

КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

9 класс

9.1. Скопление галактик

Скопление находится от нас на расстоянии $r \approx 100$ Мпк. Его угловой диаметр $\varphi \approx 5^\circ$. Оцените радиус R скопления (в Мпк).

Решение

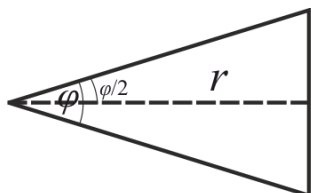


Рисунок.

(2 балла)

Из рисунка, $\frac{R}{r} = \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right) \Rightarrow R = r \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right)$. (3 балла)

$R \approx 4,4$ Мпк. (3 балла)

9.2. Система звезды LHS 1140

У этой звезды обнаружена планета, на которой возможна жизнь.

1) Параллакс звезды $\pi = 80$ мас. Найдите расстояние r до этой звезды в парсеках (пк).

2) В систему звезды отправляется звездолёт, скорость которого $v = 0,1c$ (в единицах скорости света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с). Оцените время такого полёта (в годах).

1 пак $\approx 3,1 \cdot 10^{16}$ м; 1 год $\approx 3,2 \cdot 10^7$ с.

3) Масса планеты $M \approx 6,6M_\oplus$, её радиус $R \approx 1,4R_\oplus$. Здесь $M_\oplus = 6 \cdot 10^{24}$ кг, $R_\oplus = 6400$ км – масса и радиус Земли соответственно. Вычислите ускорение g свободного падения на поверхности планеты.

Гравитационная постоянная $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг²,

1 мас – 1 миллиарсекунда, кратная доля арсекунды (угловой секунды).

Решение

1) Расстояние до звезды, $r = \frac{\text{пк}}{\pi''} = \frac{\text{пк}}{0,08''} = 12,5$ пак. (2 балла)

2) Время полёта, $t = \frac{r}{v}$, (1 балл)

$t = 1,3 \cdot 10^{10}$ с ≈ 406 лет. (2 балла)

3) Ускорение свободного падения, $g = \frac{GM}{R^2}$, (1 балл)

$g = 32,9$ м/с² ≈ 33 м/с². (2 балла)

9.3. Вход космического корабля в сферу действия Луны

Космический корабль (К) входит в сферу действия Луны так, как показано на рисунке. Скорость корабля относительно центра Земли $V = 0,2$ км/с. Скорость Луны относительно центра Земли $V_L = 1,0$ км/с.

1) С какой скоростью $\vec{v}$ (по модулю и направлению) корабль входит в сферу действия Луны относительно центра Луны?

2) Как в дальнейшем будет двигаться корабль внутри сферы действия и по какой траектории? Как будет изменяться скорость корабля (возрастать, убывать, останется неизменной)?

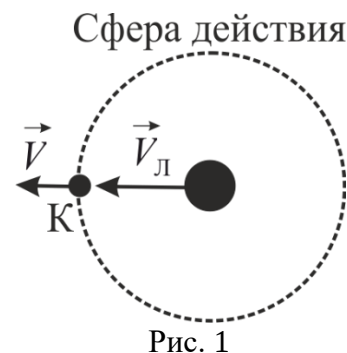


Рис. 1

Решение

Теорема сложения скоростей, $\vec{V} = \vec{V}_L + \vec{v} \Rightarrow \vec{v} = \vec{V} - \vec{V}_L$. (2 балла)

Проецируя это уравнение на горизонтальную ось координат ОХ, сонаправленную с вектором скорости Луны, получаем: $v_x = V - V_L = -0,8$ км/с. (3 балла)

Скорость входа корабля в сферу действия Луны равна $v = 0,8$ км/с, а вектор этой скорости направлен в центр Луны. **(1 балл)**

Корабль будет падать на центр Луны по прямолинейной траектории. **(1 балл)**

Скорость корабля будет увеличиваться под действием тяготения Луны. **(1 балл)**

9.4. Вокруг "чёрной дыры"

Космический корабль движется вокруг "чёрной дыры" (ЧД) по круговой орбите радиуса $r = 20\,000 R_g$, где $R_g = \frac{2GM}{c^2}$ – гравитационный радиус ЧД, M – масса ЧД, G – гравитационная постоянная, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме. Вычислите орбитальную скорость (в единицах скорости света c) космического корабля.

