

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

Решения задач и критерии их оценивания

№ 1. «Астрономическая солянка (15 баллов)»

Условие. I. Какое из перечисленных созвездий является самым маленьким на небосводе? (3 балла)

Варианты ответов:

1. Малый Конь	2. Стрела	3. Щит
4. Треугольник	5. Южный Крест	6. Сетка

II. Какая из перечисленных звезд является самой яркой в северной 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 наименьшую 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 наименьшие размеры? (3 балла)

Варианты ответов:

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

V. Галактики какого типа являются самыми массивными во Вселенной? (3 балла)

Варианты ответов:

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

Решение.

I. Самым маленьким созвездием на небосводе является созвездие Южного креста (5).

II. Самой яркой звездой в северной полусфере небосвода является Арктур (4).

III. Согласно справочным данным, планетой с самой маленькой массой среди представленных является Меркурий (4).

IV. Согласно справочным данным, спутником классической планеты Солнечной системы, имеющим минимальные размеры среди представленных, является Европа (2).

V. Самыми массивными галактиками во Вселенной являются галактики эллиптического типа (1).

Рекомендации для жюри.

Выполненная часть решения задачи	Балл
За каждый правильный ответ	3(15)
Максимальный балл за задачу	15

№ 2. «Истина и заблуждения в астрономии (26 баллов)»

Условие. I. Выберите все верные утверждения (2 балла за каждый верный ответ, штраф: –2 балла за каждый ложный ответ):

1. Лучшие условия для наблюдения Арктура достигаются весной
2. Луна может быть повернута к Земле любой стороной
3. Меркурий является самой маленькой среди больших планет Солнечной системы
4. Главный пояс астероидов расположен между орбитами Марса и Юпитера
5. Продолжительность земного года составляет более 13 синодических месяцев Луны
6. Большинство звезд, видимых как невооруженным глазом, так и в бинокли и небольшие телескопы, принадлежат не Млечному пути, а другим галактикам
7. Большинство астероидов состоят в основном из космических льдов, которые при приближении к Солнцу активно тают и формируют их кому и хвост
8. Нептун – планета Солнечной системы, в атмосфере которой дуют самые быстрые ветры.

II. Установите соответствие между атмосферным образованием (см. табл. 1) и небесным телом (см. табл. 2), в атмосфере которого оно наблюдалось/наблюдается. Ответ представьте парами: (буква, цифра). (3 балла за каждую правильно определенную пару)

А) Протуберанцы	Б) Большое красное пятно	В) Дожди из серной кислоты
Г) Большое темное пятно	Д) Серебристые облака	Е) Гигантский шестиугольник

Таблица 1. Некоторые атмосферные образования небесных тел.

1) Земля	2) Нептун	3) Юпитер
4) Венера	5) Солнце	6) Сатурн

Таблица 2. Большие планеты Солнечной системы.

Решение.

I. Как известно, Арктур принадлежит весеннему созвездию Волопас. Следовательно оптимальные условия для его наблюдений достигаются весной. Значит утверждение 1 является верным.

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 ложным.

С использованием представленных справочных данных, легко убедиться в том, что самой маленькой планетой среди всех классических планет является Меркурий. Значит утверждение 3 является верным.

Главный пояс астероидов действительно располагается между орбитами Марса и Юпитера, поэтому утверждение 4 является верным.

Согласно справочным данным, синодический месяц Луны составляет 29.53 суток, а продолжительность земного года – 365.26 суток. Разделив последнее число на первое приходим к заключению, что данное отношение меньше 13. Следовательно утверждение 5 является ложным.

Шестое утверждение является ложным, поскольку все звезды, видимые как невооруженным глазом, так и в бинокли, и небольшие телескопы, принадлежат именно Млечному Пути.

Большинство астероидов состоят в основном из скальных пород и содержат минимальное количество космических льдов или не содержат их вовсе. Значит утверждение 7 является ложным.

В атмосфере Нептуна дуют самые быстрые ветры, скорость которых близка к 600 м/с. Значит утверждение 8 является верным.

II. Данную часть задачи можно решить методом последовательных исключений. Известно, что Большое красное пятно наблюдается в атмосфере Юпитера. Следовательно имеем пару (Б,3).

