

**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии**  
11 класс, 2023/2024 учебный год  
Длительность 3 часа.      Максимум 48 баллов.



**Задача 1. Двойная звезда-1 (8 баллов).**

Юный астроном Вячеслав изучает двойную звезду, состоящую из двух звезд, аналогичных Солнцу. Известно, что период обращения этой двойной системы составляет 5 лет, а суммарный блеск  $2,25^m$ . Определите большую полуось системы и расстояние до этой двойной звезды.

**Задача 2. Двойная звезда-2 (8 баллов).**

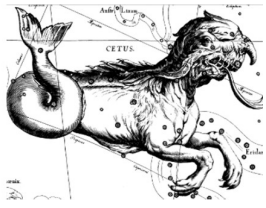
Юный астроном Николай тоже заинтересовался двойными системами, и решил понаблюдать за одной из них в телескоп диаметром 20 см и фокусным расстоянием 1 метр. С каким из предложенных окуляров можно будет увидеть в телескоп, что система двойная, если на небе Земли она видна как объект с угловым размером  $0,8''$ ? Параметры окуляров:  $f_1 = 20$  мм,  $f_2 = 6$  мм. Межзвездным поглощением пренебречь. Разрешающую способность глаза человека принять равной  $1'$ .

**Задача 3. Про Уфу (8 баллов).**

Какова максимальная и минимальная высота Солнца в истинный полдень в Уфе в течение года? Как эти высоты будут меняться с течением времени из-за прецессии? Координаты Уфы:  $54^{\circ} 45'$  с.ш.,  $55^{\circ} 58'$  в.д.

**Задача 4. Черная дыра (8 баллов).**

Черная дыра – это область в пространстве-времени, в которой гравитационное притяжение так велико, что ни вещество, ни свет, ни другие носители информации не могут ее покинуть. Черная дыра окружена поверхностью, из-под которой ничто не может выйти, ее называют «горизонтом событий» или «шварцшильдовским радиусом». Значение горизонта событий определяется из условия, что вторая космическая скорость равна скорости света. Определите шварцшильдовский радиус и среднюю плотность черной дыры в центре Млечного пути, если ее масса  $4,3 \cdot 10^6$  масс Солнца.



Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии

11 класс, 2023/2024 учебный год  
Длительность 3 часа. Максимум 48 баллов.



**Задача 5. Астероид Башкирия (8 баллов).**

Астероид Башкирия находится в главном поясе астероидов. Апогелий его орбиты находится на расстоянии 3.66 а.е., период обращения вокруг Солнца составляет 2070 дней. Определите большую полуось орбиты астероида, эксцентриситет его орбиты и как близко этот астероид может приближаться к Земле. Орбиты астероида и Земли лежат в одной плоскости. Орбиту Земли считать круговой.

**Задача 6. Альтернативные веса (8 баллов).**

Определите массы двух белых карликов Сириус В и Процион В. Известно, что температура на поверхности равна 25000 К и 7700 К соответственно.

Светимость Сириуса В составляет  $0,056L_0$  (0,056 светимостей Солнца), видимая звездная величина Проциона В составляет  $10,7^m$ , а параллакс 285 миллисекунды. Воспользуйтесь диаграммой масса-радиус для белых карликов. Какой из этих двух белых карликов старше?

