

**Всероссийская олимпиада школьников по астрономии**  
**Муниципальный этап, теоретический тур**  
**2024/2025 учебный год**  
**7 класс**

**Решения задач и критерии их оценивания**

**№ 1. «Астрономическая солянка (15 баллов)»**

**Условие.**

**I.** Какое из перечисленных созвездий является самым большим на небосводе? (3 балла)

**Варианты ответов:**

|          |                      |           |
|----------|----------------------|-----------|
| 1. Пегас | 2. Большая Медведица | 3. Дракон |
| 4. Гидра | 5. Кит               | 6. Дева   |

**II.** Какая из перечисленных звезд является самой яркой в южной полусфере небосвода? (3 балла)

**Варианты ответов:**

|           |            |                  |
|-----------|------------|------------------|
| 1. Сириус | 2. Канопус | 3. Ригил/Толиман |
| 4. Арктур | 5. Вега    | 6. Капелла       |

**III.** Какая планета Солнечной системы из перечисленных имеет наибольшую массу? (3 балла)

**Варианты ответов:**

|             |           |           |
|-------------|-----------|-----------|
| 1. Юпитер   | 2. Сатурн | 3. Уран   |
| 4. Меркурий | 5. Марс   | 6. Венера |

**IV.** Какой из перечисленных спутников классических планет Солнечной системы имеет наибольшие размеры? (3 балла)

**Варианты ответов:**

|             |           |            |
|-------------|-----------|------------|
| 1. Луна     | 2. Европа | 3. Ганимед |
| 4. Каллисто | 5. Ио     | 6. Титан   |

**V.** Галактики какого типа достигают самых больших размеров во Вселенной? (3 балла)

**Варианты ответов:**

|                  |                |               |                 |
|------------------|----------------|---------------|-----------------|
| 1. Эллиптические | 2. Линзовидные | 3. Спиральные | 4. Неправильные |
|------------------|----------------|---------------|-----------------|

**Решение.**

**I.** Самым большим созвездием на небосводе является созвездие Гидры (4).

**II.** Самой яркой звездой в южной полусфере небосвода является Сириус (1).

**III.** Самой массивной планетой Солнечной системы является Юпитер (1).

**IV.** Самым большим среди спутников классических планет Солнечной системы является Ганимед (3), крупнейший спутник Юпитера.

**V.** Самыми большими размерами во Вселенной обладают галактики эллиптического типа (1).

**Рекомендации для жюри.**

|                                         |             |
|-----------------------------------------|-------------|
| <b>Выполненная часть решения задачи</b> | <b>Балл</b> |
| За каждый правильный ответ              | 3(15)       |
| <b>Максимальный балл за задачу</b>      | <b>15</b>   |

## № 2. «Где истина? Где ложь? – Не разберешь! (30 баллов)»

### Условие.

I. Выберите все верные утверждения (3 балла за каждый верный ответ, штраф: –3 балла за каждый ложный ответ):

1. Лучшие условия для наблюдения Сириуса достигаются летом
2. Луна к Земле повернута всегда одной стороной
3. Марс является самой маленькой среди больших планет Солнечной системы
4. Главный пояс астероидов расположен между орбитами Юпитера и Сатурна
5. Синодический месяц Луны содержит более 4 земных недель
6. Большинство известных комет приходит к Солнцу из облака Оорта
7. Рассеянные скопления имеют большие размеры и массу, нежели шаровые скопления
8. Венера – самая горячая планета Солнечной системы.

II. Установите соответствие между астрономическим явлением (см. табл. 1) и частотой его появления (см. табл. 2). Ответ представьте парами: (буква, цифра). (3 балла за каждую правильно определенную пару)

|                              |                                      |                                            |
|------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|
| А) Восход Солнца в г. Самаре | Б) Новолуние                         | В) Приливы в морях и океанах Земли         |
| Г) Солнцестояние             | Д) «Великие» сближения Земли и Марса | Е) Эпоха нахождения Урана в созвездии Овна |

Таблица 1. Некоторые астрономические явления.

|             |              |            |
|-------------|--------------|------------|
| 1) 0.5 года | 2) 84 года   | 3) 15 лет  |
| 4) 1 сутки  | 5) 0.5 суток | 6) 1 месяц |

Таблица 2. Значения периодов некоторых периодических астрономических явлений.

