

**Условия задач**  
**Открытой межрегиональной олимпиады**  
**по астрономии имени Ф.А. Бредихина**  
**7-8 класс**

**№ 1. «Мозаика небесных тел и явлений земного небосвода»**

На рис. 1 представлены фотографии 8 объектов небосвода Земли. Ответьте на следующие вопросы<sup>1</sup>.

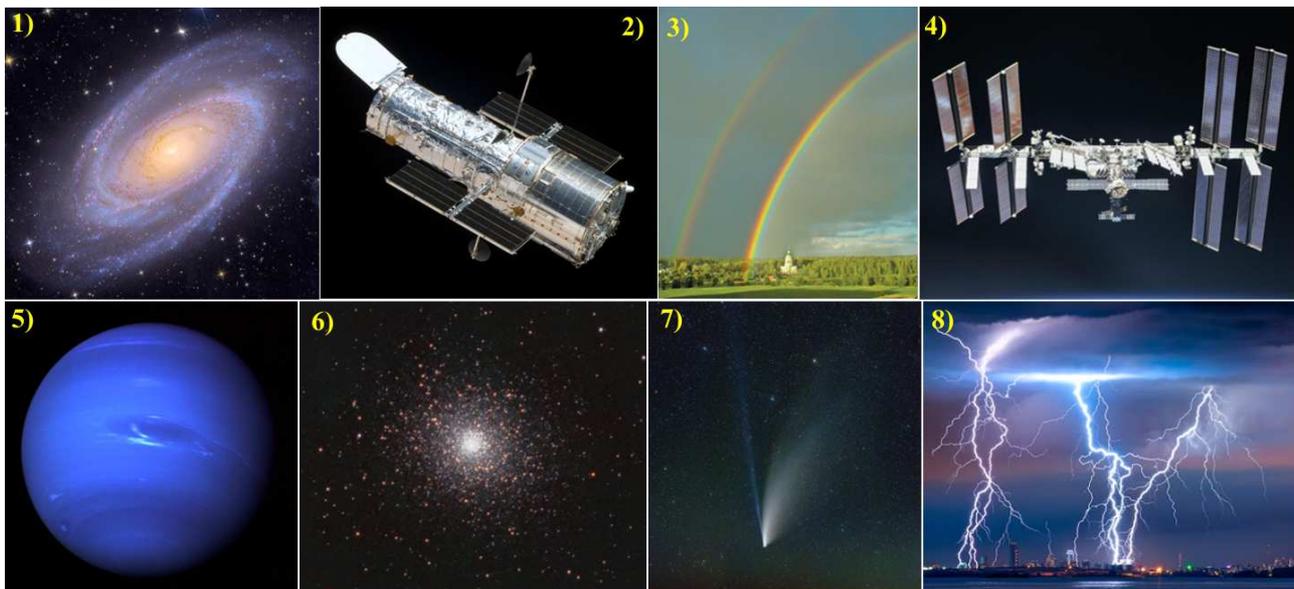


Рис. 1. Мозаика объектов и явлений земного небосвода.

**I.** Установите соответствие между номером образа и названием соответствующего объекта. Свои ответы (номер образа, представленного на рис. 1, определенный арабской цифрой) укажите в ячейке под соответствующим названием этого объекта в табл. 1. (0.5 балла за каждую правильно определенную позицию)

Молния	Радуга	Международная космическая станция	Телескоп им. Э. Хаббла
Нептун	Комета C/2020 F3 (NEOWISE)	Шаровое скопление М5	Галактика М81 (Бодде)

Таблица 1. Объекты и явления земного небосвода и их названия.

**II.** Сопоставьте каждому рассматриваемому объекту его тип (небесное тело или явление). Свои ответы (номер образа, представленного на рис. 1, определенный арабской цифрой) укажите (если их несколько, то перечислить через запятую) в ячейке под соответствующим названием типа объекта в табл. 2. (0.5 балла за каждую правильно определенную позицию)

Небесное тело (система связанных небесных тел)	Небесное явление

Таблица 2. Определение небесных тел/явлений.

