

Всероссийская олимпиада школьников по астрономии
Муниципальный этап, теоретический тур
2023/2024 учебный год
11 класс

Уважаемый участник олимпиады!

Вам предстоит выполнить теоретические (письменные) и тестовые задания.

Время выполнения всех заданий тура – **4** астрономических часа.

Выполнение теоретических (письменных) заданий целесообразно организовать следующим образом:

- не спеша, внимательно прочитайте задание и определите, наиболее верный и полный ход решения и ответ;
- отвечая на теоретический вопрос, обдумайте и сформулируйте конкретный ответ только на поставленный вопрос;
- если Вы отвечаете на задание, связанное с заполнением таблицы или схемы, не старайтесь чрезмерно детализировать информацию, вписывайте только те сведения или данные, которые указаны в вопросе;
- после выполнения всех предложенных заданий еще раз удостоверьтесь в правильности выбранных Вами ответов и решений.

Выполнение тестовых заданий целесообразно организовать следующим образом:

- не спеша, внимательно прочитайте задание;
- определите, какой из предложенных вариантов ответа (в случае использования заданий с выбором ответа) наиболее верный и полный;
- напишите букву (цифру), соответствующую выбранному Вами ответу;
- продолжайте, таким образом, работу до завершения выполнения тестовых заданий;
- после выполнения всех предложенных заданий еще раз удостоверьтесь в правильности Ваших ответов.

Не спешите сдавать решения досрочно, еще раз проверьте все решения и ответы.

Задание теоретического тура считается выполненным, если Вы вовремя сдаете его представителям оргкомитета. Максимальная оценка – **100** баллов.

№ 1. «Созвездия и яркие звезды (для 11-го класса)»

На рис. 1 представлен фрагмент звездной карты с указанием границ созвездий.