Большое темное пятно наблюдалось в течение нескольких лет в атмосфере Нептуна. В итоге имеем пару (Г,2).

Протуберанцы представляют собой облака из холодной плазмы, регулярно наблюдающиеся в атмосфере Солнца. Значит имеем пару (А,5).

До настоящего момента серебристые облака наблюдались лишь в атмосфере Земли. В итоге имеем пару (Д,1).

Достоверно известно, что дожди из серной кислоты являются регулярным атмосферным явлением Венеры. Значит получаем пару (В,4).

Гигантский шестиугольник наблюдается в окрестности одного из полюсов Сатурна, в итоге (от безысходности выбора) имеем пару (Е,6).

Рекомендации для жюри.

Выполненная часть решения задачи	Балл
За каждый правильный/неправильный ответ в пункте 1	2(8)/-2(-8)
За каждую правильно определенную пару в пункте 2	3(18)
Максимальный балл за задачу	26

№ 3. «Экваториальный параллакс и суточный парсек (33 балла)»

Условие. 1. Годичный параллакс определяется как изменение направления на объект (например, звезду), связанное с движением Земли вокруг Солнца. Величина параллакса равна углу, под которым со звезды виден радиус земной орбиты, перпендикулярный лучу зрения. Расстояние от звезды до Солнца, для которой годичный параллакс равен $1''$, принято называть (годичным) **парсеком**.

Определите расстояние, с которого средний экваториальный радиус Земли (6378 км) будет виден под углом $1''$ (оставаясь при этом, как и в предыдущем случае, перпендикулярно лучу зрения). Последний логично назвать **суточным экваториальным парсеком**. Ответ представьте в а. е., округлив до сотых. (5 баллов)

2. Как известно, горизонтальный экваториальный параллакс Солнца составляет $8.79''$. Определите: для каких небесных тел (см. табл. 3) максимальное значение этого параллакса будет больше $1''$, а для каких меньше? В качестве ответа укажите название или букву небесного тела в соответствующей колонке табл. 4. (2 балла за каждый правильный ответ)

А) Меркурий	Б) Венера	В) Марс
Г) Нептун	Д) Большая Туманность Ориона	Е) Большое звездное скопление Геркулеса (М13)

Таблица 3. Некоторые атмосферные образования небесных тел.

Небесные тела, максимальное значение суточного параллакса которых	
может быть $\geq 1''$	всегда $< 1''$

Таблица 4. К распределению небесных тел в зависимости от максимальное значение их суточного параллакса.

3. Вычислите расстояния, между небесными телами, представленные в табл. 5 в суточных экваториальных парсеках. Полученные значения представьте в 4-й колонке табл. 5. (4 балла за каждое правильно вычисленное расстояние)

Решение. 1. Воспользуемся определением суточного горизонтального экваториального параллакса для небесного тела:

$$p_0'' = \frac{\bar{R}_{\oplus}}{\Delta} \times 206265'', \quad (1)$$

здесь $\bar{R}_{\oplus} = 6378$ км – средний экваториальный радиус Земли, Δ – геоцентрическое расстояние до небесного тела. Определим геоцентрическое расстояние Δ_0 , с которого $p_0'' = 1''$:

$$1'' = \frac{\bar{R}_{\oplus}}{\Delta_0} \times 206265'', \Rightarrow \Delta_0 = \bar{R}_{\oplus} \frac{206265''}{1''} = 1.316 \cdot 10^9 \text{ км} = 8.79 \text{ а. е.} \quad (2)$$

№	Расстояние между	r	R , сут. парсек
1	Солнцем и Землей	1 а. е.	
2	Землей и Марсом, в момент великого противостояния последнего в 2003 году	55.79 млн км	
3	Солнцем и Проксима Центавра (ближайшей к Солнцу звездой)	4.242 св. года	
4	Солнцем и центром Галактики	7.8 кпк	

Таблица 5. Известные расстояния между некоторыми телами и частями Галактики.