<sup>1</sup>С целью экономии времени на оформление решений задач, **настоятельно рекомендуется** заполнять указанные таблицы и расставлять подписи на рисунках непосредственно в условиях задач, вырезать их и наклеить на свой бланк ответов.

III. Определите, к какому классу небесных тел/явлений (классификация по области пространства, в которой находится небесное тело или происходит небесное явление) следует отнести рассматриваемые объекты. Свои ответы (номер образа, представленного на рис. 1, определенный арабской цифрой) укажите (если их несколько, то перечислить через запятую) в ячейке под соответствующим названием класса небесных тел/явлений в табл. 3. (0.5 балла за каждую правильно определенную позицию)

Тела/явления, принадлежащие			
земной атмосфере	околоземному космическому пространству	Солнечной системе	глубокому космосу

Таблица 3. Определение представителей 4-х классов небесных тел/явлений.

IV. Определите какие из представленных объектов можно наблюдать (хотя бы иногда) невооруженным глазом на небосводе мегаполиса, а какие – только в телескоп. Свои ответы (номер образа, представленного на рис. 1, определенный арабской цифрой) укажите (если их несколько, то перечислить через запятую) в ячейке под соответствующей возможностью наблюдений в табл. 4. (0.5 балла за каждую правильно определенную позицию)

Можно наблюдать	
невооруженным глазом (хотя бы иногда)	только в телескоп

Таблица 4. Определение характера видимости небесного тела/явления.

V. Определите какие из представленных объектов имеют естественное происхождение, а какие – искусственное? Свои ответы (номер образа, представленного на рис. 1, определенный арабской цифрой) укажите (если их несколько, то перечислить через запятую) в ячейке под соответствующим типом происхождения в табл. 5. (0.5 балла за каждую правильно определенную позицию)

Происхождение	
естественное (созданы природой)	искусственное (созданы человеком)

Таблица 5. Определение типа происхождения небесного тела/явления.

## № 2. «Загадочное созвездие и таинственная звезда»

На рис. 2 представлена фотография (ее нижняя кромка совпадает с горизонтом), полученная в какой-то точке поверхности Земли. Определите:

1. Какое созвездие представлено на центральной части фотографии (частично скрытое земной растительностью), вблизи горизонта? (3 балла)

2. Как называется самая яркая звезда (отмечена на фотографии цифрой «1»), представленная на фотографии? Свой ответ поясните. (3 балла)

3. На восходе или на закате данного созвездия была получена эта фотография? Свой ответ поясните. (3 балла)

4. В какую сторону света (север, запад, юг, восток) был ориентирован объектив камеры, в момент получения данного кадра? Свой ответ поясните. (3 балла)

5. Из какого географического полушария была получена данная фотография? Свой ответ поясните. (3 балла)

6. Оцените широту места съемки, если известны экваториальные координаты звезд 2-4 (см. табл. 6), отмеченных на фотографии. (5 баллов)



Рис. 2. К определению кадра, содержащего созвездие и яркую звезду (подлежат определению).

Склонения звезд 2 ÷ 4		
$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$
$-0^\circ 17'$	$-1^\circ 11'$	$-1^\circ 56'$
Прямые восхождения звезд 2 ÷ 4		
$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$
$5^h 33^m$	$5^h 37^m$	$5^h 42^m$

Таблица 6. Значения экваториальных координат звезд 2 ÷ 4, представленных на рис. 2.

### № 3. «Свойства эллипса и орбита Земли»

**Эллипсом** называется плоская замкнутая кривая второго порядка, удовлетворяющая следующему свойству: *сумма расстояний от двух фиксированных точек плоскости (называемых фокусами эллипса, точки  $F_1, F_2$  на рис. 3) до любой точки этой кривой есть величина постоянная*, т. е.,  $|\vec{r}_1| + |\vec{r}_2| = C$ , где  $C$  – некоторая константа. Для определения размеров и формы эллипса используются линейные параметры:  $a$  – большая полуось эллипса ( $a = AP/2$ ),  $b$  – малая полуось эллипса ( $b = BC/2$ ),  $c$  – его фокальное расстояние ( $c = F_1F_2/2$ ).

