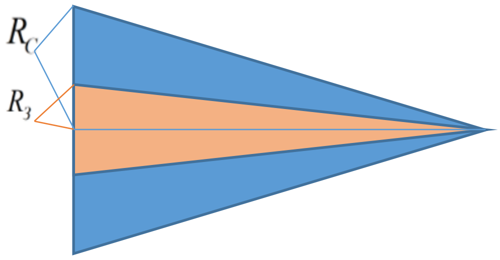
Всероссийская олимпиада школьников по астрономии
Муниципальный этап
2024/25 учебный год
Ключи к задачам
11 класс

Задание 1. (§ 4.2. Параллакс и геометрические способы измерений расстояний)

Сравните размеры Солнца и Земля при условии, что известны только его параллакс и видимый угловой радиус ($16'$).

Решение



1. (4 балла, по 2 балла за понимание смысла каждого угла (в том числе при наличии верного рисунка)). Из справочных данных находим, что средний горизонтальный параллакс Солнца равен $p = 8.794''$ – это величина углового радиуса Земли, видимая с Солнца, а $\alpha = 16'$ – величина радиуса Солнца, с точки зрения наблюдателя на Земле.

2. (4 балла, 2 балла – формула, 2 балла – ответ). Рассмотрим два треугольника: у одного сторонами является радиус Земли и отрезки, соединяющие концы радиуса Земли с центром Солнца, а у другого радиус Солнца и отрезки, соединяющие концы радиуса Солнца с центром Земли. Тогда $\frac{R_C}{R_З} = \frac{\alpha}{p} \approx 110$.

Ответ: Радиус Солнца примерно в 110 раз больше радиуса Земли

Задание 2. (§ 8.1. Энергия излучения)

Определите суммарную силу давления солнечного ветра на Луну. Известно: средняя скорость частиц 300 км/с, плотность в районе орбиты Земли 10 частиц на квадратный сантиметр.

Решение

1. (2 балла). За малый промежуток времени Δt согласно второму закону Ньютона одна частица воздействует с силой $F_0 = am_p = \frac{\Delta \upsilon}{\Delta t} m_p = \frac{\Delta p_p}{\Delta t}$.

2. (2 балла). Импульс от одного протона равен $m_p c$. За малое время Δt на единицу площади Луны происходит взаимодействие $n\upsilon$ частиц, значит, полный импульс за это время: $\Delta p = \Delta t \cdot m_p c \cdot nc = \Delta t \cdot m_p nc^2$.

3. (2 балла). Значит воздействие на единицу площади Луны за время Δt равно $F_S = m_p nc^2$

4. (2 балла). Площадь Лунного диска $S = \pi R^2$. Таким образом, солнечный ветер оказывает давление $F = \pi R^2 m_p nc^2 \approx \pi \cdot 1737000 \cdot 1737000 \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 300000^2 \approx 14000$ Н.

Ответ: 14 кН

Задание 3. (§ 4.3. Экваториальные координаты на небесной сфере)

На какую максимальную высоту над горизонтом может подняться Венера при наблюдении из Курска (широта $51°43'$ с.ш., долгота $36°11'$ в.д.)?

Решение

1. (2 балла). Для определения высоты Венеры над горизонтом, заметим, что максимальная высота Солнца над горизонтом $h = 90° - \varphi + 23°26' = 90° - 51°43' + 23°26' = 61°43'$.

2. (2 балла). Из справочника находим, что наклон Венеры к плоскости эклиптики $3°24'$. То есть максимальная высота Венеры будет при условии, что угол Земля-Солнце-Венера равен $\alpha = 3°24'$.

3. (2 балла, 1 балла – теорема синусов, 1 балл – найден угол Солнце-Земля-Венера).В этом случае угол β (угол Солнце-Земля-Венера) может быть найден из теоремы синусов: $\frac{\sin\beta}{b} = \frac{\sin\alpha}{a}$, где b– радиус орбиты Венеры, а $a \approx 1 а.е. - 0.7 а.е. = 0.3 а.е$ – расстояние между Венерой и Землей в момент максимального наклона Венеры к плоскости эклиптики (примерное значение следует из малости угла β – в этот момент Венера находится в нижнем соединении практически между Солнцем и Землей). То есть $\beta = \frac{b \cdot \alpha}{a} \approx \frac{0.7 \cdot 3°24'}{0.3} \approx 8°$.

4. (2 балла). Таким образом, максимальная высота, на которую Венера может поднять над горизонтом при наблюдении из Курска равна $61°43' + 8° = 69°43'$

Ответ: $69°43'$

Задание 4. (§ 8.3. Зависимость звездной величины от расстояния)

За некоторый промежуток времени некоторый астероид, обращающийся по круговой орбите, перешёл из положения соединения в положение противостояния, при этом его увеличился на две звездных величины. Определите период обращения астероида вокруг Солнца.

