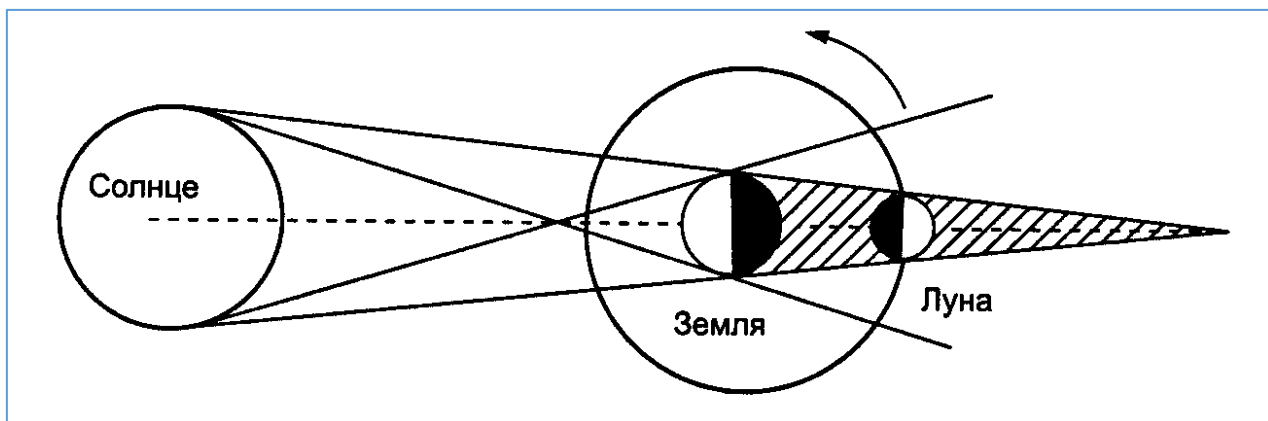


10 класс

Задача 1

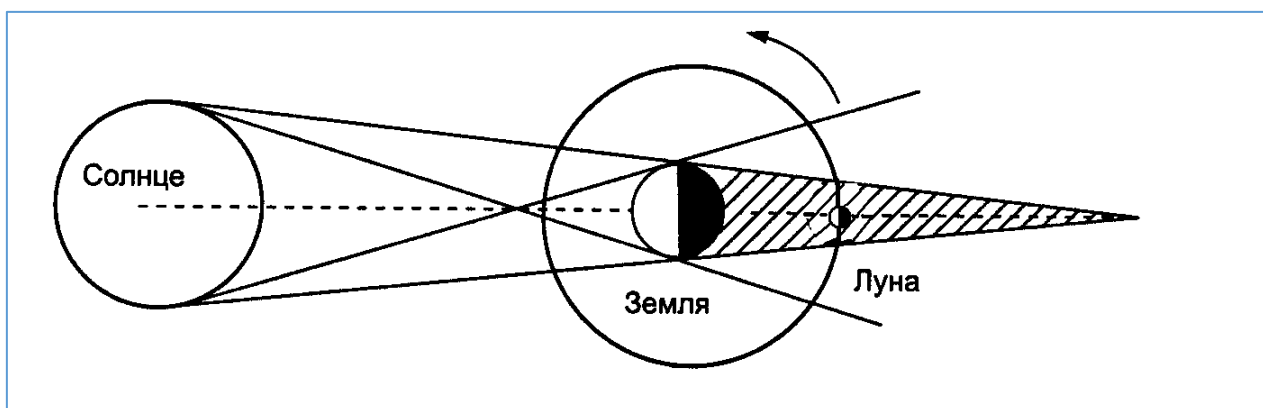
В учебнике астрономии белорусских авторов А.П. Клищенко и В.И. Шупляка помещена такая схема лунного затмения. Что в этой схеме неправильно? Изобразите правильную схему.



4 балла

Решение

На самом деле Луна почти втрое меньше диаметра лунной тени на расстоянии орбиты Луны. Кроме того, ночная – противоположная от Солнца – сторона Луны, конечно, должна быть темной, как это нарисовано для Земли. Правильный рисунок такой



Оценка

За указание на каждую из двух ошибок – по 1 баллу. Чертеж с правильными размерами – 1 балл. И 1 балл за корректное изображение ночной стороны Луны.

Задача 2

Найдите радиус стационарной орбиты спутника Венеры. Сравните его с радиусом геостационарной орбиты и с расстоянием от Земли до Луны.

Стационарной называется орбита, лежащая в плоскости экватора планеты, на которой искусственный спутник будет висеть всё время над одной и той же точкой поверхности.

8 баллов.

Решение

Стационарный спутник обращается вокруг планеты с периодом, равным периоду вращения самой планеты вокруг оси. Важно, что период планеты нужно брать сидерический, т.е. относящийся к инерциальной системе координат.

