

Условия задач
Открытой межрегиональной олимпиады
по астрономии имени Ф.А. Бредихина
9 класс

№1. «Ярчайшие звезды и их положение на небосводе»

Вашему вниманию в табл. 1 представлены 6 ярчайших звезд ночного небосвода Земли.

№	Название	α	δ	r , св.л.
1	Сириус (α Большого Пса)	$06^{\text{h}}45^{\text{m}}9^{\text{s}}$	$-16^{\circ}42'58''$	8.6
2	Канопус (α Киля)	$06^{\text{h}}23^{\text{m}}57^{\text{s}}$	$-52^{\circ}41'45''$	310
3	Ригил(А)/Толиман(В) (α Центавра АВ)	$14^{\text{h}}39^{\text{m}}35^{\text{s}}$	$-60^{\circ}50'15''$	4.3
4	Арктур (α Волопаса)	$14^{\text{h}}15^{\text{m}}40^{\text{s}}$	$19^{\circ}10'57''$	36.7
5	Вега (α Лирь)	$18^{\text{h}}36^{\text{m}}56^{\text{s}}$	$38^{\circ}47'01''$	25
6	Капелла (α Возничего)	$05^{\text{h}}16^{\text{m}}41^{\text{s}}$	$45^{\circ}59'53''$	42.2

Примечание: α – прямое восхождение светила, δ – склонение светила, r – гелиоцентрическое расстояние звезды, выраженное в световых годах.

Таблица 1. Шесть ярчайших звезд ночного небосвода Земли.

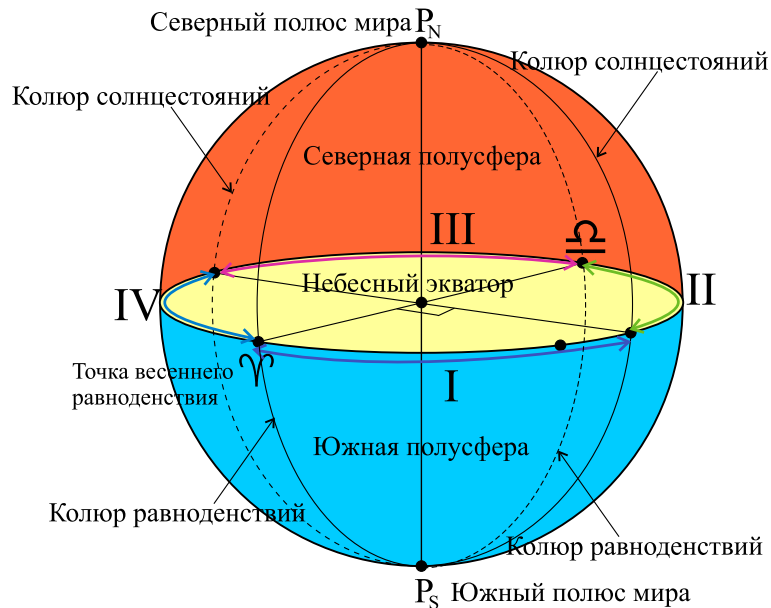


Рис. 1. К определению северной и южной полусферы и четвертей небесного экватора.

1. Как известно, небесный экватор делит всю небесную сферу на две полусферы. Полусфера, в которой находится северный полюс мира, называется *северной*. Вторая полусфера называется *южной* (см. рис. 1). В какой части небесной сферы располагается каждая из указанных звезд? Ответ представьте парой: (цифра, буква). (1 балл за каждую правильно определенную пару)

А. Северная полусфера		Б. Южная полусфера		В. Небесный экватор
-----------------------	--	--------------------	--	---------------------

2. Какие из перечисленных звезд можно в принципе наблюдать с южного географического полюса? (1 балл за каждую правильно названную звезду; штраф –1 балл за каждый ложный ответ).

3. Круги склонений каких звезд пересекают небесный экватор (см. рис. 1) в III-й и IV-й четверти? (2 балла за каждую правильно названную звезду; штраф –2 балла за каждый ложный ответ).

4. Какая из перечисленных звезд является наиболее далекой от Земли? (1 балл).

