Всероссийская олимпиада школьников 2023-2024
Муниципальный этап
Астрономия
11 класс
Ответы и критерии

Задача 1 (8 баллов)

Два удаленных друг от друга наблюдателя, одновременно наблюдают верхнюю кульминацию Солнца. Причем каждый из них заметил, что высота Солнца в этот момент равна 80°. На каком расстоянии друг от друга находятся наблюдателями? Ответ округлите до десятков километров. На каких широтах находятся наблюдатели, если наблюдение происходит в день осеннего равноденствия? Можно ли что-то сказать о долготах наблюдателей?

Решение и критерии оценивания

Так как кульминация Солнца для обоих наблюдателей происходит одновременно, то они находятся на одном меридиане. Определить долготу этого меридиана из условий задачи нельзя.	2 б.
Кратчайшее расстояние между наблюдателями нужно измерять по их общему меридиану. Для этого необходимо найти разность их широт наблюдателей и найти длину дуги, используя данные о радиусе земного шара. Одинаковая высота Солнца в кульминации для наблюдателей в рассматриваемом примере возможна только в случае, если для них Солнце кульминирует по разные стороны от зенита. Для кульминации к югу от зенита высота Солнца $$h = 90^\circ - \varphi_1 + \delta, (1)$$ для кульминации к северу $$h = 90^\circ - \delta + \varphi_2, (2)$$ где h - высота Солнца, δ склонение Солнца в момент наблюдения, φ_1, φ_2 - широты первого и второго наблюдателей соответственно. Складывая почленно равенства (1) и (2), находим разность широт наблюдателей $$\varphi_2 - \varphi_1 = 2h - 180^\circ,$$ $$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 20^\circ.$$	2 б.
Используя данные о радиусе Земли ($R_З \approx 6400$ км), находим расстояние между наблюдателями $d = \frac{2\pi R_З \Delta\varphi}{360^\circ} \sim 220$ км.	1 б.
Склонение Солнца в день осеннего равноденствия равно нулю $$\delta = 0.$$	1 б.
Используя равенства (1) и (2), находим широты наблюдателей $$\varphi_1 = 90^\circ - h = 90^\circ - 80^\circ = 10^\circ,$$ $$\varphi_2 = h - 90^\circ = -10^\circ.$$	2 б.

Задача 2 (8 баллов)

Миша, находясь на Земле, может подпрыгнуть на высоту 50 см над поверхностью Земли. Мечтая о космических приключениях, он решил оценить какой может быть максимальный радиус малой сферической планеты, чтобы он смог улететь с нее за счет одного прыжка. Считайте, что плотность малой планеты равна средней плотности Земли 5500 кг/м^3. Ответ приведите с точностью до десятых километра.

Решение и критерии оценивания

Изменение кинетической энергии прыгуна равно работе силы тяготения: $$\frac{mv^2}{2}=\frac{GmM}{R},$$ гдеm, M– массы прыгуна и сферического тела соответственно, v– скорость прыгуна, G – постоянная всемирного тяготения, R – радиус сферического тела.	4 б.
Масса сферического тела $$M=\rho V=\frac{4}{3}\pi R^3\rho,$$ где ρ – плотность, $V=\frac{4}{3}\pi R^3$ – объем сферы радиуса R.	1 б.
Скорость прыгуна в момент прыжка найдем из данных о высоте прыжка h на Земле $$h=\frac{v^2}{2g},$$ g–ускорение свободного падения на Земле. $v=\sqrt{2gh}=3{,}2$ м/с.	1 б.
Подставляя массу в закон сохранения энергии, выражая радиус, находим радиус астероида $$R=v\sqrt{\frac{3}{8\pi G\rho}}=1825 \text{ м}\sim 1{,}8 \text{ км}$$	2 б.

Задача 3 (8 баллов)

Во сколько раз отличаются по размеру звезды А и В, если температура звезды А в пять раза выше, чем у звезды В, располагается звезда А в пять раза дальше, чем звезда В, при этом звезда А выглядит для наблюдателя ярче, чем звезда В на пять звездных величин.

