



XXX Санкт-Петербургская
астрономическая олимпиада
отборочный тур, решения

2023
до 22
января

9 класс

1. На каком расстоянии от наблюдателя Солнце выглядело бы как звезда +15 звездной величины? Ответ дайте в парсеках.

Решение:

Абсолютная звездная величина Солнца $M \approx +5^m$. По определению это видимая звездная величина, которую Солнце имело бы при наблюдении с расстояния 10 пк.

Изменение видимой звездной величины на $10^m = 2 \times 5^m$ означает изменение освещенности два раза на два порядка, т.е. в 10^4 раз. Поскольку освещенность, создаваемая объектом, обратно пропорциональна квадрату расстояния до него, то Солнце должно было оказаться в $\sqrt{10^4} = 10^2$ раз дальше, то есть на расстоянии 1000 пк.

Тот же результат можно получить и чуть более формально. Запишем связь между абсолютной звездной величиной M , видимой звездной величиной m и расстоянием до объекта в парсеках r :

$$M = m - 5 \lg r + 5.$$

Подставив числа, получаем

$$5 = 15 - 5 \lg r + 5,$$

откуда $\lg r = 3$ и $r = 10^3$ пк.

Принципиально можно попытаться решить задачу точнее (используя более точные данные для абсолютной звездной величины Солнца и попытавшись как-то оценить межзвездное поглощение). В этом случае получится около $7 \cdot 10^2$ пк.

П.А.Тараканов

2. Астрономы наблюдают две планетные системы. В первой системе центральная звезда имеет массу 2 массы Солнца, во второй — 4 массы Солнца. В обеих системах вокруг звезды по круговой орбите на расстоянии 2 а.е. обращается планета с радиусом как у Земли. Обе звезды являются звездами Главной последовательности. Выберите верные утверждения.
- (а) Период обращения планеты вокруг звезды в первой системе равен 2 земным годам.
 - (б) Период обращения планеты вокруг звезды во второй системе равен 4 земным годам.
 - (с) Отношение орбитальной скорости планеты во второй системе к скорости в первой системе равно 2.
 - (д) Отношение орбитальной скорости планеты во второй системе к скорости в первой системе равно 1.4.
 - (е) Вторая планета получает по крайней мере в 4 раза больше энергии от своей звезды, чем первая.
 - (ф) В дальнейшем обе звезды станут нейтронными звездами.

Решение:

Правильные ответы: a,d,e.

Запишем третий закон Кеплера в системе единиц «год — а.е. — масса Солнца» для первой системы:

$$\frac{T_1^2}{a^3} = \frac{1}{M_1} \Rightarrow \frac{T_1^2}{2^3} = \frac{1}{2} \Rightarrow T_1 = 2.$$

Таким образом, утверждение (a) верно.

Сделаем то же самое для второй системы

$$\frac{T_2^2}{a^3} = \frac{1}{M_2} \Rightarrow \frac{T_2^2}{2^3} = \frac{1}{4} \Rightarrow T_2 = \sqrt{2} \approx 1.4.$$

Утверждение (b) неверно.

Планеты движутся по круговым орбитам, поэтому орбитальные скорости можно вычислить как круговые скорости на данном расстоянии от звезды:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{a}}.$$

Следовательно, орбитальная скорость растет пропорционально квадратному корню из массы центральной звезды. Поскольку массы отличаются вдвое, орбитальные скорости будут отличаться в $\sqrt{2} \approx 1.4$ раза, при этом во второй системе скорость планеты будет больше. Утверждение (c) неверно, а (d) — верно.

Светимость звезды главной последовательности примерно пропорциональна ее массе в 4 степени: $L \sim M^4$. Поэтому отношение светимостей второй и первой звезды составляет

$$\frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^4 = 16.$$

При одинаковых расстояниях до планеты количество энергии будет прямо пропорционально светимости звезды. Следовательно, во второй системе планета получает приблизительно в 16 раз больше энергии. Утверждение (e) верно, даже с учетом некоторой приблизительности использованной нами степенной аппроксимации.

Обе звезды сравнительно маломассивны, так что итогом их эволюции будет белый карлик, утверждение (f) неверно.

А.В.Веселова, П.А.Тараканов

3. В одном из проектов календарей из каждых 128 лет 31 год високосный (длиной 366 суток), остальные содержат 365 суток. Оцените, за сколько лет погрешность такого календаря составит одни сутки. Ответ выразите в тысячах лет.

