

## 1. Второе Солнце

В серии «Второе Солнце» мультсериала «Смешарики» говорится, что при взрыве Бетельгейзе ( $\alpha = 5^{\text{h}} 55^{\text{m}}$ ,  $\delta = +7^{\circ} 24.5'$ ) вспышка будет видна на небе рядом с Солнцем.

- Насколько близко в современную эпоху Бетельгейзе и Солнце могут оказаться на земном небе?
- В какой день года происходит такое сближение?
- На каких широтах Солнце и Бетельгейзе восходят одновременно в этот день?

## 2. Шератан и Зигелинда

2 ноября 2021 года в 15:50 UT 84-километровый астероид Зигелинда закрыл собой Шератан ( $\beta$  Овна). Большая полуось орбиты Зигелинды  $a = 3.14$  а. е.

- Оцените наибольшую возможную продолжительность этого покрытия для земных наблюдателей.
- Оцените геометрическое альbedo Зигелинды, если её абсолютная звёздная величина  $m = 9.5^{\text{m}}$ .

Орбиты Земли и астероида считайте круговыми и лежащими в одной плоскости.

## 3. Аномальные расчёты

Планета  $\mathbb{Z}$  обращается вокруг звезды с массой  $\mathfrak{M} = 2\mathfrak{M}_{\odot}$  по орбите с большой полуосью  $a = 6.0$  а. е. Известно, что на протяжении одного орбитального периода планеты астроцентрическое расстояние  $r > 6.0$  а. е. в течение  $\tau = 6.52$  лет.

- Найдите эксцентриситет орбиты планеты.
- Определите истинную аномалию, при которой  $r = a$ .
- Определите, какую долю периода  $r$  не превышает  $2a/3$ .

#### 4. Звёздная бухгалтерия

Шаровое скопление видно на земном небе как объект 6-й звёздной величины. Оно находится на расстоянии 10.2 кпк в направлении созвездия Гончих Псов.

Оцените массу скопления в каждом из следующих случаев:

- все звёзды скопления — точные копии Солнца;
- звёзды скопления разные, но одиночные, причём 80 % звёзд обладают солнечной массой, а 20 % — имеют массу  $2M_{\odot}$ ;
- все увиденные звёзды имеют одинаковые видимые звёздные величины и обладают солнечной светимостью, однако 20 % из них — неразрешённые двойные звёзды с компонентами строго равных масс.

#### 5. Давным-давно в далёкой-далёкой галактике...

Линия  $L_{\beta}$  в спектре некоторой далёкой галактики оказалась смещена относительно лабораторной на  $140.0 \text{ \AA}$ .

- Оцените расстояние до этой галактики.
- Каковы ожидаемые величины смещений линий  $L_{\gamma}$ ,  $H_{\beta}$ ?
- Считая галактику источником постоянной светимости, грубо оцените, как давно для наблюдателей Местной Группы она была на  $1^{\text{m}}$  ярче, чем сейчас.

#### 6. Облачные технологии

Звезда с эффективной температурой  $T_1 = 80 \cdot 10^3 \text{ K}$  погружена в облако НII (ионизированного водорода) радиусом  $R_1$ . Найдите, какой радиус  $R_2$  имела бы эта область НII, если бы звезда при том же размере имела температуру  $T_2 = 100 \cdot 10^3 \text{ K}$ . Считайте, что концентрация водорода в окружающей межзвёздной среде всюду постоянна.

## 7. Баба-аяга

Активные ядра галактик (АЯГ) — предполагаемые источники космических лучей ультравысоких энергий.

Допустим, зафиксирован поток протонов с энергией  $E \approx 5 \cdot 10^{19}$  эВ. При этом видимое направление на источник протонов отстоит на  $2^\circ$  от известного АЯГ на  $z = 0.03$ . Будем считать, что источником является именно это АЯГ.

- Пренебрегая радиационными потерями, оцените величину индукции однородного перпендикулярного магнитного поля, которая объясняла бы подобное отклонение.
- Вычислите циклотронную частоту движения нерелятивистских электронов в таком поле и соответствующий период.

Полная интенсивность магнитотормозного излучения при движении заряженной частицы по круговой траектории в магнитном поле даётся формулой (в СИ):

$$I = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^4 B^2 v^2}{m^2 c^3} \cdot \frac{1}{1 - v^2/c^2},$$

где  $e$  и  $m$  — электрический заряд и масса частицы,  $v$  и  $E$  — её скорость и энергия,  $B$  — индукция магнитного поля.

- Упростите выражение для интенсивности  $I$  в ультрарелятивистском пределе (при  $1 - v^2/c^2 \ll 1$ ).
- Какая энергия  $\Delta E$  излучается за один оборот?
- Оцените радиационные потери энергии протонов из АЯГ на пути к нашей Галактике. Прокомментируйте полученный результат.

## 8. Тёмная сторона Юпитера

- Какова наименьшая фаза Юпитера для земного наблюдателя?
- Вычислите элонгацию, видимый угловой размер и геоцентрическое расстояние Юпитера в минимальной фазе.

Орбиты планет считайте круговыми и лежащими в одной плоскости.

## 9. Звезда на привязи

Рассмотрим движение звезды по круговой орбите в сферически-симметричной галактике с гравитационным потенциалом

$$\Phi(r) = -\frac{GM}{\sqrt{r^2 + b^2}},$$

где  $M$  — полная масса системы,  $r$  — галактоцентрическое расстояние.

Для описания орбитального движения такой звезды достаточно двух параметров: расстояния  $r$  и азимутального угла  $\psi$ . В таком случае  $r = \text{const}$  и  $\dot{\psi} = \text{const} > 0$ .

Предположим, что звезда начинает испытывать влияние малой возмущающей силы  $\vec{F}$ , сонаправленной со скоростью звезды. Определите знак второй производной  $\ddot{\psi}$ .

## 10. Системное импортозамещение

В некоторой планетной системе вокруг звезды, во всём аналогичной Солнцу, по круговой орбите радиусом 2 а.е. обращается планета, во всём аналогичная Земле. Известно, что на широте  $70^\circ$  полярная ночь длится 400 дней.

Определите:

- на какой доле поверхности планеты возможны как полярные ночи, так и прохождение центральной звезды через зенит;
- максимальную продолжительность полярной ночи в тропиках.

Считайте величину горизонтальной атмосферной рефракции на этой планете равной земной.