Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников
2024-2025 учебный год
АСТРОНОМИЯ
9 класс

Критерии оценивания

Выставление премиальных баллов сверх максимальной оценки за задание не допускается.

Задание №1

Решение: Вычислим линейную длину хвоста. Она равна

$$l = \frac{1.5}{360} \cdot 2\ \pi \cdot 1 \text{ а.е.} = 0.026 \text{ а.е.} = 3.9 \cdot 10^6 \text{ км.}$$

Поскольку комета движется со скоростью 42 км/с, то соответствующее расстояние она пройдет за $(3.9 \cdot 10^6)/42 = 9.3 \cdot 10^5$ с, что составляет примерно 26 часов.

Вычисление линейной длины хвоста (или переход к угловой скорости кометы) – 4 балла.

Определение времени – 4 балла.

Если ответ дан не в часах – 2 балла.

Итого за задание 8 баллов

Задание №2

По третьему закону Кеплера квадрат периода обращения пропорционален кубу радиуса орбиты:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

поэтому

$$a_2 = a_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{2/3} = 42 \cdot 2^{2/3} = 63 \text{ тысячи км.}$$

Формулировка 3 закона Кеплера – 4 балла.
Вычисление результата – 4 балла.
Итого за задание 8 баллов.

Задание №3

Решение

1) Концентрация частиц – это число частиц в единице объёма, например, в 1 см^3. Для рассматриваемого случая:

$n = \frac{N_\oplus}{V_\oplus}$, где $N_\oplus$ – число молекул водорода в объёме, равном объёму Земли $V_\oplus$.

$$n = \frac{N_\oplus}{V_\oplus} = \frac{N_\oplus}{\frac{4}{3}\pi R_\oplus{}^3} = \frac{3N_\oplus}{4\pi R_\oplus{}^3},$$

$$n \approx \frac{3 \cdot 2.2 \cdot 10^{29}}{4 \cdot 3.14 (6378.2 \cdot 10^3)^3 \text{м}^3} \approx 2 \cdot 10^8\ \frac{\text{частиц}}{\text{м}^3}.$$

2) Полное число молекул в облаке:

$$N = nV = n \cdot \frac{4}{3}\pi R^3, \text{ где } R \text{ – радиус облака.}$$

Вспомним, что $1\,\text{пк} = 3.086 \cdot 10^{13}$ км $= 3.086 \cdot 10^{16}$ м. Можно помнить, что $1\,\text{пк} = 206265$ а.е. или получить ту же величину из определения парсека.

$N \approx 2 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{м}^3} \cdot \frac{4}{3} \cdot 3.14 \cdot (20 \cdot 3.086 \cdot 10^{16})^3 \text{м}^3 \approx 2 \cdot 10^{62}$.

3) Облако состоит из молекул водорода, масса каждой молекулы $m = 2m_p$ (массой электрона по сравнению с массой протона мы пренебрегаем).

Масса всего облака: $M = mN = 2m_pN$

$$M = 2 \cdot 1.67 \cdot 10^{-27}\text{кг} \cdot 2.0 \cdot 10^{62} \approx 6.68 \cdot 10^{35}\text{ кг}$$

В массах Солнца $\frac{M}{M_\odot} \approx \frac{6.68 \cdot 10^{35}\text{ кг}}{2 \cdot 10^{30}\text{ кг}} \approx 3.3 \cdot 10^5$. Эта величина вполне типична для гигантского молекулярного облака.

Ответ: $n \approx 200 \frac{\text{частиц}}{\text{см}^3} = 2 \cdot 10^8 \frac{\text{частиц}}{\text{м}^3}$, $M \approx 3.3 \cdot 10^5 M_\odot$.

Вычисление полного числа молекул в облаке (допускаются отличия, вызванные округлениями либо явно указанными приближениями: например, можно написать, что будем считать облако кубическим по форме, и использовать вместо формулы для объёма шара формулу для объёма куба) - 3 балла.

Вычисление массы облака - 3 балла.

Выражение массы облака в массах Солнца - 2 балла.