### Решение.

I. Как известно, Сириус принадлежит зимнему созвездию Большой Пес. Следовательно оптимальные условия для его наблюдений достигаются зимой. Значит утверждение 1 является ложным.

Луна обладает синхронным вращением, т. е. ее период вращения вокруг своей оси равен периоду ее обращения вокруг Земли. Последнее условие обеспечивает постоянную ориентацию Луны по отношению к Земле лишь одним полушарием. Значит утверждение 2 является верным.

С использованием представленных справочных данных, легко убедиться в том, что самой маленькой планетой среди всех классических планет является Меркурий. Значит утверждение 3 является ложным. Главный пояс астероидов располагается между орбитами Марса и Юпитера, поэтому утверждение 4 является ложным.

Согласно справочным данным, синодический месяц Луны составляет 29.53 суток, а продолжительность земной недели – 7 дней. Разделив первое число на второе приходим к заключению, что данное отношение больше 4. Следовательно утверждение 5 является верным.

Шестое утверждение является верным, поскольку большинство комет, наблюдавшихся в прошлом, являлись долгопериодическими, пришедшими к нам из облака Оорта – самой периферийной части Солнечной системы.

Рассеянные звездные скопления всегда меньше шаровых по размерам и массе. Значит утверждение 7 является ложным.

У поверхности Венеры наблюдаются самые высокие температуры среди всех классических планет Солнечной системы, поэтому можно полагать, что утверждение 8 является верным.

II. Данную часть задачи можно решить методом последовательных исключений. Очевидно, восход Солнца в городе Самаре наблюдается каждые сутки. Следовательно имеем пару (А,4).

Новолуние повторяется каждый синодический месяц, продолжительность которого близка к 30 суткам, т. е. к месяцу. Значит имеем пару (Б,6).

Каждый год содержит летнее и зимнее солнцестояния, которые отстоят друг от друга на полгода. Следовательно имеем пару (Г,1).

Орбиты всех больших планет расположены приблизительно в одной плоскости – плоскости эклиптики. Последняя проходит через 13 созвездий, одним из которых является Овен. Эпоха нахождения Урана в данном созвездии повторяется через сидерический период его обращения вокруг Солнца, который составляет 84 года. Значит имеем пару (Е,2).

Приливы в морях и океанах Земли обусловлены гравитационным действием Луны и Солнца, а их повторяемость определяется периодом вращения Земли вокруг своей оси. Важно отметить, что данные небесные тела на поверхности Земли создают два приливных горба в ее диаметрально противоположных точках. В течение суток оба горба проходят данную точку поверхности Земли и каждый из них определяет повышение уровня воды в указанных бассейнах. Значит приливы в данном месте должны повторяться через 0.5 суток. Т. о., имеем пару (В,5).

«Великие» сближения Земли и Марса должны повторяться (от безысходности выбора) через 15 лет. Т. о., имеем пару (Д,3).

#### **Рекомендации для жюри.**

| Выполненная часть решения задачи                   | Балл          |
|----------------------------------------------------|---------------|
| За каждый правильный/неправильный ответ в пункте 1 | 3(12)/-3(-12) |
| За каждую правильно определенную пару в пункте 2   | 3(18)         |
| <b>Максимальный балл за задачу</b>                 | <b>30</b>     |