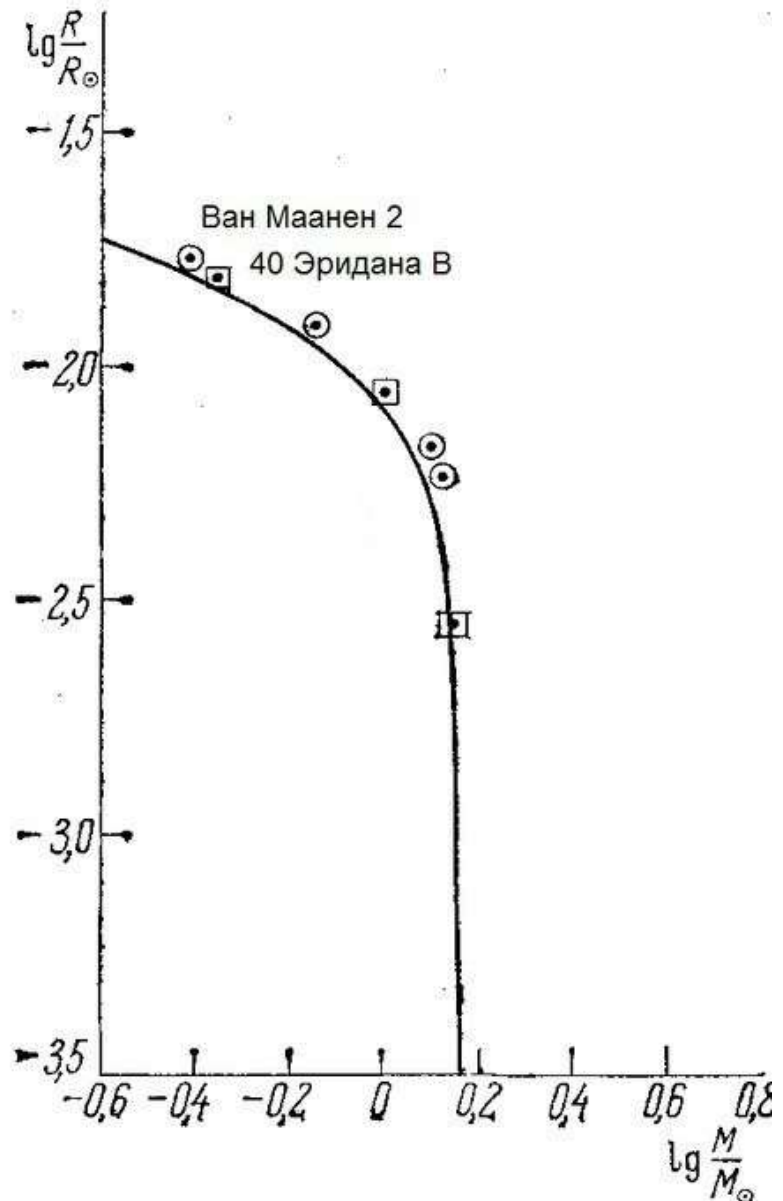


Рис. 1 – Диаграмма масса-радиус для белых карликов

## СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

### Основные физические и астрономические постоянные

Гравитационная постоянная  $G = 6.672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$   
Скорость света в вакууме  $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$   
Постоянная Больцмана  $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$   
Универсальная газовая постоянная  $\mathcal{R} = 8.31 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$   
Постоянная Стефана-Больцмана  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$   
Постоянная Планка  $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$   
Масса протона  $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$   
Масса электрона  $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$   
Астрономическая единица 1 а.е. =  $1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$   
Парсек 1 пк =  $206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$   
Постоянная Хаббла  $H = 72 \text{ (км/с)/Мпк}$

### Данные о Солнце

Радиус 697 000 км  
Светимость  $3.88 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$   
Видимая звездная величина  $-26.78^m$   
Абсолютная болометрическая звездная величина  $+4.72^m$   
Показатель цвета (B–V)  $+0.67^m$   
Эффективная температура 5800К  
Средний горизонтальный параллакс  $8.794''$   
Интегральный поток энергии на расстоянии Земли  $1360 \text{ Вт/м}^2$   
Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли  $600 \text{ Вт/м}^2$   
Масса  $1.989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$   
Спектральный класс G2

### Данные о Земле

Эксцентриситет орбиты 0.0167  
Тропический год 365.24219 суток  
Средняя орбитальная скорость 29.8 км/с  
Период вращения 23 часа 56 минут 04 секунды  
Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000 года:  $23^\circ 26' 21.45''$   
Экваториальный радиус 6378.14 км  
Полярный радиус 6356.77 км  
Масса  $5.974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$   
Средняя плотность  $5.52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$   
Объемный состав атмосферы: N<sub>2</sub> (78%), O<sub>2</sub> (21%), Ar (~1%).