Период вращения Венеры есть в справочных данных:

$$T_B = 243,02 \text{ (сут)} = 2,100 \cdot 10^7 \text{ (с)}.$$

Далее можно поступить разными способами. Во-первых, можно приравнять центростремительное ускорение гравитационному:

$$\omega^2 R = \frac{GM}{R},$$

где M – масса планеты, ω – её угловая скорость, G – гравитационная постоянная, R – искомый радиус орбиты спутника. Из этого уравнения найдем:

$$R = \sqrt[3]{GM/\omega^2}.$$

Вычисление дает:

$$\omega = \frac{2\pi}{T_B} = \frac{6,283}{2,100 \cdot 10^7} = 2,99 \cdot 10^{-7} \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 4,87 \cdot 10^{24}}{(2,99 \cdot 10^{-7})^2}} = 10^9 \cdot \sqrt[3]{3,63} = 1,54 \cdot 10^9 \text{ (м)} \approx 1\,540\,000 \text{ (км)}.$$

Другой, более простой вариант решения, – использовать обобщенный третий закон Кеплера и сравнить радиусы орбит спутников Земли и Венеры. Обозначив индексом 1 систему Венеры, а индексом 2 – Земли, получим:

$$\frac{M_1 T_1^2}{M_2 T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}.$$

Отсюда находим

$$a_1 = a_2 \sqrt[3]{\frac{M_1 T_1^2}{M_2 T_2^2}}.$$

Поскольку

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{243,02}{0,9973} = 243,68;$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{4,87 \cdot 10^{24}}{5,97 \cdot 10^{24}} = 0,816;$$

$$a_2 = 42164 \text{ (км)};$$

то

$$a_1 = 42164 \cdot \sqrt[3]{0,816 \cdot (243,68)^2} = 42164 \cdot 36,46 \approx 1\,540\,000 \text{ (км)}.$$

Из этого решения сразу вытекает первый ответ на вторую часть задачи: радиус венеро-стационарной орбиты в 36,5 раз больше геостационарной. Поделив на радиус орбиты Луны, получим 4. Т.е. стационарный спутник Венеры будет в 4 раза дальше от неё, чем Луна от Земли.

Оценка

Знание того, что такое стационарный спутник оценивается в 2 балла. Вычисление любым способом радиуса стационарной орбиты – 4 балла. Правильное сравнение найденного радиуса со стационарной земной и с орбитой Луны – по 1 баллу.

Радиус геостационарной орбиты можно взять из справочных данных или вычислить аналогично венерианскому. Но если участник пишет известное значение 35800 км, то за это балл не начисляется, поскольку 35800 – это не радиус орбиты, а высота спутника над земной поверхностью.

Задача 3

Когда (приблизительно) восходит звезда, которая месяц назад восходила около 11 часов вечера?

4 балла

Решение

Интервал между двумя восходами одной и той же звезды – ровно одни звёздные сутки – 23 ч 56 м. Это на 4 минуты короче средних солнечных суток. Поэтому на следующий день

любая звезда взойдет на 4 минуты раньше дня сегодняшнего. Месяц – это примерно 30 дней. Поэтому через месяц звезда взойдет на 120 минут раньше, т.е. около 9 часов вечера.

Оценка

1 балл за то, что участник знает, что интервал между восходами звезды – это звездные сутки. За то, что знает их продолжительность (на 4 минуты короче солнечных) – тоже 1 балл. 2 балла за применение этих знаний для получения правильного ответа.

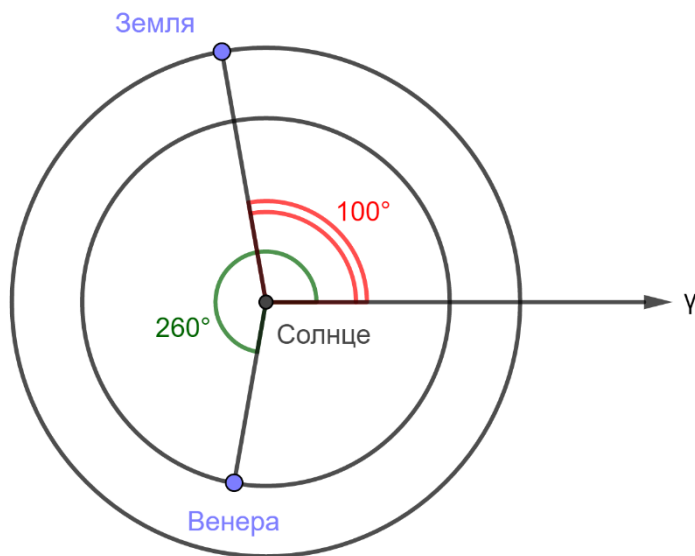
Задача 4

Найдите день ближайшего после 1 января верхнего соединения Венеры, если 1 января гелиоцентрическая долгота Венеры равна 260° , а Земли – 100° .