### **№ 3. «Великое противостояние Марса и сеансы связи с Mars Odyssey (19 баллов)»** **Условие.**

1. 28 августа 2003 года состоялось великое противостояние Марса. В эти сутки расстояние между Землей и Красной планетой достигло минимального значения –  $r_{\min} = 55.79$  млн км. В этот момент поверхность планеты активно исследовала американская орбитальная станция Mars Odyssey. Определите для этого события минимальную продолжительность  $\Delta t_{\min}$  сеанса связи (в минутах, до десятых долей), от момента послышки радиосигнала с поверхности Земли к станции и до момента приема ответного радиосигнала на Земле, если время приема и обработки сигнала, выполнения поставленной задачи, формирования ответного сигнала и отправки его на Землю аппаратурой станции составляло 3.8 минут. Скорость распространения радиоволн в космосе составляет 300000 км/с. (8 баллов)

2. Определите максимальную продолжительность  $\tau_{\text{vis}}$  (в часах, до десятых долей) прямой видимости Марса с позиции станции наблюдения, расположенной на земном экваторе? Известно, что видимый путь Марса по небосводу над горизонтом в сутки наблюдений соответствовал дуге окружности в  $180^\circ$ . (7 баллов)

3. Определите максимальное количество  $N_{\max}$  таких сеансов связи, которые можно было провести в течение промежутка времени  $\tau_{\text{vis}}$ ? (4 балла)

#### **Решение.**

1. Время распространения радиосигнала от поверхности Земли до поверхности Марса и обратно можно определить по формуле:

$$\tau_1 = \frac{2 \cdot r_{\min}}{c} = \frac{2 \cdot 55.79 \cdot 10^6 \text{ км}}{3 \cdot 10^5 \text{ км/с}} = 6.2 \text{ мин}, \quad (1)$$

здесь  $c = 300000$  км/с – скорость света в вакууме (5 баллов).

Минимальная продолжительность  $\Delta t_{\min}$  сеанса связи, от момента послышки радиосигнала с поверхности Земли к станции и до момента приема ответного радиосигнала на Земле можно определить так:

$$\Delta t_{\min} = \tau_1 + \tau_0 = 6.2 \text{ мин} + 3.8 \text{ мин} = 10.0 \text{ мин}, \quad (2)$$

здесь  $c = 300000$  км/с – скорость света в вакууме. (3 баллов)

