

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

**№ 1. «Топ-10 ярчайших звезд небосвода г. Самары»**

Вашему вниманию в табл. 1 представлен Топ-10 ярчайших звезд (и их экваториальные координаты), видимых с территории г. Самары в течение года. Определите:

1. Какие из этих звезд Вы можете наблюдать сегодня-завтра в темное время суток невооруженным глазом (в случае безоблачной погоды) в месте своего постоянного проживания? Следует отметить в колонке "Видимость" словом "да", если звезда видна в темное время суток, "нет", если не видна.

2. В какую часть суток (вечер, все темное время суток (ночь), утро и прочерк, если не видна; в таблицу следует вносить лишь первые буквы этих слов, например, «В», «Н», «У»; если частей несколько, то следует перечислить их в ячейке таблицы буквами, через запятую) они лучше всего видны?

3. В какой части небосвода (север, юг, запад, восток и прочерк, если не видна; в таблицу следует вносить лишь первые буквы этих слов, например, «С», «Ю», «З», «В»; если сторон несколько, то следует перечислить их в ячейке таблицы буквами, через запятую) они при этом расположены?

4. В каких созвездиях находятся эти звезды?

Свои ответы представьте в табл. 1 (Вы можете вырезать эту таблицу ножницами из условия и наклеить ее на свой бланк в целях экономии времени!).

№	Название	Склонение	Пр. восхождение	Видимость	Часть суток	Часть небосвода	Созвездие
1	Сириус	$-16^{\circ}42'58''$	$06^{\text{h}}45^{\text{m}}09^{\text{s}}$				
2	Арктур	$+19^{\circ}10'57''$	$14^{\text{h}}15^{\text{m}}40^{\text{s}}$				
3	Вега	$+38^{\circ}47'01''$	$18^{\text{h}}36^{\text{m}}56^{\text{s}}$				
4	Капелла	$+45^{\circ}59'53''$	$05^{\text{h}}16^{\text{m}}41^{\text{s}}$				
5	Ригель	$-08^{\circ}12'06''$	$05^{\text{h}}14^{\text{m}}32^{\text{s}}$				
6	Процион	$+05^{\circ}13'30''$	$07^{\text{h}}39^{\text{m}}18^{\text{s}}$				
7	Бетельгейзе	$+07^{\circ}24'25''$	$05^{\text{h}}55^{\text{m}}10^{\text{s}}$				
8	Альтаир	$+08^{\circ}52'06''$	$19^{\text{h}}50^{\text{m}}47^{\text{s}}$				
9	Альдебаран	$+16^{\circ}30'33''$	$04^{\text{h}}35^{\text{m}}55^{\text{s}}$				
10	Антарес	$-26^{\circ}25'55''$	$16^{\text{h}}29^{\text{m}}40^{\text{s}}$				

Таблица 1. Топ-10 самых ярких звезд небосвода.

**№ 2. «Объекты глубокого космоса и их некоторые свойства»**

На рис. 1 представлены фотографии пяти объектов глубокого космоса. Определите

- I. Тип каждого объекта;
- II. Его обозначение по каталогу Мессье;
- III. Созвездие, в котором находится объект;
- IV. Статус возможности его наблюдения (в условиях, близких к идеальным) невооруженным глазом.

Заполните табл. 2 (Вы можете вырезать эту таблицу ножницами из условия и наклеить ее на свой бланк в целях экономии времени!). В строках (I)-(III) необходимо прописать буквенное обозначение данного объекта согласно рисунку. В строке (IV) необходимо написать «да», если объект можно увидеть невооруженным глазом (в оптимальных условиях), «нет» – если нельзя увидеть.