5. Оцените угловое расстояние между Ригилом/Толиманом и Арктуром на небесной сфере. (4 балла).

№2. «Кометы и их свойства»

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 №1,5 парами: (цифра, буква); в пунктах № 2-4 – буквой/цифрой или названием термина из таблицы/рисунка.

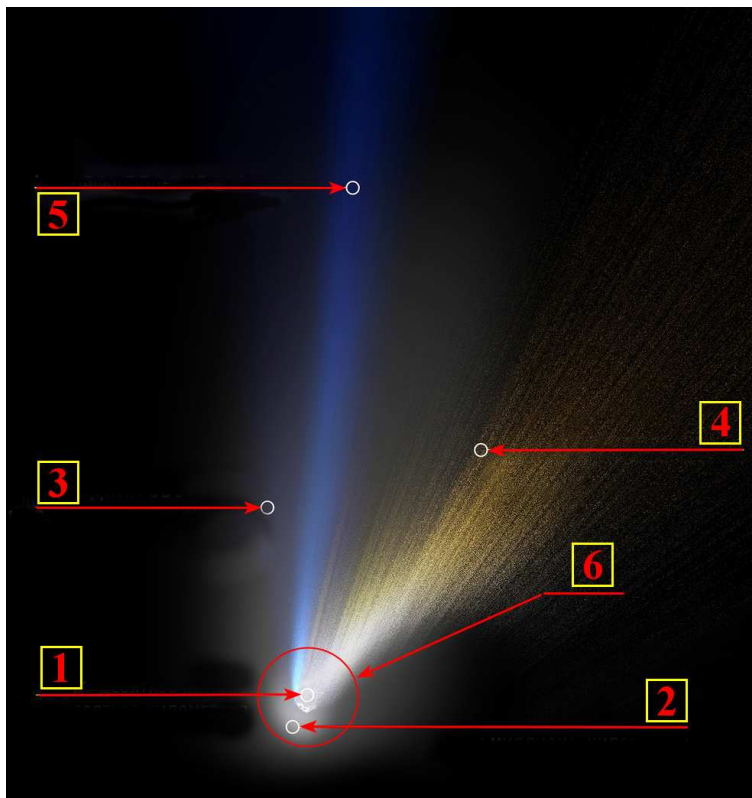


Рис. 2. К определению основных элементов структуры кометы.

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 каждую правильно названную пару)

2. Как известно, *великими кометами* называют кометы, которые становятся особенно яркими и заметными для земного наблюдателя. Какой элемент (см. табл. 2) в структуре великих комет имеет, как правило, наибольшие угловые размеры, фиксируемые невооруженным глазом с Земли? (2 балла)

3. Какой элемент структуры кометы представлен, главным образом, атомами и ионами самого легкого химического элемента Вселенной? (2 балла)

Условие 2. Вашему вниманию в табл. 3 представлены несколько периодических комет с их некоторыми орбитальными характеристиками.

4. Какие из указанных комет являются *короткопериодическими*? (0.5 балла за каждую правильно названную комету; штраф –1 балл за каждый ложный ответ)

Условие 3. В астрономии короткопериодические кометы принято классифицировать на несколько семейств. Название каждого семейства определяется названием классической планеты (или

№	Название	a , а.е.	T , год	ε	i , град.
1	1P/Halley	17.834	75.3	0.96658	161.96
2	C/2020 F3 (NEOWISE)	710	6800	0.99921	128.93
3	55P/Tempel-Tuttle	10.46	33.83	0.9078	162.57
4	C/1995 O1 Hale-Bopp	177	2400	0.99498	89.30
5	67P/Churyumov-Gerasimenko	3.457	6.43	0.64989	3.87
6	8P/Tuttle	5.707	13.6	0.8202	54.91

Примечание: a – большая полуось эллиптической орбиты, T – сидерический период обращения, ε – ее эксцентриситет, i – наклонение орбиты к плоскости эклиптики (в град).

Таблица 3. Некоторые кометы Солнечной системы и их орбитальные характеристики.