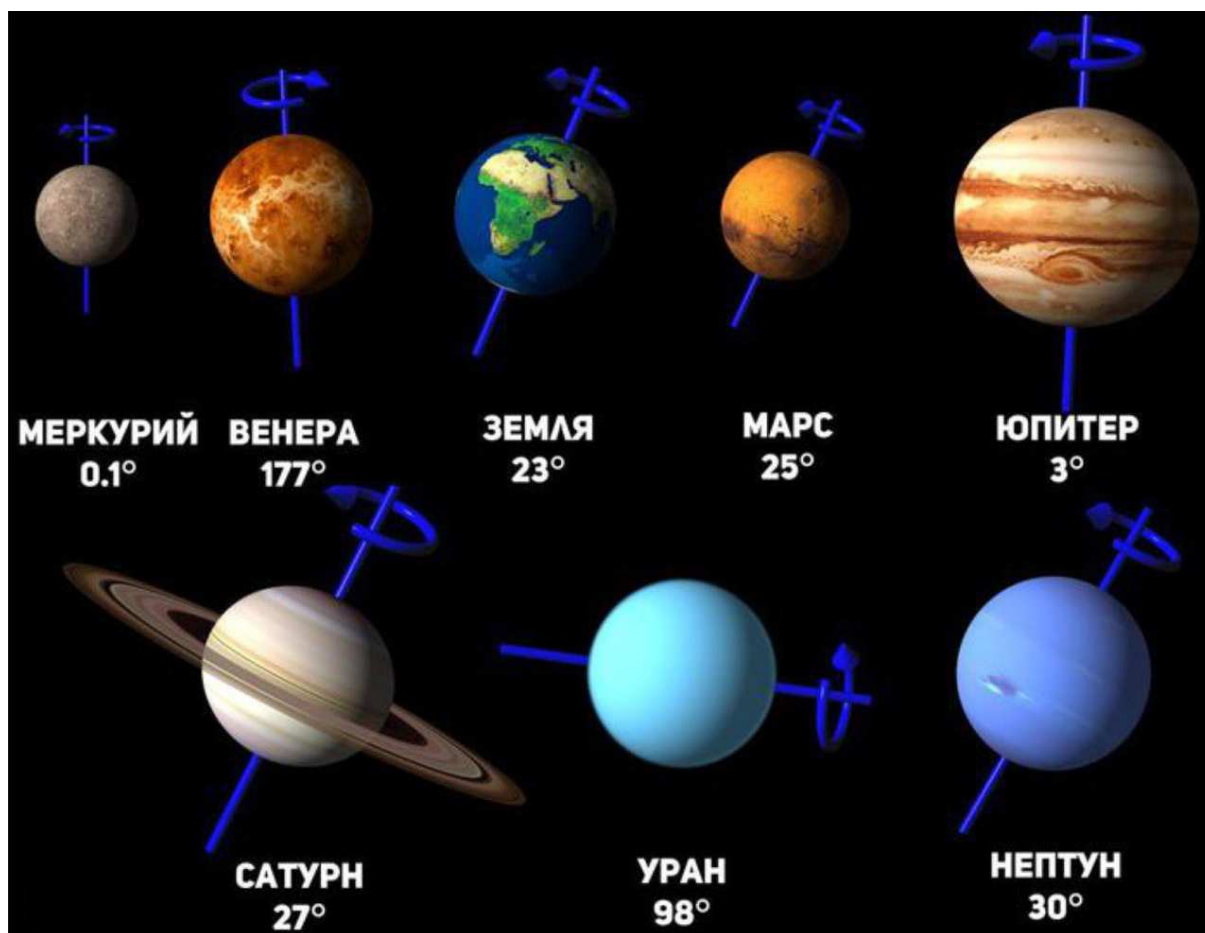


Рис. 1. К определению угла наклона экватора планеты к плоскости ее орбиты в случае 8 больших планет Солнечной системы.

2. Согласно условию задачи, в сутки наблюдений Марс над горизонтом описал дугу окружности протяженностью в  $180^\circ$ . В результате суточного вращения Земли все небесные тела по небосводу описывают окружности (протяженностью в  $360^\circ$ ) за 24 часа (3 балла). Значит дугу в  $180^\circ$  Марс должен был описать за  $1/2$  суток, т. е. за 12.0 часов. Последнее значение и есть максимальная продолжительность  $\tau_{\text{vis}}$ . (4 балла)

3. Максимальное количество  $N_{\text{max}}$  таких сеансов связи, которые можно было провести в течение промежутка времени  $\tau_{\text{vis}}$  можно записать так:

$$N_{\text{max}} = \left[ \frac{\tau_{\text{vis}}}{\Delta t_{\text{min}}} \right] = 72 \text{ сеанса.} \quad (3)$$

#### Рекомендации для жюри.

| Выполненная часть решения задачи                                                                                                                      | Балл      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| В пункте 1: корректно вычислены времена $\tau_1 + \Delta t_{\text{min}}$                                                                              | 5+3       |
| В пункте 2: явно указано на значение протяженности дуги, которую описывает небесное тело в течение одних суток+ получено значение $\tau_{\text{vis}}$ | 3+4       |
| В пункте 3: выполнен расчет максимального количества $N_{\text{max}}$ таких сеансов связи                                                             | 4         |
| <b>Максимальный балл за задачу</b>                                                                                                                    | <b>19</b> |

#### № 4. «О наклонах экваторов больших планет и не только (36 баллов)»

Условие. На рис. 1 представлены 8 больших планет с указанием их значений угла наклона  $\varepsilon$  экватора к плоскости орбиты.

