

Всероссийская олимпиада школьников по астрономии
Муниципальный этап, теоретический тур
2024/2025 учебный год
11 класс

Уважаемый участник олимпиады!

Вам предстоит выполнить теоретические (письменные) и тестовые задания.

Время выполнения всех заданий тура – **3.5** 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. «Семейный портрет» Солнечной системы»

На рис. 1 дана упрощенная схема Солнечной системы (не в масштабе) с указанием нумерации ее основных тел.

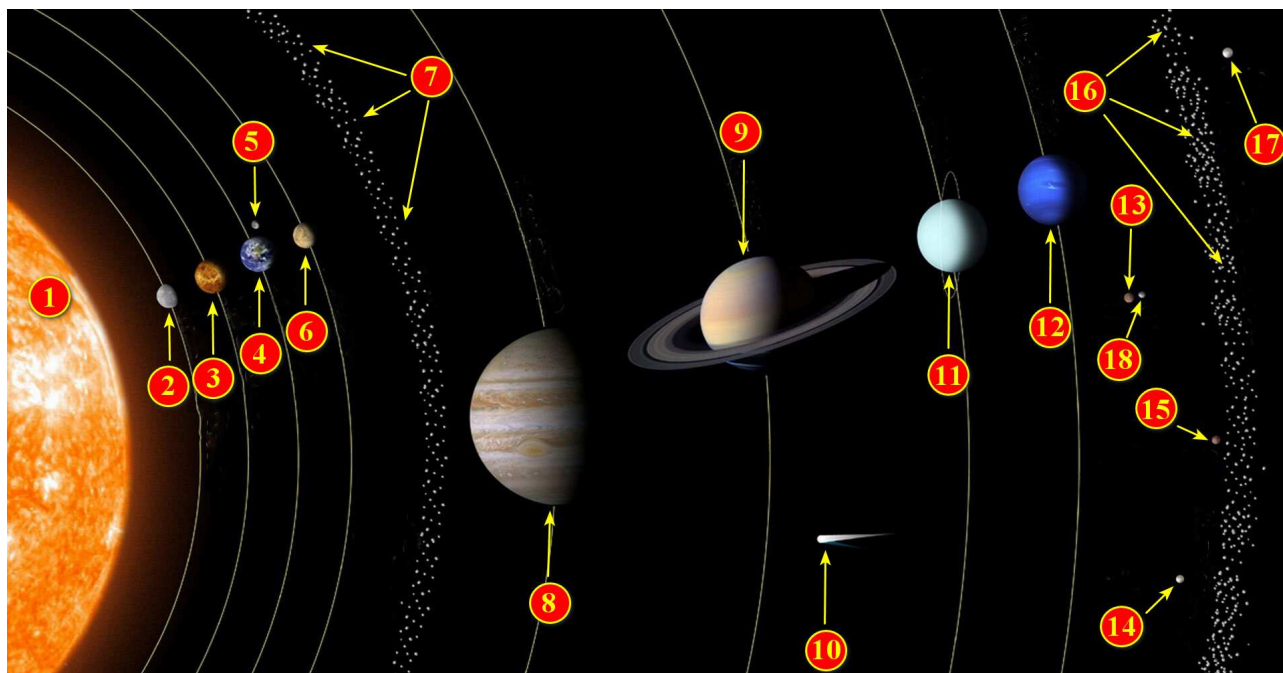


Рис. 1. Основные тела, составляющие Солнечную систему.

1. Установите соответствие между названиями представленных тел или системы тел и номерами, соответствующими им на рисунке. Ответ представьте в виде пар (буква, цифра).

Варианты ответов:

А. Пояс Койпера	Б. Хаумея (карликовая планета)	В. Уран	Г. Венера
Д. Комета	Е. Эрида (карликовая планета)	Ж. Юпитер	З. Харон (спутник Плутона)

Примечание: при решении задачи Вам может оказаться полезным неравенство для средних гелиоцентрических расстояний a_i до планет-карликов:

$$a_{\text{Церера}} < a_{\text{Плутон} + \text{Харон}} < a_{\text{Хаумея}} < a_{\text{Макемаке}} < a_{\text{Эрида}}.$$

2. У какой классической планеты Солнечной системы угловая скорость осевого вращения минимальна? Здесь и далее ответ на вопрос представьте номером, соответствующим данному объекту на рис. 1.

3. Для какой области Солнечной системы выдвигались гипотезы о ее существовании в течение нескольких десятков лет XX столетия, однако первое прямое доказательство ее существования было получено лишь в 1992 году?

4. У какой классической планеты эллиптическая орбита является наиболее вытянутой?