Решение и критерии оценивания

Разность звездных величин равна 5, при этом звезда А ярче, поэтому $$\Delta m=m_B-m_A=5.$$	1 б.
Согласно формуле Погсона, отношение потока связано с разностью звездных величин так: $\frac{E_A}{E_B}=2{,}512^{\Delta m}$.	1 б.
Светимость звезды определяется законом Стефана Больцмана $$L_A=4\pi\sigma R_A^2T_A^4$$ $$L_B=4\pi\sigma R_B^2T_B^4,$$ где R_A, R_B − радиусы звезд; T_A, T_B − абсолютные температуры звезд.	1 б.
Согласно закону обратных квадратов: $$E_A=L_A/4\pi r_A^2$$ $$E_B=L_B/4\pi r_B^2$$ где r_A, r_B − расстояния до звезд.	1 б.
Поэтому $\frac{E_A}{E_B}=\frac{L_A}{L_B}\left(\frac{r_B}{r_A}\right)^2=\left(\frac{R_A}{R_B}\right)^2\left(\frac{T_A}{T_B}\right)^4\left(\frac{r_B}{r_A}\right)^2$.	2 б.
Откуда $\frac{R_A}{R_B}=\left(\frac{E_A}{E_B}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{T_B}{T_A}\right)^2\left(\frac{r_A}{r_B}\right)=2{,}512^{\Delta m/2}\left(\frac{T_B}{T_A}\right)^2\left(\frac{r_A}{r_B}\right)$.	1 б.
Подставляя данные, получаем $$\frac{R_A}{R_B}=2{,}512^{5/2}\left(\frac{1}{5}\right)^2\left(\frac{5}{1}\right)=2.$$	1 б.

Задача 4 (8 баллов)

Пусть две малые планеты обращаются вокруг Солнца по круговым орбитам разного радиуса в том же направлении, что и Земля. Их синодические периоды одинаковы и равны 1,5 земных года. Чему равны максимальное и минимальное расстояния между планетами? Ответ представьте в астрономических единицах, округлив до десятых.

Решение и критерии оценивания

Так как синодические периоды малых планет совпадают, а радиусы их орбит, согласно условию не равны, то одна из планет является нижней, а вторая верхней.	1 б.
Для нижней планеты связь синодического периода S и сидерического периодов T задается формулой $$\frac{1}{S_н} = \frac{1}{T_н} - \frac{1}{T_З},$$ для верхней $$\frac{1}{S_в} = \frac{1}{T_З} - \frac{1}{T_в},$$ где $T_З$ - сидерический период Земли.	1 б.
Выразив из формул сидерические периоды для верхней и нижней планеты, и подставив в них продолжительность синодического периода, получаем в земных годах $$T_Н = \frac{T_З \cdot S_Н}{S_Н + T_З} = \frac{1 \cdot 1{,}5}{1{,}5+1} = 3/5,$$ $$T_В = \frac{T_З \cdot S_В}{S_В - T_З} = \frac{1 \cdot 1{,}5}{1{,}5 - 1} = 3.$$	2 б.
Используя третий закон Кеплера, находим радиусы орбит каждой из малых планет, выражая их в астрономических единицах $$R_Н = T_Н^{2/3} \approx 0{,}71\ ;$$ $$R_В = T_В^{2/3} \approx 2{,}08\ .$$	2 б.
Планеты будут на максимальном удалении друг от друга, если они находятся на одной линии с Солнцем по разные стороны от него. Получаем $$R_{max} = R_В + R_Н \approx 0{,}71 + 2{,}08 \sim 2{,}8 \text{ а. е.}$$ Планеты будут в наибольшем сближении (на минимальном расстоянии друг от друга), если они находятся на одной линии с Солнцем по одну сторону от него. Получаем $$R_{min} = R_В - R_Н \approx 2{,}08 - 0{,}71\ \sim 1{,}4 \text{ а. е.}$$	2 б.

Задача 5 (8 баллов)

Внеатмосферные телескопы позволяют получать изображения высокого качества, так как отсутствуют искажения, обусловленные земной атмосферой. Существует несколько типов внеатмосферных телескопов, которые различаются по технике использования и применяемым технологиям. Несомненно, самыми известными из них являются телескоп Хаббл и телескоп Джеймс Уэбб.