Ответьте на следующие вопросы:

1. У какой классической планеты значение угла наклона наиболее близко к земному? (3 балла)

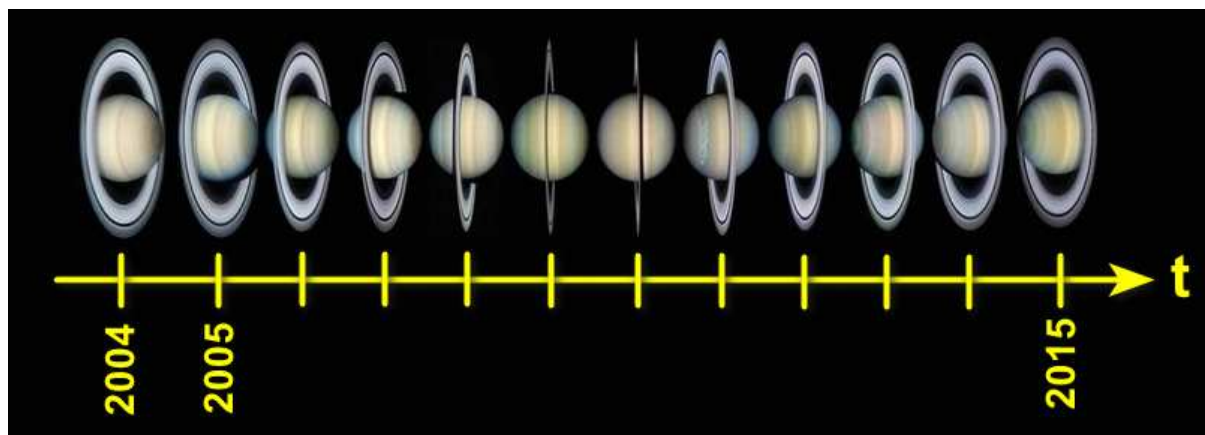


Рис. 2. Эволюция ориентации колец Сатурна в период 2004 ÷ 2015 гг. Образы планеты получены с периодичностью в 1 земной год.

2. Из теории планетологии известно, что если угол наклона удовлетворяет условию:

$$0^\circ \leq \varepsilon < 5^\circ, \text{ или } 175^\circ < \varepsilon \leq 180^\circ, \quad (4)$$

то на поверхности планеты не будет смены времен года. На поверхности каких классических планет нет смены времен года? (3 балла за каждый правильный ответ)

3. Специалисты говорят о *прямом вращении* планеты, если угол наклона удовлетворяет условию:  $0^\circ \leq \varepsilon \leq 90^\circ$ . В этом случае направления вращения планеты вокруг своей оси и ее обращения вокруг Солнца совпадают. Если угол наклона удовлетворяет условию:  $90^\circ < \varepsilon \leq 180^\circ$ , то говорят об *обратном вращении* планеты. В этом случае направления вращения вокруг своей оси и обращения вокруг Солнца обратны друг другу. Какие из указанных планет имеют обратное вращение? (3 балла за каждый правильный ответ)

4. В дни земных равноденствий Солнце проходит через плоскость экватора Земли. При этом на полюсах можно наблюдать полярный день, во всех других точках поверхности Земли продолжительность дня и ночи равны. На поверхности какой планеты каждые сутки в течение года наблюдается равноденствие? (4 балла)

5. Ориентация осей вращения планет в пространстве сохраняется с течением времени. Благодаря этому факту земляне могут наблюдать другие планеты в разных ракурсах (см. рис. 2). Так при наблюдении с Земли у Сатурна периодически «исчезают кольца» – по факту они перестают быть видимыми, поскольку их поверхность располагается вдоль луча зрения, к земному наблюдателю они ориентированы своей торцевой частью, которая не может быть разрешена с поверхности Земли, в силу большой удаленности планеты и малой толщины самих колец.

