

**Всероссийская олимпиада школьников по астрономии**  
**Муниципальный этап, теоретический тур**  
**2021/2022 учебный год**  
**9 класс**

**Решения задач и критерии их оценивания**

**№ 1. «Одно примечательное зодиакальное созвездие...»**

**Условие.** Какое зодиакальное созвездие занимает наинизшее положение над горизонтом в момент своей верхней кульминации для жителя г. Самары? В какое время года его проходит Солнце? В какое время года его условия наблюдений являются наилучшими? Свой ответ поясните.

**Решение.** Как известно, высота светила в верхней кульминации (к югу от зенита), наблюдаемого в северном географическом полушарии, представляется в виде:

$$h_* = 90^\circ - \varphi + \delta_*, \quad (1)$$

здесь  $\varphi$  – широта места наблюдения ( $\varphi > 0$ ),  $\delta_*$  – склонение светила. Из последнего результата следует, что высота светила в верхней кульминации будет минимальна в случае, когда склонение данного светила принимает минимальное значение.

Эклиптика образует с небесным экватором угол  $\varepsilon = 23^\circ 26'$ . Минимального значения ( $\delta_\odot = -\varepsilon$ ) склонение Солнца достигает в день зимнего солнцестояния – 21-22 декабря каждого года. При этом Солнце пребывает в этот момент в созвездии Стрельца. Следовательно, именно данное созвездие занимает наинизшее положение над горизонтом в момент своей верхней кульминации для жителя г. Самары. Созвездие Стрельца проходит Солнце с 18.12 по 20.01 каждого года, т.е. зимой. Условия наблюдений данного созвездия являются наилучшими ровно через полгода, т.е. летом.

**Замечание.** Некоторые учащиеся могут полагать, что искомым созвездием является Скорпион (который действительно "близок", чтобы составить конкуренцию Стрельцу), но это неверный ответ! Поскольку, когда речь идет о целом созвездии, то имеет смысл говорить о некоторой средней точке созвездия (усредненной по склонениям точек созвездия). Границы созвездия Стрельца ограничены склонениями  $(-45.5^\circ, -12^\circ)$ , а у Скорпиона –  $(-45.5^\circ, -8^\circ)$ . Следовательно склонение средней точки созвездия Скорпиона должно быть больше склонения средней точки созвездия Стрельца. Значит, последний будет расположен ниже прочих зодиакальных созвездий в верхней кульминации.

**Ответ:** созвездие Стрельца; Солнце проходит зимой; наилучшие условия наблюдения достигаются летом.

**Рекомендации для жюри.**

| Выполненная часть решения задачи                                                                                           | Балл |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Определение связи высоты светила с его склонением                                                                          | 2    |
| Ориентация эклиптики по отношению к экватору + определение момента, когда склонение Солнца достигает минимального значения | 2    |
| Корректное определение искомого созвездия                                                                                  | 2    |
| Указание времени года, когда Солнце его проходит                                                                           | 1    |
| Указание времени года, когда достигаются наилучшие условия наблюдения                                                      | 1    |

**№ 2. «Прямое восхождение экваториальной звезды и звездное время»**

**Условие.** На каком большем круге должна располагаться экваториальная звезда, чтобы ее прямое восхождение а) было равно местному звездному времени? Отличалось от местного звездного времени б) на 6 часов? в) на 12 часов? Свой ответ поясните.

**Решение.** Как известно, местное звездное время определяется как часовой угол точки весеннего равноденствия:

$$s = t_{\gamma}.$$

С другой стороны, часовой угол  $t_{\gamma}$  (а значит и звездное время) можно определить как сумму часового угла ( $t_*$ ) и прямого восхождения ( $\alpha_*$ ) какой-либо звезды, в том числе и экваториальной:

$$t_{\gamma} = t_* + \alpha_* = s. \quad (2)$$

а) В момент времени, когда прямое восхождение звезды было равно местному звездному времени, ее часовой угол, очевидно, был равен нулю, т.е.  $t_* = 0$ . Значит, в этот момент эта звезда была расположена в южной точке экватора, в которой пересекаются два больших круга: небесный экватор и небесный меридиан. Значит, в случае а) ответ – небесный меридиан.

