

11 класс

1. Условие. Самолет МиГ-29М может развивать скорость до 2500 км/ч. Во сколько раз это больше (или меньше) скорости движения поверхности на экваторе радиопульсара? орбитальной скорости аппарата Dawn, вращающегося на низкой круговой орбите вокруг астероида Веста (масса $2.75 \cdot 10^{20}$ кг, радиус 265 км)?

1. Решение. Радиопульсар – это нейтронная звезда. Его радиус r_p составляет примерно 10 км. Периоды радиопульсаров t_p бывают от 0.001 до 10 секунд. Скорость поверхности на экваторе радиопульсара составит

$$v_p = \frac{2\pi \cdot r_p}{t_p}.$$

Минимальное значение (при периоде в 10 секунд) будет примерно 6 км/с или 22000 км/ч. Это почти в 10 раз больше скорости самолета. Максимальная скорость на экваторе радиопульсара будет превышать скорость самолета в 100000 раз. Круговая скорость на низкой орбите над Вестой, имеющей массу m_v и радиус r_v , равна

$$v_v = \sqrt{\frac{Gm_v}{r_v}}.$$

Численное значение составляет около 260 м/с или 1000 км/ч. Скорость самолета в 2.5 раза больше.

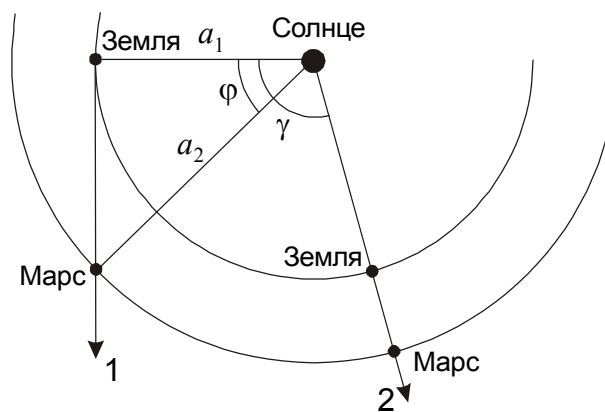
2. Условие. Марс, находясь в западной квадратуре, наблюдается в созвездии Стрельца. В каком созвездии он будет находиться во время последующего противостояния? Считать орбиту Марса круговой и лежащей в плоскости эклиптики, орбита Земли также круговая.

2. Решение. Определим сначала, интервал времени, по истечении которого Марс окажется в противостоянии. Угол Земля-Солнце-Марс в квадратуре равен:

$$\varphi = \arccos a_1/a_2 = 49^\circ.$$

Здесь a_1 и a_2 – радиусы орбит Земли и Марса. Во время западной квадратуры Земля «догоняет» Марс в своем движении по орбите. Время, оставшееся до противостояния, составляет

$$T = S \varphi / 360^\circ$$



или 106 дней (здесь S – синодический период Марса). За это время Земля сместится по орбите на угол

$$\gamma = 360^\circ T / T_0 = S \varphi / T_0 = 105^\circ.$$

Здесь T_0 – орбитальный период Земли. Марс в этот момент оказался в противостоянии с Солнцем, на одной линии с Солнцем и Землей. Как видно из рисунка, направление от Земли на Марс в противостоянии (цифра 2) образует с аналогичным направлением в западной квадратуре (цифра 1) угол $\gamma - 90^\circ = 15^\circ$, причем в противостоянии Марс располагается восточней, чем в квадратуре. Созвездие Стрельца, как граничащее с ним на востоке созвездие Козерога, занимают дугу эклиптики порядка 30° . Следовательно, в противостоянии Марс либо останется в созвездии Стрельца, либо перейдет в созвездие Козерога.

3. Условие. Будущие жители Земли решили заменить Луну таким же по диаметру вогнутым сферическим зеркалом с фокусным расстоянием, равным радиусу орбиты Луны. Какой будет звездная величина такой «Луны» при наблюдении с района Земли, на который сфокусировано изображение Солнца? Марса (в среднем противостоянии)? Считать, что ось зеркала образует малый угол с направлениями на источник света и Землю, абберациями оптики пренебречь.

3. Решение. Пусть на зеркало радиусом R падает поток F от некоторого источника. Так как направление на источник образует малый угол с осью зеркала, количество энергии, отражаемое зеркалом в единицу времени, составит

$$E = \pi R^2 F.$$

Эта энергия направляется в сторону Земли, и в фокальной плоскости будет попадать в пятно радиусом

$$r = D \rho,$$

где D – расстояние между Землей и Луной, а ρ – видимый радиус источника света. Поток световой энергии в данном пятне на Земле составит

$$f = E / \pi r^2 = F \rho_L^2 / \rho^2.$$

Здесь $\rho_L = R/D$ – видимый радиус Луны. Видимая звездная величина зеркала m будет связана со звездной величиной источника m_0 как

$$m = m_0 - 2.5 \lg (f/F) = m_0 + 5 \lg (\rho / \rho_L).$$

Видимый диаметр Солнца на небе Земли практически совпадает с видимым диаметром Луны. Поэтому зеркало, направленное на Солнце, будет светить так же, как и само Солнце, его звездная величина составит -26.8^m . А вот отражение света Марса будет значительно ярче самой планеты. В среднем противостоянии блеск Марса составляет -2.0^m , расстояние до него – 0.52 а.е., видимый радиус Марса равен $9''$, в 100 раз меньше видимого радиуса Луны. Зеркало будет иметь звездную величину -12^m , то есть будет светить примерно как полная Луна, на место которой оно было установлено.

