

4. Какая из перечисленных звезд является ближайшей к Земле? (1 балл).
5. Оцените угловое расстояние между Сириусом и Канопусом на небесной сфере. (4 балла).

№2. «Чудесная природа комет»

Условие 1. На рис. 2 представлена фотография кометы с указанием основных элементов ее структуры. В табл. 2 даны названия этих элементов. Ответы на вопросы представьте: в пункте №1 парами: (цифра, буква); в пунктах № 2-4 – буквой/цифрой или названием термина из таблицы/рисунка; в пунктах №5-6 – десятичной дробью/в степенном виде.

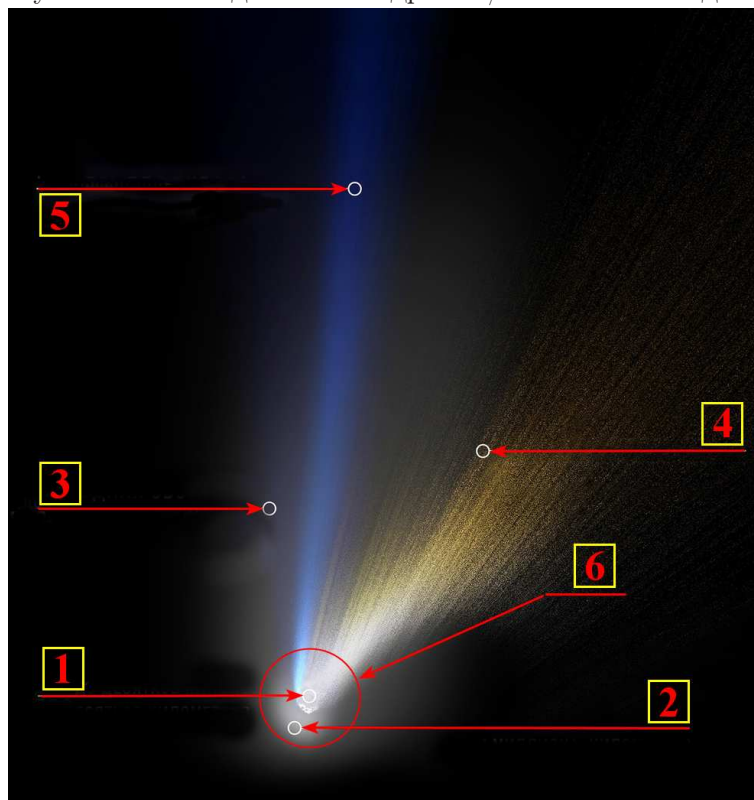


Рис. 2. К определению основных элементов структуры кометы.

А) Кома	Б) Ионный хвост	В) Пылевой хвост
Г) Водородная корона	Д) Ядро	Е) Голова

Таблица 2. Основные элементы в структуре кометы.

1. Установите соответствие между основными элементами в структуре кометы (отмеченными цифрами на рис. 2) и их названиями (представленными в табл. 2). (1 балл за каждый правильно названную пару)
2. В каком элементе структуры кометы (см. табл. 2) сосредоточено почти все ее вещество? (2 балла)
3. С использованием какого элемента структуры кометы (см. рис. 2) можно точно определить направление «на Солнце»? (2 балла)
4. Малые тела какого класса являются основным продуктом разрушения комет? (2 балла)

Некоторые классы малых тел Солнечной системы			
А) Астероиды Главного пояса	Б) Кентавры	В) Классические объекты пояса Койпера	Г) Метеороиды

Условие 2. Облако Оорта – гипотетическая сферическая область Солнечной системы, в которой большую часть времени «обитают» долгопериодические кометы. Внешняя часть облака

Оорта представляет собой сферический слой, центр внутренней и внешней границ которого совпадают с Солнцем, их радиусы равны 20 тыс. и 120 тыс. а. е. В этой области насчитывается около 10^{13} кометных ядер, характерный поперечный размер которых составляет 1.3 км. Заметим, что средняя массовая плотность вещества ядра составляет 500 кг/м^3 ; объем шара диаметром D определяется по формуле $V = \frac{\pi}{6} D^3$. Оцените:

5.а) Массу (в кг) ядра кометы. (3 балла)

5.б) Массу (в массах Земли) всех кометных ядер облака Оорта. (2 балла)

6. Среднее количество ядер облака Оорта, содержащихся в единице его объема. Ответ представьте в «кол-во ядер/(а.е.)³». (3 балла)

№3. «Две звезды над горизонтом»

Условие 1. В 00 часов 00 минут по гражданскому времени Самарской области с ее территории наблюдался восход одновременно двух звезд. Время пребывания первой звезды над горизонтом составило 12 часов, а вторая была видна лишь 2 минуты. Ответьте на следующие вопросы:

1. В окрестности какой точки горизонта взошла первая звезда? Вторая звезда? Свой выбор поясните. (2+2 балла)

А) Точка севера	Б) Точка востока	В) Точка юга	Г) Точка запада
-----------------	------------------	--------------	-----------------

2. По дуге какого большого круга перемещалась первая звезда в своем видимом движении? Свой выбор поясните. (2 балла)

А) Математический горизонт	Б) Вертикал звезды	В) Небесный экватор	Г) Эклиптика
Д) Первый вертикал	Б) Небесный меридиан	В) Круг склонения звезды	Г) Коллор равноденствий

3. Оцените разность азимутов точек восхода этих звезд. (3 балла)

4. Чему была равна угловая протяженность дуги большого круга, которую описала первая звезда над горизонтом? (2 балла)

5. Оцените моменты ближайших прохождений этих звезд через небесный меридиан по гражданскому времени Самарской области? (2+2 балла)

Условие 2. Рассматриваемые звезды являются близнецами Солнца. При этом первая расположена от Земли на расстоянии 27 пк, а вторая – на расстоянии 36 пк.

6. Определите линейное расстояние (в пк) между звездами 1 и 2. (3 балла)

7. В окрестности какой из трех звезд (Солнце, звезда 1, звезда 2) две другие звезды будут выглядеть наиболее яркими? (2 балла)

№4. «Изменение дальности прямой видимости в течение суток/жизни»

Условие 1. Как известно, *дальностью прямой видимости (ДПВ)* называется максимальное расстояние L от стоящего (в полный рост h) наблюдателя до точки на земном горизонте, которая еще доступна ему непосредственно в наблюдениях. Полагая, что свет в атмосфере Земли распространяется прямолинейно,

1. Постройте схематичный чертеж, с указанием Земли-шара, наблюдателя в полный рост и отрезка длины L , соответствующего ДПВ. (3 балла)

2. Получите аналитическую формулу для дальности прямой видимости, в случае Земли-шара радиуса $R_{\oplus} = 6371 \text{ км}$. (3 балла)

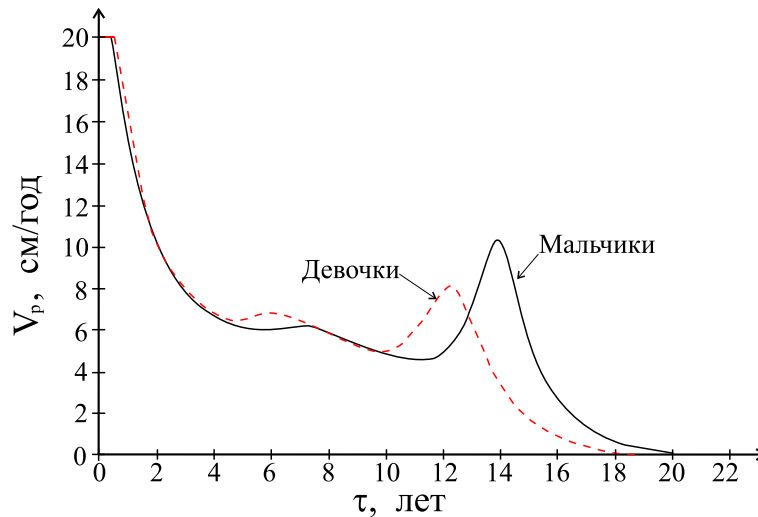


Рис. 3. Зависимость скорости изменения роста тела человека V_p от его возраста τ .

