

Всероссийская олимпиада школьников по астрономии
Муниципальный этап, теоретический тур
2025/2026 учебный год
7 класс

Решения задач и критерии их оценивания

№1. «Астромикс-7»

Условие.

I. На территории какого созвездия располагается северный полюс мира?

Варианты ответов:

1. Пегас	2. Большая Медведица	3. Дракон
4. Гидра	5. Малая Медведица	6. Дева

II. Какая из перечисленных звезд является второй по яркости звездой земного небосвода?

Варианты ответов:

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

III. Какая планета Солнечной системы является второй по величине плотности (в порядке убывания)?

Варианты ответов:

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

IV. Какой из перечисленных спутников классических планет Солнечной системы ближайший к Солнцу?

Варианты ответов:

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

V. Галактики какого типа являются самыми распространенными во Вселенной?

Варианты ответов:

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

Решение.

I. Северный полюс мира располагается на территории созвездия Малая Медведица (5).

II. Второй по яркости звездой земного небосвода является Канопус (2).

III. С использованием справочных данных, легко убедиться в том, что второй планетой Солнечной системы по величине плотности (в порядке убывания) является Меркурий (4).

IV. С использованием справочных данных, легко убедиться в том, что ближайшим к Солнцу спутником классической планеты Солнечной системы является Луна (1).

V. Самыми распространенными галактиками во Вселенной являются спиральные галактики (3).

Рекомендации для жюри.

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

№2. «"Слабое" звено-7»

Условие. Вашему вниманию ниже представлены 5 последовательностей, составленных из участков небосвода, небесных тел, небесных явлений и астрономических терминов. Определите в каждой цепочке «лишнее звено».

1. Козерог, Заяц, Овен, Близнецы, Весы, Рак;
2. Меркурий, Венера, Земля, Марс, Церера, Юпитер;
3. Радуга, гало, венец, молния, слияние черных дыр, gloria;
4. Антарес, Бетельгейзе, Гранатовая звезда Гершеля, Процион, Фегда, Плеяды;
5. Зенит, надир, полюс мира, точка юга, точка весеннего равноденствия, математический горизонт.

Решение.

1. Очевидно, первая последовательность представляет собой список из шести созвездий при этом пять из них являются зодиакальными. И лишь созвездие Зайца не принадлежит данной группе созвездий. Следовательно «лишнее звено» – созвездие Зайца.

2. Данная последовательность представляет собой группу планет, при этом 5 из них являются большими или классическими планетами. И лишь Церера является карликовой планетой. Следовательно, здесь «лишнее звено» – Церера.

3. Третья последовательность содержит в себе пять явлений атмосферы Земли и лишь одно явление глубокого космоса – слияние черных дыр. Очевидно, последнее явление является «лишним звеном» в этой последовательности.

4. Четвертая последовательность содержит названия 5 звезд. И лишь одно название соответствует рассеянному звездному скоплению. Это – Плеяды. Очевидно, оно и есть «лишнее звено».

5. Пятая последовательность содержит название пяти точек небосвода, определенных в рамках сферической астрономии. И лишь одно название – математический горизонт (это и есть «лишнее звено»), соответствует понятию большого круга.

Рекомендации для жюри.

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

№3. «Троянские астероиды-7»

Условие. На рис. 1 представлена схема взаимного расположения Солнца, Юпитера и двух групп троянских астероидов последнего: греков и троянцев.

1. На каком расстоянии от Солнца располагается группа астероидов "Троянцы", если радиус орбиты Юпитера равен 5.2 а. е.? Ответ представьте в астрономических единицах, округлив до десятых.

2. Чему равна разность времен распространения двух световых лучей по путям: 1) Солнце → Юпитер, 2) Солнце → Астероид Патрокл → Юпитер. Ответ представьте в минутах, округлив до десятых. Следует полагать, что размеры групп астероидов значительно меньше радиуса орбиты Юпитера.

3. Через какой промежуток времени группа астероидов "Троянцы" займет текущее положение Юпитера, если его сидерический период обращения равен 11.9 лет? Ответ представьте в годах, округлив до сотых.

4. Какое расстояние пройдет по орбите Юпитер за промежуток времени, определенный в предыдущем пункте? Ответ представьте в млн км, округлив до целых.