1. Определите значение константы  $C$  в терминах большой полуоси  $a$ . (2 балла)
2. Докажите, что аналитическая связь между параметрами  $a$ ,  $b$  и  $c$  представляется в виде (3

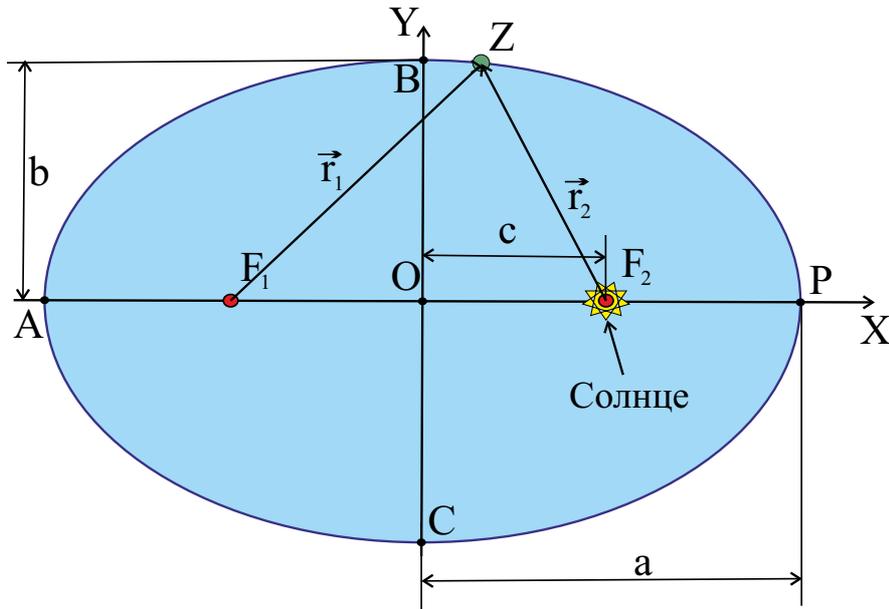


Рис. 3. К определению эллипса, его геометрических параметров и орбиты Земли.

$a_{\oplus}$ , а.е.	$\varepsilon_{\oplus}$	$b_{\oplus}$ , а.е.	$c_{\oplus}$ , а.е.	$q_{\oplus}$ , а.е.	$Q_{\oplus}$ , а.е.	$\kappa_{\oplus}$
1.000	0.0167					

Таблица 7. Основные параметры эллиптической орбиты Земли.

балла):

$$a^2 = b^2 + c^2. \quad (1)$$

3. Для определения степени сплюснутости эллипса традиционно используют два альтернативных параметра: эксцентриситет ( $\varepsilon$ ) и сжатие эллипса ( $\kappa$ ), определяемые выражениями вида:

$$\varepsilon = \frac{c}{a}, \quad \kappa = \frac{a-b}{a}. \quad (2)$$

Докажите, что между данными параметрами существует следующая аналитическая связь (3 балла):

$$(1 - \kappa)^2 = 1 - \varepsilon^2. \quad (3)$$

4. С использованием справочных данных, докажите, что для всех классических планет (за исключением Меркурия) справедлива следующая связь между сжатием и эксцентриситетом орбиты (3 балла):

$$2\kappa = \varepsilon^2. \quad (4)$$

5. Согласно *первому закону Кеплера*, орбита каждой классической планеты есть эллипс в одном из фокусов которого (точка  $F_2$  на рис. 3) находится Солнце. Ближайшая точка орбиты планеты к Солнцу (P) называется перигелием, а наиболее далекая – афелием (A). Определите расстояния от Солнца до перигелия ( $q = F_2P$ ) и афелия ( $Q = F_2A$ ) орбиты в терминах большой полуоси ( $a$ ) эллипса и его эксцентриситета ( $\varepsilon$ ). (2+2 балла)