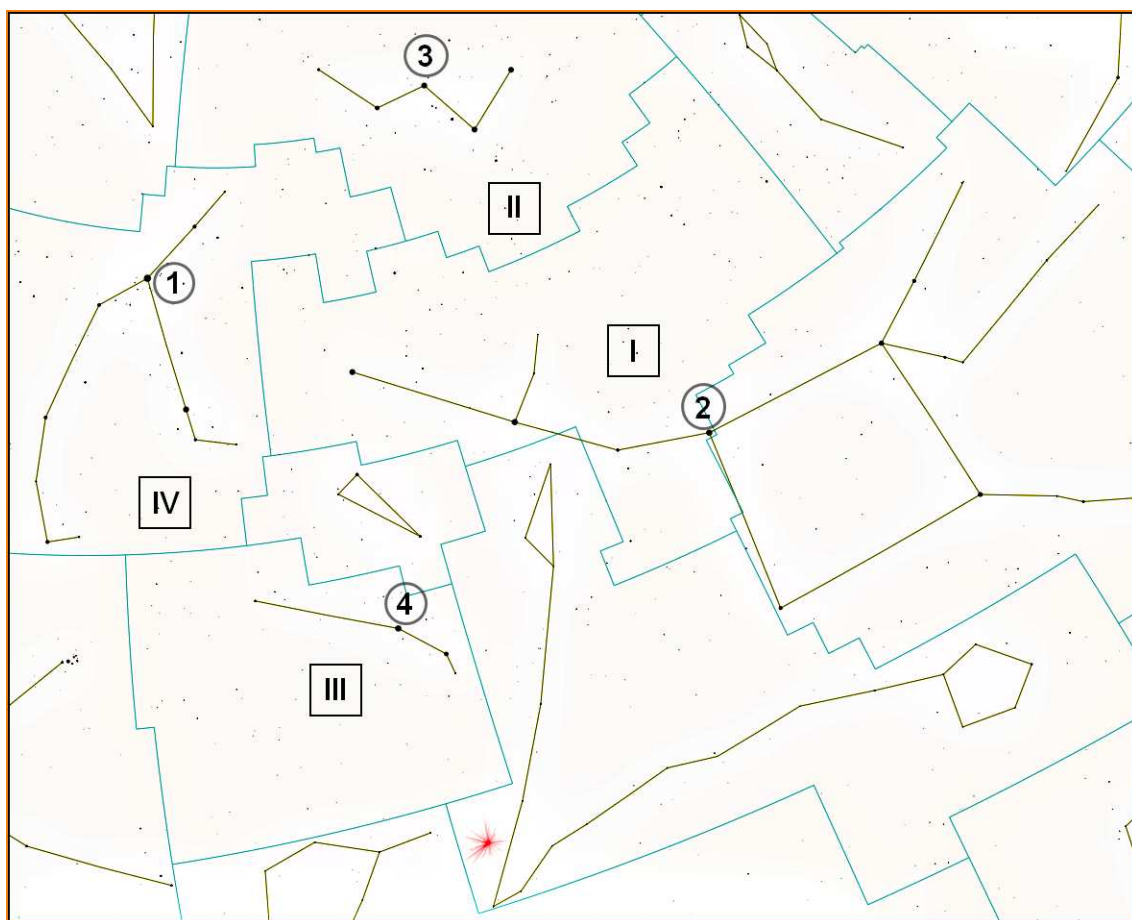


Рис. 1. К задаче №1.

1. Сопоставьте участкам звездного небосвода, отмеченным на рис. 1 римскими цифрами I–IV, названия созвездий, представленных в табл. 1. Свои ответы запишите в табл. 2. (1 балл за правильно названное созвездие)

А) Треугольник	Б) Малый Конь	В) Ящерица	Г) Овен
Д) Персей	Е) Рыбы	Ж) Водолей	З) Андромеда
И) Змея	К) Телец	Л) Кассиопея	М) Южная Рыба

Таблица 1. Названия некоторых созвездий земного небосвода.

Созвездие	I	II	III	IV
Название				

Таблица 2. К определению ответов на первый вопрос задачи.

2. Сопоставьте некоторым ярким звездам (обозначенным черными жирными точками), отмеченным на рис. 1 арабскими цифрами 1 – 4, их названия, представленные в табл. 3. Свои ответы запишите в табл. 4. (2 балла за правильно названную звезду)

А) Вега	Б) Нави	С) Сириус	Д) Мирфак
Е) Мирах	Ф) Хамаль	Г) Шератан	Н) Мезартим
Ж) Альферац	К) Аламак	Л) Алголь	М) Маркаб

Таблица 3. Названия некоторых ярких звезд земного небосвода.

№ 2. «Противосолнечная точка и ее положения (11 класс)»

Как известно, *противосолнечной точкой* называется точка небосвода, расположенная диаметрально противоположно по отношению к Солнцу, с точки зрения земного наблюдателя. С

Звезда	1	2	3	4
Название				

Таблица 4. К определению ответов на второй вопрос задачи.