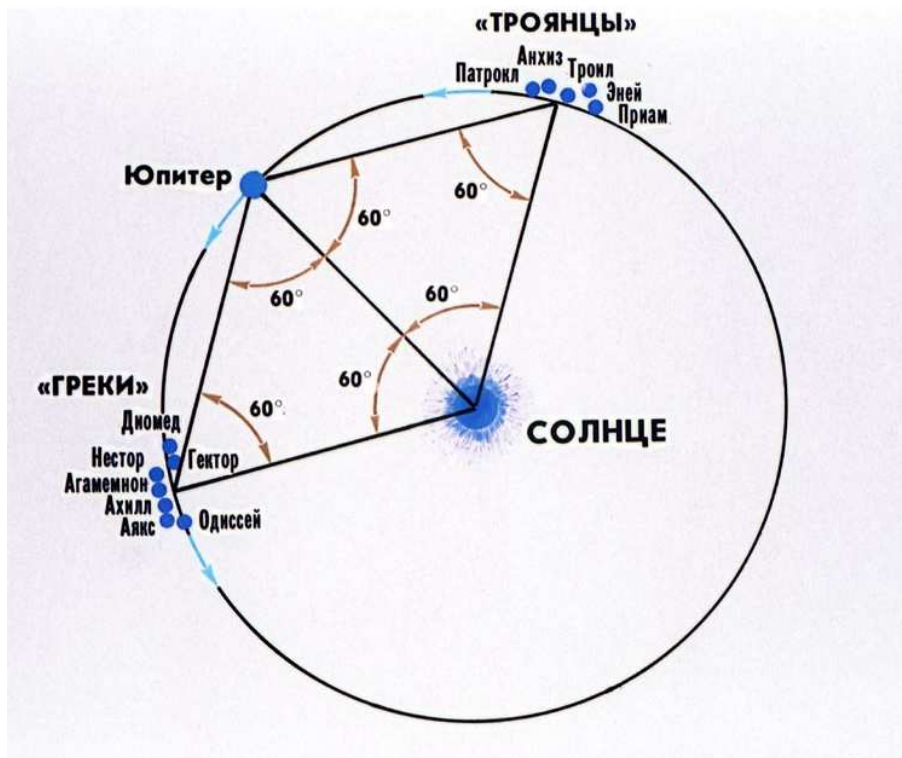


Рис. 1. К определению двух групп троянских астероидов Юпитера: греков и троянцев.

Решение.

1. Очевидно, что Юпитер, группа астероидов «Троянцы» и Солнце образуют равносторонний треугольник. На это указывает равенство всех углов треугольника. Поскольку чем больше угол раствора при вершине, тем больше противоположная сторона соответственно, значит из равенства углов следует равенство сторон треугольника. Следовательно, расстояния от Солнца до Юпитера и от Солнца до «троянцев» являются одинаковыми. Значит троянцы находятся на расстоянии 5.2 а. е. от Солнца.

2. Очевидно, что разность времен распространения двух световых лучей по указанным путям пропорциональна разности путей ($s_2 - s_1$). Последняя величина, очевидно, равна радиусу r_J орбиты Юпитера. Значит, искомая разность времен определится формулой:

$$\Delta t = \frac{(s_2 - s_1)}{c} = \frac{r_J}{c} = 43.2 \text{ мин.}$$

здесь c – скорость света в вакууме.

3. Согласно рисунку, астероиды группы «Троянцы», отстоят от Юпитера на 60° относительно центра Солнца. Данный угол составляет $1/6$ от угла, соответствующего всей дуге окружности. Следовательно, «Троянцы» окажутся на месте Юпитера через $1/6$ сидерического периода Юпитера, т. е. через 1.98 года.

4. Поскольку найденный промежуток времени составляет $1/6$ от сидерического периода обращения Юпитера, следовательно, за данный промежуток времени он пройдет $1/6$ от всей длины своей круговой орбиты. Значит, искомое расстояние будет

$$L = \frac{1}{6} \cdot 2\pi r_J = 5.45 \text{ а. е.} = 815 \text{ млн км.}$$

Рекомендации для жюри

Выполненная часть решения задачи	Балл
Обоснование, что треугольник "Солнце-Юпитер-Троянцы" является равносторонним + определение численного значения для расстояния	5 + 3

