

Условия задач
Открытой межрегиональной олимпиады
по астрономии имени Ф.А. Бредихина
10-11 класс

№ 1. «Основные зоны в теле Солнца и их свойства»

Условие. На рис. 1 представлена структура Солнца с указанием его основных зон (без сохранения масштаба!). В табл. 1 даны названия этих зон (областей). Ответы на вопросы представьте: в пунктах №1 парами: (цифра, буква); в пунктах № 2-5 – буквой или названием термина из таблицы, в пункте №6 – целым числом.

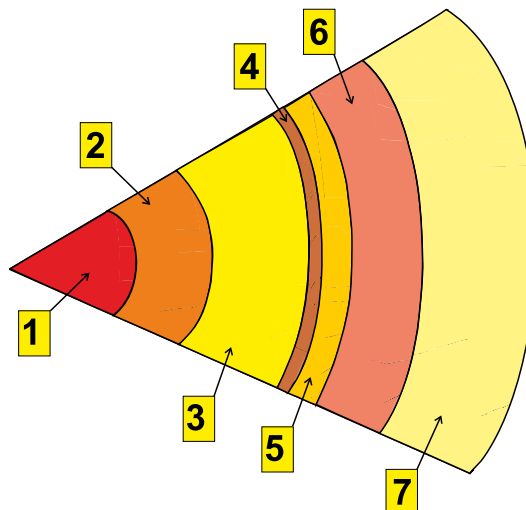


Рис. 1. К определению структуры Солнца.

1. Установите соответствие между основными зонами в теле Солнца (отмеченными цифрами на рис. 1) и их названиями (представленными в табл. 1). (1 балл за каждую правильно названную пару)

2. Какие из представленных областей в теле Солнца составляют его атмосферу? (1 балл за каждую правильно названную зону)

3. В какой области Солнца находится основной источник энергии Солнечной системы? (2 балла)

4. Какая область в теле Солнца имеет наименьшую протяженность вдоль направления "от центра Солнца"? (2 балла)

5. На границе каких двух областей располагается *тахоклин* – область в теле Солнца, которая считается ответственной за генерацию его глобального магнитного поля? (2 балла)

6. Оцените скорость выхода (в км/с) частиц солнечного ветра из фотосферы Солнца, если их скорость на орбите Земли составляет $V_{\oplus} = 400$ км/с. Следует считать, что изменение скорости частиц обусловлено лишь их гравитационным взаимодействием с Солнцем. (3 балла)

А) Переходный слой	Б) Лучистая зона	В) Хромосфера	Г) Конвективная зона
Д) Ядро	Е) Корона	Ж) Фотосфера	–

Таблица 1. Названия основных зон в теле Солнца.

№ 2. «Яркое трио Солнечной системы»

На рис. 2 представлена фотография-коллаж Луны и двух планет-гигантов Солнечной системы, полученная жителем северного географического полушария. Ответьте на следующие вопросы:

1. В какой конфигурации располагались планеты-гиганты в момент съемки, если угол элонгации Луны относительно Солнца в этот момент был равен точно 90° ? (2 балла)

Основные конфигурации классических планет Солнечной системы			
А) Восточная элонгация	Б) Верхнее соединение	В) Противостояние	Г) Восточная квадратура
Д) Западная элонгация	Е) Нижнее соединение	Ж) Соединение	З) Западная квадратура



Рис. 2. Луна и планеты-гиганты Солнечной системы.

2. Оцените линейное расстояние (в астрономических единицах) между Юпитером и Сатурном в момент съемки. (3 балла)
3. Оцените дату съемки, если угловое расстояние между планетами в момент (21.12.2020) их великого соединения¹ составило 6 угловых минут. Орбиты всех классических планет и Луны считать круговыми и лежащими приблизительно в одной плоскости. (6 баллов)
4. Оцените даты противостояний Юпитера и Сатурна в 2020 году. (6 баллов)
5. Оцените минимальный промежуток времени, через который повторяются такие великие соединения указанных планет-гигантов. (3 балла)

№ 3. «Одинокий "Властелин колец"»

Предположим, что в результате некоторого катастрофического события все классические планеты, кроме Сатурна, покинули Солнечную систему без использования источников энергии, расположенных вне Солнечной системы. Определите:

1. Радиус новой орбиты Сатурна + период его обращения вокруг Солнца. (6+2 балла)
2. В каком направлении при этом переместился центр масс системы «Солнце-Сатурн» по отношению к материнской звезде? Внутри или вне тела Солнца будет располагаться центр масс системы после катастрофы? (1+3 балла)
3. Во сколько раз в результате катастрофы изменится вероятность принципиальной возможности обнаружения Сатурна транзитным методом (в случае центрального транзита) с позиции гипотетического наблюдателя, расположенного вдали от Солнечной системы? (5 баллов)

¹ *Великое соединение* – соединение планет Юпитера и Сатурна, когда видимое положение этих двух планет на небесной сфере наиболее близко друг к другу.

