

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ

ИНФОРМАЦИЯ

для участника Регионального этапа

Всероссийской олимпиады школьников по астрономии 2018 года

Тексты олимпиадных заданий для Регионального этапа олимпиады

Москва 2017

Дорогой друг!

Прежде чем начать решать задания Регионального этапа Всероссийской олимпиады по астрономии 2018 года, ознакомьтесь с правилами его проведения.

Вам будут вручены листы с условиями заданий олимпиады. Убедитесь, что это будут задания для того класса, в котором Вы учитесь. Задания выдаются на двух листах, проверьте наличие всех необходимых листов с заданиями. Количество заданий – 6, на их решение Вам будет отведено 4 часа. Время отсчитывается от момента выдачи листов с заданиями.

Кроме этого, Вам должны выдать 3 листа со справочной информацией, разрешенной к использованию на олимпиаде. Помните, что это – единственный источник, которым Вы можете пользоваться по ходу решения заданий, использование любых других источников – нарушение правил олимпиады, за которое Вы можете быть исключены из состава ее участников. Вы также не можете пользоваться переносными компьютерами, программируемыми калькуляторами и мобильными телефонами (в любых функциях) во время олимпиады. Настоятельно рекомендуем Вам отключить их до окончания олимпиады.

При этом Вы имеете право пользоваться непрограммируемым калькулятором, любыми канцелярскими принадлежностями (как своими, так и выданными оргкомитетом олимпиады). Вы можете в любое время принимать продукты питания, но при этом старайтесь не отвлекать, не мешать и уважать труд Ваших друзей, находящихся рядом.

Если у Вас возник вопрос по условиям заданий или правилам проведения олимпиады, не задавайте его вслух, а просто поднимите руку. К Вам подойдет сотрудник оргкомитета, а при надобности он пригласит члена жюри, который ответит на Ваш вопрос.

Вы можете временно покинуть аудиторию, при этом Вы должны отдать свою рабочую тетрадь сотруднику оргкомитета, находящемуся в аудитории. Он вернет ее Вам, когда Вы вернетесь в аудиторию и продолжите работу. Одновременный выход из аудитории двух или более участников олимпиады не допускается.

Во время олимпиады все записи (в том числе черновые) Вы можете делать только в тетрадь (или блок листов), выданную Вам оргкомитетом. Делать записи на какую-либо другую бумагу запрещается. На обложке тетради (или первом листе блока) напишите свою фамилию, имя и отчество, класс и номер школы, район, город или иной населенный пункт, где находится Ваша школа. Эта информация должна быть только на обложке, писать ее внутри тетради не разрешается.

Первую страницу тетради (или первый лист блока) оставьте чистой – она понадобится для работы жюри. Начинайте работу со второй страницы тетради. Для обеспечения объективности проверки Вашей работы начинайте решение каждой задачи на новой странице. Оставьте несколько последних страниц тетради для черновых записей, подписав их словом «Черновик».

Если выданной Вам тетради недостаточно для записей, поднимите руку. Вам выдадут еще одну тетрадь.

При решении задач помните, что жюри обращает внимание, прежде всего, не на ответ, а на структуру решения, обоснованность и связанность законов и фактов, которые Вы используете. Старайтесь писать полные и подробные решения, но не добавляйте в них лишнюю информацию, не относящуюся к теме задания. Записи и рисунки делайте аккуратно, чтобы Ваш ход мысли было легко понять. Получив ответ, постарайтесь проверить его известными Вам способами, чтобы исключить возможность случайных ошибок.

При решении задачи 6 Вы можете делать измерения и построения на приложенных к условию задания графиках. Если Вы считаете, что они необходимы жюри для правильного оценивания Вашего решения – сдайте лист с условием задания №6 вместе с решениями.

Если Вы закончили решения раньше срока, не спешите покидать аудиторию. Используйте оставшееся время, чтобы еще раз просмотреть и проверить все Ваши решения. Наверняка, в них будет то, что можно улучшить, идеальных работ на олимпиаде практически не бывает.

От всей души желаем Вам успеха на олимпиаде!

Лист 1

1. Из каких областей земной поверхности возможно одновременное наблюдение Арктура (α Волопаса) и Хадара (β Центавра)? Координаты этих звезд считать равными $\alpha_1=14.0^{\text{ч}}$, $\delta_1=+19^\circ$; $\alpha_2=14.0^{\text{ч}}$, $\delta_2=-60^\circ$ соответственно. Атмосферной рефракцией и поглощением света пренебречь.