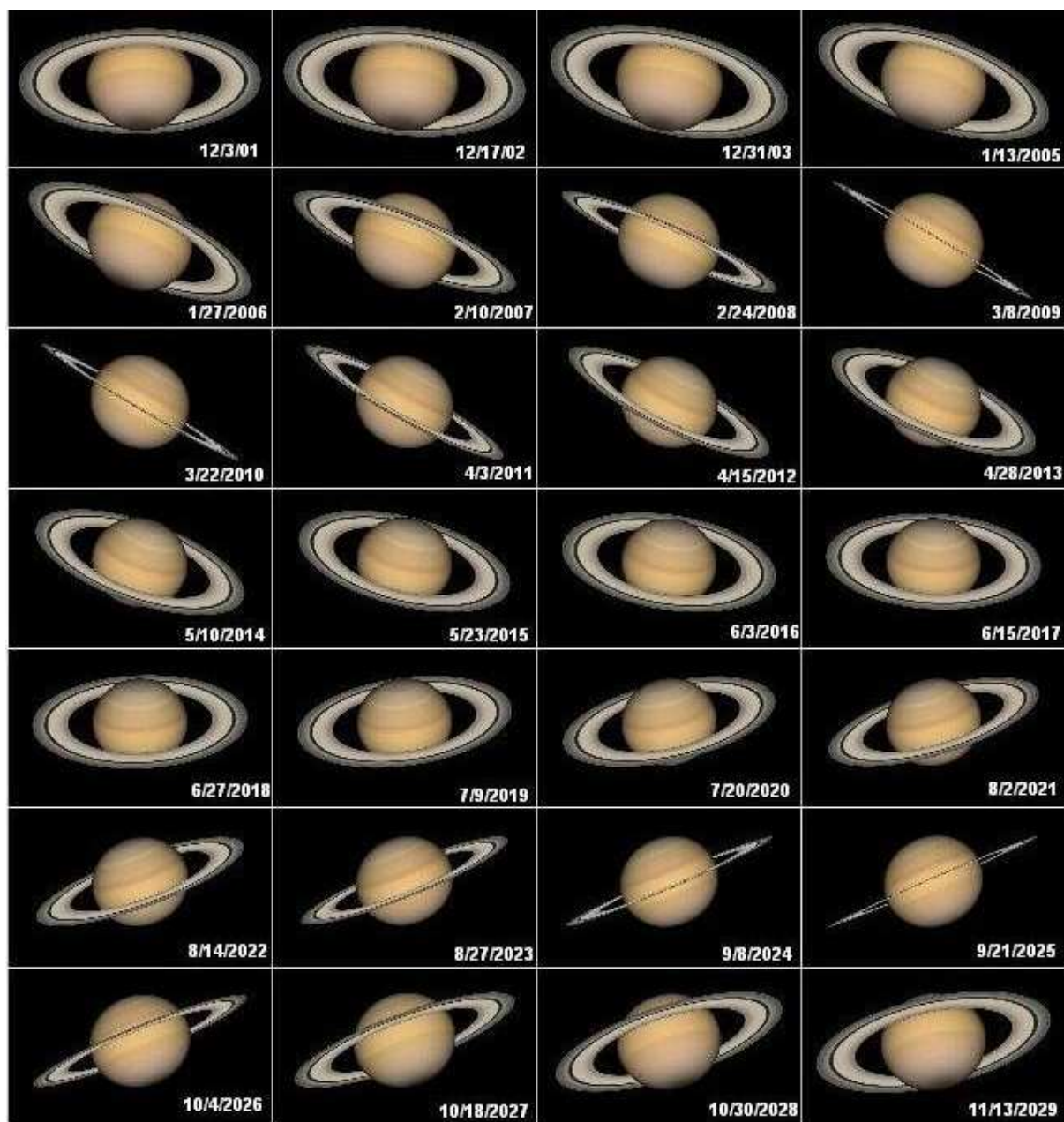


Рис. 2. К определению ориентации Сатурна и его колец по отношению к земному наблюдателю в моменты его противостояний в период 2001-2029 гг.

Рекомендации для жюри (продолжение)

Выполненная часть решения задачи	Балл
Определение разности расстояний, пройденных световыми лучами по двум альтернативным путям в терминах радиуса орбиты Юпитера + аналитическая формула + численный результат для искомого времени	5 + 3 + 3
Определение угла поворота троянцев, как доли от угла всей дуги окружности + определение искомого промежутка времени как доли от сидерического периода + численный расчет	3+2+3
Запись аналитической формулы для искомого расстояния + его численный расчет	3+3
Максимальный балл за задачу	33

№4. «Противостояния Сатурна и его кольца-7»

Условие. На рис. 2 представлены прямые образы Сатурна (на всех образах сверху расположен северный полюс планеты), полученные (симулированные) в моменты его противостояний в период 2001-2029 гг с позиции наблюдателя, расположенного в северном географическом полу-

шарии. Следует отметить, что кольца планеты расположены в плоскости экватора планеты. На каждом образе проставлена дата противостояния планеты в порядке: месяц/число/год. Определите:

1. В каком году отсутствовало противостояние планеты?
2. В какие годы Земля проходила через экваториальную плоскость планеты?
3. В какие годы планета с кольцами выглядела наиболее ярко в момент противостояния? Орбиты Сатурна и Земли считайте круговыми.
4. С использованием справочных данных и данного рисунка, определите внешний и внутренний радиусы внутреннего (В) и внешнего (А) колец Сатурна. Ответ представьте в тысячах километрах, округлив до целых.
5. С использованием результатов предыдущего пункта, определите угловые диаметры (в угловых секундах, до десятых) внешних границ колец А и В, а также планеты на уровне ее экватора, с позиции земного наблюдателя в момент ее противостояния.