5. Плоскость орбиты какой классической планеты наиболее близка по положению в пространстве к плоскости земной орбиты?

6. С орбит каких классических планет (без учета гравитационных полей последних) невозможно покинуть Солнечную систему с помощью космического корабля, если последний может развивать скорость V относительно Солнца, принадлежащую интервалу:

$$0 \text{ км/с} \leq V \leq 35 \text{ км/с}. \quad (1)$$

№ 2. «Дневные пути Солнца по небосводу в течение года»

На рис. 2 представлены пограничные суточные параллели (А и С), которые описывает Солнце лишь один раз в течение года, и срединная параллель В, для жителя средних северных широт. Буквами V обозначены его точки восхода, а буквами Z – точки заката.

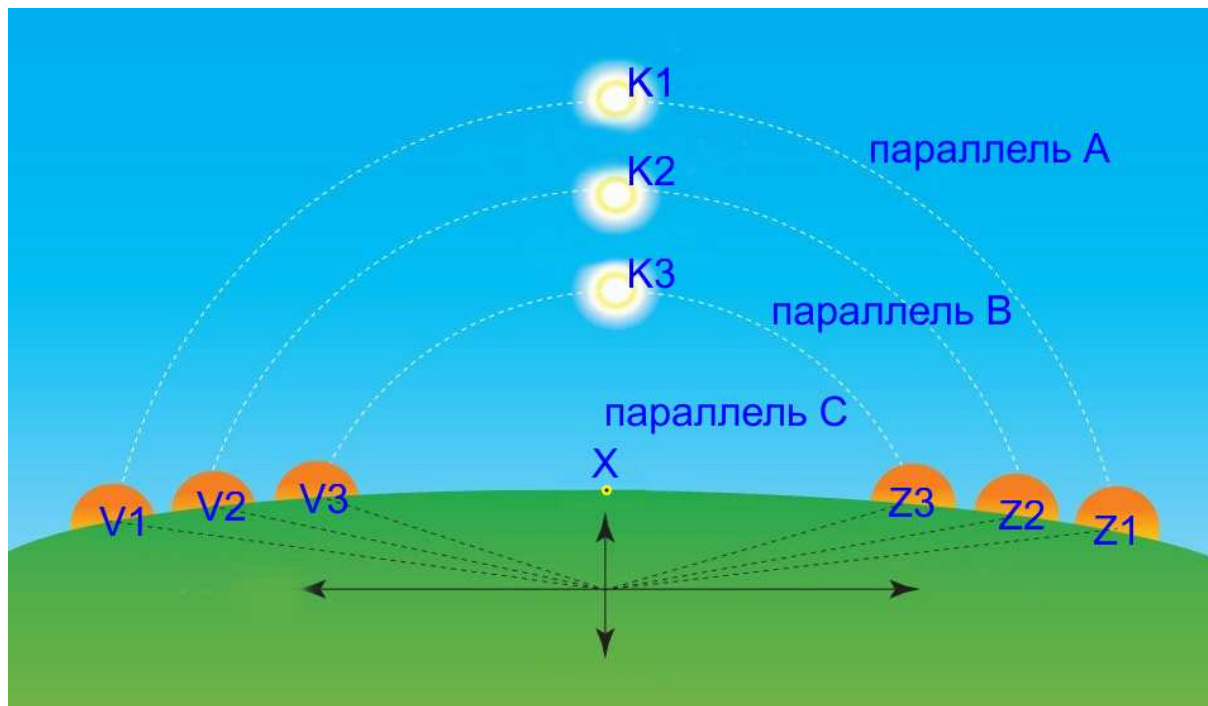


Рис. 2. Суточные параллели (А, В, С), которые описывает Солнце в течение года.

1. По какой суточной параллели совершает свое дневное движение Солнце в сутки равноденствий (20-21 марта, 22-23 сентября)?

Варианты ответов:

1. Параллель А	2. Параллель В	3. Параллель С	4. Невозможно определить
----------------	----------------	----------------	--------------------------

2. С каким большим кругом можно отождествить суточную параллель В?

Варианты ответов:

1. Математический горизонт	2. Небесный экватор	3. Эклиптика
4. Небесный меридиан	5. Первый вертикал	6. Вертикал светила

3. Как называется точка V_2 математического горизонта?

Варианты ответов:

1. Точка севера	2. Точка юга	3. Точка востока
4. Точка запада	5. Невозможно определить	—

4. Чему равна продолжительность дня (τ_d) в сутки, когда Солнце движется по параллели А?