Решение

Уравнение движения для круговых орбит, $m \cdot \frac{v^2}{r} = \frac{GMm}{r^2}$. **(2 балла)**

Скорость движения по круговой орбите, $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$. **(3 балла)**

Т.к. $r = nR_g = n \cdot \frac{2GM}{c^2}$ (в данной задаче $n = 2 \cdot 10^4$), то скорость корабля

$$v = \frac{c}{\sqrt{2n}} = 5 \cdot 10^{-3} c. \quad \textbf{(3 балла)}$$

9.5. Квазар 3C 273

1) Переменность источника излучения позволяет оценить размеры области излучения, указать их верхний предел. Оптическое излучение квазара сильно переменное; за время $\tau \approx 1$ год светимость изменялась в десятки и сотни раз (рис. 2). Оцените верхний предел размера l_m квазара. Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, $1 \text{ год} \approx 3,2 \cdot 10^7$ с.

2) Закон Хаббла. Галактики и квазары удаляются от нас со скоростями v , пропорциональными расстояниям R до них: $v = H \cdot R$ (рис. 3). Коэффициент пропорциональности H , его называют постоянной Хаббла, находят из наблюдений. Оцените скорость (в км/с), с которой удаляется от нас квазар, если расстояние до него $R = 735$ Мпк. Постоянную Хаббла $\left(\text{в } \frac{\text{км}}{\text{с} \cdot \text{Мпк}} \right)$ оцените по графику на рис. 3.

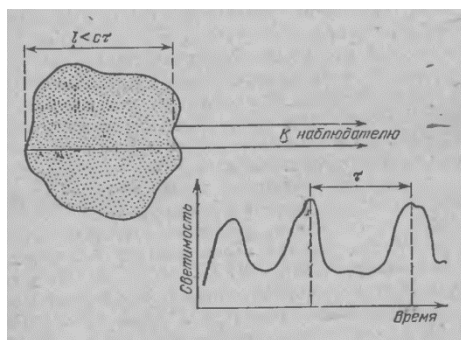


Рис. 2

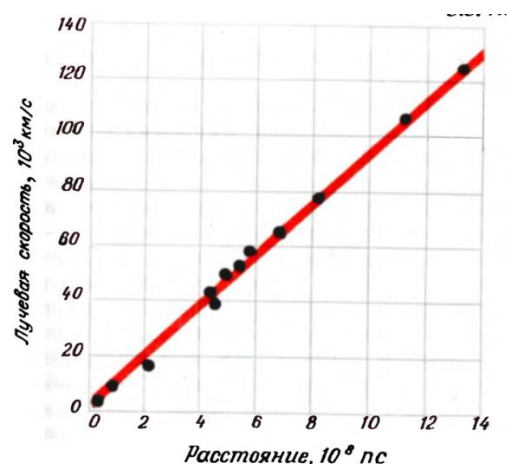


Рис. 3

(пс – устаревшее обозначение парсек)

Решение

1) Так как размер излучающей области $l \leq c\tau$, то верхний предел размера квазара

$$l_m = c\tau, \quad \textbf{(1 балл)}$$

$$l_m = 9,6 \cdot 10^{15} \text{ м} \approx 10^{16} \text{ м}. \quad \textbf{(1 балл)}$$

2) Постоянная Хаббла, $H = \frac{v}{R}$. **(1 балл)**

Значения v и R – по графику на рис. 3; $H \approx 100$ км/(с·Мпк). **(3 балла)**

Скорость квазара, $v = H \cdot R = 73\,500$ км/с. **(2 балла)**

9.6. Звезда Сириус А

Радиус этой звезды $R = 1,7R_{\odot}$, температура (эффективная) её поверхности $T = 9940$ К.

Экваториальная скорость вращения звезды $v_{\text{экр}} = 16,7$ км/с.

1) Вычислите период вращения T_0 звезды (в земных сутках). Радиус Солнца $R_{\odot} = 7 \cdot 10^8$ м.

2) Вычислите светимость L этой звезды (в единицах солнечной светимости $L_{\odot} = 4 \cdot 10^{26}$ Вт).

Постоянная Стефана-Больцмана: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴).

3) Вычислите массу M этой звезды (в единицах солнечной массы $M_{\odot}$) из соотношения

"светимость – масса" $\frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)^4$.

Решение

1) Период вращения звезды вокруг своей оси $T_0 = 2\pi R / v_{\text{экр}}$. **(1 балл)**

$T_0 = 5,2$ сут. **(1 балл)**

2) Светимость звезды $L = 4\pi\sigma R^2 T^4$, **(1 балл)**

$L = 24,5L_{\odot}$. **(2 балла)**

3) Масса звезды, $\frac{M}{M_{\odot}} = \left(\frac{L}{L_{\odot}} \right)^{1/4}$ **(2 балла)**

$M = 2,2M_{\odot}$. **(1 балл)**