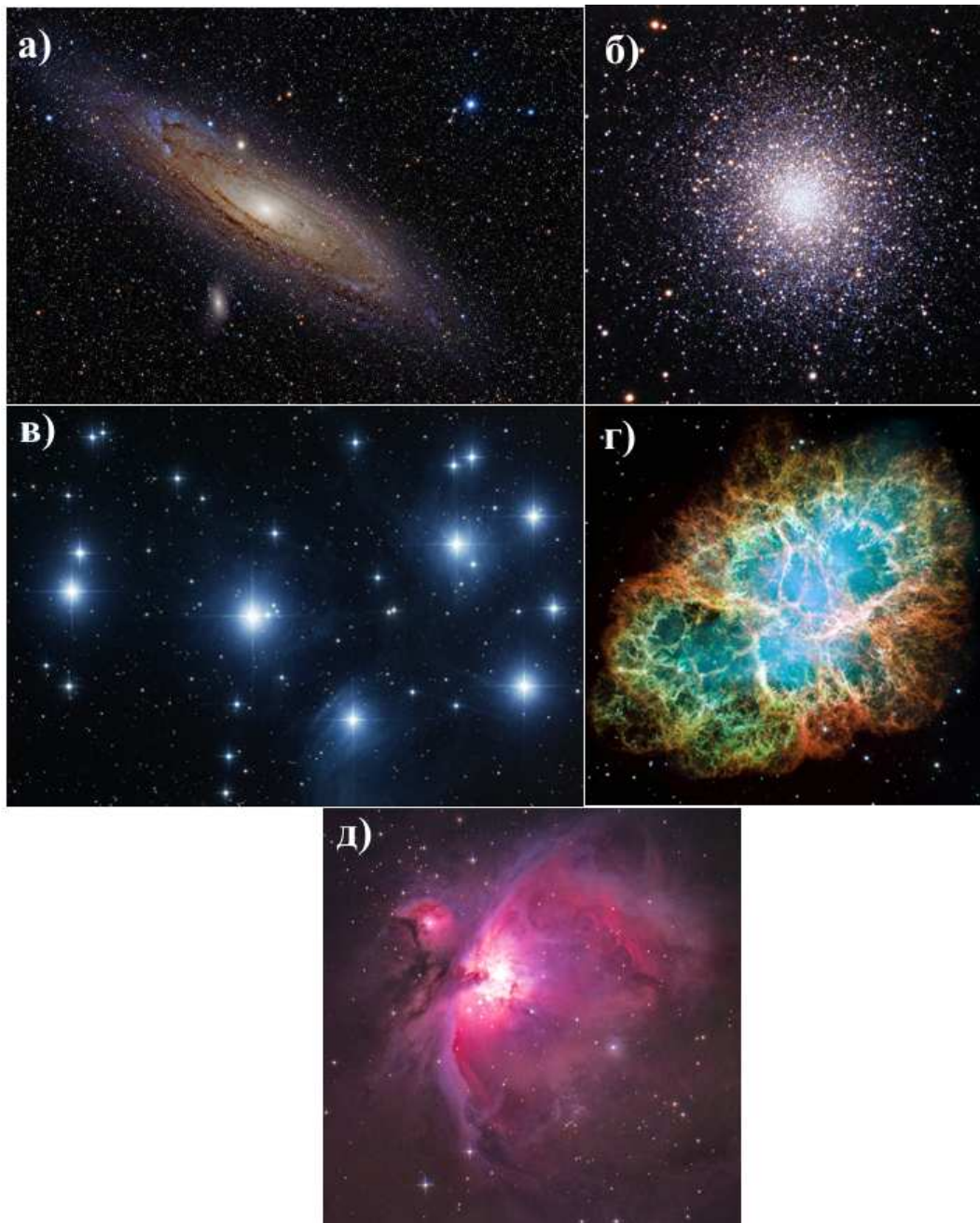


Рис. 1. Объекты глубокого космоса.

### № 3. «Самара над плоскостью орбиты Земли»

1. В какие сутки года линейное расстояние г. Самары ( $\varphi_{Sa} = 53^{\circ}12'$ ,  $\lambda_{Sa} = 50^{\circ}06'$ ) в истинную полночь от плоскости земной орбиты достигает а) максимального, б) минимального значения, располагаясь при этом в плоскости, перпендикулярной плоскости орбиты?

2. Чему равны соответствующие расстояния?

3. Какую долю они составляют от радиуса Земли?

4. Во сколько раз отличаются потоки солнечной энергии, падающие на территорию г. Самары в полдень, в эти дни?

Следует полагать, что Земля есть шар, ее орбита – окружность. Влиянием рефракции и гравитационным влиянием Луны на орбитальное движение Земли пренебречь.

### № 4. «Закон Тициуса-Бодде и его "предсказательная сила"»

Как известно, закон Тициуса-Бодде определяет гелиоцентрическое расстояние планеты Солнечной системы (как классической, так и карликовой) от Солнца и может быть записан так

$$r_n = 0.1(4 + 3 \cdot 2^n), [r_n] = \text{a.e.}, \quad (1)$$

здесь  $n$  – планетный индекс, значение которого всегда есть целое число из отрезка  $[-\infty, +\infty]$ .

