

**Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии  
в 2015/2016 учебном году**

**11 класс**

**№ 1. «Лунное затмение и видимость светила»**

Почему во время полного лунного затмения мы все равно можем видеть Луну? Какие характерные цвета может иметь ее поверхность при визуальных наблюдениях? Почему?

**№ 2. «Астрономическая весна 2016 года»**

С каким феноменом отождествляется начало астрономической весны? Какого числа и в какое (приблизительно) время (по Самарскому времени) наступит астрономическая весна в 2016 году, если в 2015 году она наступила 21 марта в 02 часа 45 минут?

**№ 3. «Спектральные классы цефеид»**

В звездных каталогах у цефеид указывается их принадлежность не одному спектральному классу и подклассу (как это традиционно бывает у обычных звезд), а сразу некоторому интервалу. Например, у известной  $\delta$  Цефея А спектральный класс в каталогах указан как F5Ib-G2Ib. Объясните, что означает эта запись. Какие физические причины лежат в основе определения спектрального класса цефеиды интервалом?

**№ 4. «Звездный глобус и средняя площадь одного созвездия»**

Как известно, *звездный глобус* – это астрономический прибор, отображающий с минимальными искажениями звездное небо и предназначенный для его изучения и движения светил, а также для приближенного решения задач мореходной астрономии. Наиболее популярная модель отечественного звездного глобуса представляет собой полый шар диаметром  $D = 168$  мм, на поверхность которого нанесены экватор, сетка небесных меридианов и параллелей, эклиптика, созвездия и яркие звезды. Зная общее количество созвездий на небосводе ( $N = 88$ ), вычислите среднее значение ( $\bar{s}$ ) площади поверхности такого глобуса (в  $\text{см}^2$ , округлить до целых), приходящейся на одно созвездие. Оцените среднее количество ( $\bar{\sigma}$ ) звезд, приходящихся на 1 квадратный сантиметр поверхности глобуса, если на нем отмечены все звезды с звездной величиной не превышающей  $6^m$ .

**№ 5. «Заход Луны за горизонт»**

Астроном, пребывая в г. Самаре ( $\lambda = 3^{\text{ч}}20^{\text{м}}$ , третий часовой пояс), в третьей декаде сентября 2015 года наблюдал заход Луны за горизонт в фазе полнолуния. Оцените самарское (декретное) время, которое показывали его часы в этот момент? Уравнением времени пренебречь.

**№ 6. «Эффективная температура Kepler-138b»**

В июне 2015 года американские астрономы объявили об открытии самой легкой экзопланеты, известной на тот момент, Kepler-138b. Радиус экзопланеты равен 0.45 радиуса Земли. Kepler-138b вращается вокруг красного карлика Kepler-138 (с эффективной температурой поверхности  $T_1 = 3871$  К и радиусом  $R_1 = 0.54 R_{\odot}$ , где  $R_{\odot}$  – радиус Солнца) по почти круговой орбите радиуса  $a_2 = 0.0769$  а.е. Оцените температуру ( $T_2$ ) поверхности планеты, полагая, что сферическое альbedo ( $A$ ) планеты равно геометрическому альbedo Марса.

*На решение задач муниципального этапа олимпиады по астрономии школьникам  
отводится 4 часа.*

# Основные справочные данные

## §1. Основные физические и астрономические постоянные

- Гравитационная постоянная –  $G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
- Скорость света в вакууме –  $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
- Универсальная газовая постоянная –  $R = 8.31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
- Постоянная Стефана-Больцмана –  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$
- Масса протона –  $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
- Масса электрона –  $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
- Астрономическая единица –  $1 \text{ а.е.} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$
- Парсек –  $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
- Постоянная Хаббла –  $H = 72 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$

## §2. Данные о Солнце

- Радиус –  $6.955 \cdot 10^5 \text{ км}$
- Масса –  $1.989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
- Светимость –  $3.827 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
- Спектральный класс – G2
- Видимая звездная величина –  $-26.74^m$
- Абсолютная болометрическая звездная величина –  $+4.83^m$
- Показатель цвета (B-V) –  $+0.67^m$
- Эффективная температура –  $5778 \text{ К}$
- Средний горизонтальный параллакс –  $8.794''$
- Интегральный поток энергии на расстоянии Земли –  $1360 \text{ Вт/м}^2$
- Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли –  $600 \text{ Вт/м}^2$