2. Т. о., если геоцентрическое расстояние до небесного тела составляет меньше 8.79 а. е., то его суточный параллакс будет больше $1''$. С использованием справочных данных, легко убедиться в том, что данному условию удовлетворяют Меркурий, Венера и Марс. Остальные небесные тела расположены на расстояниях, существенно больших указанного значения, и потому их суточные параллаксы гораздо меньше $1''$. В итоге имеем следующую заполненную таблицу:

Небесные тела, максимальное значение суточного параллакса которых может быть $\geq 1''$	
А, Б, В	Г, Д, Е

3. Выразим представленные расстояния в суточных парсеках. В случае №1 составим следующую пропорцию:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ сут. пк.} \rightarrow 8.79 \text{ а. е.} \\ x \text{ сут. пк.} \rightarrow 1.00 \text{ а. е.} \end{array} \right\} \Rightarrow x = \frac{1}{8.79} \text{ сут. пк.} = 0.114 \text{ сут. пк.}$$

В случае №2, с учетом результата для случая №1, составим следующую пропорцию:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.114 \text{ сут. пк.} \rightarrow 149.6 \text{ млн. км} \\ x \text{ сут. пк.} \rightarrow 55.79 \text{ млн км} \end{array} \right\} \Rightarrow x = 0.114 \times \frac{55.79}{149.6} \text{ сут. пк.} = 0.042 \text{ сут. пк.}$$

В случае №3, с использованием справочных данных, легко установить, что 1 св. год. = 63252 а. е. Значит расстояние

$$4.242 \text{ св. года} = 4.242 \times 63252 \times 0.114 \text{ сут. пк.} = 30588 \text{ сут. пк.}$$

В случае №4, с использованием справочных данных, имеем 1 пк = 206265 а. е. Тогда

$$7.8 \text{ кпк} = 7.8 \cdot 10^3 \times 206265 \times 0.114 \text{ сут. пк.} = 1.834 \cdot 10^8 \text{ сут. пк.}$$

В итоге имеем следующую заполненную таблицу:

№	Расстояние между	r	R , сут. парсек
1	Солнцем и Землей	1 а. е.	0.114
2	Землей и Марсом, в момент великого противостояния последнего в 2003 году	55.79 млн км	0.042
3	Солнцем и Проксима Центавра (ближайшей к Солнцу звездой)	4.242 св. года	30588
4	Солнцем и центром Галактики	7.8 кпк	$1.834 \cdot 10^8$

Таблица 6. Известные расстояния между некоторыми телами и частями Галактики.

Рекомендации для жюри.

Выполненная часть решения задачи	Балл
Корректный расчет суточного парсека в астрономических единицах	5
Правильно указано положение небесного объекта в предложенной таблице с обоснованием	2(12)
Корректное выражение предложенного расстояния в суточных парсеках	4(16)
Максимальный балл за задачу	33

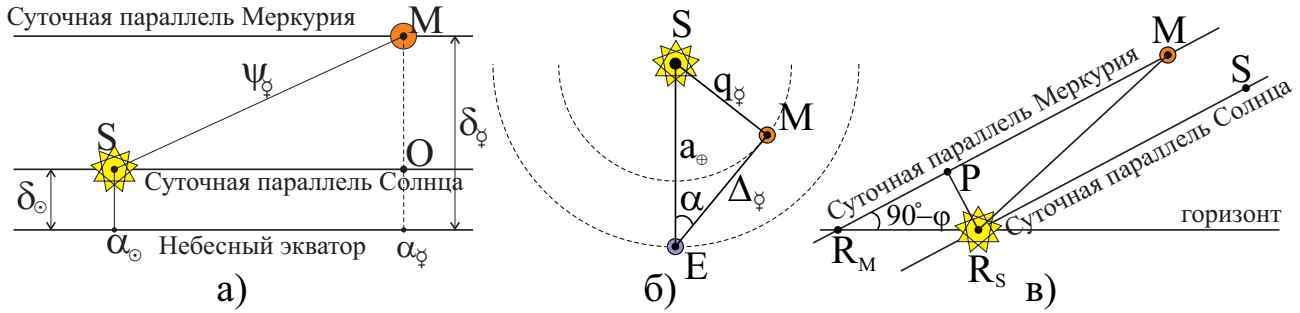


Рис. 1. К определению: а) углового расстояния между Солнцем и Меркурием; б) гелиоцентрического расстояния до Меркурия; в) продолжительности оптимальных условий видимости Меркурия 5 сентября 2024 года.

