Титульный лист

призера
регионального этапа Всероссийской олимпиады школьников
2021 года по астрономии

Участник	**Класс**	**Количество баллов**
Бабичев К.О.	11	17

Класс:	
Задание:	1

Шифр:	А-11-02
Страница:	1

Выполняйте решение только на лицевой стороне бланка.
При необходимости Вы можете получить дополнительные страницы для решения.

Класс:	11
Задание:	2

Шифр:	А-11-02
Страница:	1

Выполняйте решение только на лицевой стороне бланка.
При необходимости Вы можете получить дополнительные страницы для решения.

Синодический период S связан с периодом обращения вокруг Солнца T следующим образом: $\frac{1}{S}=\frac{1}{T}-\frac{1}{T_З}$ – для внутренних планет, $\frac{1}{S}=\frac{1}{T_З}-\frac{1}{T}$ – для внешних, где $T_З$ – период обращ. Земли вокруг Солнца. Если предположить, что астероид движется ближе к Солнцу, чем Земля, период его обращения определяется из 1-ой формулы: $\frac{1}{T}=\frac{1}{S}+\frac{1}{T_З} \rightarrow T=\frac{ST_З}{S+T_З}=182{,}63$ (сут.). Из 3-его закона Кеплера $\left(\frac{T}{T_З}\right)^2=\left(\frac{R}{a_З}\right)^3$ – где R – радиус круг. орбиты астероида, $a_З$ – большая полуось Земли. Отсюда

$R=a_З\sqrt[3]{\frac{T^2}{T_З^2}}=\frac{1 а.е.}{\sqrt[3]{4}}=0{,}63$ (а.е.) $=0{,}95\cdot10^{11}$ (м.).

Если же предположить, что ~~астер~~ орбита астероида дальше от Солнца, чем орбита Земли, получается $\frac{1}{T}=\frac{1}{T_З}-\frac{1}{S}<0$ – это значение не имеет смысла, этот астероид не может быть „внешней планетой“.

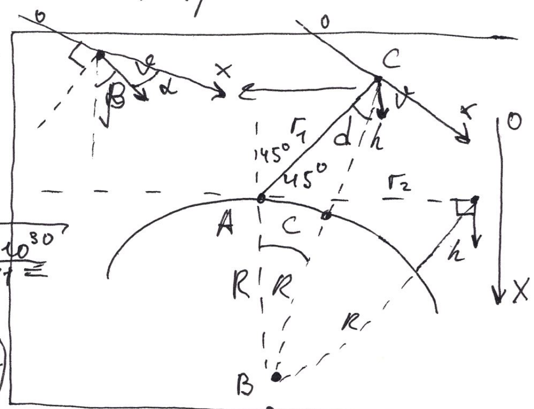
Класс:	11
Задание:	3

Всероссийская олимпиада школьников по астрономии
Региональный этап 2021 г.

Шифр:	А-11-02
Страница:	1

Выполняйте решение только на лицевой стороне бланка.
При необходимости Вы можете получить дополнительные страницы для решения.

Параболическая скорость астероидов равна $\vartheta = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$, где r – расстояние до Солнца, равное по условию 1 а.е., M – масса Солнца. Для наблюдателя на Земле их скорость равна $V_0 = \vartheta + V$, где V – орбитальная скорость Земли, $V \approx 29{,}8\left(\frac{км}{с}\right)$. $\vartheta = \sqrt{\frac{2GM}{r}} = \sqrt{\frac{2\cdot 6{,}67\cdot 10^{-11}\cdot 2\cdot 10^{30}}{1{,}496\cdot 10^{11}}} = 4{,}22\cdot 10^{4}\left(\frac{м}{с}\right) = 42{,}2\left(\frac{км}{с}\right)$. Значит, для наблюдателя $V_0 = \vartheta + V = 72\left(\frac{км}{с}\right)$.



