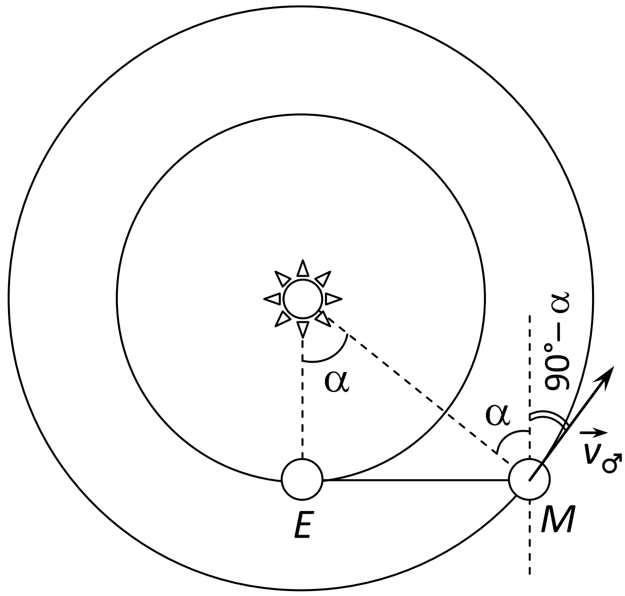
Теоретический тур

① Как известно, в Минске Солнце в верхней кульминации всегда находится к югу от зенита. Следовательно, его высоту в верхней кульминации (т.е. в полдень) можно определить по формуле $h_{ВК} = 90° - \varphi + \delta_{\odot}$. Если длина тени астронома была равна его росту, то высота Солнца составляла $h_{ВК} = 45°$. Тогда из вышеприведенной формулы следует $\delta_{\odot} = 45° - 90° + 54° = 9°$. Из эфемериды видно, что такое склонение Солнца достигается в апреле и в конце августа – начале сентября (и сентябрь, и август можно засчитывать за правильный ответ).

② Очевидно, продолжительность покрытия звезды можно определить, разделив угловой диаметр Марса на угловую скорость перемещения этой планеты на фоне звезд.



Определим угловой диаметр Марса ρ:

$$\sin\rho = \frac{D_{♂}}{r},$$

где $D_{♂}$ – диаметр Марса, r – расстояние до него.

Расстояние до Марса найдем из теоремы Пифагора (см. рис. 1):

$$r = \sqrt{a_{♂}^2 - a_{\oplus}^2} = \sqrt{(1.524\,а.е.)^2 - (1\,а.е.)^2} = 1.15\,а.е.$$

Получаем: $\rho = \arcsin\frac{6780\,км}{1.15\cdot 1.496\cdot 10^8\,км} = 8.12''$.

Угловую скорость можно определить по формуле $\omega = \frac{v_\tau}{r}$, где v_τ – тангенциальная компонента скорости. Поскольку в момент западной квадратуры Марса Земля движется прямо на Марс, ее скорость не вносит вклада в тангенциальную компоненту. А тангенциальная скорость Марса (в системе отсчета Земли) может быть определена (см. рис.) по формуле

$$v_\tau = v_{♂}\cos(90° - \alpha) = v_{♂}\sin\alpha$$

(угол α в этом случае называется разностью гелиоцентрических долгот Марса и Земли). Из треугольника следует $\alpha = \arccos\frac{a_{\oplus}}{a_{♂}} = 49°$. Скорость Марса (с учетом круговой формы орбиты) равна $v_{♂} = \sqrt{\frac{GM_{\odot}}{a_{♂}}} = 24.1$ км/с. Тогда $v_\tau = v_{♂}\sin\alpha = 18.2$ км/с, а $\omega = \frac{v_\tau}{r} = 1.06\cdot 10^{-7}$ рад/с.

Искомая продолжительность покрытия составит $t = \frac{\rho}{\omega} \approx 370^s$, т.е. чуть более шести минут.

③ Определим угловой диаметр Бетельгейзе при наблюдении с Земли. Очевидно, что он будет равен двум угловым радиусам: $2\rho = 2\arcsin\frac{R}{r} = 0.047''$. Следовательно, чтобы достичь такой разрешающей способности в видимом диапазоне длин волн, потребуется объектив диаметром не менее $D = \frac{140''}{\psi} = \frac{140''}{0.047''} \approx 3000$ мм, т.е. 3 метра. Такой диаметр объектива имеют множество современных телескопов, например, VLT («Очень большой телескоп»), телескоп. им. Кека, “Джемини”, “Субару”, “Хобби-Эберли”, LBT («Большой бинокулярный телескоп»), Магеллан-телескопы и даже старые знаменитые рефлектор Хейла и советский БТА. Правда, для достижения такой разрешающей способности телескоп должен быть оснащен системой адаптивной оптики.

Следует, также отметить, что телескоп им. Хаббла не является правильным ответом. Его диаметр объектива составляет всего 2.5 метра, что недостаточно для решения поставленной задачи. Единственным выходом для повышения его разрешающей способности было бы проведение наблюдений Бетельгейзе в коротковолновом диапазоне, например, ультрафиолете, что и было успешно реализовано в середине 1990-х годов. Однако это не подходит под условие задачи, где требуется различить диск звезды в видимом диапазоне спектра.

④ Обозначим блеск более яркой компоненты двойной системы E_1, блеск более тусклой – E_2, суммарный блеск двойной системы – E_0, а их видимые звездные величины – m_1, m_2 и m_0, соответственно. Тогда, согласно условию, $E_1 = 5E_2$, $E_0 = E_1 + E_2 = 6E_2$. Применяя формулу Погсона и сравнивая E_2 и E_0, можно написать:

$$0.4\ m_2 - m_0\ = \lg\frac{E_0}{E_2} = \lg\frac{6E_2}{E_2} = \lg 6\,.$$

Тогда $m_2 = 2.5\lg 6 + 3.15 = 5.10$.

Аналогично можно сравнить E_1 и E_2:

$$0.4\ m_2 - m_1\ = \lg\frac{E_1}{E_2} = \lg\frac{5E_2}{E_2} = \lg 5, \text{ откуда } m_1 = 5.10 - 2.5\lg 5 = 3.35\,.$$

Таким образом, компоненты Альбирео имеют видимые звездные величины 3.35^m и 5.10^m.

⑤ Как видно из условия, излучение галактики вследствие эффекта Доплера смещено в красную область на $\lambda - \lambda_0 = 11.5$ нм. Это означает, что она удаляется со скоростью $v = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}c = 5260$ км/с.

Согласно закону Хаббла, скорость удаления галактик прямо пропорциональна расстоянию до них: $v = Hr$, откуда получаем расстояние до галактики $r = v/H = 70$ Мпк.

Линейный диаметр галактики можно получить из соотношения $D = r\sin\rho = 34$ кпк, что лишь ненамного превышает общепринятые размеры нашей Галактики.