Пермский край
2022-2023 учебный год

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
11 КЛАСС

Возможные решения заданий и критерии оценивания

Задание 1. (8 баллов)

Установлено, что ядро Земли состоит из двух частей: центральная часть твердая, а внешняя часть жидкая. Поясните, какие физические процессы свидетельствуют о такой структуре ядра? Использовались ли такие методы исследований небесных тел?

Решение

1. Структура ядра была определена по результатам ***наблюдений распространения сейсмических волн*** в теле Земли, которые возникают при ***сильных землетрясениях*** (**1 балл**).
   Выделены определяющие факты, которые должны быть приведены в решении задания. Если они отсутствуют, то оценка **0 баллов.**
2. Сейсмографы могут регистрировать ***продольные*** (**1 балл**) ***и поперечные*** (**1 балл**) ***упругие волны коры Земли***.
3. ***Продольные волны хорошо проходят через твердые и жидкие части ядра*** (**1 балл**), а ***поперечные распространяются на большие расстояния только в твердых средах*** (**1 балл**).
4. ***Оба вида волн отражаются от границ разделов частей Земли с различными агрегатными состояниями*** (**1 балл).**
5. ***Сейсмографы были установлены на Луне и на Марсе для изучения структур их внутренних строений*** (**2 балла).**

Задание 2. (8 баллов)

Какую из планет солнечной системы можно визуально наблюдать в верхней кульминации в городе Перми на самой большой высоте? Чему равна эта высота? Широту Перми считать равной 58°00' С.Ш., рефракцией пренебречь.

Решение

1. Высота h верхней кульминации планеты для города Перми определяется ее склонением δ и северной широтой Перми $\varphi = 58^\circ$:
   $h = 90^\circ - \varphi + \delta$ (**1 балл**).
2. Наибольшей возможной высоте $h_н$ кульминации планеты соответствует ее наибольшее положительное склонение $\delta_н$, которое равно сумме угла ε наклона эклиптики к плоскости небесного экватора и наклонения i орбиты планеты к плоскости эклиптики:
   $\delta_н = \varepsilon + i$ (**1 балл**).
3. Так как угол ε практически постоянен и равен 23°26', то наибольшее склонение $\delta_н$ будет у планеты с наибольшим наклонением i (**1 балл**).
4. Из справочных данных находим, что наибольшее наклонение имеет Меркурий, $i_M = 7{,}01^\circ$(**1 балл**).

5. Однако Меркурий нельзя наблюдать визуально в верхней кульминации, так как он близок к Солнцу и виден сравнительно кратковременно только перед восходом или после захода Солнца (**1 балл**). Эти условия наблюдения также относятся к Венере, у которой $i_B = 3{,}39^{\circ}$ (**1 балл**).
6. Из видимых внешних планет наибольшее наклонение имеет Сатурн, $i_C = 2{,}49^{\circ}$ (**1 балл**).
7. Наибольшая возможная высота h_C кульминации Сатурна равна
   $h_C \approx 90^{\circ} - 58^{\circ} + 23^{\circ}26' + 2^{\circ}29' = 57^{\circ}55'$ (**1 балл**).

Задание 3. (8 баллов)

Видимая звездная величина звезды Арктур созвездия Волопас равна $-0{,}05^m$. Вычислите её абсолютную звездную величину, с учетом её удалённости от Земли на 36,7 св. г. Сравните светимости Арктура и Солнца, у которого абсолютная звездная величина равна $4{,}83^m$.

Решение

1. Видимая m и абсолютная M звездные величины светила взаимосвязаны через расстояние до звезды d в парсеках и фиксированное расстояние $d_0 = 10$ пк:
   $M = m - 5\lg(d/d_0)$ (**2 балла**).
2. 1 св.г. равен, примерно 0,307 пк, расстояние до звезды d в парсеках составляет
   $d = 0{,}307 \cdot 36{,}7 = 11{,}25$ пк
3. Абсолютная звёздная величина Арктура
   $M = -0{,}05 - 5\lg(11{,}25/10) \approx -0{,}31^m$ (**2 балла**).
4. Отношение светимостей Арктура L и Солнца L_C определяется через их абсолютные звёздные величины:
   $\lg(L/L_C) = 0{,}4(M_C - M)$ (**2 балла**).
5. Светимость Арктура в видимой части спектра равна
   $10^{0,4(4,83 + 0,31)} = 10^{2,05} = 112$ светимостей Солнца (**2 балла**).