Угловую скорость можно найти как $w = \frac{\vartheta_x}{r}$, где ϑ_x – проекция V_0 на ось, перпендикулярную линии ~~горизонта~~ ~~на направленную~~, направленной от наблюдателя к астероиду, ~~Земли~~ ~~Для метеорита на горизонте $\vartheta_x = V_0$. Найд~~ а r – расстояние от наблюдателя до метеорита. Для метеоритов у горизонта $\vartheta_x = V_0$. Найдём их r_2. По теореме Пифагора $r_2^2 = (R+h)^2 - R^2 = 2Rh + h^2 \approx 2Rh$ (2-ое слагаемое много меньше). Так что $r_2 \approx \sqrt{2Rh}$ и $W_2 = \frac{V_0}{\sqrt{2Rh}} = \frac{72}{\sqrt{2\cdot 6378\cdot 100}}$;
$W_2 = 11{,}3\left(\frac{рад}{с}\right)$.

У астероидов на высоте 45° над горизонтом скорость образует с осью OX угол α. Он равен 45°, $\vartheta_{x_1} = V_0\frac{\sqrt{2}}{2} = 50{,}9\left(\frac{км}{с}\right)$. Осталось найти r_1. Для угла C (на рисунке) можно записать $\frac{\sin C}{r_1} = \frac{\sin 135°}{R+h}$.
В то же время для угла d: $\frac{\sin d}{R} = \frac{\sin(45-C)}{R} = \frac{\sin 135°}{R+h}$.
Угол C очень мал, поэтому $\sin C \approx C$.
$\sin\left(\frac{\pi}{4} - C\right) \approx \sin\frac{\pi}{4} - C$. $\frac{\frac{\sqrt{2}}{2} - C}{R} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{R+h}$. Отсюда
$\frac{\sqrt{2}}{2}R + \frac{\sqrt{2}}{2}h - CR - Ch = \frac{\sqrt{2}}{2}R$; $C(R+h) = \frac{\sqrt{2}}{2}h$; $C = \frac{h}{\sqrt{2}(R+h)}$. // $\sin C$. r_1 можно найти по теореме косинусов для △ABC, затем найти W_1.

Класс:	11		Шифр:	А-11-02
Задание:	4		Страница:	1

Выполняйте решение только на лицевой стороне бланка.
При необходимости Вы можете получить дополнительные страницы для решения.

1) Светимости звезды и Солнца относятся как $\frac{L_з}{L_c} = \left(\frac{R_з}{R_c}\right)^2 \left(\frac{T_з}{T_c}\right)^4$ ($R_з, R_c$ – радиусы звезды и Солнца, $T_з, T_c$ – их температуры).

Отсюда для звезды №1 можем определить светимость. $L_з = L_c \left(\frac{R_з}{R_c}\right)^2 \left(\frac{T_з}{T_c}\right)^4 = 9 \cdot (1{,}724)^4 L_c = 79{,}5 L_c$. Для звёзд главной последовательности справедливо $\frac{L_з}{L_c} \approx \left(\frac{M_з}{M_c}\right)^4$, отсюда $M_з = M_c \sqrt[4]{\frac{L_з}{L_c}} = 3 M_c$. Отношение плотностей равно $\frac{\rho_з}{\rho_c} = \frac{M_з}{M_c}\left(\frac{R_c}{R_з}\right)^3 = 3 \cdot \frac{1}{3^3} = 3^{-2} = 0{,}11 \to \rho_з = 0{,}11 \rho_c = 156{,}7 \left(\frac{кг}{м^3}\right)$.

Разность абсолютн. звёзд. величин равна $M_з - M_c = -2{,}5 \lg\left(\frac{E_з}{E_c}\right) = -2{,}5 \lg\left(\frac{L_з}{L_c}\right)$ (т.к. $E \sim \frac{L}{d^2}$, где d – расст. до звезды, а для абсолютной звёзд. величины $d_1 = d_2$). Отсюда $M_з = M_c - 2{,}5 \lg(79{,}5) \approx +4{,}8 - 4{,}75 = +0{,}05$.

2). Для 2-ой звезды сначала из соотношения $\frac{L_з}{L_c} = \left(\frac{R_з}{R_c}\right)^2 \left(\frac{T_з}{T_c}\right)^4$ находим, что $\frac{R_з}{R_c} = \sqrt{\frac{L_з}{L_c}} \cdot \frac{T_c^2}{T_з^2} = \sqrt{10^5} \cdot \left(\frac{5{,}8}{3{,}5}\right)^2 \to R_з = 868{,}4 R_c$. Тогда из соотношения плотностей $\rho_з = \rho_c \cdot \frac{M_з}{M_c}\left(\frac{R_c}{R_з}\right)^3 = \rho_c \frac{12}{(868{,}4)^3} = 1{,}83 \cdot 10^{-8} \rho_c = 2{,}58 \cdot 10^{-5} \left(\frac{кг}{м^3}\right)$.