б) В момент времени, когда прямое восхождение звезды отличалось от местного звездного времени на 6 часов, согласно (2) модуль ее часового угла есть

$$|t_{\gamma}| = |s - \alpha_*| = 6 \text{ часов}, \Rightarrow t_{\gamma} = 6 \text{ часов или } 18 \text{ часов}, \quad (3)$$

что соответствует точкам Востока ( $E$ ) и Запада ( $W$ ). Данные точки – это точки пересечения трех больших кругов: математического горизонта, небесного экватора и первого вертикала. Значит, в случае б) ответ – математический горизонт и первый вертикал.

в) В момент времени, когда прямое восхождение звезды отличалось от местного звездного времени на 12 часов, согласно (2) модуль ее часового угла есть

$$|t_{\gamma}| = |s - \alpha_*| = 12 \text{ часов}, \Rightarrow t_{\gamma} = 12 \text{ часов}. \quad (4)$$

Данное значение часового угла соответствует северной точке экватора, которая является результатом пересечения двух больших кругов: небесного экватора и небесного меридиана. Значит, в случае в) ответ – небесный меридиан.

**Ответ:** а) и в) небесный меридиан; б) математический горизонт и первый вертикал.

#### **Рекомендации для жюри.**

| Выполненная часть решения задачи                                                          | Балл  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Установление связи между звездным временем, прямым восхождением звезды и ее часовым углом | 2     |
| Корректное определение большого круга(ов) в случае а)+б)+в)                               | 2+2+2 |

### **№ 3. «Путешествие вблизи экватора»**

**Условие.** Самарский путешественник, странствующий по океану на яхте вблизи экватора, использовал часы с будильником, идущие по самарскому декретному времени. В течение нескольких дней он наблюдал точно в один и тот же момент пробуждения по звонку будильника восход одной и той же звезды. В каком направлении и с какой скоростью двигался путешественник?

**Решение. 1.** Как известно, звездные сутки короче средних солнечных, их продолжительность составляет приблизительно 23 часа и 56 минут. За одни солнечные сутки (период времени между звонками будильника) Земля совершает 1.00274 оборота вокруг своей оси (или  $360.986^\circ$ ) относительно звезд, вращаясь с запада на восток.

**2.** Очевидно, скорости движения мореплавателя недостаточно для того, чтобы сделать за сутки один или несколько оборотов вокруг Земли, но он вполне может компенсировать  $0.986^\circ$ , сместившись на подобную величину на запад по долготе. Тогда по прошествии солнечных суток он окажется в том же положении относительно звезд и вновь увидит восход той же звезды по звонку будильника.

**3.** Определим полную протяженность земного экватора:

$$L_{\text{eq}} = 2\pi \mathfrak{R}_{\oplus}^{(\text{eq})} = 40076 \text{ км}, \quad (5)$$

здесь  $\mathfrak{R}_{\oplus}^{(\text{eq})}$  – средний экваториальный радиус Земли.

Определим протяженность дуги земного экватора, с углом раствора, равным  $0.986^\circ$ . Для этого составим пропорцию:

$$\left. \begin{array}{l} L_{\text{eq}} \rightarrow 360^\circ, \\ \ell \rightarrow 0.986^\circ \end{array} \right\} \Rightarrow \ell = L_{\text{eq}} \left( \frac{0.986^\circ}{360^\circ} \right) = 109.8 \text{ км.}$$

4. Чтобы преодолеть это расстояние за  $\tau_0 = 24$  часа, ему нужно двигаться со средней скоростью:

$$\bar{V} = \frac{\ell}{\tau_0} = 4.57 \text{ км/ч.} \quad (6)$$

**Ответ:** на запад, с средней скоростью (6).

*Рекомендации для жюри.*

| Выполненная часть решения задачи                                                                          | Балл |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Связь звездных и средних солнечных суток. Определение угла поворота Земли за одни средние солнечные сутки | 2    |
| Обоснованное определение направления движения путешественника                                             | 2    |
| Определение полной дуги экватора + дуги, соответствующей углу $0.986^\circ$                               | 1+1  |
| Расчет его средней скорости                                                                               | 2    |