№ 4. «Благоприятные условия наблюдений Меркурия в сентябре 2024 года (26 баллов)»

Условие. В начале сентября 2024 года были благоприятными условия наблюдений Меркурия. При этом 5 сентября Меркурий достиг своей наибольшей западной элонгации, одновременно пребывая в *перигелии* – ближайшей точке своей орбиты по отношению к Солнцу. В момент наибольшей элонгации экваториальные координаты Меркурия были: $\alpha_{\text{М}} = 9^{\text{h}}48^{\text{m}}58^{\text{s}}$, $\delta_{\text{М}} = 13^{\circ}14'$. В тот же момент экваториальные координаты Солнца были: $\alpha_{\odot} = 10^{\text{h}}57^{\text{m}}28^{\text{s}}$, $\delta_{\odot} = 6^{\circ}40'$. Определите:

1. В какое время суток условия наблюдений Меркурия были благоприятными? (2 балла)

Время суток			
Утро	День	Вечер	Ночь

2. В какой преимущественно стороне горизонта располагался Меркурий в период, когда его условия наблюдений были оптимальными? (2 балла)

Стороны горизонта			
Юг	Запад	Север	Восток

Вычислите:

3. Угловое расстояние $\psi_{\text{М}}$ (в градусах, до десятых долей) между Солнцем и Меркурием в момент его наибольшей элонгации. (5 баллов)

4. Линейное расстояние (в а. е., до сотых долей) между Меркурием и Солнцем в тот же момент. Орбиту Земли считайте круговой. (5 баллов)

5. Линейное расстояние (в а. е., до сотых долей) между Меркурием и Землей в тот же момент. (5 баллов)

6. Определите продолжительность (в минутах, до целых) оптимальных условий видимости Меркурия в эти сутки в г. Самаре (широта: $\varphi_{\text{С}} = 53^{\circ}12'$, долгота: $\varphi_{\text{Д}} = 50^{\circ}06'$). (7 баллов)

Решение. 1-2. Меркурий является нижней планетой. В западной элонгации нижняя планета видна *утром* (2 балла) на *востоке* (2 балла), перед восходом Солнца.

3. Опираясь на явные значения экваториальных координат Солнца и Меркурия, нетрудно понять, что Меркурий расположен относительно близко к Солнцу. Следовательно угловое расстояние $\psi_{\text{М}}$ между данными телами на небосводе можно определить длиной гипотенузы плоского прямоугольного треугольника $\triangle SMO$ (см. рис. 1.а) с использованием теоремы Пифагора (5 баллов):

$$\psi_{\text{М}} = \angle SMO = \sqrt{(\angle SO)^2 + (\angle OM)^2} = \sqrt{(15^{\circ}/\text{час})^2(\alpha_{\odot} - \alpha_{\text{М}})^2 + (\delta_{\text{М}} - \delta_{\odot})^2} = 18.3^{\circ}. \quad (3)$$

4. В момент наибольшей элонгации Земля, Меркурий и Солнце в пространстве образуют прямоугольный треугольник (см. рис. 1.б). При этом прямой угол расположен в окрестности Меркурия. Воспользуемся определением синуса для острого угла $\alpha = \psi_{\text{М}}$ в прямоугольном треугольнике $\triangle SME$ (5 баллов):

$$\sin \alpha = \sin \psi_{\text{М}} = \frac{q_{\text{М}}}{a_{\oplus}}, \Rightarrow q_{\text{М}} = a_{\oplus} \cdot \sin \psi_{\text{М}} = 0.31 \text{ а. е.} \quad (4)$$

$q_{\text{З}}$ – гелиоцентрическое расстояние до Меркурия в перигелии; $a_{\oplus} = 1$ а. е. – радиус круговой орбиты Земли.