Решение

1. (2 балла). Увеличение яркости объекта на одну звездную величину, означает, что он стал ярче в 2.512 раза, на две – в 2.512^2 раза.

2. (4 балла: 2 балла за верную интерпретацию положений соединения и противостояния, 1 балл за формулу, 1 балл за верный расчёт радиуса орбиты). Пусть радиус орбиты астероида равен R. Так как блеск обратно пропорционален квадрату расстояния, то $\left(\frac{R + r_\oplus}{R - r_\oplus}\right)^2 = 2.512^2$, где радиус орбиты Земли $r_\oplus = 1 а.е.$, а значения в числителе и знаменателе соответствуют положениям соединения и противостояния соответственно. Решение этого уравнения позволяет найти радиус орбиты астероида: $R \approx 2.3 а.е.$

3. (2 балла). Из третьего закон Кеплера найдём период обращения астероида: $T^2 = R^3 \approx 3.5$ года.

Ответ: 3.5 года

Задание 5. (§ 2.1. Солнце и планеты)

По современным данным масса атмосферы нашей планеты в 300 раз больше массы атмосферы Марса. Считая, что толщина атмосфер обоих планет мала по сравнению с их размерами, а также для простоты полагая, что плотности планет земной группы отличаются незначительно и радиус Земли в два раза больше радиуса Марса, оцените атмосферное давление на поверхности красной планеты. Остальные данные не известны.

Решение

1. (2 балла). Для определения атмосферного давления необходимо воспользоваться формулой $p = \rho g h$, где $g = \dfrac{GM}{R^2}$.

2. (2 балла). Для тонкого слоя атмосферы (по условию задачи можно считать, что толщина атмосфер значительно меньше размеров планет) её масса выразится через радиус планеты, плотность и толщину по формуле $m \approx Vh = 4\pi R^2 \rho h$. Отсюда $\rho = \dfrac{m}{4\pi R^2 h}$.

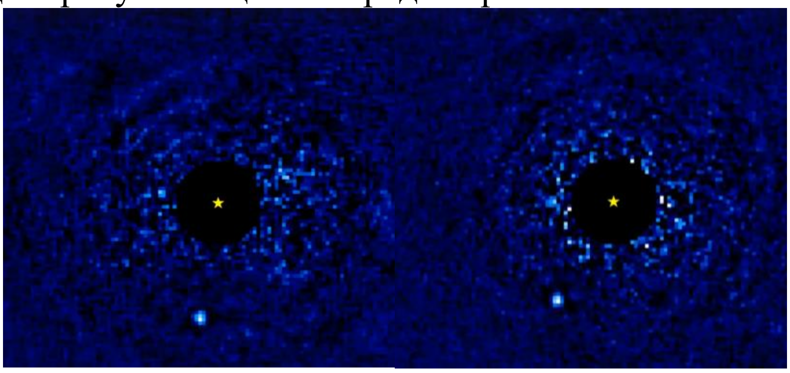
3. (2 балла). То есть $p = \dfrac{m}{4\pi R^2 h}\dfrac{GM}{R^2}h = \dfrac{mGM}{4\pi R^4} \sim \dfrac{mG\rho_P}{4\pi R}$, где ρ_P – плотности планет, которые по условию задачи можно считать одинаковыми.

4. (2 балла). Таким образом, $\dfrac{p_З}{p_М} \approx \dfrac{m_З}{R_З} : \dfrac{m_М}{R_М} = 150$. То есть атмосферное давление на поверхности Марса равно $\dfrac{100000 Па}{150} \approx 0.67\,кПа$

Ответ: $0.67\,кПа$

Задание 6. (§ 6.2. Механика планет в Солнечной системе (приближение круговых орбит))

На рисунках ниже представлены изображения положения планеты 51 Эридана b с разницей в 3.3 года. Масса звезды 51 Эридан составляет примерно 1.75 масс Солнца. Требуется оценить среднее расстояние планеты до звезды.



Решение

1. (3 балла, оценка углового перемещения 20-35 градусов считается правильной, как и полученный период обращения). За 3.5 года угловое

перемещение планеты относительно звезды составило примерно 30 градусов. Таким образом, оценка времени обращения вокруг звезды даёт значение в 40 лет.

2. (3 балла, верная формула). Из третьего закона Кеплера оцениваем значение большой оси орбиты планеты по формуле $a = \sqrt[3]{\frac{T^2 \cdot G \cdot 1.75 \cdot M}{4\pi^2}}$

3. (2 балла, после проведения всех расчётов ответ может отличаться на $\pm 5\,а.е.$ а.е.). После проведения расчётов получаем значение $a \approx 14\,а.е.$

Ответ: $a = 14 \pm 5\,а.е.$