

*Региональная предметно-методическая комиссия  
по астрономии*



**ВСЕРОССИЙСКАЯ  
ОЛИМПИАДА  
ШКОЛЬНИКОВ**

*Задания муниципального этапа всероссийской олимпиады  
школьников 2024/2025 учебного года  
по астрономии*

*Тула – 2024*

**11 класс****11.1. Система Сириуса**

Это двойная звезда. Звезда А – звезда *главной последовательности*. Её масса  $M_A = 2M_\odot$ . Звезда В – *белый карлик*. Две звезды вращаются вокруг общего центра масс. Большая полуось орбиты  $a = 20$  а.е. Период обращения звезд вокруг общего центра масс  $T = 50$  лет. Вычислите общую массу  $M$  этой двойной звезды и массу  $M_B$  белого карлика (в единицах солнечной массы).

Гравитационная постоянная:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$  Н·м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>,

астрономическая единица: 1 а.е. =  $1,5 \cdot 10^{11}$  м,

масса Солнца  $M_\odot = 2 \cdot 10^{30}$  кг,

1 год =  $3,2 \cdot 10^7$  с.

**11.2. Скопление галактик**

1) Скопление галактик представляет собой гравитационно-связанную систему. Радиус скопления  $R \approx 4$  Мпк. Скорость движения галактик (относительно центра масс скопления)  $v \approx 1000$  км/с. Оцените массу скопления (в кг и в единицах солнечной массы).

2) Скопление галактик является источником рентгеновского излучения. Излучение испускает горячий межгалактический газ, заполняющий весь объём скопления. Газ удерживается в скоплении тяготением. Другими словами, межгалактический газ в скоплении и скопление в целом находятся в состоянии гравитационной связанности, в состоянии равновесия. Оцените температуру  $T$  межгалактического газа в скоплении.

Гравитационная постоянная:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$  Н·м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>,

постоянная Больцмана:  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К,

масса Солнца:  $M_\odot = 2 \cdot 10^{30}$  кг,

масса частицы газа:  $m = 1,7 \cdot 10^{-27}$  кг.

**11.3. Планета Т-звезды**

Планета движется вокруг своей звезды по круговой орбите радиуса  $r$  и находится в *зоне обитаемости*. Интенсивность (поток) излучения звезды  $I = \frac{L}{4\pi r^2}$  на планете

такая же, как и на Земле от Солнца. Светимость звезды  $L = 9 \cdot 10^{-6} L_\odot$ , её радиус  $R = 0,1R_\odot$ .

1) На каком расстоянии  $r$  от Т-звезды находится планета?

2) Найдите массу звезды (в единицах солнечной массы).

3) Оцените орбитальную скорость планеты (в км/с) и период её обращения вокруг звезды (в часах).

4) Оцените температуру поверхности звезды.

Соотношение "светимость-масса" для Т-звезды имеет вид  $\frac{L}{L_\odot} = \left( \frac{M}{M_\odot} \right)^{5/2}$ .

гравитационная постоянная:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$  Н·м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>,

расстояние от Земли до Солнца:  $a = 150$  млн км.

светимость Солнца:  $L_\odot = 4 \cdot 10^{26}$  Вт,

масса Солнца:  $M_\odot = 2 \cdot 10^{30}$  кг,

радиус Солнца:  $R_\odot = 7 \cdot 10^8$  м.

### 11.4. Вращение звезды

Анализ равновесной формы вращающейся газовой конфигурации (звезды) можно провести на основе модели Роша. В рамках этой модели предполагается, что распределение массы вещества звезды не изменяется при вращении (модель твердотельного вращения). Поверхность звезды представляет собой поверхность равного потенциала гравитационных и центробежных сил:

$$\varphi = \varphi_{\text{гр}} + \varphi_{\text{цб}} = \text{const},$$

где  $\varphi_{\text{гр}} = -\frac{GM}{r}$  – гравитационный потенциал,

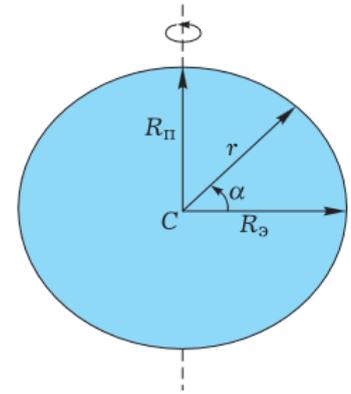
$$\varphi_{\text{цб}} = -\frac{1}{2} \cdot \omega^2 r^2 \cos^2 \alpha - \text{потенциал поля центробежной}$$

силы инерции в данной точке  $r$  поверхности звезды,  $\omega$  – угловая скорость вращения звезды вокруг своей оси (см. рис.).

Звезда *Альтаир*. Масса звезды  $M = 1,7M_{\odot}$ . Экваториальный радиус  $R_{\text{э}} = 2R_{\odot}$ . Экваториальная скорость вращения  $v_{\text{э}} = 286$  км/с. Найдите полярный радиус  $R_{\text{п}}$  звезды (в единицах солнечного радиуса  $R_{\odot}$ ).

Масса Солнца:  $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$  кг,

радиус Солнца:  $R_{\odot} = 7 \cdot 10^8$  м.



### 11.5. Туманность

Туманность, образовавшаяся в результате вспышки сверхновой звезды, имеет радиус  $r = 6,2 \cdot 10^{17}$  м и в настоящее время расширяется со скоростью  $v = 115$  км/с. Когда произошла вспышка сверхновой (время расширения до наблюдаемого радиуса)? Расширение

туманности происходит по закону  $r = \left(\frac{Q}{\rho}\right)^{\frac{1}{5}} t^{\frac{2}{5}}$ , где  $t$  – время,  $Q$  – энергия вспышки,

$\rho$  – плотность межзвездной среды.

1 год =  $3,2 \cdot 10^7$  с.

### 11.6. Гравитационный удар (манёвр)

На рисунке показана простейшая модель гравитационного удара (манёвра), в результате которого космический аппарат (КА) получает дополнительную скорость, необходимую для убегания из Солнечной системы. Точка О – центр планеты,  $V_{\text{пл}}$  – скорость планеты относительно Солнца. КА входит в сферу действия планеты в точке А со скоростью  $V_{\text{вх}}$  относительно Солнца и выходит из сферы действия в точке В со скоростью  $V_{\text{вых}}$  относительно Солнца. На рисунке  $v_{\text{вх}}$  и  $v_{\text{вых}}$  – скорость КА на входе и выходе из сферы действия относительно планеты. КА, запущенный с Земли, входит в сферу действия Юпитера со скоростью  $V_{\text{вх}} = 6$  км/с. Скорость Юпитера  $V_{\text{пл}} = 13$  км/с. С какой скоростью  $V_{\text{вых}}$  КА вылетит из сферы действия Юпитера?