2. Последнее противостояние Сатурна состоялось 15 июня 2017 года. В каком ближайшем календарном году противостояния этой планеты с Солнцем не будет? Орбиты Земли и Сатурна считать круговыми.

3. Спутник обращается вокруг сферической планеты по эллиптической орбите. В перигентре спутник имеет высоту над поверхностью планеты 800 км и орбитальную скорость 12.3 км/с, в апоцентре – 2300 км и 11.1 км/с. Определите среднюю плотность планеты.

4. Толщина диска нашей Галактики составляет 800 световых лет. Солнце находится вблизи плоскости Млечного пути. Оцените, сколько звезд со светимостью порядка солнечной можно увидеть со всей Земли в телескоп ГАЛ-1 с диаметром главного зеркала 110 мм? Считать концентрацию таких звезд в диске Млечного пути постоянной и равной 0.01 пк^{-3} . Межзвездным поглощением света пренебречь.

5. Предположим, что все звезды на небе, как и полагали в древности, расположены на большой хрустальной сфере, движущейся вокруг Земли и тем самым создающей эффект суточного вращения. Какой должен быть радиус такой небесной сферы (в астрономических единицах), чтобы ее линейная скорость на экваторе была равна скорости света?

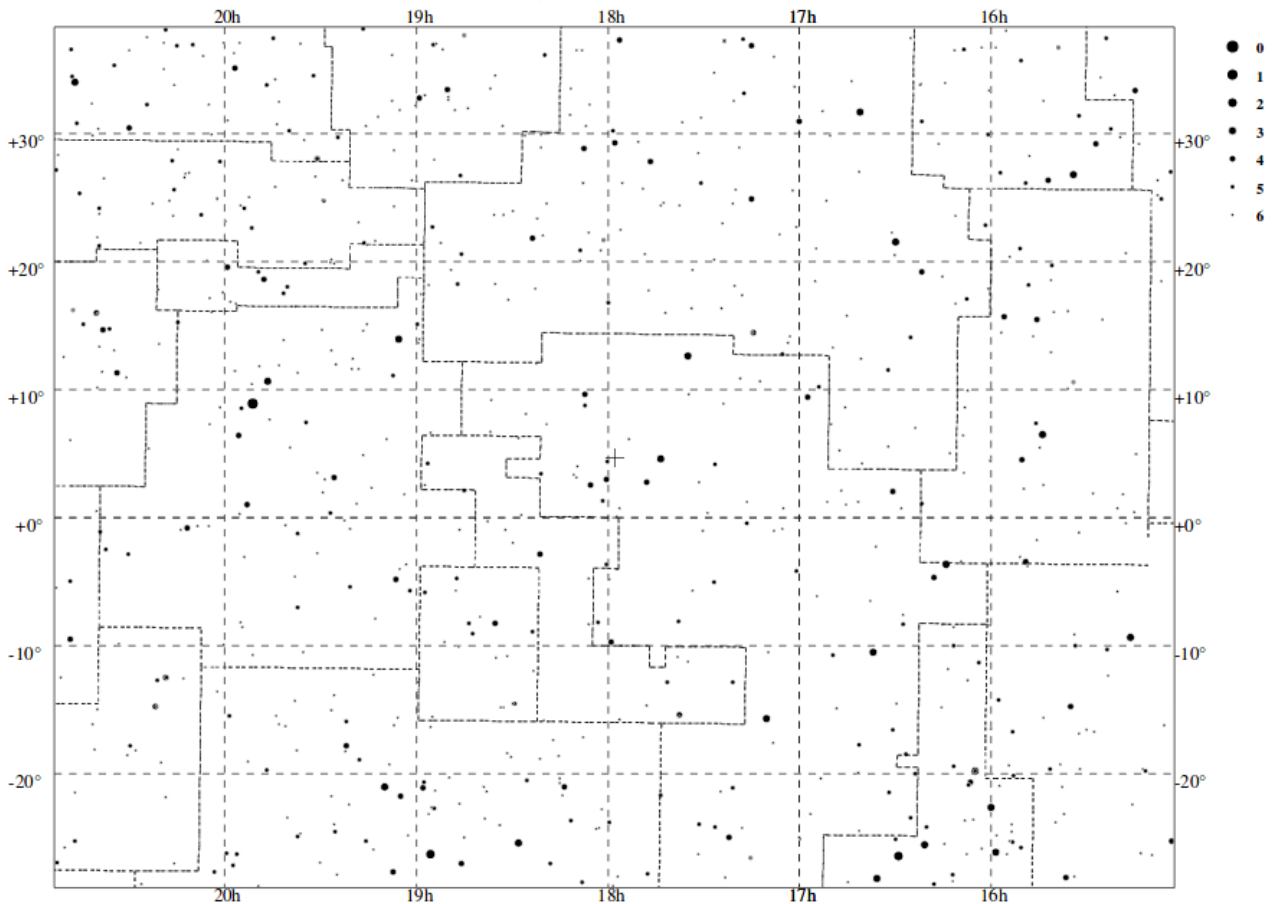
Анаксимандр из Милета при этом считал, что звезды – это дыры в небе, через которые виден "небесный огонь". Угловой диаметр звезды Канопус равен $0''.0069$. Мог бы человек тогда пролезть в "дыру", соответствующую Канопусу?

