



Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии
Ленинградская область

2021
19
ноября

10 класс

Максимальный балл за всю работу равен 40

1. В одном из современных мультфильмов (Кунг-фу панда 2) персонаж произносит фразу: «Отплываем через три дня, в полную Луну и высокий прилив». Почему же в момент полнолуния прилив будет выше, чем, например, в момент последней четверти?

Решение (8 баллов):

Приливы на Земле создаются в основном Луной и Солнцем (причем вторые примерно в два раза слабее первых). Поскольку приливные «горбы», созданные каким-либо телом, располагаются примерно там, где соответствующее тело находится в зените и в надире, то в ситуации, когда Солнце и Луна оказываются на одной прямой, созданные ими приливы складываются (а в такой ситуации Луна находится либо в полнолунии, либо в новолунии). Если же направления на Солнце и на Луну перпендикулярны (т.е. Луна находится в первой или в последней четверти), то приливы компенсируют друг друга и эффект оказывается наименее заметным.

Комментарии:

Упоминание о том, что «приливообразующими» телами на Земле являются Луна и Солнце — 1 балл. Понимание того, что каждое тело создает два приливных горба (и знание их положения) — 4 балла. Соотнесение фаз Луны и взаимного расположения Солнца, Земли и Луны — 2 балла. Итоговый вывод — 1 балл.

2. Вокруг звезды с радиусом 76 радиусов Солнца расположена оболочка звездного ветра. Видимый угловой диаметр оболочки составляет 5.64 миллисекунды дуги. Расстояние до звезды составляет 1700 пк. Во сколько раз линейный радиус оболочки превышает радиус самой звезды?

Решение (8 баллов):

Определим радиус оболочки. Видимый радиус оболочки равен $\alpha = 5.64/2 = 2.82$ миллисекунды дуги (мсд). Тогда линейный радиус будет равен $R = L \tan \alpha$, где L — расстояние от нас до звезды. Для малых углов их тангенс примерно равен величине самого угла в радианной мере, при этом в 1 радиане примерно 206265 угловых секунд. Мы можем предполагать, что радиус оболочки не слишком велик, поэтому сначала выразим его в астрономических единицах, зная, что в 1 парсеке 206265 а.е. Тогда радиус будет равен

$$R = \frac{\alpha}{206265} \cdot L = \frac{2.82 \cdot 10^{-3}}{206265} \cdot 1700 \cdot 206265 = 4.8 \text{ а.е.} = 4.8 \cdot 1.5 \cdot 10^8 \text{ км} = 7.2 \cdot 10^8 \text{ км.}$$

Радиус Солнца равен $7 \cdot 10^5$ км (эту величину, если она неизвестна, можно определить на основе видимого углового диаметра Солнца и расстояния от Земли до Солнца), тогда радиус звезды равен

$$r = 76 \cdot 7 \cdot 10^5 \text{ км} = 5.3 \cdot 10^7 \text{ км.}$$

Следовательно, отношение радиуса оболочки к радиусу звезды будет равно

$$\frac{R}{r} = \frac{7.2 \cdot 10^8 \text{ км}}{5.3 \cdot 10^7 \text{ км}} \approx 14.$$

Комментарии:

Вычисление радиуса оболочки — 4 балла (достаточно знать, что в одном радиане столько же угловых секунд, сколько в одном парсеке астрономических единиц, конкретное значение несущественно). Знание или правдоподобная оценка радиуса Солнца — 3 балла. Вычисление итогового ответа — 1 балл.

3. Начинаящий петербургский астроном Вася прочитал, что метеорный поток Геминиды — один из наиболее мощных, и захотел его пронаблюдать. Максимум активности поток приходится на середину декабря. В какое приблизительно время — после заката, близ середины ночи, незадолго до рассвета — радиант потока будет выше всего над горизонтом в этот день?