Варианты ответов:

1. $6 \leq \tau_d < 8$ часов	2. $8 \leq \tau_d < 10$ часов	3. $10 \leq \tau_d < 12$ часов
4. $12 < \tau_d < 24$ часов	5. $\tau_d \geq 24$ часов	6. Невозможно определить

5. Чему равна угловая протяженность дуги видимой части параллели В? Рефракцию света не учитывайте. Свой ответ поясните.

№ 3. «Большой осенний парад планет 2024 года»

На рис. 3 представлен результат компьютерной симуляции Большого парада планет (с участием 6 классических планет Солнечной системы: Сатурна, Нептуна, Урана, Юпитера, Марса и Меркурия), произошедшего в конце августа – начале сентября 2024 года, с указанием всех участников парада с позиции наблюдателя, расположенного в северном географическом полушарии.

1. В какую часть суток данную конфигурацию 6 планет можно было наблюдать? Уравнением времени пренебречь.

Варианты ответов:

Часть суток	Вечер	Ночь	Утро	День
Местное среднее время	18 ÷ 24 часа	00 ÷ 06 часов	06 ÷ 12 часов	12 ÷ 18 часов



Рис. 3. К определению Большого осеннего парада планет 2024 года.

2. Над какой стороной горизонта располагался Юпитер в момент симуляции парада?

Варианты ответов:

1. Северо-восток	2. Юго-восток	3. Юго-запад	4. Северо-запад
------------------	---------------	--------------	-----------------

3. Вдоль дуги какого большого круга (представленного на рисунке) приблизительно выстроились 6 планет?

Варианты ответов:

1. Математический горизонт	2. Небесный экватор	3. Небесный меридиан
4. Эклиптика	5. Первый вертикал	6. Колпур равноденствий

4. Какая из представленных планет в момент симуляции парада планет ближе других располагалась к своему положению верхней кульминации?

Варианты ответов:

1. Меркурий	2. Марс	3. Юпитер
4. Сатурн	5. Уран	6. Нептун

5. Оцените длину дуги большого круга (с погрешностью не более $\pm 5^\circ$), вдоль которой расположились 6 указанных планет на момент симуляции. Крайними точками этой дуги считайте точки большого круга, над которыми расположились самая восточная и самая западная планета этого парада.

№ 4. «Лунно-солнечные приливы Земли»

Как известно, приливообразующие силы Луны и Солнца порождают на поверхности Земли регулярно блуждающие приливные волны. Определите:

1. Промежуток времени, через который данную точку поверхности Земли последовательно проходят два приливных горба, порожденных приливообразующими силами Луны.

2. Промежуток времени, через который данную точку поверхности Земли последовательно проходят два приливных горба, порожденных приливообразующими силами Солнца.

3. На поверхности Земли регулярно наступают моменты, в которые горбы приливных волн Луны и Солнца накладываются друг на друга, образуя *сизигийные* приливные волны с максимально возможной амплитудой. Определите промежуток времени, через который на Земле повторяются сизигийные приливы.

№ 5. «"Пограничник" Солнечной системы»

На границе Солнечной системы и галактического межзвездного пространства, расположенной от Солнца на расстоянии 120 тыс. а. е. и имеющей форму сферы, находится малое ледяное тело Солнечной системы. Вычислите для него минимальное и максимальные значения следующих

Параметр	a , а. е.	ε	T , год	σ , км ² /год	V_q , км/с	V_Q , км/с
Min-значение						
Max-значение						

Таблица 1. К определению минимальных и максимальных значений некоторых параметров орбиты малого тела Солнечной системы.

его орбитальных параметров: большой полуоси (a), эксцентриситета (ε), сидерического периода (T) его обращения вокруг Солнца, секторной скорости (σ), гелиоцентрических скоростей тела в перигелии (V_q) и афелии (V_Q) его орбиты, в предположении, что последняя полностью лежит внутри данной границы. Искомые значения занесите в табл. 1.

№ 6. «Зеркало Луны на пределе видимости»

Определите минимальный линейный диаметр плоского круглого зеркала, которое необходимо установить на поверхности Луны, в точке, ближайшей к Земле, чтобы во время полнолуния оно еще было видно в отраженном солнечном свете невооруженным глазом человека хотя бы из одной точки поверхности Земли. Чему при этом равен угловой диаметр зеркала? Можно ли его разглядеть как неточечный объект в крупный любительский телескоп с диаметром главного зеркала $D_T = 500$ мм? Проницающую силу глаза человека примите равной $m_{\text{гд}} = +6.0^{\text{m}}$, коэффициент отражения зеркала – $A_z = 0.9$. Ослабление видимой яркости небесного тела, расположенного в зените, обусловленное поглощением света земной атмосферой, считайте равным $\Delta m_{\text{атм}} = 0.3^{\text{m}}$, а орбиты Земли и Луны – круговыми.

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.