Решение:

Средняя продолжительность года в таком календаре составляет

$$S = \frac{31 \cdot 366 + (128 - 31) \cdot 365}{128} = 365.2421875 \text{ суток.}$$

Средняя продолжительность тропического года (которая в идеале должна совпадать со средней продолжительностью календарного года) $S_0 = 365.2421883$ суток (тут придется найти среднюю продолжительность тропического года хотя бы на 2000 год, а лучше — на данный момент, при таких расчетах уже придется учесть, что она меняется со временем). Следовательно, за один год накапливается разница $\Delta S = |S - S_0| \approx 8 \cdot 10^{-7}$ суток, а разница в одни сутки накопится за $\approx 10^3$ тысяч лет. Более точная оценка лишена смысла, поскольку продолжительность тропического

года на таких временных интервалах будет существенно меняться. Это самый точный из реально предлагавшихся проектов календарей, его автором является Иоганн Медлер.

П.А.Тараканов

4. Выберите широты, на которых Капелла никогда не поднимается над горизонтом.

- (a) 60° северной широты
- (b) 46° северной широты
- (c) 12° северной широты
- (d) 10° южной широты
- (e) 48° южной широты
- (f) 58° южной широты

Решение:

Правильные ответы: e,f.

Склонение Капеллы $\delta = +46^\circ$. Звезда не поднимается над горизонтом в том случае, если высота ее верхней кульминации меньше 0° (без учета рефракции). Запишем условие для высоты верхней кульминации в терминах широты места наблюдения и склонения светила:

$$90^\circ - |\varphi - \delta| < 0^\circ \Rightarrow |\varphi - 46^\circ| > 90^\circ \Rightarrow \varphi < -44^\circ.$$

Отсюда видно, что подходят только два последних варианта (причем разница 4° делает заведомо несущественными поправки за рефракцию).

А.В.Веселова

5. Вам предлагается несколько утверждений. Для каждого из них выберите, согласны Вы с ним («да») или нет («нет»), можно также выбрать вариант «не знаю».

- (a) То, что Земля вращается вокруг Солнца, доказал Николай Коперник.
- (b) В фазе первой четверти Луна на небе находится в 90° к востоку от Солнца.
- (c) Солнце ближе всего к Земле, когда в Петербурге лето.
- (d) Средняя плотность Сатурна меньше, чем плотность воды в при комнатной температуре и атмосферном давлении.
- (e) Метеориты всегда можно найти на околосолнечной орбите между Марсом и Юпитером.
- (f) В Галактике наша Солнечная система, по-видимому, располагается высоко над плоскостью Галактики.
- (g) В настоящий момент в Туманности Ориона рождаются новые звезды.
- (h) Если планета Солнечной системы является гигантом, то у нее есть кольцо.

Решение:

- (a) Нет. Вопреки популярному мнению, Коперник предложил гелиоцентрическую кинематическую модель Солнечной системы, которая позволяла предвычислять положения планет с точностью как минимум не худшей, чем ранее используемая геоцентрическая модель Птолемея, но была при этом проще. Этот результат крайне сильно повлиял на развитие астрономии, а затем — и физики, но доказательством того, что Земля вращается вокруг Солнца, а не наоборот, не был. Доказал же этот факт Джеймс Брэдли в 1727 г., открыв явление годичной аберрации.

- (b) Да. Поскольку в этой фазе освещена половина диска Луны, Солнце находится на 90° от него, поскольку освещена та половина, в сторону которой происходит суточное движение неба, то Солнце находится западнее Луны, а Луна, соответственно, восточнее Солнца.
- (c) Нет. Например, в 2023 году перигелий своей орбиты Земля прошла 4 января (дата чуть меняется от года к году, но это в любом случае первые числа января).
- (d) Да. Около 0.7 г/см^3 .
- (e) Нет. Метеорит по определению — тело космического происхождения, упавшее на Землю или на другое крупное небесное тело, так что пока оно движется по орбите (какой угодно), оно еще не метеорит.
- (f) Нет. Расстояние до плоскости симметрии диска составляет около $2 \cdot 10^1$ пк, что, например, в несколько тысяч раз меньше, чем расстояние до центра Галактики.
- (g) Да, это одна из ближайших к нам областей звездообразования.
- (h) Да. Хотя наиболее известны кольца Сатурна, но и у всех трех остальных планет-гигантов они также обнаружены.

А.В.Веселова, М.И.Волобуева, М.В.Костина, П.А.Тараканов