Предположим далее, что звезды – это постоянные источники света, а звездные сутки на Земле увеличиваются на 2 мс за 100 лет. Какова скорость расширения хрустальной сферы, если ее линейная скорость вращения на экваторе постоянна и равна скорости света? На сколько звездных величин потускнели бы звезды со времен Анаксимандра (за 2600 лет)?

Лист 2

6. Собственное движение звезды Барнарда равно $-0.8''/\text{год}$ по прямому восхождению и $+10.3''/\text{год}$ по склонению. Лучевая скорость равна -111 км/с , параллакс $-0.547''$. Вам дана звездная карта окрестностей этой звезды. Сама звезда находится в середине карты и помечена крестом. Определите:

- 1) В каком созвездии находится звезда Барнарда?
- 2) В каком направлении на карте движется звезда?
- 3) В какое созвездие эта звезда переместится?
- 4) Когда это произойдет?



Map produced by SkyMap Online. <http://www.astronet.ru/>

Лист 1

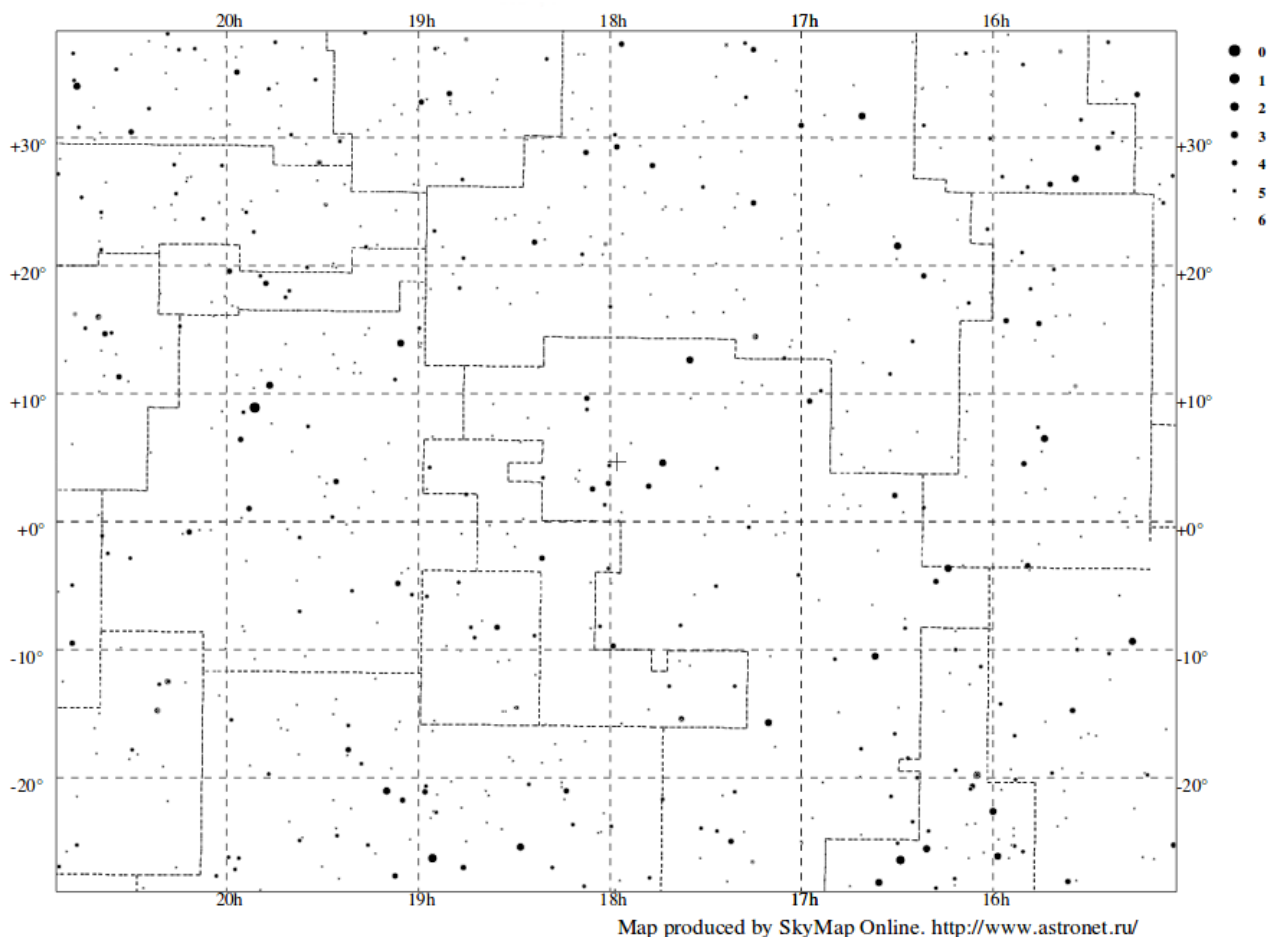
1. Из каких областей земной поверхности возможно одновременное наблюдение Арктура (α Волопаса) и Хадара (β Центавра)? Координаты этих звезд считать равными $\alpha_1=14.0^{\text{ч}}$, $\delta_1=+19^\circ$; $\alpha_2=14.0^{\text{ч}}$, $\delta_2=-60^\circ$ соответственно. Атмосферной рефракцией и поглощением света пренебречь.
2. Последнее противостояние Сатурна состоялось 15 июня 2017 года. В каком ближайшем календарном году противостояния этой планеты с Солнцем не будет? Орбиты Земли и Сатурна считать круговыми.
3. Оптическая звезда входит в двойную систему с темным компактным объектом. Масса темного объекта равна 1.4 массы Солнца. Движение вокруг центра масс происходит так, что у оптической звезды исчезает годовое параллактическое смещение в небе Земли. Определите массу этой звезды. Орбиты Земли и звезд в системе считать круговыми.
4. Находясь в западной квадратуре, планета Марс оказалась на небе очень близко к звезде спектрального класса G. Линии в спектре Марса и звезды точно совпали по длинам волн. Найти лучевую скорость звезды относительно Солнца. Орбиты Земли и Марса считать круговыми.