### Данные о Луне

Среднее расстояние от Земли 384400 км  
Минимальное расстояние от Земли 356410 км  
Максимальное расстояние от Земли 406700 км  
Средний эксцентриситет орбиты 0.055  
Наклон плоскости орбиты к эклиптике  $5^\circ 09'$   
Сидерический (звездный) период обращения 27.321662 суток  
Синодический период обращения 29.530589 суток  
Радиус 1738 км  
Масса  $7.348 \cdot 10^{22} \text{ кг}$  или 1/81.3 массы Земли  
Средняя плотность  $3.34 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$   
Визуальное геометрическое альbedo 0.12  
Видимая звездная величина в полнолуние  $-12.7^m$

## ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЦА И ПЛАНЕТ

| Планета  | Масса                 |             | Радиус |               | Плотность | Период вращения вокруг оси | Наклон экватора к плоскости орбиты | Геометр. альбедо | Вид. звездная величина* |
|----------|-----------------------|-------------|--------|---------------|-----------|----------------------------|------------------------------------|------------------|-------------------------|
|          | кг                    | массы Земли | км     | радиусы Земли |           |                            |                                    |                  |                         |
| Солнце   | $1.989 \cdot 10^{30}$ | 332946      | 697000 | 109.3         | 1.41      | 25.380 сут                 | 7.25                               | —                | -26.8                   |
| Меркурий | $3.302 \cdot 10^{23}$ | 0.05271     | 2439.7 | 0.3825        | 5.42      | 58.646 сут                 | 0.00                               | 0.10             | -0.1                    |
| Венера   | $4.869 \cdot 10^{24}$ | 0.81476     | 6051.8 | 0.9488        | 5.20      | 243.019 сут**              | 177.36                             | 0.65             | -4.4                    |
| Земля    | $5.974 \cdot 10^{24}$ | 1.00000     | 6378.1 | 1.0000        | 5.52      | 23.934 час                 | 23.45                              | 0.37             | —                       |
| Марс     | $6.419 \cdot 10^{23}$ | 0.10745     | 3397.2 | 0.5326        | 3.93      | 24.623 час                 | 25.19                              | 0.15             | -2.0                    |
| Юпитер   | $1.899 \cdot 10^{27}$ | 317.94      | 71492  | 11.209        | 1.33      | 9.924 час                  | 3.13                               | 0.52             | -2.7                    |
| Сатурн   | $5.685 \cdot 10^{26}$ | 95.181      | 60268  | 9.4494        | 0.69      | 10.656 час                 | 25.33                              | 0.47             | 0.4                     |
| Уран     | $8.683 \cdot 10^{25}$ | 14.535      | 25559  | 4.0073        | 1.32      | 17.24 час**                | 97.86                              | 0.51             | 5.7                     |
| Нептун   | $1.024 \cdot 10^{26}$ | 17.135      | 24746  | 3.8799        | 1.64      | 16.11 час                  | 28.31                              | 0.41             | 7.8                     |

\* – для наибольшей элонгации внутренних планет и среднего противостояния внешних планет.

\*\* – обратное вращение.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРБИТ ПЛАНЕТ

| Планета  | Большая полуось |         | Эксцентриситет | Наклон к плоскости эклиптики | Период обращения | Синодический период |
|----------|-----------------|---------|----------------|------------------------------|------------------|---------------------|
|          | млн.км          | а.е.    |                |                              |                  |                     |
| Меркурий | 57.9            | 0.3871  | 0.2056         | 7.004                        | 87.97 сут        | 115.9               |
| Венера   | 108.2           | 0.7233  | 0.0068         | 3.394                        | 224.70 сут       | 583.9               |
| Земля    | 149.6           | 1.0000  | 0.0167         | 0.000                        | 365.26 сут       | —                   |
| Марс     | 227.9           | 1.5237  | 0.0934         | 1.850                        | 686.98 сут       | 780.0               |
| Юпитер   | 778.3           | 5.2028  | 0.0483         | 1.308                        | 11.862 лет       | 398.9               |
| Сатурн   | 1429.4          | 9.5388  | 0.0560         | 2.488                        | 29.458 лет       | 378.1               |
| Уран     | 2871.0          | 19.1914 | 0.0461         | 0.774                        | 84.01 лет        | 369.7               |
| Нептун   | 4504.3          | 30.0611 | 0.0097         | 1.774                        | 164.79 лет       | 367.5               |

## ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ СПУТНИКОВ ПЛАНЕТ

| Спутник       | Масса                 | Радиус | Плотность         | Радиус орбиты | Период обращения | Геометрич. альbedo | Видимая звездная величина* |
|---------------|-----------------------|--------|-------------------|---------------|------------------|--------------------|----------------------------|
|               | кг                    | км     | г/см <sup>3</sup> | км            | сут              |                    | m                          |
| <b>Земля</b>  |                       |        |                   |               |                  |                    |                            |
| Луна          | $7.348 \cdot 10^{22}$ | 1738   | 3.34              | 384400        | 27.32166         | 0.12               | -12.7                      |
| <b>Марс</b>   |                       |        |                   |               |                  |                    |                            |
| Фобос         | $1.08 \cdot 10^{16}$  | ~10    | 2.0               | 9380          | 0.31910          | 0.06               | 11.3                       |
| Деймос        | $1.8 \cdot 10^{15}$   | ~6     | 1.7               | 23460         | 1.26244          | 0.07               | 12.4                       |
| <b>Юпитер</b> |                       |        |                   |               |                  |                    |                            |
| Ио            | $8.94 \cdot 10^{22}$  | 1815   | 3.55              | 421800        | 1.769138         | 0.61               | 5.0                        |
| Европа        | $4.8 \cdot 10^{22}$   | 1569   | 3.01              | 671100        | 3.551181         | 0.64               | 5.3                        |
| Ганимед       | $1.48 \cdot 10^{23}$  | 2631   | 1.94              | 1070400       | 7.154553         | 0.42               | 4.6                        |
| Каллисто      | $1.08 \cdot 10^{23}$  | 2400   | 1.86              | 1882800       | 16.68902         | 0.20               | 5.7                        |
| <b>Сатурн</b> |                       |        |                   |               |                  |                    |                            |
| Тефия         | $7.55 \cdot 10^{20}$  | 530    | 1.21              | 294660        | 1.887802         | 0.9                | 10.2                       |
| Диона         | $1.05 \cdot 10^{21}$  | 560    | 1.43              | 377400        | 2.736915         | 0.7                | 10.4                       |
| Рея           | $2.49 \cdot 10^{21}$  | 765    | 1.33              | 527040        | 4.517500         | 0.7                | 9.7                        |
| Титан         | $1.35 \cdot 10^{23}$  | 2575   | 1.88              | 1221850       | 15.94542         | 0.21               | 8.2                        |
| Япет          | $1.88 \cdot 10^{21}$  | 730    | 1.21              | 3560800       | 79.33018         | 0.2                | ~11.0                      |
| <b>Уран</b>   |                       |        |                   |               |                  |                    |                            |
| Миранда       | $6.33 \cdot 10^{19}$  | 235.8  | 1.15              | 129900        | 1.413479         | 0.27               | 16.3                       |
| Ариэль        | $1.7 \cdot 10^{21}$   | 578.9  | 1.56              | 190900        | 2.520379         | 0.34               | 14.2                       |
| Умбриэль      | $1.27 \cdot 10^{21}$  | 584.7  | 1.52              | 266000        | 4.144177         | 0.18               | 14.8                       |
| Титания       | $3.49 \cdot 10^{21}$  | 788.9  | 1.70              | 436300        | 8.705872         | 0.27               | 13.7                       |
| Оберон        | $3.03 \cdot 10^{21}$  | 761.4  | 1.64              | 583500        | 13.46324         | 0.24               | 13.9                       |
| <b>Нептун</b> |                       |        |                   |               |                  |                    |                            |
| Тритон        | $2.14 \cdot 10^{22}$  | 1350   | 2.07              | 354800        | 5.87685**        | 0.7                | 13.5                       |

\* – для полнолуния или среднего противостояния внешних планет.

\*\* – обратное направление вращения.

## ФОРМУЛЫ ПРИБЛИЖЕННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ

$$\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x;$$

$$\sin(\alpha + x) \approx \sin \alpha + x \cos \alpha;$$

$$\cos(\alpha + x) \approx \cos \alpha - x \sin \alpha;$$

$$\operatorname{tg}(\alpha + x) \approx \operatorname{tg} \alpha + \frac{x}{\cos^2 \alpha};$$

$$(1 + x)^n \approx 1 + nx;$$

( $x \ll 1$ , углы выражаются в радианах).