пояса ледяных тел – пояса Койпера), к орбите которой ближе всего расположен афелий орбиты данной кометы. Традиционно выделяют семейства Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна и Койпера (последний располагается на среднем расстоянии 55 а.е. от Солнца).

5. Сопоставьте все короткопериодические кометы их семействам. Свой ответ обоснуйте математически. (2 балла за каждую правильно названную пару)

Основные семейства комет Солнечной системы				
А) Юпитера	В) Сатурна	С) Урана	Д) Нептуна	Е) Койпера

№ 3. «Наблюдатель в море»

Условие 1. Наблюдатель находится в море на большой плавучей платформе вдали от береговой линии в полный штиль. Высота его глаз над уровнем моря равна $h_0 = 2.0$ метра.

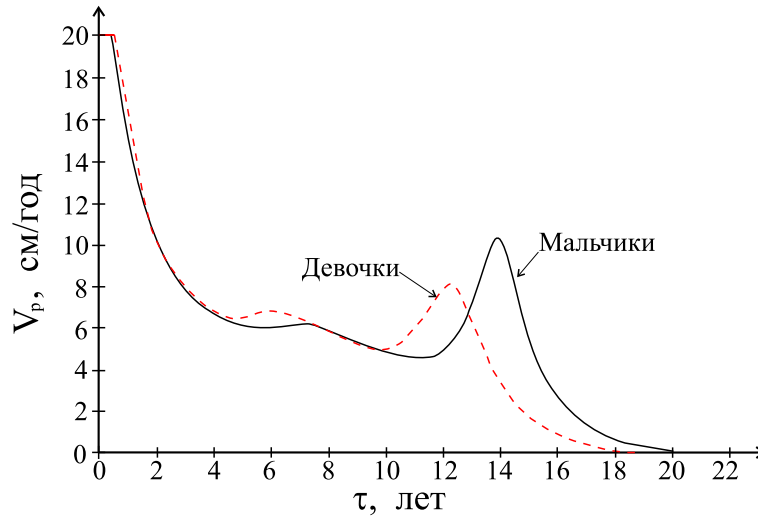
1. Какой из горизонтов (математический или видимый) расположен ближе к надире? (1 балл)
2. Определите угол (в угловых секундах) между плоскостью математического горизонта и направлением на видимый горизонт с позиции наблюдателя. (2 балла)
3. Оцените линейный радиус + длину всей дуги (в км, до сотых) видимого горизонта для наблюдателя. (3+2 балла)

Условие 2. Наблюдатель начал регулярно подпрыгивать вдоль отвесной линии. Его скорость в момент отрыва от платформы равна 1.5 м/с. Время соприкосновения его стоп с платформой между прыжками 0.5 секунды. Изменением положения платформы относительно воды и влиянием разбегающихся волн на положение видимого горизонта пренебречь. Определите:

4. Период T изменения дальности прямой видимости. (2 балла)
5. Интервал возможных значений для дальности прямой видимости наблюдателя во время прыжков. (4 балла)
6. Постройте график зависимости дальности прямой видимости наблюдателя от времени на интервале $(0, 3T)$. (2 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.

7. Получите формулу для скорости изменения дальности прямой видимости наблюдателя с изменением его возраста. (2 балла) Определите значения этой скорости (в м/год), если Вы являетесь: а) мальчиком – по кривой $V_p(\tau)$ для мальчиков, б) девочкой – по кривой $V_p(\tau)$ для девочек, в моменты t , указанные в следующей таблице (1 балл за каждый верный численный ответ):

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

Некоторые моменты жизни человека			
Мальчики		Девочки	
1. Младенчество (0.4 года, рост 65 см)	2. Подростковый период (14.0 лет, рост 170 см)	1. Младенчество (0.4 года, рост 65 см)	2. Подростковый период (12.3 лет, рост 155 см)

№ 4. «Луна и планеты-гиганты»

На рис. 4 представлена фотография-коллаж Луны и двух планет-гигантов Солнечной системы, полученная жителем северного географического полушария. Ответьте на следующие вопросы:

1. В какой фазе запечатлена Луна в кадре? (1 балл) В какую часть суток вероятнее всего могла быть выполнена съемка данных объектов? (1 балл)

Основные части суток			
А) Утро	Б) День	В) Вечер	Г) Ночь
Местное время суток			
06.00-12.00	12.00-18.00	18.00-00.00	00.00-06.00

2. Над какими частями горизонта вероятнее всего располагались данные объекты в момент съемки, если последняя состоялась незадолго до дня зимнего солнцестояния? (1 балл за каждую правильно названную часть; штраф –1 балл за каждый ложный ответ)

Основные части горизонта			
А) Восток-Юг	Б) Юг-Запад	В) Запад-Север	Д) Север-Восток

3. Если полагать, что видимое перемещение Луны совершалось по прямой «Юпитер-Сатурн», то какой промежуток времени отделял начало покрытия Юпитера от начала покрытия Сатурна? Собственным движением планет в указанный промежуток пренебречь. (4 балла)

4. Оцените линейное расстояние (в астрономических единицах) между Юпитером и Сатурном в момент съемки. (3 балла)

5. Оцените угловую скорость (в угловых минутах в сутки) видимого сближения планет-гигантов в момент съемки. (5 баллов)

6. 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. (4 балла)

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



Рис. 4. Луна и планеты-гиганты Солнечной системы.

№ 5. «Отвесная линия и ее угол отклонения»

Как известно, вращение Земли вокруг своей оси является одной из причин отклонения отвесной линии в данной точке поверхности Земли от направления на ее центр. Полагая, что Земля является шаром со сферически симметричным распределением массы, совершающим суточное вращение с периодом $T_{\oplus} = 23^{\text{ч}}56^{\text{м}}04^{\text{с}}$, определите:

1. Ускорение свободного падения у поверхности Земли, как функцию $g(\varphi)$ широты местности φ . Представьте итоговое выражение лишь в терминах следующих параметров: g_0 – ускорения свободного падения на геополюсе, отношения χ центростремительного ускорения материальной точки, обусловленного ее суточным вращением на экваторе и ускорением, определяемым силой притяжения точки со стороны Земли. (12 балла)

2. Получите приближенное редуцированное выражение (не содержащее корней!) для $g(\varphi)$, в предположении, что $\chi \ll 1$. (2 балла)

3. Угол отклонения α отвесной линии от направления на центр Земли как функцию широты местности φ . (2 балла) На каких широтах данный угол достигает максимального и минимального значений? (2 балла) Чему равны эти значения? (2 балла)

№ 6. «Экзо-Земля на кратной орбите»

Исследователи космоса обнаружили экзопланету, подобную Земле, движущуюся вокруг двойной звезды по орбите, близкой к круговой, на среднем расстоянии r (причем $\mathcal{R}_{\odot} \ll r$, где \mathcal{R}_{\odot} – радиус Солнца) от центра масс этой пары. Компоненты двойной звезды – близнецы, подобные Солнцу, имеющие форму шара. При этом данная пара звезд движется по круговой орбите с минимальным возможным периодом, не испытывая слияния в той же плоскости, что и экзопланета. Определите:

1. Радиус орбиты + период обращения одного из компонентов двойной звезды. (1+2 балла)
 2. Минимальное (f_{\min}) + максимальное (f_{\max}) значения солнечной постоянной на орбите экзопланеты. Изменением расстояния r пренебречь. (2+2 балла)
 3. Средний радиус r (в а.е.) почти круговой орбиты экзопланеты, при условии, что среднее арифметическое величин f_{\min} и f_{\max} равно в точности земной солнечной постоянной f_{\odot} . (6 баллов) На сколько процентов отличаются пограничные значения солнечной постоянной от ее среднего значения? (2 балла)
 4. Амплитуду ($\Delta m = m_{\max} - m_{\min}$, где m_{\max} , m_{\min} – максимальное и минимальное значения звездной величины двойной звезды, зафиксированные с поверхности экзопланеты) изменения блеска и период его изменения на небосводе экзопланеты. (3 балла)
 5. Оцените величину продолжительности года (в годах) для данной экзопланеты. (2 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.