5. У звезды 12^{m} спектрального класса G2V обнаружили колебания блеска с периодом 10 лет, вызванные прохождением планеты по ее диску – в полосе V глубина составила 1.500% по яркости, а в линии H α – 1.520% по яркости. Оцените размеры планеты и высоту ее атмосферы, считая атмосферу состоящей из атомарного водорода и непрозрачной в линии H α , а орбиту планеты – круговой, лежащей на луче зрения. Определите максимальное угловое расстояние между планетой и звездой.

Задание 6 – на листе 2

Лист 2

6. Собственное движение звезды Барнарда равно $-0.8''/\text{год}$ по прямому восхождению и $+10.3''/\text{год}$ по склонению. Лучевая скорость равна -111 км/с , параллакс $-0.547''$. Вам дана звездная карта окрестностей этой звезды. Сама звезда находится в середине карты и помечена крестом. Определите:

- 1) В каком созвездии находится звезда Барнарда?
- 2) В каком направлении на карте движется звезда?
- 3) В какое созвездие эта звезда переместится?
- 4) Когда это произойдет?



Лист 1

1. Наземно-космический интерферометр состоит из двух радиотелескопов: один установлен на поверхности Земли, другой – на спутнике, движущимся по орбите вокруг Земли. В момент наблюдения спутник находился на расстоянии 10000 км от центра Земли. Для наземной антенны спутник находился на высоте 60° , а исследуемый источник на высоте 30° , причем оба на одном азимуте. Определите разрешение интерферометра в данном эксперименте, если наблюдения проводились на длине волны 18 см.

2. На полюсе спутника Юпитера Европа, на высокой башне, установили телескоп для изучения другого спутника – Ганимеда – и постройки его карты. Какую часть поверхности Ганимеда удастся изучить с этим телескопом? Считать орбиты спутников круговыми и лежащими в плоскости экватора Юпитера и самих спутников, размеры спутников – существенно меньшими радиусов их орбит. Считать также, что весь диск Ганимеда постоянно находится над горизонтом с точки положения телескопа на башне.