#### № 4. «Фигура высшего пилотажа двух беспилотников Boeing»

**Условие.** Гиперзвуковой беспилотник Boeing X-43A – самый быстрый самолет в мире, летит на высоте 35 км над Землей, вдоль земного экватора, с запада на восток со скоростью 11850 км/ч. Его сопровождает беспилотный космический корабль многоцелевого использования Boeing X-37B так, что все время находится над самолетом. Последний движется вокруг Земли по круговой орбите, в экваториальной плоскости. Определите а) время, необходимое Boeing X-43A для совершения полного облета земного шара вдоль экватора, б) радиус орбиты Boeing X-37B, в) его орбитальную линейную скорость, г) расстояние между беспилотником и кораблем.

**Решение.** а) Согласно условию задачи, беспилотник Boeing X-43A движется со скоростью  $V_1' = 11850$  км/ч относительно точки на экваторе Земли, которая сама движется в ту же сторону за счет суточного вращения Земли. Скорость этого движения определяется формулой:

$$V_{\oplus} = \frac{2\pi \bar{\mathfrak{R}}_{\oplus}^{(\text{eq})}}{T_{\oplus}} = 465 \text{ м/с} = 1674 \text{ км/ч,} \quad (7)$$

здесь  $\bar{\mathfrak{R}}_{\oplus}^{(\text{eq})} = 6378.14$  км – средний экваториальный радиус Земли,  $T_{\oplus} = 86164$  с – продолжительность звездных суток. Скорость беспилотника Boeing X-43A относительно центра Земли:

$$V_1 = V_{\oplus} + V_1' = 13524 \text{ км/ч.} \quad (8)$$

Двигаясь с такой скоростью, беспилотник Boeing X-43A сделает полный оборот вокруг Земли за время:

$$T_1 = \frac{2\pi (\bar{\mathfrak{R}}_{\oplus}^{(\text{eq})} + h)}{V_1} = 2.980 \text{ ч,} \quad (9)$$

где  $h = 35$  км – высота беспилотника над поверхностью Земли. Чтобы постоянно находиться над беспилотником, космический корабль Boeing X-37B должен обращаться вокруг Земли в том же направлении и с тем же периодом  $T_1$ .

б) Радиус орбиты спутника вычисляется из обобщенного III закона Кеплера:

$$r = \sqrt[3]{\frac{G \mathfrak{M}_{\oplus} T_1^2}{4\pi^2}} = 10514 \text{ км.} \quad (10)$$

в) Орбитальную линейную скорость Boeing X-37B определяется выражением:

$$V_2 = \frac{2\pi r}{T_1} = 6.16 \text{ км/с.} \quad (11)$$

г) Расстояние между беспилотником и кораблем будет равно

$$d = r - (\mathfrak{R}_{\oplus}^{(eq)} + h) = 4100 \text{ км.} \quad (12)$$

**Ответ:** к задаче представлен выражениями (9)-(12).

**Рекомендации для жюри.**

| Выполненная часть решения задачи                                                                    | Балл |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Расчет времени, необходимого Boeing X-43A для совершения полного облета земного шара вдоль экватора | 2    |
| Вычисление радиуса орбиты Boeing X-37B                                                              | 2    |
| Расчет орбитальной линейной скорости Boeing X-37B                                                   | 2    |
| Вычисление расстояния между беспилотником и кораблем                                                | 2    |

#### № 5. «Средняя массовая плотность белого карлика»

**Условие.** Белый карлик имеет массу 0.6 от массы Солнца, светимость 0.001 от светимости Солнца и температуру, вдвое большую температуры Солнца. Во сколько раз его средняя плотность выше солнечной? *Максимальный балл – 8.*