Условие 2. Взрослый человек, рост которого равен $H = 1.8$ м, соблюдает классический распорядок суток (ночью – спит, днем бодрствует, регулярно двигаясь пешком). Из курса «Физиология человека» известно, что рост такого человека в течение суток изменяется на величину $\delta h = 2$ см. Определите:

3. В какое время суток дальность прямой видимости для этого человека будет наибольшей? Свой ответ поясните. (2 балла)
4. Чему равна наибольшая ДПВ (в км до сотых долей), если рост человека в течение суток не превышает величину H ? (2 балла)
5. Оцените, на сколько метров (до целого) изменяется величина ДПВ в течение суток для взрослого человека роста H ? (4 балла)

Условие 3. В течение жизни рост человека меняется, а следовательно меняется и дальность прямой видимости. На рис. 3 представлен график зависимости скорости изменения роста человека (для мальчиков/девочек) от возраста.

6. Оцените рост мальчика в возрасте 1 год, когда он уже способен стоять на ногах в полный рост, если его рост в момент рождения был $h_0 = 58$ см. (4 балла)
7. Определите дальность прямой видимости для него. (2 балла)

№ 5. «Море Кракена и "подводная лодка" для Титана»

Условие 1. В 2006 году на поверхности Титана (крупнейшего спутника Сатурна), с помощью зонда «Кассини», было обнаружено крупнейшее углеводородное море – море Кракена, площадь поверхности которого составляет $S_0 = 5 \cdot 10^5$ км², а средняя плотность углеводородной жидкости – $\rho_0 = 0.52$ г/см³ (является несжимаемой жидкостью). Усредненная по всей площади поверхности бассейна глубина моря составляет $\bar{h} = 100$ м, а максимальная глубина – $h_{\max} = 300$ м. Определите:

1. Полный объем бассейна моря Кракена (в км³). (2 балла)
2. Общую массу (в кг) углеводородов, наполняющих бассейн. (2 балла) Какую долю данная величина составляет от массы Титана? (1 балл)
3. Определите максимальное давление (в кПа) на дно моря. (4 балла) Вам может оказаться полезной формула для ускорения свободного падения у поверхности небесного тела:

$$g_0 = \frac{G M}{R^2},$$

здесь G – универсальная гравитационная постоянная (см. раздел "Справочные данные"), M, R – масса и радиус небесного тела соответственно. Следует также учесть, что Титан имеет азотно-метановую атмосферу, давление которой у его поверхности равно $p_0 = 146.7$ кПа.

