11 класс

Задание 1.

Расположите объекты в порядке увеличения их линейных размеров:

а. белый карлик

б. коричневый карлик

в. красный гигант

г. красный карлик

д. нейтронная звезда

Решение.

Правильный ответ: нейтронная звезда, белый карлик, коричневый карлик, красный карлик, красный гигант.

Нейтронная звезда имеет характерный размер 10–20 км, белый карлик ~10000 км (примерно с Землю). Оба этих объекта – остатки звёзд различной массы на конечном этапе их эволюции.

Коричневый карлик – это «недозвезда», объект, масса которого достаточна для прохождения термоядерных реакций синтеза в его недрах за счёт изначально существующего дейтерия, но недостаточна для синтеза гелия из водорода, как в нормальных звёздах. Размеры коричневых карликов сравнимы с размером Юпитера или немного больше.

Красные карлики – нормальные звёзды, размером уступающие Солнцу, но превосходящие коричневые карлики.

Красные гиганты – нормальные звёзды, размером в сотни радиусов Солнца.

Критерии оценивания (максимум – 8 баллов).

Если все объекты выстроены в правильном порядке, выставляется 8 баллов.

Если порядок не совсем верный, но из предложенного ответа достаточно убрать один объект, чтобы оставшиеся четыре расположились в правильном порядке, то выставляется 4 балла. Если для получения правильного порядка нужно убрать два объекта, то выставляется 1 балл. В остальных случаях – 0 баллов. Обоснование ответа не требуется.

Задание 2.

Солнечный ветер состоит из протонов, летящих со скоростью 300 км/с и заполняющих в районе земной орбиты межпланетное пространство в количестве 10 частиц на 1 $см^3$. С какой силой давит этот «ветер» на Луну? Масса протона $m_p = 1,6 \cdot 10^{-24}$ г, радиус Луны $R = 1737$ км.

Решение.

Запишем II закона Ньютона $F = ma$ в виде $F = \frac{\Delta V}{\Delta t}\, m = \frac{\Delta mV}{\Delta t}$.

Видим, что сила равна изменению импульса тела за единицу времени (если масса тела постоянна). Будем считать, что протоны солнечного ветра «прилипают» к Луне, передавая её свой импульс, но не изменяют её массы.

Пусть V – скорость ветра, а n — плотность числа частиц. Тогда за единицу времени на единицу площади сечения лунного диска падает nV частиц, принося импульс $\Delta p = m_p VnV$. Следовательно, сила, которую оказывает солнечный ветер, за единицу времени на всю Луну радиусом R = 1737 км, равна

$F = \Delta p\ S = nR^2\ nm_p V^2 = \pi(1,737 \cdot 10^{6})^2 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-27}\ (3 \cdot 10^5)^2 \approx 1,37 \cdot 10^3$ Н.

Критерии оценивания (максимум – 8 баллов).

Правильный ответ с анализом и вычислениями – 8 баллов.

Правильный ответ с анализом без вычислений – 6 баллов.

За разумные идеи – до 3 баллов.

Задание 3.

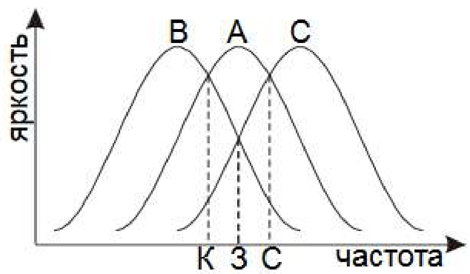
Звёзды *A* и *B* светят одинаково через красный светофильтр, звезды *B* и *C* – одинаково через зеленый, а *A* и *C* – одинаково через синий. При этом в зеленых лучах звезда *A* ярче звезды *B*. Расположите эти три звезды в порядке возрастания их температуры.

Решение.

Как известно, чем горячее звезда, тем больше максимум ее излучения сдвигается в сторону коротковолновой части спектра. (2 балла)

Звезды *A* и *B* выглядят одинаково яркими в красных лучах, однако в коротковолновой части спектра, в зеленых лучах, звезда *A* становится ярче, значит звезда *A* горячее звезды B (2 балла) (см. рисунок, буквы у оси абсцисс соответствуют трем цветам).

В зеленых лучах звезда *C* (как и звезда *B*) светит слабее звезды *A*, но в синих лучах их яркость сравнивается, то есть звезда *C* горячее звезды *A*. Таким образом, эти три звезды нужно расставить следующим образом: *B, A, C*. (4 балла).



Критерии оценивания (максимум – 8 баллов).
Комментарии к оцениванию приведены в решении.

Задание 4.