	Тип объекта	Рассеянное скопление	Туманность эмиссионная + область звездообразования	Шаровое скопление	Галактика	Остаток сверхновой
<b>I</b>	Обозначение					
	По каталогу Мессье	M1	M13	M31	M42	M45
<b>II</b>	Обозначение					
	Созвездие	Андромеда	Геркулес	Телец		Орион
<b>III</b>	Обозначение					
	Обозначение	а)	б)	в)	г)	д)
<b>IV</b>	Видимость невооруженным глазом					

Таблица 2. Возможные типы объектов, их обозначения по каталогу Мессье, принадлежность созвездиям и возможность их наблюдения невооруженным глазом.

Для каждой планеты он принимает свое значение. Определите:

1. Значения планетного индекса для классических и карликовых планет Солнечной системы. Критерием подбора индекса является условие:

$$\eta = \frac{|r_n - a_p|}{a_p} \times 100\% < 15\%, \quad (2)$$

где  $r_n$  – гелиоцентрическое расстояние рассматриваемой планеты, определяемое законом (1);  $a_p$  – современное точное значение радиуса (большой полуоси) орбиты планеты (представлено в 3-ей колонке табл. 3). Заполните табл. 3 (Вы можете вырезать эту таблицу ножницами из условия и наклеить ее на свой бланк в целях экономии времени!) для планет 1 – 4 и 6 – 11, указав

- а) значение планетного индекса  $n$  (последний столбец);
- б) расстояние  $r_n$ , вычисленное с использованием закона (1), (4-й столбец);
- в) величину отклонения  $\eta$  приближенного значения от точного, в процентах (5-й столбец).

2. При правильном определении значений планетных индексов Вы обнаружите некоторую закономерность в изменении величины параметра  $n$ , по мере удаления от Солнца. В чем суть этой закономерности? С использованием последней, определите с помощью закона (1) гелиоцентрическое расстояние до карликовой планеты (КП), расположенной между орбитами Марса и Юпитера. О какой именно планете идет речь?

3. Для какой из представленных планет не удастся определить планетный индекс? При каком значении параметра  $n$  данная закономерность нарушается?

4. Во второй декаде XXI века международной группой астрономов было высказана гипотеза о существовании на периферии Солнечной системы сразу двух гипотетических планет (назовем их для определенности Планеты X и Y), подобных классическим, оценочные значения радиусов орбит которых представлены в табл. 3. Определите параметры  $\{r_n, \eta, n\}$  для данных планет.

5. С использованием радиусов  $r_n$  орбит, определите сидерические периоды обращения планет X и Y. Как часто эти планеты сближаются на земном небосводе, если полагать, что их орбиты располагаются в плоскости эклиптики.

#### № 5. «Нептун и его собственный источник энергии»

Докажите, что планета Нептун обладает собственным источником теплового излучения, если известно ее сферическое альbedo –  $A_B = 0.290$ , а средняя температура поверхности планеты равна  $t_N = -201^\circ$ . Для этого

1. Определите эффективную температуру ( $T_0$ ) поверхности планеты (в кельвинах) в предположении, что данная величина определяется лишь потоком энергии, получаемой планетой от Солнца. Сравните полученный результат с  $T_N$  (выраженной в кельвинах). Сделайте вывод.

№	Планета	$a_p$ , а. е.	$r_n$ , а.е.	$\eta$ , %	$n$
1	Меркурий	0.3871			
2	Венера	0.7233			
3	Земля	1.0000			
4	Марс	1.5237			
5	КП	–		–	
6	Юпитер	5.2028			
7	Сатурн	9.5388			
8	Уран	19.1914			
9	Нептун	30.0611			
10	Плутон	39.4821			
11	Эрида	67.8640			
12	Планета X	150			
13	Планета Y	300			

Таблица 3. Классические и карликовые планеты Солнечной системы, их гелиоцентрические расстояния и планетные индексы.

2. Предложите свою гипотезу источника собственного тепла Нептуна. Дайте развернутый ответ.

3. Во сколько раз мощность собственного источника теплового излучения Нептуна больше полного потока излучения, получаемого планетой от Солнца?

**Рекомендации:**

А. Следует отметить, что температура по шкале Цельсия связана с температурой по шкале Кельвина соотношением вида:

$$T = t + 273^{\circ}C, \quad 1K = 1^{\circ}C.$$

Б. Поверхность планеты следует считать абсолютно черным телом, для которого справедлив закон Стефана-Больцмана для поверхностной светимости ( $M$ ) источника:

$$M = \sigma \cdot T_{\text{eff}}^4, \quad (3)$$

где  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана (представлена в справочных данных),  $T_{\text{eff}}$  – эффективная температура (измеряемая в кельвинах) поверхности источника излучения.