Решение (8 баллов):

Судя по названию потока, его радиант расположен в созвездии Близнецов (Gemini на латыни). Момент наблюдения приходится на середину декабря, когда Солнце находится в созвездии Змееносца, а затем переходит в созвездие Стрельца. В Близнецах же Солнце находится с 20 июня по 20 июля. Таким образом, радиант потока и Солнце расположены в почти противоположных направлениях, но, поскольку мы не знаем, в какой части созвездия находится радиант, то допустим отклонение на $\pm 1/13$ суток, то есть примерно на 2 часа. Следовательно, выше всего над горизонтом радиант будет вблизи середины ночи — истинной солнечной полуночи — с погрешностью ± 2 часа.

Комментарии:

Соотнесение названия метеорного потока и созвездия, в котором находится его радиант — 3 балла (аргументация не требуется, этот факт может быть получен из любых соображений или просто известен). Понимание того, что Солнце находится в Близнецах примерно через полгода перед/после максимума активности потока — 2 балла. Формулировка итогового ответа (возможно, без указания погрешности) — 3 балла.

4. Впервые у белого карлика обнаружена планета, похожая на Юпитер. Масса белого карлика 0.5 масс Солнца. Период обращения планеты 6.5 лет. Найдите большую полуось орбиты планеты.

Решение (8 баллов):

Масса Юпитера в 1000 раз меньше массы Солнца, поэтому при вычислениях массой планеты можно пренебречь по сравнению с массой белого карлика. Запишем III закон Кеплера в системе единиц «масса Солнца – астрономическая единица – год»:

$$\frac{P^2}{a^3} = \frac{1}{M_{\text{БК}}}.$$

Тогда большая полуось орбиты планеты будет равна

$$a = \sqrt[3]{P^2 \cdot M_{\text{БК}}} \approx 2.8 \text{ а.е.}.$$

Комментарии:

Запись III закона Кеплера — 4 балла. Вычисление итогового ответа — 4 балла. Правильная попытка учесть при решении массу Юпитера ошибкой не является. В случае, если задача решается в предположении, что орбита планеты круговая (и используется решение задачи о движении по окружности под действием постоянного ускорения), правильное в остальном решение оценивается 6 баллами (если участник не оговаривает явно, что результат не должен зависеть от эксцентриситета орбиты — в таком случае баллы не снимаются и полное решение оценивается 8 баллами).

5. Начинаящий астроном Вася прочитал в энциклопедии об очень яркой звезде с температурой 8500 К и радиусом 380 радиусов Солнца. Также Вася прочитал, что для ярких звёзд светимость можно вычислить по формуле $\mathfrak{L} = 1.4 \cdot \mathfrak{M}^{3.5}$, где \mathfrak{L} — светимость звезды и \mathfrak{M} — масса звезды, выраженные в светимостях и массах Солнца. Помогите Васе определить массу звезды.

Решение (8 баллов):

Спектры излучения звезд похожи на спектры абсолютно черных тел, поэтому светимость звезды можно вычислить по ее радиусу и температуре, воспользовавшись законом Стефана-Больцмана, $L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$. Для Солнца верно то же самое, поэтому

$$\mathfrak{L} = \frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{R}{R_{\odot}} \right)^2 \cdot \left(\frac{T}{T_{\odot}} \right)^4.$$

Таким образом, светимость звезды, вычисленная по данным о температуре и радиусе (считая, что $T_{\odot} = 6 \cdot 10^3$ К), равна

$$\mathfrak{L} = 380^2 \cdot \left(\frac{8500}{6000} \right)^4 = 6 \cdot 10^5.$$

Тогда масса звезды в массах Солнца окажется равной

$$\mathfrak{M} = \left(\frac{\mathfrak{L}}{1.4} \right)^{(1/3.5)} \approx 40.$$

Таким образом, масса звезды — около 40 масс Солнца.

Комментарии:

Корректная оценка эффективной температуры Солнца (она может быть и более точной, чем в приведенном решении) — 2 балла. Вычисление светимости звезды — 4 балла. Вычисление массы звезды — 2 балла.