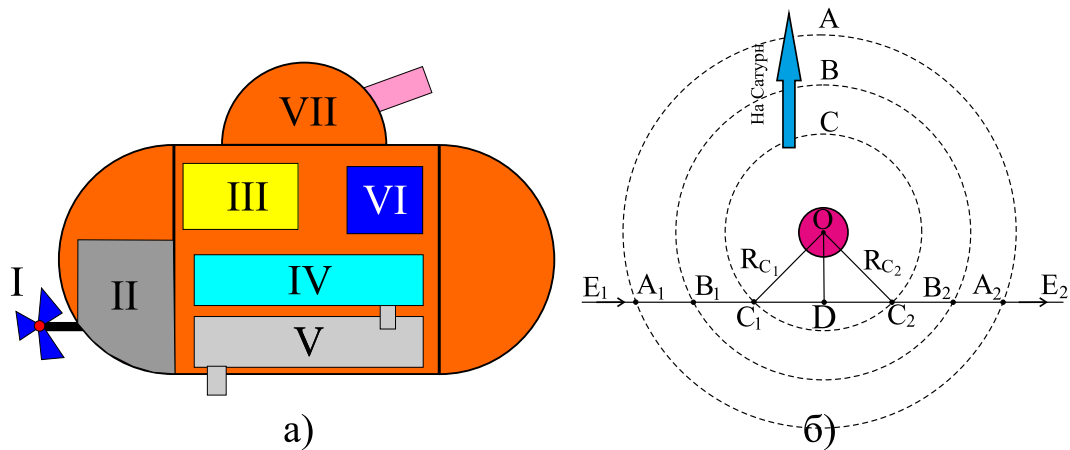


Рис. 4. К определению: а) структуры «подводной лодки» для исследования моря Кракена: $\boxed{\text{I}}$ – гребной винт, $\boxed{\text{II}}$ – электродвигательная установка, $\boxed{\text{III}}$ – атомный реактор, $\boxed{\text{IV}}$ – баллон с жатым газом, $\boxed{\text{V}}$ – резервуар для заполнения углеводородной жидкостью, $\boxed{\text{VI}}$ – электронно-аппаратная часть, $\boxed{\text{VII}}$ – шмоторная башня; б) радиусов пылевых колец Реи.

Условие 2. Для исследования глубин моря Кракена специалисты предлагают использовать «подводную лодку», модель которой представлена на рис. 4.а). Для погружения лодки необходимо выполнить забор морской жидкости в резервуар $\boxed{\text{V}}$. Определите:

4. Минимальный объем (в литрах, округлив до целого) резервуара $\boxed{\text{V}}$ для погружения подводной лодки на глубину, если ее снаряженная масса с данным пустым резервуаром составляет $m_0 = 1600$ кг, а ее полный объем – $V_{\text{tot}} = 3.5$ м³. (3 балла)

Условие 3. Для всплытия подводной лодки используется сжатый атмосферный газ, забираемый в резервуар $\boxed{\text{IV}}$, непосредственно перед погружением, под повышенным давлением.

5. С какой максимальной глубины (выраженной в метрах) сможет всплыть данный аппарат, если вытеснение жидкости из резервуара $\boxed{\text{V}}$ совершается сжатым газом, максимальное давление для которого составляет $p_{\text{max}}^{(g)} = 250$ кПа. Следует полагать, что атмосферный газ в жидкости моря не растворяется. (3 балла)

6. Определите минимальную мощность атомного реактора такой «субмарины», способного обеспечить продолжительное движение судна на фиксированной глубине с постоянной скоростью $v_0 = 9$ км/ч. Следует полагать, что КПД атомного реактора+электродвигательной установки составляет 70%. Сила сопротивления движению «субмарины» со стороны жидкой среды моря определяется выражением:

$$F_r = \frac{1}{2} C_d \rho S v^2,$$

здесь $C_d = 0.35$ – безразмерный коэффициент сопротивления, ρ – плотность среды, в которой движется рассматриваемое тело, $S = 1.2$ м² – площадь поперечного сечения судна (по отношению к направлению его движения); v – скорость движения судна относительно среды. (5 баллов)

№6. «Основные свойства колец Реи»

Условие 1. В 2008 году было объявлено о "непрямом открытии" пылевых колец у Реи (второго по размерам и массе спутника Сатурна) с помощью КА "Кассини". Открытие было сделано с использованием "эффекта тени", наблюдавшегося в потоке электронов, движущихся от Сатурна и регистрируемых КА. Когда КА проходил мимо Реи по прямолинейной траектории (см. рис. 4.б), по другую сторону от Сатурна, в точках $A_1, B_1, C_1, A_2, B_2, C_2$ его траектории отчетливо наблюдалась тень от колец. Используя известные данные наблюдений $OD = 1251$ км, $t_D = 22^{\text{h}}37^{\text{m}}39^{\text{s}}$ – момент прохождения КА через точку D – центр тени Реи, значения моментов времени пребывания КА в указанных точках (см. табл. 3) и скорости движения аппарата $v = 7.272$ км/с относительно Реи, определите:

Кольцо А		Кольцо В		Кольцо С	
Точки орбиты КА					
А ₁	А ₂	В ₁	В ₂	С ₁	С ₂
Моменты времени нахождения КА в точках его орбиты					
22 ^ч 34 ^м 06 ^с	22 ^ч 41 ^м 27 ^с	22 ^ч 34 ^м 44 ^с	22 ^ч 40 ^м 45 ^с	22 ^ч 35 ^м 18 ^с	22 ^ч 40 ^м 00 ^с

Таблица 3. К определению моментов времени нахождения КА в точках А₁, А₂, В₁, В₂, С₁, С₂.