В. **Поверхностной светимостью источника ( $M$ )** называется скалярная физическая величина, равная отношению количества энергии ( $\Delta W$ ), испущенной в форме электромагнитных волн с малой площадки  $\Delta S$  за малый промежуток  $\Delta t$ , к величинам данной площадки и промежутка времени:

$$M = \frac{\Delta W}{\Delta S \cdot \Delta t}. \quad (4)$$

Г. Любая малая площадка поверхности планеты является *ламбертовым* источником излучения, т.е. излучает одинаковое количество энергии во всех возможных направлениях.

**№ 6. «Расстояние между двумя пунктами наблюдения РФ»**

На рис. 2 и 3 представлены фотографии, полученные двумя российскими фотографами на территории РФ (расположенными на одном географическом меридиане в момент съемки). Известно, что

1. При создании первой фотографии (см. рис. 2) используемый автором фотоаппарат располагался на расстоянии  $r_1 = 10$  м от второго окна фронтальной части дома. Высота данного окна составляла  $h_1 = 140$  см. При этом высота фотокамеры над поверхностью земли равна высоте забора, видимого на фото. При создании второй фотографии (см. рис. 3) используемый автором фотоаппарат располагался на расстоянии  $r_2 = 36$  м от дерева, представленного на ней. При этом высота дерева составляла  $h_2 = 12$  м. С использованием представленных данных оцените угловой масштаб каждой фотографии.

2. Оцените время выдержки при получении каждого фото.

3. Оцените широту местности на каждом фото.

4. Оцените расстояние между местами съемки по поверхности Земли.



Рис. 2. Кольцевые звездные треки (автор – Григорьев К.).

5. На всех треках первого фото виден характерный надлом, обусловленный технической вибрацией камеры (автор непреднамеренно зацепил камеру и породил вибрации). В конце или в начале сеанса съемки эта вибрация произошла? Свой ответ поясните.

*На решение задач данного этапа Олимпиады участникам отводится 4 часа.*



Рис. 3. Линейчатые звездные треки (автор – Шамин Д.).

## 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* –  $5778 \text{ К}$
- *Средний горизонтальный параллакс* –  $8.794''$
- *Интегральный поток энергии на расстоянии Земли* –  $1360 \text{ Вт/м}^2$
- *Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли* –  $600 \text{ Вт/м}^2$

## §3. Данные о Земле

- *Эксцентриситет орбиты* –  $0.017$
- *Тропический год* –  $365.24219 \text{ сут}$
- *Средняя орбитальная скорость* –  $29.8 \text{ км/с}$
- *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* –  $6378.14 \text{ км}$
- *Полярный радиус* –  $6356.77 \text{ км}$
- *Средний (по объему) радиус* –  $6371.01 \text{ км}$
- *Масса* –  $5.974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
- *Средняя плотность* –  $5.52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$
- *Объемный состав атмосферы* –  $\text{N}_2$  (78%),  $\text{O}_2$  (21%),  $\text{Ar}$  ( $\sim 1\%$ )

## §4. Данные о Луне

- *Среднее расстояние от Земли* –  $384400 \text{ км}$
- *Минимальное расстояние от Земли* –  $363300 \text{ км}$
- *Максимальное расстояние от Земли* –  $405500 \text{ км}$
- *Эксцентриситет орбиты* –  $0.055$
- *Наклон плоскости орбиты к эклиптике* –  $5^\circ 09'$
- *Сидерический (звездный) период обращения* –  $27.321662 \text{ сут}$
- *Синодический период обращения* –  $29.530589 \text{ сут}$
- *Радиус* –  $1738 \text{ км}$
- *Масса* –  $7.348 \cdot 10^{22} \text{ кг}$  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. альбедо	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 <sup>†</sup>	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 <sup>†</sup>	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. альбе-до	Вид. звездная величина*
	кг	км	г·см <sup>-3</sup>	км	сут		
<b>Земля</b>							
Луна	$7.348 \cdot 10^{22}$	1738	3.34	384400	27.32166	0.12	-12.7
<b>Марс</b>							
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
<b>Юпитер</b>							
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
<b>Сатурн</b>							
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
<b>Уран</b>							
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
<b>Нептун</b>							
Тритон	$2.14 \cdot 10^{22}$	1350	2.07	354800	5.87685 <sup>†</sup>	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.