4. Условие. Астрономы открыли новый объект – расширяющуюся с угловой скоростью $0.2''$ /сутки туманность вокруг звезды. Объясните это явление и найдите расстояние до объекта.

4. Решение. Видимая скорость расширения туманности очень велика. Даже если предположить, что центральная звезда туманности очень близка к нам (допустим, расстояние до нее 10 пк), то за сутки туманность расширяется на 2 а.е. или 300 млн км, значение скорости получается большей 3000 км/с. Такие огромные скорости разлета могут наблюдаться разве что у оболочек сверхновых звезд, но за всю обозримую историю человечества их на таких близких расстояниях не наблюдалось. К тому же, такие близкие сверхновые могли бы поставить под угрозу дальнейшее существование самого человечества. Если предположить, что звезда располагается дальше, то скорость расширения окажется еще больше.

Следовательно, расширение туманности – это не движение самого вещества, а движение света, проходящего через вещество. Скорость света составляет 300000 км/с или 170 а.е. в день. Если расстояние в 170 а.е. видно под углом 0.2", то расстояние до объекта равно 170/0.2 или 850 пк.

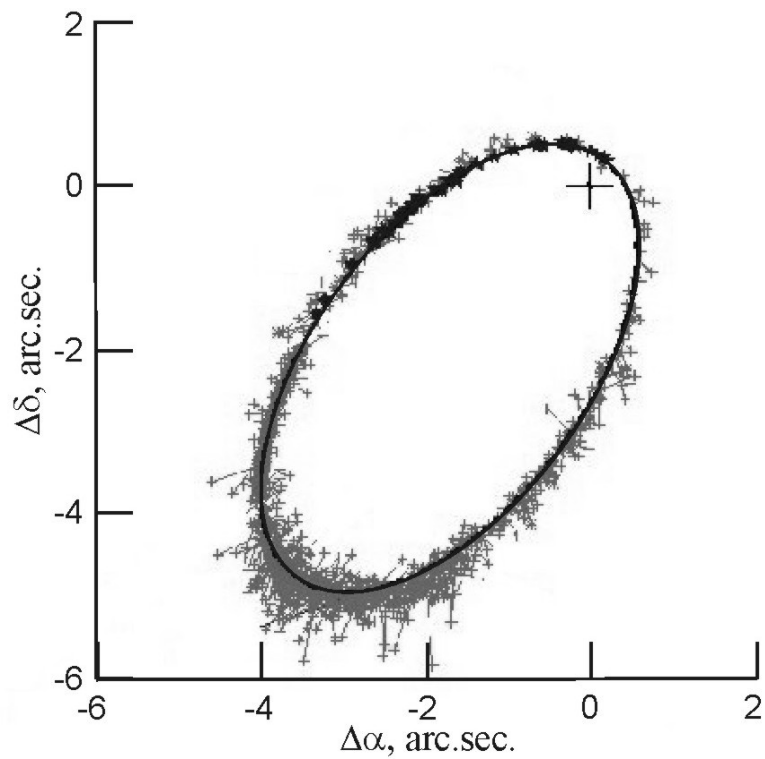
5. Условие. Будущие капитаны космических кораблей Коля и Вася планировали свои путешествия. Коля сказал, что он быстренько слетает к α Центавра (G2V+K1V), от него к Альтаиру (α Орла, A7V) и вернется на Землю. На что Вася ответил, что он за это время успеет побывать у Бетельгейзе (α Ориона, M2Iab) и Ригеля (β Ориона, B8Ia) и вернуться обратно. Кто из них первым завершит свой полет, если космические корабли движутся с одинаковой скоростью?

5. Решение. Все перечисленные звезды – одни из ярчайших, видимых с Земли. Их видимый блеск составляет $0^m - 1^m$, то есть отличается в пределах одной звездной величины. При этом α Центавра и Альтаир – это звезды главной последовательности (цифра V в спектральной классификации), а Бетельгейзе и Ригель – соответственно красный и бело-голубой сверхгиганты (цифра I в спектральной классификации). Светимость сверхгигантов превышает свтимость звезд главной последовательности на несколько порядков ($10^4 - 10^5$ светимостей Солнца).

Из закона Погсона следует, что если звезды имеют одинаковую звездную величину, то для этого расстояние до сверхгиганта должно быть больше в 100-300 раз. Бетельгейзе и Ригель должны быть в 100 раз дальше, чем α Центавра, яркий компонент которой похож на Солнце. Альтаир также является звездой главной последовательности, как и α Центавра, хоть и более яркой (спектральный клас A7). Его светимость отличается примерно на порядок, так что расстояние до Альтаира не должно превышать расстояние до α Центавра более чем в 2-3 раза.

Несмотря на то что α Центавра и Альтаир находятся в разных частях неба, перелет Земля – α Центавра – Альтаир – Земля будет существенно короче, чем перелет Земля – Бетельгейзе – Ригель – Земля. Первым на Землю вернется Коля.

6. Условие. Двойная звезда Поррима (γ Девы) состоит из двух одинаковых компонент. На рисунке приведены измеренные положения одной из звезд (маленькие крестики) относительно другой, которая считалась неподвижной и помечена большим крестом. Измерения производились в течение орбитального периода (169 лет). Усредненные положения показаны в виде линии эллипса. Считая, что малая ось орбит звезд в пространстве лежит в плоскости рисунка, найдите наклон самой плоскости орбит к плоскости рисунка.



6. Решение и рекомендации для жюри. См. задачу 6 для 10 класса.