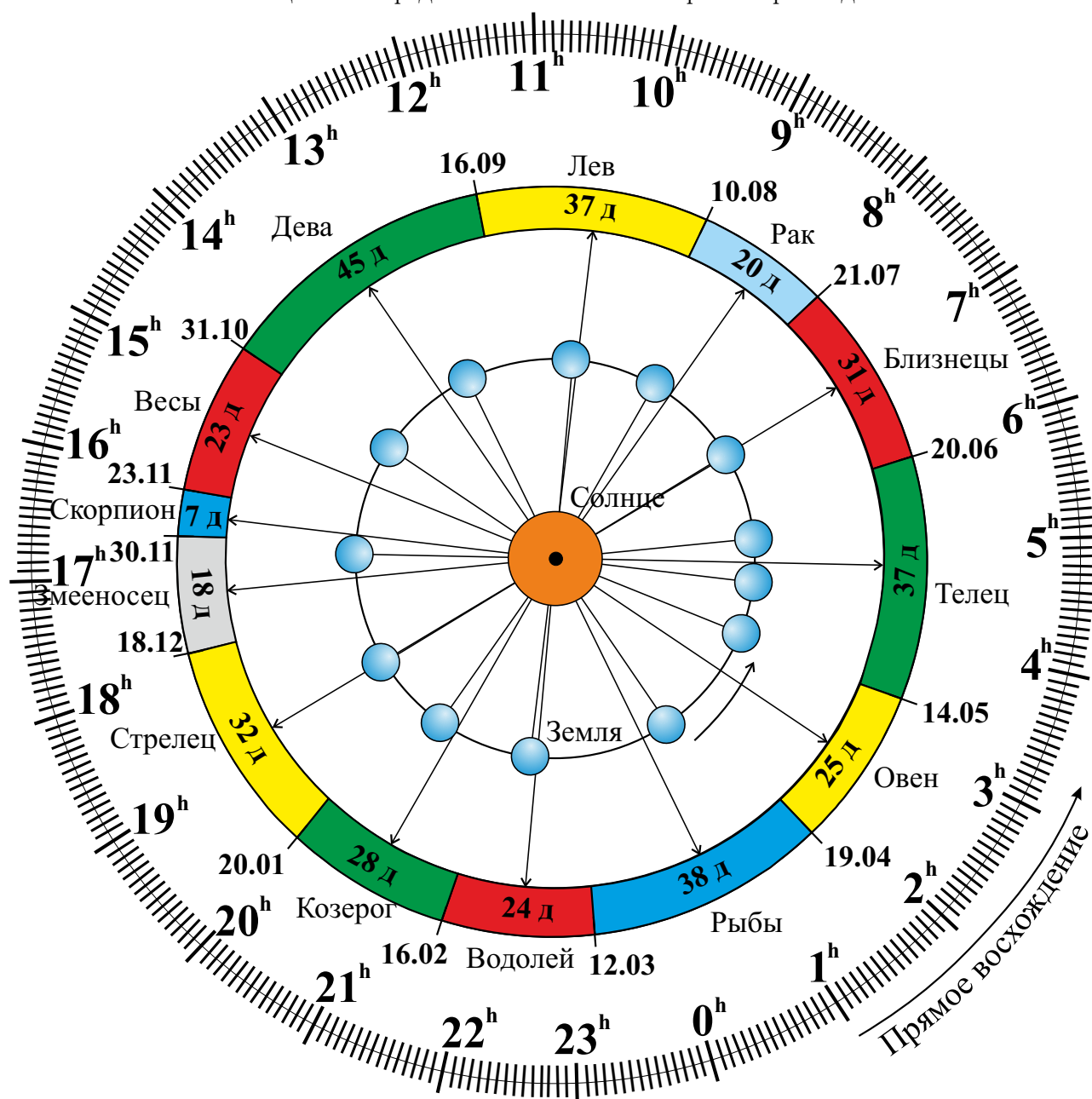


Рис. 2. Диаграмма видимого движения Солнца по зодиакальным созвездиям для наблюдателя, смотрящего с северного полюса эклиптики (здесь Земля движется против часовой стрелки, указано стрелкой; на рисунке видно ее северное полушарие); длинными прямыми стрелками указаны направления проецирования Солнца на зодиакальные созвездия с точки зрения земного наблюдателя; указанные даты отвечают началу момента пребывания Солнца в данном созвездии. Продолжительность пребывания в созвездии указана в сутках (днях); указана шкала прямых восхождений.

использованием диаграммы видимого положения Солнца относительно зодиакальных созвездий (см. рис. 2), определите:

1. С какой точкой небосвода должна совпасть противосолнечная точка в момент наступления осеннего равноденствия? (2 балла)

Варианты ответов:

1. Точка весеннего равноденствия	2. Точка летнего солнцестояния
3. Точка осеннего равноденствия	4. Точка зимнего солнцестояния

2. В каком созвездии Солнце описывает наименьшую дугу эклиптики, если считать его движение по эклиптике равномерным? Чему равна угловая мера этой дуги? Ответ представить в градусах, округлив до целых. (4 балла)

1. Овен	2. Телец	3. Близнецы	3. Рак
5. Лев	6. Дева	7. Весы	8. Скорпион
9. Змееносец	10. Стрелец	11. Козерог	12. Водолей
13. Рыбы	–	–	–

3. В каком созвездии противосолнечная точка пребывает в день рождения Виктора Амбарцумяна – 18 сентября? (2 балла)

1. Овен	2. Телец	3. Близнецы	3. Рак
5. Лев	6. Дева	7. Весы	8. Скорпион
9. Змееносец	10. Стрелец	11. Козерог	12. Водолей
13. Рыбы	–	–	–

4. Чему равно прямое восхождение противосолнечной точки 21 ноября? Ответ представить в часах, округлив до целого. (3 балла)

5. Вега – одна из ярчайших звезд ночного небосвода, экваториальные координаты которой есть $\alpha_* = 18^h 37^m$, $\delta_* = +38^\circ 47'$? В какое время года условия наблюдений этой звезды являются оптимальными? Свой ответ поясните. (6 баллов)

Пояснение: условия наблюдений небесного тела считаются *оптимальными*, если данное тело наблюдается в полночь (при этом Солнце опускается максимально глубоко под горизонт, т.е. находится в *нижней кульминации*) на наибольшей высоте над горизонтом (находится в своей *верхней кульминации*).