## §3. Данные о Земле

- Эксцентриситет орбиты –  $0.017$
- Тропический год –  $365.24219 \text{ сут}$
- Средняя орбитальная скорость –  $29.8 \text{ км/с}$
- Период вращения –  $23 \text{ часа } 56 \text{ минут } 04 \text{ секунды}$
- Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000.0 –  $23^\circ 26' 21.45''$
- Экваториальный радиус –  $6378.14 \text{ км}$
- Полярный радиус –  $6356.77 \text{ км}$
- Масса –  $5.974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
- Средняя плотность –  $5.52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$
- Объемный состав атмосферы –  $\text{N}_2$  (78%),  $\text{O}_2$  (21%),  $\text{Ar}$  ( $\sim 1\%$ )

## §4. Данные о Луне

- Среднее расстояние от Земли –  $384400 \text{ км}$
- Минимальное расстояние от Земли –  $356410 \text{ км}$
- Максимальное расстояние от Земли –  $406700 \text{ км}$
- Эксцентриситет орбиты –  $0.055$
- Наклон плоскости орбиты к эклиптике –  $5^\circ 09'$
- Сидерический (звездный) период обращения –  $27.321662 \text{ сут}$
- Синодический период обращения –  $29.530589 \text{ сут}$

- Радиус – 1738 км
- Масса –  $7.348 \cdot 10^{22}$  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 –  $-12.7^m$

### §5. Физические характеристики Солнца и планет

| Планета  | Масса                 |                | Радиус |                  | Плотность<br>г·см <sup>-3</sup> | Период вращения<br>вокруг<br>оси | Наклон экватора<br>к плоскости<br>орбиты<br>градусы | Геометрич.<br>альbedo | Вид. звездная<br>величина* |
|----------|-----------------------|----------------|--------|------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|-----------------------|----------------------------|
|          | кг                    | массы<br>Земли | км     | радиусы<br>Земли |                                 |                                  |   |                       |                            |
| Солнце   | $1.989 \cdot 10^{30}$ | 332946         | 695500 | 108.97           | 1.41                            | 25.380 сут                       | 7.25  | –                     | $-26.8^m$                  |
| 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<br>сут <sup>†</sup>      | 177.36  | 0.65                  | $-4.4^m$                   |
| 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                  | $-2.0^m$                   |
| Юпитер   | $1.899 \cdot 10^{27}$ | 317.94         | 71492  | 11.209           | 1.33                            | 9.924 час                        | 3.13  | 0.52                  | $-2.7^m$                   |
| Сатурн   | $5.685 \cdot 10^{26}$ | 95.181         | 60268  | 9.4494           | 0.69                            | 10.656 час                       | 25.33   | 0.47                  | $0.4^m$                    |
| Уран     | $8.683 \cdot 10^{25}$ | 14.535         | 25559  | 4.0073           | 1.32                            | 17.24 час <sup>†</sup>           | 97.86   | 0.51                  | $5.7^m$                    |
| Нептун   | $1.024 \cdot 10^{26}$ | 17.135         | 24746  | 3.8799           | 1.64                            | 16.11 час                        | 28.31   | 0.41                  | $7.8^m$                    |

\* для наибольшей элонгации Меркурия и Венеры и среднего противостояния внешних планет;

† – обратное вращение.

### §6. Характеристики орбит планет

| Планета  | Большая полуось |         | Эксцентриситет | Наклон к плоскости эклиптики<br>градусы | Период обращения | Синодический период<br>сут |
|----------|-----------------|---------|----------------|---|------------------|----------------------------|
|          | 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                      |

## §7. Характеристики некоторых спутников планет

| Спутник       | Масса                 | Радиус | Плотность          | Радиус орбиты | Период обращения     | Геометрич. альбе-до | Вид. звездная величина* |
|---------------|-----------------------|--------|--------------------|---------------|----------------------|---------------------|-------------------------|
|               | кг                    | км     | г·см <sup>-3</sup> | км            | сут                  |                     |                         |
| <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             | 0.20                | ~ 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 <sup>†</sup> | 0.7                 | 13.5                    |

\* – для полнолуния или среднего противостояния внешних планет;

† – обратное вращение.

## §8. Формулы приближенного вычисления

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

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

$$\cos(x \pm \alpha) \approx \cos \alpha \mp x \sin \alpha;$$

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

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

здесь  $x \ll 1$ , все углы выражаются в радианах.