1. Два значения радиуса (в км) и их среднее арифметическое для каждого кольца (А, В, С) Реи. (6 баллов)

2. Линейные орбитальные скорости (в км/с) частиц колец А, В, С, если данная величина определяется формулой вида:

$$V = \sqrt{\frac{GM}{R}}, \quad (1)$$

здесь G – универсальная гравитационная постоянная (см. раздел "Справочные данные"), M – масса небесного тела, вокруг которого совершает движение частица-спутник по круговой орбите радиуса R . (3 балла)

3. Получите формулу для орбитального периода обращения частицы кольца вокруг Реи. Вычислите данную величину (в сутках) в случае частиц колец А, В, С. (5 баллов)

Условие 2. Как известно, частица является извечным спутником массивного тела, если ее орбита расположена целиком внутри сферы Хилла для данного массивного тела, т. е. радиус орбиты R не больше радиуса R_{Hill} данной сферы:

$$R \leq R_{\text{Hill}} = a_{\text{Rhea}} \sqrt[3]{\frac{1}{3} \frac{M_{\text{Rhea}}}{M_{\text{J}} + M_{\text{Rhea}}}}, \quad (2)$$

здесь M_{J} , M_{Rhea} – масса Сатурна и Реи соответственно, a_{Rhea} – радиус орбиты последней относительно Сатурна.

4. Проверьте, являются ли частицы данных колец извечными спутниками Реи? (2 балла)

Условие 3. Предположим, что данные кольца образовались в результате приливного разрушительного действия Реи на пористое тело с низкой массовой плотностью, вошедшее внутрь сферы, центр которой совпадает с центром Реи, а ее радиус равен *пределу Роша* – минимальному радиусу круговой орбиты этого тела, на которой приливные силы, вызванные гравитацией Реи, равны силам самогравитации этого тела и последний еще может сохранять свою целостность. Предел Роша можно определить формулой вида:

$$R_{\text{Roche}} = \mathfrak{R}_{\text{Rhea}} \sqrt[3]{\frac{2\rho_{\text{Rhea}}}{\rho}}, \quad (3)$$

здесь $\mathfrak{R}_{\text{Rhea}}$ – радиус Реи; ρ_{Rhea} , ρ – средние массовые плотности Реи и данного тела соответственно.

5. Оцените максимальное значение средней массовой плотности данного тела ρ , если место его крушения соответствует современному местоположению колец. (4 балла)

На решение задач данного этапа Олимпиады участникам 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 – $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
- Световой год – $1 \text{ св. г.} = 9.461 \cdot 10^{15} \text{ м}$
- Постоянная Хаббла – $H = 70.0 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$

§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 визуальная звездная величина – -26.74^m
- Видимая болометрическая звездная величина – -26.80^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 – $23 \text{ часа } 56 \text{ минут } 04 \text{ секунды}$
- Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000.0 – $23^\circ 26' 21.45''$
- Экваториальный радиус – 6378.14 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 – 363300 км
- Максимальное расстояние от Земли – 405500 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 г·см ⁻³	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты градусы	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 градусы	Период обращения	Синодический период сут
	млн. км	а.е.				
Меркурий	57.9	0.3871	0.2056	7.004	87.97 сут	115.9
Венера	108.2	0.7233	0.0068	3.394	224.70 сут	583.9
Земля	149.6	1.0000	0.0167	0.000	365.26 сут	–
Марс	227.9	1.5237	0.0934	1.850	686.98 сут	780.0
Юпитер	778.3	5.2028	0.0483	1.308	11.862 лет	398.9
Сатурн	1429.4	9.5388	0.0560	2.488	29.458 лет	378.1
Уран	2871.0	19.1914	0.0461	0.774	84.01 лет	369.7
Нептун	4504.3	30.0611	0.0097	1.774	164.79 лет	367.5

§7. Характеристики некоторых спутников планет

Спутник	Масса	Радиус	Плотность	Радиус орбиты	Период обращения	Геометрич. альбе-до	Вид. звездная величина*
	кг	км	г·см ⁻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.