4. Какова максимальная вероятность регистрации центрального транзита Сатурна по диску Солнца на новой орбите в данный момент времени наблюдателем, для которого выполняется условие принципиальной возможности его регистрации? (3 балла)

Орбиты всех планет считать круговыми. Межпланетными взаимодействиями следует пренебречь. Влиянием колец на явление транзита пренебречь.

№ 4. «Эволюция системы "Земля-Луна"»

В результате многолетних исследований океанических приливов на поверхности Земли было установлено, что Луна удаляется от Земли, при этом все вращательные движения данных тел замедляются, а в будущем будут полностью синхронизированы в результате приливного взаимодействия данных тел, т.е. будут определяться лишь одним периодом. Оцените:

1. Продолжительность звездных суток на Земле после синхронизации всех вращательных движений. Следует полагать, что оси всех вращательных движений данных тел сонаправлены в пространстве. (8 баллов)

2. Чему будет равен радиус круговой орбиты Луны относительно Земли после синхронизации их вращательных движений? (1 балл)

3. Максимальную продолжительность полной фазы центрального теневого лунного затмения в процессе отдаления Луны от Земли, если известно, что этот момент должен наступить до синхронизации системы «Земля-Луна». (3 балла) Чему при этом равны радиус орбиты Луны и период ее обращения вокруг Земли? (1+2 балла)

4. Максимальную продолжительность всех фаз центрального теневого лунного затмения (от момента начала погружения в тень Земли и до момента окончания выхода из нее) в процессе отдаления Луны от Земли, если известно, что этот момент должен наступить до синхронизации системы «Земля-Луна». (2 балла) Чему при этом будут равны радиус орбиты Луны и период ее обращения вокруг Земли? (1+2 балла)

№ 5. «Три звезды в день проведения Олимпиады»

В день проведения заключительного тура Олимпиады им. Ф. А. Бредихина в некоторой точке северного полушария Земли произошло ряд небесных феноменов с тремя звездами, именуемыми далее условно «1», «2», «3». Известно, что

а) в момент верхней кульминации азимут звезды «1» плавно уменьшался без скачков, азимут звезды «2» претерпел скачок $\Delta A_2 = -180^\circ$, а азимут третьей испытал скачок величиной $\Delta A_3 = -360^\circ$. При этом звезды «1» и «3» в данной кульминации находились на одном альмукантарате;

б) время прямой видимости звезды «2» составило $\Delta t_2 = 15^h 57.4^m$, а отношение телесных углов, соответствующих шаровым сегментам, которые своими основаниями опираются на суточные параллели звезд «1» и «3» и содержат северный полюс мира (вершины углов расположены в центре небесной сферы), составляет $\gamma = 0.25$;

в) верхняя кульминация звезды «1» произошла в момент начала ($T_S^{(1)} = 10^h 00^m$) финала настоящей Олимпиады по Самарскому времени ($T_S = T_0 + 4^h$, здесь T_0 – всемирное время), а звезды «3» – в момент ее окончания – $T_S^{(3)} = 14^h 00^m$. Звезда «2» кульминировала в местный истинный полдень. Долгота Самары – $\lambda_S = 3^h 20^m$. При этом разница между местным средним солнечным временем точки наблюдения и самарским временем составляет $\Delta T = \lambda_S$.

С использованием данных, представленных в условии задачи и в разделе "справочные данные", определите экваториальные координаты (прямое восхождение и склонение) звезд «1», «2», «3», географические координаты (широта и долгота) точки наблюдения и государство (с использованием политической карты мира, см. рис. 3), на территории которого находилась рассматриваемая точка поверхности Земли. (20 баллов)