Задание 4. (8 баллов)

Планета обращается вокруг звезды по круговой орбите. Как изменится период её обращения вокруг звезды, если расстояние в апоастре увеличить в два раза по сравнению с первоначальным радиусом, а расстояние в периастре – уменьшить в 2 раза?

Решение.

1. Пусть R есть первоначальный радиус орбиты планеты. Тогда расстояния в апоастре $r_а$ и в периастре $r_п$ новой орбиты будут равны:
   $r_а = 2R$, $r_п = R/2$ (**2 балла**).
2. Большая полуось новой орбиты составит:
   $a = (2R + R/2)/2 = 1{,}25R$ (**2 балла**).
3. По третьему закону Кеплера для отношения периода $T_н$ обращения на новой орбите к первоначальному периоду $T_п$ записываем:
   $(T_н/T_с)^2 = (a/R)^3$ (**2 балла**).
4. Получаем $T_2 \approx 1{,}398 \cdot T_с$, то есть, период увеличится примерно в 1,4 раза (**2 балла**)

Задание 5. (8 баллов)

Представьте себе регулярное скопление галактик массой $2 \cdot 10^{14}$ масс Солнца и размером 20 миллионов световых лет. Предложите простейшую оценку и вычислите наименьшую скорость убегания галактики из такого скопления, если темная материя и межзвездный газ, предположительно, составляют 99% общей массы скопления.

Решение.

Описание решения задания должно содержать следующие ***факты, закономерности, предположения и правильный численный результат***.

1. Регулярные скопления галактик имеют практически сферическую форму (**2 балла**).
2. Считаем радиус скопления равным 10-ти миллионам световых лет: $R = 10^7$ св.лет $= 10^7 \cdot 9{,}46 \cdot 10^{15}$ м $= 9{,}46 \cdot 10^{22}$ м (**1 балл**).
3. Для простейшей оценки можно предположить, что темная материя и межзвездный газ распределены равномерно внутри скопления (**1 балл**).
4. Масса M скопления выражается через массу M_C Солнца: $M = 2 \cdot 10^{14} \cdot M_C = 2 \cdot 10^{14} \cdot 2 \cdot 10^{30}$ кг $= 4 \cdot 10^{44}$ кг (**1 балл**).
5. Простейшей оценкой скорости убегания является «*вторая космическая скорость*» галактики, находящейся на границе скопления $v = (2GM/R)^{1/2}$, $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Нм^2/кг^2 (**2 балла**).
6. Оценка скорости убегания равна $v = (2 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 4 \cdot 10^{44}/9{,}46 \cdot 10^{22})^{1/2} = 750$ км/с (**1 балл**).

Задание 6. (8 баллов)

Квазар имеет угловой размер $0'',03$. Линия излучения водорода квазара с длиной волны 486,1 нм при измерениях на Земле равна 522,1 нм. Определите лучевую скорость квазара, расстояние до него и линейный размер. Постоянную Хабла принять равной 70 (км/с)/Мпк.

Решение

1. Доплеровский сдвиг линии излучения равен $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 522{,}1 - 486{,}1 = 36$ нм (**1 балл**).
2. Относительный сдвиг равен $z = \Delta\lambda/\lambda = 36/486{,}1 = 0{,}074$ (**1 балл**).
3. По теории эффекта Доплера лучевая скорость квазара приближённо равна произведению сдвига z на скорость света *c*: $V = zc = 0{,}074 \cdot 300\,000$ км/с $= 22\,200$ км/с (**2 балла**).
4. По теории расширяющейся Вселенной с учетом постоянной Хаббла H находим расстояние до квазара: $r = V/H = 22\,200/70 = 317$ Мпк (**2 балла**).
5. Линейный размер квазара D вычисляем по угловому размеру $\Delta'' = 0'',03$: $D = r\Delta''/206265'' = 317 \cdot 0'',03/206265'' = 46{,}1$ пк $= 46{,}1 \cdot 3{,}26 = 150$ св. г. (**2 балла**).

Максимальная оценка всех решений – 48 баллов.