 1} .$$

Для того, чтобы соединившееся тело не упало на притягивающий центр, необходимо, чтобы $u \geq v_2$, или

$$\frac{x\sqrt{2} - 1}{x + 1} \geq 1$$

Из последнего неравенства получаем

$$\frac{x\sqrt{2} - 1}{x + 1} \geq 1, \quad x \geq \frac{2}{\sqrt{2} - 1} = 2(\sqrt{2} + 1) = 4,828$$

Рекомендуемая оценка задачи 6

Установление того, что соединившееся тело будет двигаться по направлению движения первого тела – 2 балла, связь между скоростями первого и второго тела – 2 балла, запись закона сохранения импульса – 2 балла, нахождение отношения масс – 2 балла. Итого – 8 баллов.