6. Вычислите основные параметры эллиптической орбиты Земли с использованием результатов, представленных выше. Полученные численные результаты занесите в табл. 7. (5 баллов)

#### № 4. «Солнечное гало в истинный полдень»

На рис. 4 представлена фотография малого солнечного гало – атмосферного оптического метеорологического явления, представляющего собой светящееся кольцо, образующееся вокруг Солнца, имеющее угловой радиус  $22^\circ$  и являющееся результатом рассеяния света на гексагональных кристаллах водяного льда. Определите: на каких географических широтах возможно наблюдение данного феномена в истинный полдень при условии, что нижняя точка гало находится точно на математическом горизонте? Возможно ли такое событие в г. Самаре ( $\varphi_S = 53^\circ 12'$ ,  $\lambda_S = 50^\circ 06'$ )? (20 баллов)



Рис. 4. К определению малого солнечного гало.

#### № 5. «Вековой параллакс галактики Андромеды и не только»

**Метод годичного параллакса** – один из методов определения расстояний до звезд, заключающийся в измерении величины их угловых смещений относительно очень далеких объектов фона, обусловленных движением Земли вокруг Солнца. Здесь основным линейным параметром выступает радиус (большая полуось) орбиты Земли ( $a_{\oplus}$ ). По аналогии можно определять расстояния до очень далеких объектов, используя движение Солнечной системы относительно центра галактики Млечный путь. Соответствующий параллакс принято называть **вековым**. Полагая, что радиус круговой орбиты Солнечной системы (относительно центра Галактики) составляет  $a_{\odot} = 7.8$  кпк. Определите:

1. Во сколько раз вековой параллакс внегалактического (далекого) объекта больше годичного? (3 балла)
2. Оцените: во сколько раз должны отличаться продолжительности экспериментов по определению векового и годичного параллаксов для какого-либо далекого объекта космоса? Период обращения Солнечной системы относительно центра Галактики составляет  $T_{\odot} = 250$  млн лет. (4 балла)
3. Вычислите вековой параллакс для галактики Андромеды, если ее расстояние от Млечного