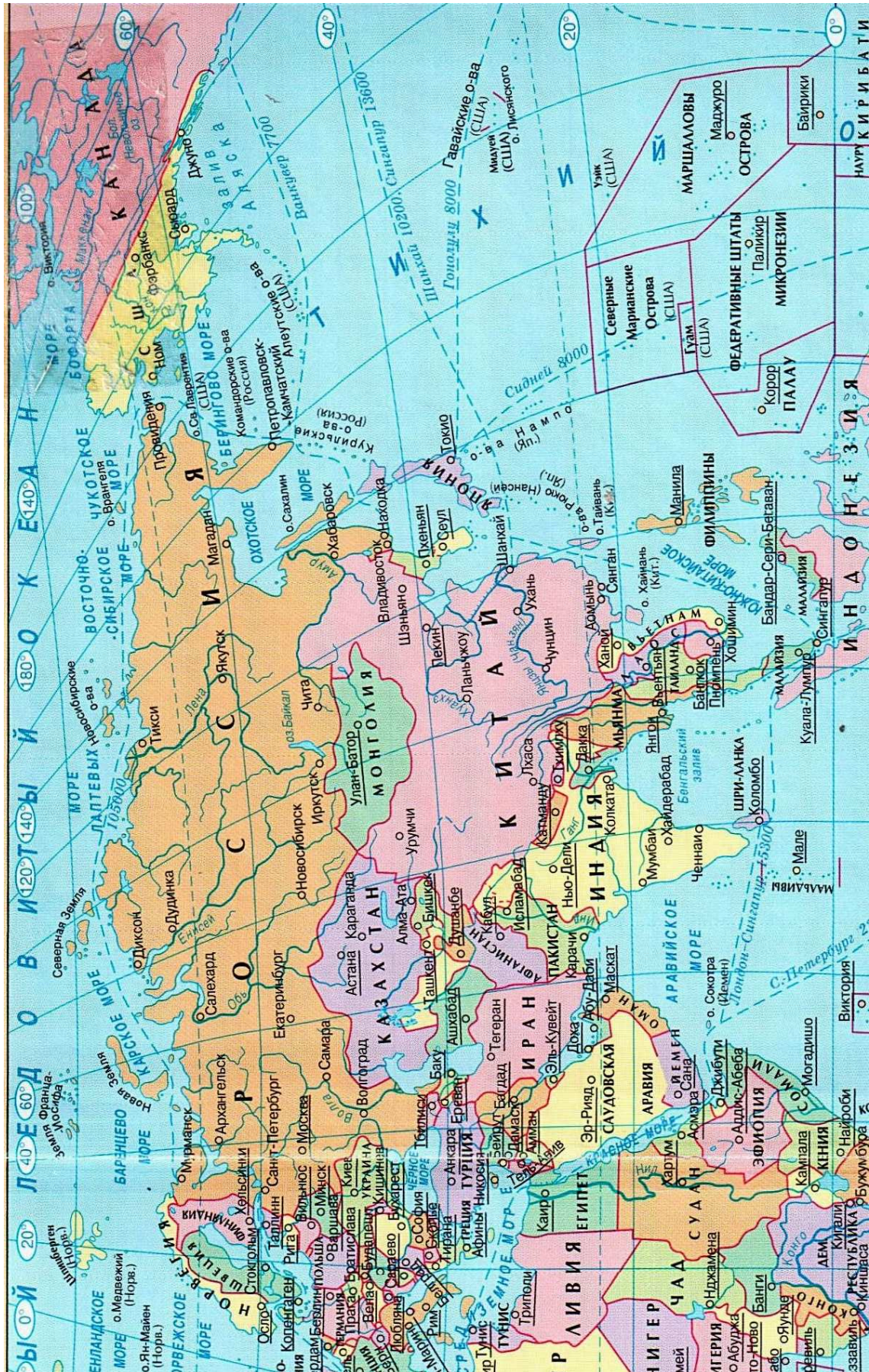


Рис. 3. Фрагмент политической карты мира

№ 6. «Экзо-Земля и двойное Солнце»

Условие 1. Исследователи космоса обнаружили экзопланету, подобную Земле, движущуюся вокруг двойной звезды по орбите, близкой к круговой, на среднем расстоянии r (причем $\mathfrak{R}_\odot \ll r$, где \mathfrak{R}_\odot – радиус Солнца) от центра масс этой пары. Компоненты двойной звезды – близнецы, подобные Солнцу, имеющие форму шара, движущиеся по одной круговой орбите с минимальным возможным периодом, не испытывая слияния. Орбиты всех рассматриваемых тел лежат в одной плоскости. Определите:

1. Радиус орбиты + период обращения одного из компонентов двойной звезды. (1+2 балла)
2. Период обращения экзопланеты вокруг центра масс двойной системы и ее среднюю орбитальную скорость в терминах параметра r . (2+1 балл)
3. Минимальное (f_{\min}) + максимальное (f_{\max}) значения солнечной постоянной на орбите экзопланеты. Изменением расстояния r пренебречь. (2+2 балла)
4. Определите закон изменения фазы двойной звезды, определяемой формулой вида:

$$\Phi_{WS} = \frac{S_{\text{vis}}}{S_{\text{max}}}, \quad (1)$$

обусловленной затмением одного компонента другим как функции угла φ между отрезком, соединяющим центры данных звезд, и радиусом орбиты экзопланеты, проведенным от центра масс двойной системы к экзопланете. В формуле (1) S_{vis} – площадь видимых дисков двух звезд с позиции наблюдателя, расположенного на экзопланете, S_{max} – максимальная площадь видимых дисков звезд, доступная наблюдениям с той же позиции. (4 балла)

Условие 2. В астрофизике под *зоной обитания* традиционно понимается область пространства около звезды (в виде сферического слоя), внутри которой вода может постоянно находиться в жидкой фазе. Предполагается возможность существования внеземных форм жизни, подобных земным, при давлениях, близких к 1 атм, и диапазоне температур $T_{\min} = 273.16$ К, $T_{\max} = 373.15$ К воды в жидкой фазе.

5. Определите радиусы нижней и верхней границ зоны обитаемости для экзопланеты, пребывающей в электромагнитном излучении двойной звезды, если средняя температура поверхности Земли равна $\bar{T}_\oplus = 288$ К. Определите возможные значения продолжительности года для экзопланеты, если последняя располагается внутри зоны обитаемости. Все характеристики экзопланеты тождественны характеристикам Земли, малыми колебаниями величины r пренебречь. (6 баллов)

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.