Варианты ответов:

1. Весна	2. Лето	3. Осень	4. Зима
----------	---------	----------	---------

6. Через какое количество суток после момента наступления оптимальных условий наблюдений Арктура ($\alpha_* = 14^h 16^m$, $\delta_* = +19^\circ 11'$) наступит соответствующий момент для Веги? (3 балла)

№ 3. «Самодельный телескоп из очковых стекол-2»

Один смысленный самарский школьник решил построить самодельный телескоп из очковых стекол. Для этого он решил использовать в качестве объектива два мениска с оптической силой $D_1 = +0.25$ дптр, сложенных вплотную выпуклой стороной наружу. В качестве окуляра решил использовать небольшую линзу с оптической силой $D_2 = -10$ дптр. Чтобы минимизировать влияние хроматической аберрации на изображение, он вставил диафрагму диаметром 30 мм между менисками.

Определите:

1. Фокусные расстояния объектива и окуляра телескопа (в метрах). (3 балла)

2. Под каким углом этот школьник будет наблюдать Луну в полнолуние в свой телескоп? Орбиту Луны считать круговой. (2 балла)

3. Чему равно минимальное угловое расстояние (в угловых секундах) между компонентами (одинаковыми по яркости) двойной звезды, которые еще смогут быть разрешены в данный инструмент? (2 балла)

4. Во сколько раз освещенность самых тусклых звезд, еще видимых в данный телескоп меньше, чем освещенность самых тусклых звезд, еще видимых невооруженным глазом школьника? Диаметр зрачка школьника в ночное время составляет 6 мм. (2 балла)

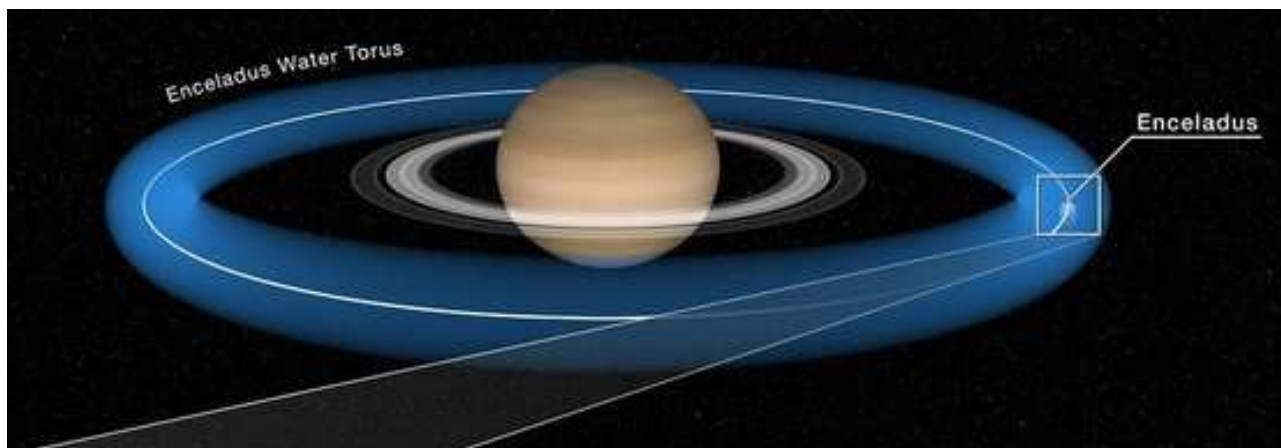


Рис. 3. К определению тора из водяного пара, порожденного Энцеладом вокруг Сатурна.

5. Чему равна проникающая сила телескопа. Проникающую силу человеческого глаза принять равной $m_y = +6^m$. (2 балла)

6. Чему должна быть равна минимальная длина (в сантиметрах) телескопа во время наблюдения Луны? (3 балла)

№ 4. «Громкое открытие космического телескопа им. Дж. Уэбба 2023 года»

Группа астрономов во главе с Дж. Виллануева из Центра космических полетов имени Годдарда представила весной 2023 года первые результаты наблюдений Энцелада с помощью космического телескопа им. Дж. Уэбба в ближнем инфракрасном диапазоне. Ученые обнаружили гигантский круглый тор (см. рис. 3), содержащий молекулы воды при температуре 25 К, любое поперечное сечение которого есть круг, радиус которого в 40 раз больше радиуса Энцелада ($R_E = 252$ км), а центр этого круга расположен на орбите спутника (радиус которой – $a_E = 237948$ км). Производство водяного пара с поверхности Энцелада составляет 300 кг/с, а в торе содержится около $N_{\text{mol}} = 2.5 \cdot 10^{34}$ молекул воды.