**Решение.** Массу белого карлика (WD) и Солнца можно записать так:

$$\mathfrak{M}_{WD} = \rho_{WD} \frac{4\pi}{3} \mathfrak{R}_{WD}^3, \quad \mathfrak{M}_{\odot} = \rho_{\odot} \frac{4\pi}{3} \mathfrak{R}_{\odot}^3, \quad \Rightarrow \quad \frac{\mathfrak{M}_{WD}}{\mathfrak{M}_{\odot}} = \frac{\rho_{WD}}{\rho_{\odot}} \left( \frac{\mathfrak{R}_{WD}}{\mathfrak{R}_{\odot}} \right)^3, \quad \Rightarrow$$

$$\frac{\rho_{WD}}{\rho_{\odot}} = \left( \frac{\mathfrak{M}_{WD}}{\mathfrak{M}_{\odot}} \right) \left( \frac{\mathfrak{R}_{\odot}}{\mathfrak{R}_{WD}} \right)^3. \quad (13)$$

Т.о., для определения отношения плотностей белого карлика и Солнца необходимо определить отношение радиусов звезд. Для этого воспользуемся формулами для светимости:

$$L_{WD} = 4\pi \mathfrak{R}_{WD}^2 \sigma T_{WD}^4, \quad L_{\odot} = 4\pi \mathfrak{R}_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4, \quad \Rightarrow \quad \frac{L_{WD}}{L_{\odot}} = \left( \frac{\mathfrak{R}_{WD}}{\mathfrak{R}_{\odot}} \right)^2 \left( \frac{T_{WD}}{T_{\odot}} \right)^4, \quad \Rightarrow$$

$$\frac{\mathfrak{R}_{\odot}}{\mathfrak{R}_{WD}} = \sqrt{\frac{L_{\odot}}{L_{WD}}} \left( \frac{T_{WD}}{T_{\odot}} \right)^2. \quad (14)$$

Тогда искомое отношение  $\rho_{WD}/\rho_{\odot}$  можно записать так

$$\frac{\rho_{WD}}{\rho_{\odot}} = \left( \frac{\mathfrak{M}_{WD}}{\mathfrak{M}_{\odot}} \right) \left( \frac{L_{\odot}}{L_{WD}} \right)^{3/2} \left( \frac{T_{WD}}{T_{\odot}} \right)^6 = 1.21 \cdot 10^6. \quad (15)$$

**Ответ:** к задаче представлен выражением (15).

**Рекомендации для жюри.**

| Выполненная часть решения задачи                                                                                                          | Балл |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Установлена корректная аналитическая связь между отношением плотностей звезд и отношением их радиусов в виде (13)                         | 2    |
| Установлена правильная аналитическая связь между отношением радиусов звезд, отношением их светимостей и отношением температур в виде (14) | 2    |
| Представлено явное аналитическое выражение для отношения плотностей + выполнен корректный численный расчет                                | 2+2  |

#### № 6. «Свойства колец Сатурна и их далекое прошлое»

**Условие.** Одной из самых примечательных планет Солнечной системы является Сатурн. Его главная достопримечательность – гигантские кольца (с внутренним радиусом –  $R_1 = 6.70 \cdot 10^4$  км, внешним радиусом –  $R_2 = 1.368 \cdot 10^5$  км, толщиной  $h = 10$  м и альбедо  $A = 0.34$ ), расположенные в экваториальной плоскости планеты, которые почти полностью состоят из водяного льда плотностью  $\rho_1 = 840$  кг/м<sup>3</sup>. Настоящая масса вещества колец оценивается в  $3 \cdot 10^{19}$  кг. Определите,

а) среднюю объемную массовую плотность колец, б) поверхностную массовую плотность колец – массу вещества колец, приходящуюся на единицу площади их поверхности, в) их *пóристость* – долю объема пустот в общем объеме колец, г) минимальный радиус ледяного шарового спутника, породившего кольца в далеком прошлом, если его средняя массовая плотность была на 20% выше плотности ( $\rho_2 = 920 \text{ кг/м}^3$ ) водяного льда при нормальных условиях.