Используя данные таблицы, определите, какой из этих двух телескопов обеспечивает лучшую детализацию снимков? Во сколько раз отличаются даваемые ими разрешения?

	Телескоп Хаббл (Hubble Space Telescope)	**Телескоп Джеймс Уэбб (James Webb Space Telescope)**
Дата запуска	24 апреля 1990	25 декабря 2021
Местоположение	Геоцентрическая орбита с высотой 537 км над уровнем моря	Точка Лагранжа L_2 системы Земля-Солнце *(в 1,5 км от Земли в противоположную Солнцу сторону)*
Размеры зеркала, м	2,4	6,5 *(общий суммарный размер 18 зеркал)*
Фокусное расстояние, м	57,6	131,4
Спектральный диапазон, мкм	0,11—2,4	0,6—28,5

Решение и критерии оценивания

Детализация снимков определяется разрешающей способностью телескопа, то есть угловым расстоянием между двумя точками изображения, видимыми раздельно: $$\delta = 1{,}22\frac{\lambda}{D},$$ где λ — длина волны принимаемого излучения, D — диаметр зеркала. Чем больше этот угол, тем хуже разрешающая способность, а значит и детализация изображения. *Примечание. Следует верной считать и зависимость* $\delta \sim \frac{\lambda}{D}$ *без указания коэффициента.*	2 б.
Сравним минимальные разрешающие способности телескопов, используя знания о диаметре и минимальной рабочей длине волны $$\delta_{min}^{\text{Hubble}}/\delta_{min}^{\text{Webb}} = \frac{\lambda^{\text{Hubble}}}{D^{\text{Hubble}}} \bigg/ \frac{\lambda^{\text{Webbe}}}{D^{\text{Webb}}} = \frac{0{,}11\cdot 6{,}5}{2{,}4\cdot 0{,}6} = 0{,}5.$$ Таким образом, если сравнивать минимальные разрешающие способности телескопов для их рабочих длин волн, то телескоп Хаббл обладает вдвое лучшей разрешающей способностью.	2 б.
Сравним разрешающие способности для фиксированной длины волны, которая доступна обоим телескопам. Так можно сравнивать изображения одних и тех же объектов (или процессов) регистрируемых разными телескопами при одних и тех же параметрах съёмки. $$\frac{\delta_{\lambda}^{\text{Hubble}}}{\delta_{\lambda}^{\text{Webb}}} = \frac{D^{\text{Webb}}}{D^{\text{Hubble}}} = \frac{6{,}5}{2{,}4} = 2{,}7.$$ Тогда разрешающая способность, а, следовательно, и детализация снимка, полученного с помощью телескопа Джеймса Уэбба, превосходит разрешающую способность телескопа Хаббла в 2,7 раза.	4 б.

Задача 6 (8 баллов)

Орбиты двух комет лежат в плоскости эклиптики. Большие полуоси их орбит равны 18 а.е. и 3,5 а.е., а эксцентриситеты 0,9 и 0,8, соответственно. Длины их хвостов равны 100 миллионов км. Может ли Земля пройти через хвосты этих комет?

Решение и критерии оценивания

Хвост кометы направлен от кометы в сторону, противоположную Солнцу.	1 б.
Длины хвостов равны 100 млн. км/1 а.е. ~ 0,67 а.е.	1 б.
Вычислим перигелийные расстояния ядер комет $r_1 = a(1-e_1) = 18(1-0{,}9) = 1{,}8\ \text{а. е.}$ $r_2 = a(1-e_2) = 3{,}5(1-0{,}8) = 0{,}7\ \text{а. е.}$	4 б.
Первая комета в перигелии находится дальше от Солнца, чем Земля. Поэтому Земля не может пройти через хвост второй кометы.	1 б.
Расстояние от ядра второй кометы в перигелии до орбиты Земли равно 1-0,7=0,3 а.е., что меньше длины хвоста. Следовательно, Земля может пройти через хвост второй кометы.	1 б.