5. Из прямоугольного треугольника $\triangle SME$, с использованием теоремы Пифагора находим линейное расстояние между Меркурием и Землей в тот же момент (5 баллов):

$$\Delta_{\text{З}} = \sqrt{a_{\oplus}^2 - q_{\text{З}}^2} = 0.95 \text{ а. е.} \quad (5)$$

6. Для ответа на последний вопрос задачи рассмотрим рис. 1.в). В некоторый момент времени t_1 Меркурий восходит над горизонтом в точке R_M и движется вдоль своей суточной параллели. В момент времени t_2 Солнце восходит в точке горизонта R_S и движется далее вдоль своей суточной параллели над горизонтом. Продолжительность оптимальных условий видимости Меркурия в эти сутки в г. Самаре есть $\tau_{\text{З}} = t_2 - t_1$, т. е. промежуток времени, в течении которого планета находится над горизонтом, а Солнце – под горизонтом. В течение времени $\tau_{\text{З}}$ Меркурий проходит дугу $R_M \tilde{M}$. Определим ее угловую величину. Из рис. 1.в) очевидно, что $R_M \tilde{M} = R_M \tilde{P} + P \tilde{M}$. (1 балл) Из плоского $\triangle R_M P R_S$ следует, что (2 балла)

$$R_M \tilde{P} = P \tilde{R}_S \cdot \text{ctg}(90^\circ - \varphi_S), \Rightarrow R_M \tilde{P} = (\delta_{\text{З}} - \delta_{\odot}) \cdot \text{tg} \varphi_S = 8.78^\circ. \quad (6)$$

При записи последнего выражения учтено, что склонение Меркурия небольшое, а значит его суточная параллель образует фактически тот же угол, что и небесный экватор в окрестности точки востока. Величина дуги $P \tilde{M} = (15^\circ/\text{час}) \times (\alpha_{\odot} - \alpha_{\text{З}}) = 17.13^\circ$. (1 балл) Тогда $R_M \tilde{M} = 25.91^\circ$. (1 балл)

Видимое движение Меркурия по небосводу обусловлено лишь суточным вращением Земли, угловую скорость которого можно представить в виде (1 балл):

$$\omega_{\oplus} = \frac{360^\circ}{24 \text{ час}} = 15^\circ/\text{час}. \quad (7)$$

В итоге искомое время $\tau_{\text{З}}$ представляется в виде (1 балл):

$$\tau_{\text{З}} = \frac{R_M \tilde{M}}{\omega_{\oplus}} = 1.73 \text{ часа} = 104 \text{ мин.} \quad (8)$$

Рекомендации для жюри.

Выполненная часть решения задачи	Балл
Корректно определены время суток + сторона горизонта	2+2
Правильно определено угловое расстояние $\psi_{\text{З}}$ между Солнцем и Меркурием в момент его наибольшей элонгации	5
Найдено верное значение для линейного расстояния между Меркурием и Солнцем в тот же момент	5
Верно рассчитано линейное расстояние между Меркурием и Землей в тот же момент	5
Корректно определено общее выражение для дуги $R_M \tilde{M}$ + численное значение для дуг $R_M \tilde{P} + P \tilde{M} + R_M \tilde{M}$	1+2+1+1
Правильно вычислена угловая скорость суточного вращения Земли + искомое время	1+1
Максимальный балл за задачу	26

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 α – 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 К
- Средний горизонтальный параллакс – $8.794''$
- Интегральный поток энергии на расстоянии Земли – 1360 Вт/м^2
- Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли – 600 Вт/м^2

§3. Данные о Земле

- Эксцентриситет орбиты – 0.017
- Тропический год – 365.24219 сут
- Средняя орбитальная скорость – 29.8 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 км
- Полярный радиус – 6356.77 км
- Средний (по объему) радиус – 6371.01 км
- Масса – $5.974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
- Средняя плотность – $5.52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$
- Объемный состав атмосферы – N_2 (78%), O_2 (21%), Ar ($\sim 1\%$)

§4. Данные о Луне

- Среднее расстояние от Земли – 384400 км
- Минимальное расстояние от Земли – 356410 км
- Максимальное расстояние от Земли – 406700 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 [†]	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 [†]	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 ⁻³	км	сут		
Земля							
Луна	$7.348 \cdot 10^{22}$	1738	3.34	384400	27.32166	0.12	-12.7
Марс							
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
Юпитер							
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
Сатурн							
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
Уран							
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
Нептун							
Тритон	$2.14 \cdot 10^{22}$	1350	2.07	354800	5.87685 [†]	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.