В решении промежуточные вычисления могут быть вполне опущены, в таком случае объединённый этап оценивается суммой баллов за те этапы, которые были в него включены. В случае арифметической ошибки, не приведшей к физически (или астрономически) некорректному результату – минус 1 балл за каждую.

Итого за задание 8 баллов.

Задание №4

Решение. Вес космонавта $F = mg$, где m — масса космонавта, g — ускорение свободного падения на поверхности Марса; по сравнению с земным g_0 марсианское $g = g_0/2.5$.

$$F = 80\text{ кг} \times \frac{9.8\text{ Н/кг}}{2.5} \approx 314\text{ Н}.$$

Разрешённая точность ответа допускает подстановку $g_0 \approx 10$ Н/кг.

Итого за задание 8 баллов.

Задание №5

Объём шара можно вычислить по формуле $V_ш = 4/3\,\pi R^3$. Объём оболочки – это объем пространства, заключённый между двумя сферами с единым центром и радиусами, равными внутреннему (R_i) и внешнему ($R_o = R_i + \Delta R$) радиусам оболочки. Можно вычислить объём оболочки как

$$V = \frac{4}{3}\pi\left[(R_i + \Delta R)^3 - R_i^3\right].$$

Поскольку $R_i \gg \Delta R$, то последнюю формулу можно упростить. Раскроем куб суммы:

$$V = \frac{4}{3}\pi\left(R_i^3 + 3R_i^2\Delta R + 3R_i\Delta R^2 + \Delta R^3 - R_i^3\right).$$

Здесь R_i^3 сокращается, а из оставшихся членов тот, который содержит R_i^2, заведомо больше остальных. Таким образом, получаем удобную формулу для вычисления объёма оболочки, чья толщина гораздо меньше радиуса:

$$V = 4\pi R_i^2 \Delta R.$$

Толщина оболочки в астрономических единицах равна

$$\Delta R = 15\cdot 10^6/150\cdot 10^6 = 0.1\text{а. е.}$$

Подставляем значения:

$$V = 4\pi(2\text{а. е.})^2 0.1\text{а. е.} \approx 5\text{а. е.}^3$$

1. Формула объема шара - 1 балл
2. Определение объема оболочки - итого 2 балла
3. Дан ответ в интервале 5 – 5,3 - 5 баллов.

Итого за задание 8 баллов.

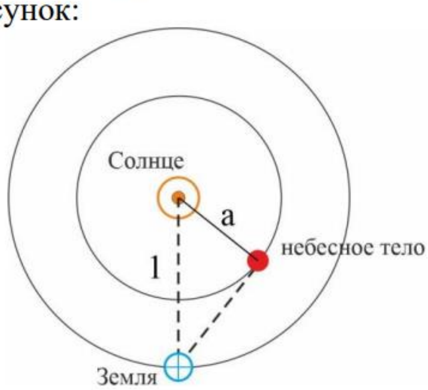
Задание №6

Воспользуемся 3-м законом Кеплера и определим радиус орбиты a первого тела (при записи формулы мы сразу подставили период обращения Земли вокруг Солнца 1 год и расстояние Земля-Солнце 1 а. е.):

$$\left(\frac{T}{1}\right)^2 = \left(\frac{a}{1}\right)^3$$

Отсюда $a = \sqrt[3]{T^2} = 0{,}67$ а. е. (при вычислениях надо выразить T в годах).

Для внутреннего тела угловое удаление от Солнца максимально во время элонгации. Нарисуем рисунок:



В получившемся прямоугольном треугольнике мы знаем две стороны, а требуется найти угол, противолежащий катету a:

$$\sin\alpha = \frac{a}{1} = 0{,}67.$$

Отсюда $\alpha \approx 42°$.

1. Записан 3 закон Кеплера - 1 балл,

2. Сделан рисунок - 3 балла

3. Получен прямоугольный треугольник - 2 балла

4. Дан ответ в интервале 36,5 – 44,5 - 2 балла

Итого за задание 8 баллов.