8 баллов

Решение

Гелиоцентрическая долгота – это угол с вершиной в центре Солнца между направлением на точку весеннего равноденствия и планету. Измеряются они против часовой стрелки, если смотреть со стороны северного полюса эклиптики. На 1 января положение планет относительно Солнца показано на рисунке. Видно, что угол между Землей и Венерой составляет 160° . При верхнем соединении разность долгот Земли и Венеры составляет 180° . Таким образом, чтобы оказаться в соединении Венера должна пройти *по отношению к Земле* путь в 20° .



Пусть n_B и n_3 – угловые скорости Венеры и Земли соответственно. Относительная угловая скорость Венеры будет тогда $n_B - n_3$, а время, необходимое для прохождения дуги l равно $l/(n_B - n_3)$.

Как мы выяснили, $l = 20^\circ$. Угловые скорости можно найти по известным из справочных данных сидерическим периодам обращения:

$$n_3 = \frac{360}{365,256} \text{ (}^\circ\text{/сут)}; \quad n_B = \frac{360}{0,615 \cdot 365,256} \text{ (}^\circ\text{/сут)}.$$

Подставив это в нашу формулу, получим:

$$t = \frac{20}{\frac{360}{0,615 \cdot 365,256} - \frac{360}{365,256}} = \frac{365,256}{18} \cdot \frac{1}{\frac{1}{0,615} - 1} = 32,4 \text{ (сут)}.$$

Таким образом, соединение случится через 32 дня после 1 января, т.е. **2 февраля**.

Взаимное движение планет можно учесть и другим способом. Можно по справочным данным (или по памяти) вычислить *синодический* период Венеры (584 сут), обратная величина которого сразу дает относительную угловую скорость.

Оценка

Описание или изображение на чертеже взаимного расположения планет оценивается в 2 балла. Определение угла, потребного для достижения верхнего соединения – 2 балла. Так же 2 балла дается за понимание того, что движутся обе планеты, поэтому угловую скорость нужно взять относительную. Наконец, еще 2 балла за вычисление ответа.

Задача 5

Известно, что для звезд поздних подклассов спектрального класса В (примерно В7-В8) абсолютная звездная величина около 0^m . Звезда Вега имеет спектральный класс А0 и видимый блеск $0,03^m$. Оцените расстояние до неё.

4 балла

Решение

Спектральный класс А идет сразу за классом В, поэтому звезды поздних подклассов В не сильно отличаются от звезд ранних подклассов А. Вега имеет подкласс 0 – самый ранний в классе А. Поэтому за неимением других данных предположим, что её абсолютная звездная величина не сильно отличается от 0^m . В силу определения абсолютной звездной величины это означает, что расстояние до Веги около 10 пк.

На самом деле абсолютная величина Веги $0,58^m$, а расстояние до неё – 7,7 пк. Как видим, оценка расстояния буквально из ничего имеет погрешность меньше 25%.

Оценка

Ключевой момент – догадаться, что спектральный класс Веги близок к поздним подклассам В (для этого нужно знать порядок классов и понятие подкласса). За это начисляется 3 балла. Определение по видимой и абсолютной величине расстояния – 1 балл. Для этого не нужно даже писать формулы, достаточно знать определение абсолютной величины.

Задача 6

Средняя молярная масса частиц в недрах Солнца 0,6 г/моль. Объясните, почему это так. Оцените полное число частиц, составляющих Солнце.

8 баллов

Решение

Молярная масса, если её выразить в граммах на моль, численно равна средней массе частиц в атомных единицах массы. Недра Солнца почти полностью состоят из ионизированного водорода, т.е. протон и электрон, которые в нормальных условиях образуют атом водорода, там существуют по-отдельности в равных количествах. Масса электрона почти в 2 тыс. раз меньше массы протона. Поэтому каждая пара протон+электрон имеют суммарную массу 1 а.е.м. А так как частиц две, то средняя их масса – 0,5 а.е.м. Такова же молярная масса ионизированного водорода (в г/моль). Но кроме водорода в недрах Солнца есть еще некоторое количество гелия и совсем немного более тяжелых элементов. Поэтому средняя молярная масса не 0,5, а 0,6 (г/моль).

Оценить число частиц несложно. Масса средней частицы, как мы видели, равна 0,6 а.е.м. Атомная единица массы почти равна массе атома водорода. Разделив массу Солнца на массу средней частицы, получим оценку числа частиц. Взяв нужные данные из справочной таблицы, получим

$$N = \frac{1,99 \cdot 10^{30}}{0,6 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}} \approx 2 \cdot 10^{57}.$$

Оценка

Понимание соотношения молярной массы и относительно молекулярной массы частиц – 2 балла. 1 балл за знание основного вещества в недрах Солнца (да и вообще на Солнце). 3 балла за вычисление средней молярной массы (или относительной средней молекулярной массы) ионизированного водорода.

2 балла за оценку числа частиц в Солнце.

Если участник не знает, что водород в недрах Солнца ионизирован, или считает, что молярная масса ионизированного водорода равна 1 г/моль, то 3 балла за это вычисление не выставляются, и максимальная оценка не может превышать 5 баллов.

Общее число баллов – 36.