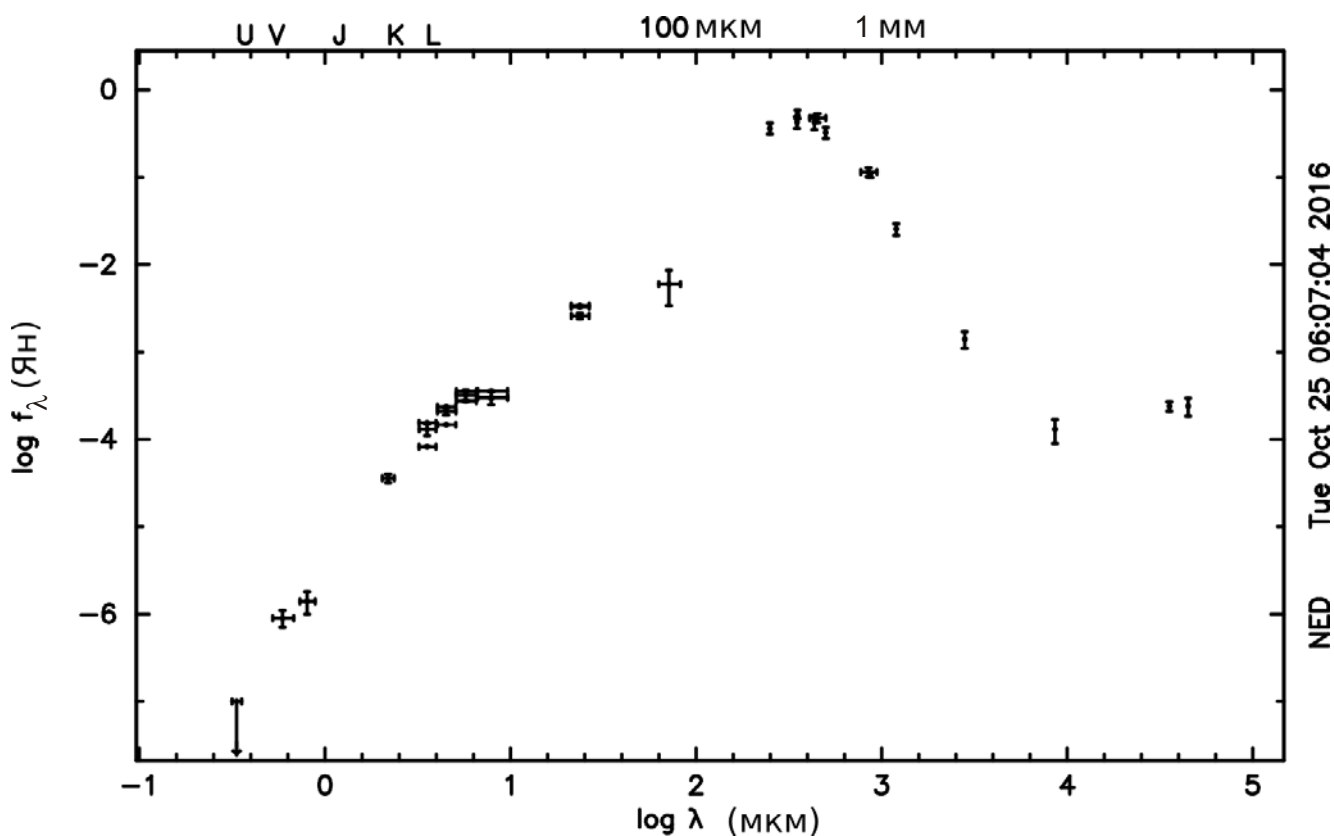
3. Оптическая звезда входит в двойную систему с темным компактным объектом. Масса темного объекта равна 1.4 массы Солнца. Движение вокруг центра масс происходит так, что у оптической звезды исчезает годовое параллактическое смещение в небе Земли. Определите массу этой звезды. Орбиты Земли и звезд в системе считать круговыми.

4. Звезда, похожая на Солнце, обращается вокруг центра Галактики. Скорость звезды относительно Солнца равна 150 км/с. Известно, что обе звезды находятся на одинаковом расстоянии от центра Галактики, равном 8 кпк, и движутся в одном направлении по окружности с одинаковой скоростью 220 км/с. Считая, что среднее межзвездное поглощение равно $0.002^m/\text{пк}$, найдите видимую звездную величину этой звезды.