- а) Определите по рисунку: в каком году последний раз у Сатурна «исчезали» кольца? (4 балла)
- б) Через какой промежуток времени повторяется «исчезновение» колец? Период обращения планеты вокруг Солнца считайте равным 30 годам? (6 баллов)
- в) В каком ближайшем году произойдет очередное их «исчезновение»? (4 балла)

**Решение. 1.** Из рисунка видно, что наиболее близкое значение угла наклона к соответствующему земному наблюдается у Марса. (3 балла)

2. Очевидно, первому неравенству системы (4) удовлетворяют Меркурий и Юпитер, а второму неравенству – Венера. Значит на поверхностях данных планет отсутствует смена времен года. (9 баллов)

3. Очевидно, неравенству  $90^\circ < \varepsilon \leq 180^\circ$  удовлетворяют лишь Венера и Уран. Значит данные планеты обладают обратным вращательным движением вокруг своей оси. (6 баллов)

4. Из условия задачи ясно, что для наступления равноденствия Солнце должно располагаться в плоскости экватора планеты. Чтобы это выполнялось каждые планетарные сутки, необходимо чтобы Солнце каждые эти сутки располагалось в плоскости экватора планеты. Поскольку все

планеты движутся вокруг Солнца, то последнее условие возможно лишь в случае, когда плоскость экватора планеты совпадает с плоскостью ее орбиты. Другими словами угол наклона  $\varepsilon$  чрезвычайно мал или равен нулю. Практически данное условие выполняется лишь для Меркурия. (4 балла)

**5.а)** Из рис. 2 видно, что на седьмом образе Сатурна слева кольца расположены фактически вдоль луча зрения и почти не видны. Принимая во внимание данную шкалу времени, нетрудно убедиться в том, что данный образ отвечает 2010 году. (4 балла)

**5.б)** Чтобы кольца Сатурна «исчезли», необходимо чтобы Земля в этот момент располагалась в их плоскости. (2 балла) Поскольку ось вращения планеты сохраняет свою ориентацию в пространстве, то Земля должна попадать в плоскость колец, два раза в течение одного сидерического периода обращения Сатурна вокруг Солнца (2 балла), аналогично Солнцу, которое попадает в плоскость экватора Земли в дни равноденствий (которых, очевидно, два в одном земном году). Значит исчезновение колец происходит каждые 15 лет. (2 балла)

**5.в)** Зная периодичность «исчезновения» колец, нетрудно вычислить следующий год для данного феномена: 2010 год + 15 лет = 2025 год. Т. о., ближайшее «исчезновение» колец Сатурна произойдет в 2025 году. (4 балла)

*Рекомендации для жюри.*

| Выполненная часть решения задачи                                                                                                                                                                                                                                   | Балл      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Даны правильные ответы на первый + второй + третий + четвертый вопросы задачи                                                                                                                                                                                      | 3+9+6+4   |
| Правильно определена искомая дата в пункте 5.а)                                                                                                                                                                                                                    | 4         |
| Пункт 5.б): явно указано на положение Земли в плоскости колец Сатурна + правильно определено количество таких событий (2) в одном сидерическом периоде обращения Сатурна вокруг Солнца + представлено явно численное значение периода «исчезновения» колец Сатурна | 2+2+2     |
| Пункт 5.в): с использованием результатов предыдущих 2-х пунктов получена правильная ближайшая дата «исчезновения» колец                                                                                                                                            | 4         |
| <b>Максимальный балл за задачу</b>                                                                                                                                                                                                                                 | <b>36</b> |

*На решение задач данного тура Олимпиады школьникам отводится 2.5 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  $\alpha$  – частицы –  $m_\alpha = 6.645 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$
- 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 –  $1 \text{ пк} = 3.261 \text{ св. лет} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
- 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 сут
- Средняя орбитальная скорость –  $29.8 \text{ км/с}$
- Период вращения – 23 часа 56 минут 04 секунды
- Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000.0 –  $23^\circ 26' 21.45''$
- Экваториальный радиус –  $6378.14 \text{ км}$
- Полярный радиус –  $6356.77 \text{ км}$
- Средний (по объему) радиус –  $6371.01 \text{ км}$
- 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%), 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 сут
- Синодический период обращения – 29.530589 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 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 | 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.