Определите:

1. Полный объем данного тора с использованием теоремы Гульдина-Паппа¹. (4 балла)

2. Среднюю концентрацию водяного пара в торе и среднее расстояние между двумя соседними молекулами воды в торе, полагая, что все молекулы воды распределены в теле тора равномерно. (5 баллов)

3. Полную массу воды в торе. Какое целое количество витков должен описать Энцелад вокруг Сатурна, чтобы масса произведенного им пара стала равна полной массе водяного пара в торе? $M_{H_2O} = 18$ г/моль – молярная масса воды. (8 баллов)

4. Длину волны, на которую приходится максимум интенсивности его электромагнитного излучения, предполагая, что тор излучает подобно абсолютно черному телу. (3 балла)

№ 5. «Календарь Омара Хайяма и не только!»

В период XI-XIX вв. в Иране использовался солнечный календарь, разработанный Омаром Хайямом. В этом календаре обычный год состоял из 365 дней, а високосный – из 366, причем из каждых 33 лет 8 было високосных (3-й, 7-й, 11-й, 15-й, 20-й, 24-й, 28-й, 32-й). Сравните этот календарь с юлианским и григорианским. Какой из них более точный? Свой ответ обоснуйте строго математически. Определите количество лет, в течение которых в юлианском и григорианском календарях, а также в календаре Хайяма набегала погрешность в одни сутки. Продолжительность тропического года составляет 365.2421896698 суток. (14 баллов)

¹Вторая теорема Гульдина-Паппа гласит: *объем тела, образованного вращением плоской фигуры вокруг оси, расположенной в той же плоскости и не пересекающей фигуру, равен площади фигуры, умноженной на длину окружности, радиусом которой служит расстояние от оси вращения до геометрического центра фигуры.*

№ 6. «Что быстрее удаляется от Солнца?»

1. Как известно, расстояние между Солнцем и Землей необратимо увеличивается из-за массовых потерь центрального светила. Определите скорость (в см/год) увеличения радиуса *круговой* орбиты Земли в настоящий момент. В расчетах необходимо учесть следующие виды массовых потерь: 1) потери, обусловленные электромагнитным излучением, 2) потери, обусловленные солнечным ветром (основные характеристики солнечного ветра см. в таб. 5). (15 баллов)

Параметр	Среднее	Параметр	Среднее
$\bar{v}$, (км/с)	400	η_p	0.96
$n_p, \times 10^6$ (1/м ³)	6.0	η_α	0.04

Примечание: здесь n_p – средняя концентрация протонов, $\bar{v}$ – средняя скорость солнечного ветра на орбите Земли, $\eta_{\{p,\alpha\}}$ – мольные доли протонов и альфа-частиц (основных носителей массы).

Таблица 5. Основные количественные характеристики солнечного ветра.

2. В результате эволюции светимость Солнца на масштабах 10^9 лет изменяется по закону:

$$L_\odot(t) = L_\odot^{(0)} \left[1 + \frac{2}{5} \left(1 - \frac{t}{t_0} \right) \right]^{-1}, \quad (1)$$

где t – время жизни Солнца на интересующий момент времени, $t_0 = 4.57 \cdot 10^9$ лет – время жизни Солнца на данный момент, $L_\odot(t)$ – светимость Солнца в момент времени t , $L_\odot^{(0)}$ – светимость Солнца на данный момент. Определите скорость удаления от Солнца сферы (в настоящий момент), на поверхности которой солнечная постоянная неизменна и равна $f_\odot = 1361$ Вт/м². (4 балла)

3. Что удаляется от Солнца быстрее: орбита Земли или сфера постоянства солнечной постоянной? (1 балл)

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 α – частицы – $m_\alpha = 6.645 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$
- 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 – $1 \text{ пк} = 3.261 \text{ св. лет} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
- Постоянная Хаббла – $H = 72 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$

§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 звездная величина – -26.74^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 часа 56 минут 04 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 – 356410 км
- Максимальное расстояние от Земли – 406700 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	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	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	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. альбедо	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.

Дополнительные справочные данные

§9. Освещенность, создаваемая звездой с видимой звездной величиной $m = 0^{\text{m}}$

$$E_0 = 2.48 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2.$$