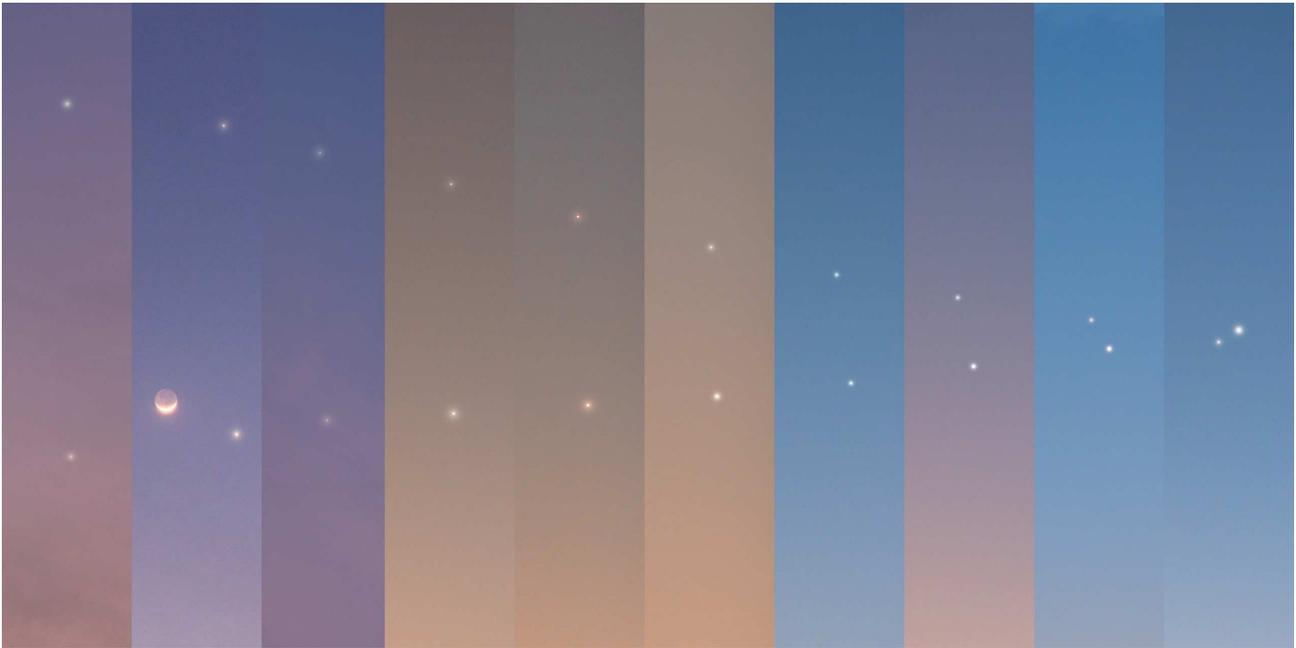


Рис. 5. Коллаж фотографий последовательного сближения Юпитера и Венеры, сделанных в интервале 21 февраля ÷ 2 марта.

пути –  $r_A = 780$  килопарсек. (3 балла)

4. Галактика Млечный Путь и галактика Андромеды очень похожи друг на друга. Если полагать, что данные галактики подобны друг другу, то чему должен быть равен радиус орбиты планетарной системы (подобно солнечной), движущейся вокруг центра галактики Андромеды? Следует полагать, что диаметры галактик Андромеды и Млечного Пути составляют 45 и 30 килопарсек соответственно. (2 балла)

5. Чему будет равен вековой параллакс галактики Млечный путь, если его попытаться измерить с поверхности одной из планет данной планетарной системы? (3 балла)

6. Оцените продолжительность эксперимента по определению векового параллакса Млечного пути с поверхности указанной планеты. Следует полагать, что измерения угловых смещений Галактики проводятся с противоположных точек галактической орбиты, а скорости обращения Солнечной системы и данной планетарной системы равны. Изменением расстояния между галактиками за время измерения параллакса пренебречь. (5 балла)

#### № 6. «Сближение Юпитера и Венеры 2023 года»

На рис. 5 представлен коллаж фотографий последовательного сближения Юпитера и Венеры на западной стороне небосвода, сделанных в Индии в интервале 21 февраля ÷ 2 марта (отсчет времени на рисунке слева направо, 22 февраля к ним добавилась еще и Луна) с помощью одного фотоаппарата с неизменными настройками. Все фотографии были сделаны в одно и тоже местное гражданское время (19 часов 00 минут), ежедневно.

1. Идентифицируйте на коллаже фотографий Венеру, Юпитер и Луну (подпишите их на данной фотографии). (1 балл за каждый правильно названный объект)

2. Определите (в соответствующей ячейке поставьте знак "+") к какой ближайшей конфигурации стремительно приближалась каждая из планет в указанный промежуток времени? Свой выбор поясните. (2 балла за каждую правильно определенную конфигурацию с пояснением)

Основные конфигурации Венеры			
Нижнее соединение	Верхнее соединение	Наибольшая восточная элонгация	Наибольшая западная элонгация

Основные конфигурации Юпитера			
Соединение	Противостояние	Восточная квадратура	Западная квадратура
		ра	

3. Определите угловой масштаб фотографии (угол приходящийся, на единицу длины рисунка). (3 балла)

4. Постройте графики зависимости угловой скорости (в градусы/сутки) взаимного сближения Венеры и Юпитера (отношение изменения углового расстояния между планетами к промежутку времени за которое это изменение произошло) от а) времени наблюдений и б) взаимного углового расстояния. Остается ли постоянной с течением времени искомая угловая скорость? (4+4 балла)

5. Оцените дату и время (по шкале местного гражданского времени), когда траектории видимого движения данных небесных тел "пересеклись". (2 балла)

Орбиту Луны считать круговой.

*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 –  $5778 \text{ К}$
- 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 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 <sup>-3</sup>	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 <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 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 <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.