**Решение.** а) Согласно определению, *средней объемной массовой плотностью* колец называется величина, равная отношению массы колец ( $\mathfrak{M}_{\text{rings}} = 3 \cdot 10^{19} \text{ кг}$ ) к их объему  $V_{\text{rings}}$  (объему цилиндра):

$$V_{\text{rings}} = S_{\text{rings}} \cdot h = \pi(R_2^2 - R_1^2) h, \text{ где } S_{\text{rings}} = \pi(R_2^2 - R_1^2). \quad (16)$$

Тогда

$$\rho_{\text{rings}} = \frac{\mathfrak{M}_{\text{rings}}}{V_{\text{rings}}} = \frac{\mathfrak{M}_{\text{rings}}}{\pi(R_2^2 - R_1^2) h} = 67 \text{ кг/м}^3. \quad (17)$$

б) Определим *поверхностную массовую плотность колец* – массу вещества колец, приходящуюся на единицу площади их поверхности:

$$\sigma_{\text{rings}} = \frac{\mathfrak{M}_{\text{rings}}}{S_{\text{rings}}} = \frac{\mathfrak{M}_{\text{rings}}}{\pi(R_2^2 - R_1^2)} = 670 \text{ кг/м}^2. \quad (18)$$

в) Согласно определению, *пóристостью* колец называется доля, которую составляет объем ( $V_{\text{empt}}$ ) пустот от общего объема колец, т.е.

$$\chi = \frac{V_{\text{empt}}}{V_{\text{rings}}} = \frac{V_{\text{rings}} - V_{\text{ice}}}{V_{\text{rings}}} = 1 - \frac{V_{\text{ice}}}{V_{\text{rings}}} = 1 - \frac{\mathfrak{M}_{\text{rings}}/\rho_1}{\mathfrak{M}_{\text{rings}}/\rho_{\text{rings}}} = 1 - \frac{\rho_{\text{rings}}}{\rho_1} = 0.92 \text{ или } 92\%. \quad (19)$$

г) Вычислим минимальный радиус ледяного шарового спутника, породившего кольца в далеком прошлом, с учетом того, что его средняя массовая плотность была на 20% выше плотности водяного льда при нормальных условиях. Для этого запишем массу спутника, полагая ее равной современной массе колец, т.е.

$$\mathfrak{M}_{\text{sat}} = \mathfrak{M}_{\text{rings}} = (1 + 0.2)\rho_2 \cdot \frac{4}{3}\pi \mathfrak{R}_s^3, \Rightarrow \mathfrak{R}_s = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{\mathfrak{M}_{\text{rings}}}{1.2\rho_2}} = 186.5 \text{ км}. \quad (20)$$

**Ответ:** к задаче представляется выражениями (17)-(20).

**Рекомендации для жюри.**

| Выполненная часть решения задачи                                                              | Балл |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Вычислена средняя объемная массовая плотность колец                                           | 2    |
| Рассчитана поверхностная массовая плотность колец                                             | 2    |
| Вычислена пóристость колец                                                                    | 2    |
| Определен минимальный радиус ледяного шарового спутника, породившего кольца в далеком прошлом | 2    |

*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 | Период вращения вокруг оси    | Наклон экватора к плоскости орбиты | Геометрич. альbedo | Вид. звездная величина* |
|----------|-----------------------|-------------|--------|---------------|-----------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------|-------------------------|
|          | кг                    | массы Земли | км     | радиусы 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      | $243.019 \text{ сут}^\dagger$ | 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      | $17.24 \text{ час}^\dagger$   | 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 | 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               |

## §7. Характеристики некоторых спутников планет

| Спутник       | Масса                 | Радиус | Плотность          | Радиус орбиты | Период обращения     | Геометрич. альбедо | 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.

## Дополнительные справочные данные

§9. Освещенность, создаваемая звездой с видимой звездной величиной  $m = 0^m$

$$E_0 = 2.48 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2.$$