Так же, как и для 1-ой звезды, $M_з = M_c - 2{,}5 \lg\left(\frac{L}{L_c}\right)$; $M_з = 4{,}8 - 2{,}5 \cdot 5 = -7{,}7$. (таблица на странице 2)

Всероссийская олимпиада школьников по астрономии
Региональный этап 2021 г.

Дополнительный бланк. Заполните все необходимые графы.

Класс:	11
Задание:	4

Шифр:	А-11-02
Страница:	2

Выполняйте решение только на лицевой стороне бланка.
При необходимости Вы можете получить дополнительные страницы для решения.

Характеристика	Солнце	Звезда №1	Звезда №2
Масса (в масс. Солнца)	1,00	3,00	12
Радиус (в рад. Солнца)	1	3	868,4
Светимость (в свет. Солн.).	1	79,5	100000
Сред. плотн. (в кг/м^3	1410	156,7	$2,58\cdot10^{-5}$
Температ. поверх. (в К)	5800	10000	3500
Абсолют. звёздн. величина	+4,8	+0,05	−7,7

Всероссийская олимпиада школьников по астрономии
Региональный этап 2021 г.

Класс:	11		Шифр:	А-11-02
Задание:	5		Страница:	1

Выполняйте решение только на лицевой стороне бланка.
При необходимости Вы можете получить дополнительные страницы для решения.

Угловое разрешение телескопа диаметра D в видимом диапазоне равно: $p = \frac{140''}{D} = \frac{140''}{300} = 0{,}47'' = 2{,}27\cdot10^{-6}$ (рад.) (D выражается в миллиметрах). Мы сможем наблюдать галактику, если её угловой размер не меньше этого значения: $\varphi \geq p = 2{,}27\cdot 10^{-6}$ (р). Оценим размер галактики. Если считать её среднюю температуру равной солнечной, то $\frac{L_г}{L_с} \approx \left(\frac{R_г}{R_с}\right)^2$ (так как галактика плотная). Отсюда $R_г \approx 10^5 R_с$. Значит, её угловой размер на небе $\varphi = \frac{2R_г}{r}$ (рад.), где r-расстояние до галактики от Земли. r определяет скорость галактики, обусловленную наблюдаемым расширением: $v = Hr$, а красное смещение z определяется этой скоростью: $z = \lambda\frac{v}{c}$. Мы имеем ограничение $\varphi = \frac{2R_г}{r} \geq p = 2{,}27\cdot10^{-6}$. Отсюда получим ограничение для r: $r \leq \frac{2R_г}{p}$. Но $r = \frac{v}{H}$, а $v = \frac{zc}{\lambda}$, так что получаем $\frac{zc}{\lambda H} \leq \frac{2R_г}{p}$; $z \leq \frac{2R_г \lambda H}{cp}$, где $R_г = 10^5 R_с$, λ-длина волны света. Запишем разрешение телескопа в виде $p = \frac{\lambda}{D}$ - это в радианах. Тогда $z \leq \frac{2R_г\lambda H\cdot D}{c\cdot\lambda} = \frac{2R_г HD}{c} = \frac{2\cdot10^5 R_с HD}{c} = \frac{2\cdot10^5\cdot 0{,}3\cdot 6{,}95\cdot10^8\cdot 2{,}2\cdot10^{-18}}{3\cdot10^8}$;
$z \leq 3{,}06\cdot10^{-13}$ (м.). (для правильной размерности постоянная Хаббла была переведена в размерность $\frac{1}{с}$).

Класс:			Шифр:	А-11-02
Задание:	6		Страница:	1

Выполняйте решение только на лицевой стороне бланка.
При необходимости Вы можете получить дополнительные страницы для решения.

Класс:	
Задание:	6

Шифр:	А-11-02
Страница:	2

Выполняйте решение только на лицевой стороне бланка.
При необходимости Вы можете получить дополнительные страницы для решения.