5. У звезды 12^m спектрального класса G2V обнаружили колебания блеска с периодом 10 лет, вызванные прохождением планеты по ее диску – в полосе V глубина составила 1.500% по яркости, а в линии $H\alpha$ – 1.520% по яркости. Оцените размеры планеты и высоту ее атмосферы, считая атмосферу состоящей из атомарного водорода и непрозрачной в линии $H\alpha$, а орбиту планеты – круговой, лежащей на луче зрения. Определите максимальное угловое расстояние между планетой и звездой.

Лист 2

6. На рисунке представлен спектр галактики SMM J2135-0102, имеющей красное смещение $z=2.33$. По оси абсцисс отложена длина волны в логарифмическом масштабе, по оси ординат – измеренная спектральная плотность потока излучения также в логарифмическом масштабе. Данная галактика относится к так называемым субмиллиметровым галактикам – в них практически все излучение звезд поглощается и переизлучается пылью в субмиллиметровом диапазоне электромагнитного спектра. Оцените характерную температуру пыли в галактике.



СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Основные физические и астрономические постоянные

Гравитационная постоянная $G = 6.672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
Скорость света в вакууме $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Постоянная Больцмана $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$
Универсальная газовая постоянная $\mathcal{R} = 8.31 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
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 $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
Постоянная Хаббла $H = 68 \text{ (км/с)/Мпк}$

Данные о Солнце

Радиус $695\,000 \text{ км}$
Масса $1.989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
Светимость $3.88 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
Спектральный класс G2
Видимая звездная величина -26.78^{m}
Абсолютная болометрическая звездная величина $+4.72^{\text{m}}$
Показатель цвета (B–V) $+0.67^{\text{m}}$
Эффективная температура 5800 К
Средний горизонтальный параллакс $8.794''$
Скорость движения в Галактике 230 км/с
Интегральный поток энергии на расстоянии Земли 1360 Вт/м^2

Данные о Земле

Эксцентриситет орбиты 0.017
Тропический год 365.24219 суток
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 года: $23^\circ 26' 21.45''$
Экваториальный радиус 6378.14 км
Полярный радиус 6356.77 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 (~1%).

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 суток
Синодический период обращения 29.530589 суток
Радиус 1738 км
Масса $7.348 \cdot 10^{22} \text{ кг}$ или $1/81.3$ массы Земли
Средняя плотность $3.34 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$
Сферическое альbedo 0.07
Видимая звездная величина в полнолуние -12.7^{m}
Видимая звездная величина в первой и последней четверти -10^{m}

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЦА И ПЛАНЕТ

Планета	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Гео-метр. аль-беда	Вид. звездная величина*
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	$1.989 \cdot 10^{30}$	332946	695000	108.97	1.41	25.380 сут	7.25	–	–26.8
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
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
Юпитер	$1.899 \cdot 10^{27}$	317.94	71492	11.209	1.33	9.924 час	3.13	0.52	–2.7
Сатурн	$5.685 \cdot 10^{26}$	95.181	60268	9.4494	0.69	10.656 час	25.33	0.47	0.4
Уран	$8.683 \cdot 10^{25}$	14.535	25559	4.0073	1.32	17.24 час**	97.86	0.51	5.7
Нептун	$1.024 \cdot 10^{26}$	17.135	24746	3.8799	1.64	16.11 час	28.31	0.41	7.8

* – для наибольшей элонгации внутренних планет и среднего противостояния внешних планет.

** – обратное вращение.

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ СПУТНИКОВ ПЛАНЕТ

Спутник	Масса	Радиус	Плотность	Радиус орбиты	Период обращения	Геометрич. альbedo	Видимая звездная величина*
	кг	км	г/см ³	км	сут		m
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	0.2	~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**	0.76	13.5

* – для полнолуния или среднего противостояния внешних планет.

** – обратное направление вращения.

ФОРМУЛЫ ПРИБЛИЖЕННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ

$$\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x;$$

$$\sin(\alpha + x) \approx \sin \alpha + x \cos \alpha;$$

$$\cos(\alpha + x) \approx \cos \alpha - x \sin \alpha;$$

$$\operatorname{tg}(\alpha + x) \approx \operatorname{tg} \alpha + \frac{x}{\cos^2 \alpha};$$

$$(1 + x)^n \approx 1 + nx;$$

($x \ll 1$, углы выражаются в радианах).