Космический корабль запущен таким образом, что, освободившись от земного притяжения, он начал свободно падать на Солнце практически по прямой линии. Сколько дней продлится это падение?

Решение.

Падение по радиусу к Солнцу с расстояния $r_{\oplus}$ можно представить как движение по предельно сжатому эллипсу с большой полуосью $a = r_{\oplus}/2$. Тогда время падения t, равное половине орбитального периода P на этой орбите, согласно Третьему закону Кеплера, равно

$$t = \frac{P}{2} = \pi\sqrt{\frac{a^3}{GM_{\odot}}} = \frac{\pi}{2^{3/2}}\sqrt{\frac{r_{\oplus}^3}{GM_{\odot}}} = P_{\oplus}\cdot 2^{-5/2},$$

где

$$P_{\oplus} = 2\pi\sqrt{\frac{r_{\oplus}^3}{GM_{\odot}}} = 1 \text{ год}.$$

Следовательно, $t = 1$ год $\cdot\ 2^{-5/2} = 65$ суток.

Критерии оценивания (максимум – 8 баллов).

Правильный ответ с анализом и вычислениями – 8 баллов.

Идея решения верна, но допущены ошибки в расчетах – 6 баллов.

Использована идея эллипса – 4 балла.

За разумные идеи и верные формулы – до трех баллов.

Задание 5.

Звезда Ран (**ε** Эридана) является третьей из ближайших звёзд (не считая Солнца), видимых без телескопа и имеет параллакс 0.31″. Определите:

1) расстояние до звезды в парсеках;

2) максимальное угловое расстояние между Марсом и Землёй, при наблюдении с этой звезды;

3) максимальное возможное линейное расстояние между Землей и Марсом.

Орбиты планет считать круговыми.

Решение.

На первом этапе найдем расстояние от звезды Ран до Солнца. Его мы получим из годичного параллакса звезды: r=1/p = 3.23 пк.

Далее учтём, в случае круговых орбит, что максимальное видимое удаление Марса от Земли будет тогда, когда они будут по разные стороны от Солнца на расстоянии: 1+ 1.5 = 2.5 а.е.

Используя определение параллакса получаем, что с расстояния в 3.23 пк радиус земной орбиты будет виден под углом 0.31″. Следовательно, 2.5 а.е. буду видны под углом 2.5*0.31=0.775″ или примерно 0.78″.

Максимально возможное расстояние между Землей и Марсом составляет 1+1.5=2.5 а.е., когда планеты находятся по разные стороны от Солнца. А Марс с Земли виден в соединении с Солнцем. Переведем расстояние в км - 2.5*150 млн км = 375 млн. км.

Критерии оценивания (максимум – 8 баллов).

Определение расстояния до звезды при помощи годичного параллакса – 2 балла.

Определение значения максимального углового расстояния между Землей и Марсом при наблюдении со звезды Ран – 3 балла.

Определение максимального линейного расстояния между Землей и Марсом - 2.5 а.е. или 375 млн.км – 3 балла.

Комментарии. Если, в подсчёте максимального расстояния между Землей и Марсом, учащийся ошибся и получил неверный ответ, но в диапазоне 0,5 - 5 а.е., а сам подсчёт углового расстояния, используя определение параллакса, выполнил правильно (с теми данными, что получены ранее) часть решения за подсчет углового расстояния (3 балла) оценивается полностью, а часть (2 балла), за подсчет расстояния, не оценивается.

Задание 6.

Некоторые астрологи в своих расчётах заменяют планету Марс на воображаемый Псевдомарс. Положим, Псевдомарс существует на самом деле, и большая полуось его орбиты на 4% меньше, чем у орбиты Марса при равных эксцентриситетах. Оцените, как часто происходят противостояния Псевдомарса.

Решение.

По третьему закону Кеплера орбитальный период Псевдомарса

$$T = T_{марса} \cdot (1 - 0.04)^{3/2} = 686{,}98 \text{ сут.} \cdot 0{,}96^{1{,}5} = 646{,}18 \text{ сут.}$$

Мы приняли большую полуось Марса за единицу. Отсюда синодический период Псевдомарса

$$S = \left(\frac{1}{T_{земли}} - \frac{1}{T}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{365{,}26 \text{ сут}} - \frac{1}{646{,}18 \text{ сут}}\right)^{-1} = 840{,}18 \text{ сут.}$$

Критерии оценивания (максимум – 8 баллов).

Правильный ответ с анализом и вычислениями – 8 баллов.

Правильный ответ с анализом без вычислений – 6 баллов.

За разумные идеи – до 3 баллов.