Решение.

1. Из рисунка видно, что противостояние Сатурна отсутствовало в 2004 году. (2 балла)
2. Согласно условию задачи, плоскость колец Сатурна совпадает с экваториальной плоскостью планеты. Следовательно, в момент прохождения Земли через экваториальную плоскость планеты, Земля одновременно располагается в плоскости колец Сатурна. (1 балл) Значит, кольца планеты будут видны с торца. (1 балл) Поскольку толщина колец является пренебрежимо малой, в сравнении их диаметрами, то кольца в искомый момент, как правило, не видны с Земли. Очевидно, кольца планеты "исчезали" из поля зрения приблизительно в сентябре 2009 (середина интервала между датами 8 марта 2009 года и 22 марта 2010 года) (2 балла) и мае-августе 2025 года. (2 балла) Значит, Земля проходила через экваториальную плоскость планеты в 2009 и 2025 годах.
3. Сатурн выглядел наиболее ярко в момент противостояния в 2001 году (2 балла) и в 2017-2018 годах (2 балла), поскольку в эти годы кольца Сатурна были максимально раскрыты для земного наблюдателя и своими поверхностями (2 балла), отражающими солнечный свет, были ориентированы в его сторону. Очевидно, что чем больше видимая площадь колец, тем больше света они отражают. Значит, планета с кольцами будет выглядеть наиболее ярко.
4. Из таблицы справочных данных определяем линейный радиус Сатурна – 60268 км. (2 балла) Значит диаметр планеты равен $R_S = 120536$ км. С использованием линейки на данном рисунке, например, на первом изображении, измеряем экваториальный диаметр планеты (22 мм, Ваши значения могут отличаться от указанных!), а также диаметры внутренней (33 мм), внешней (43 мм) границ кольца В, внутренней (44 мм) и внешней (50 мм) границ кольца А. (5 баллов) Далее составляем пропорции вида: (8 баллов)

$$\left\{ \begin{array}{l} 120536 \text{ км} \rightarrow 22 \text{ мм} \\ x \text{ км} \rightarrow 33 \text{ мм} \end{array} \right\} \Rightarrow x = 120536 \text{ км} \times \frac{33}{22} = 180800 \text{ км.} \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 120536 \text{ км} \rightarrow 22 \text{ мм} \\ y \text{ км} \rightarrow 43 \text{ мм} \end{array} \right\} \Rightarrow y = 120536 \text{ км} \times \frac{43}{22} = 235600 \text{ км.} \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 120536 \text{ км} \rightarrow 22 \text{ мм} \\ t \text{ км} \rightarrow 44 \text{ мм} \end{array} \right\} \Rightarrow t = 120536 \text{ км} \times \frac{44}{22} = 241100 \text{ км.} \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 120536 \text{ км} \rightarrow 22 \text{ мм} \\ z \text{ км} \rightarrow 50 \text{ мм} \end{array} \right\} \Rightarrow z = 120536 \text{ км} \times \frac{50}{22} = 273950 \text{ км.} \quad (4)$$

Значит искомые радиусы внутренней и внешней границ кольца В есть $R_B^{(\text{внут})} = \frac{x}{2} = 90400$ км, $R_B^{(\text{внеш})} = \frac{y}{2} = 117800$ км, внутренней и внешней границ кольца А равен $R_A^{(\text{внут})} = \frac{t}{2} = 120600$ км, $R_A^{(\text{внеш})} = \frac{z}{2} = 137000$ км. (4 балла)

5. Угловые диаметры шарообразной планеты и внешних границ колец определяются формулами (2+2+2 балла):

$$\mathcal{D}_S'' = \frac{2 R_S}{\Delta} \cdot 206265'' = 19.4'', \quad \mathcal{D}_B'' = \frac{2 R_B^{(\text{внеш})}}{\Delta} \cdot 206265'' = 38.0'', \quad \mathcal{D}_A'' = \frac{2 R_A^{(\text{внеш})}}{\Delta} \cdot 206265'' = 44.2''.$$

При вычислении последних результатов, было использовано геоцентрическое расстояние Сатурна, равное разности круговых орбит Сатурна и Земли. С использованием справочных данных, легко убедиться, что данная величина равна $\Delta = 9.5388 - 1 = 8.5388$ а. е. $= 1.277 \cdot 10^9$ км.

Рекомендации для жюри.

Выполненная часть решения задачи	Балл
Даны правильные ответы на первый + второй + третий вопросы задачи	2+6+6
Правильно измерены по рисунку радиусы/диаметры границ колец и планеты + составлены пропорции + вычислены линейные радиусы границ	5+8+4
Вычислены угловые диаметры планеты+ внешних границ кольца В + кольца А	2+2+2
Максимальный балл за задачу	37

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.