

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

Уважаемый участник олимпиады!

Вам предстоит выполнить теоретические (письменные) и тестовые задания.

Время выполнения всех заданий тура – **3** 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. «Большая "семья" Солнечной системы»

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

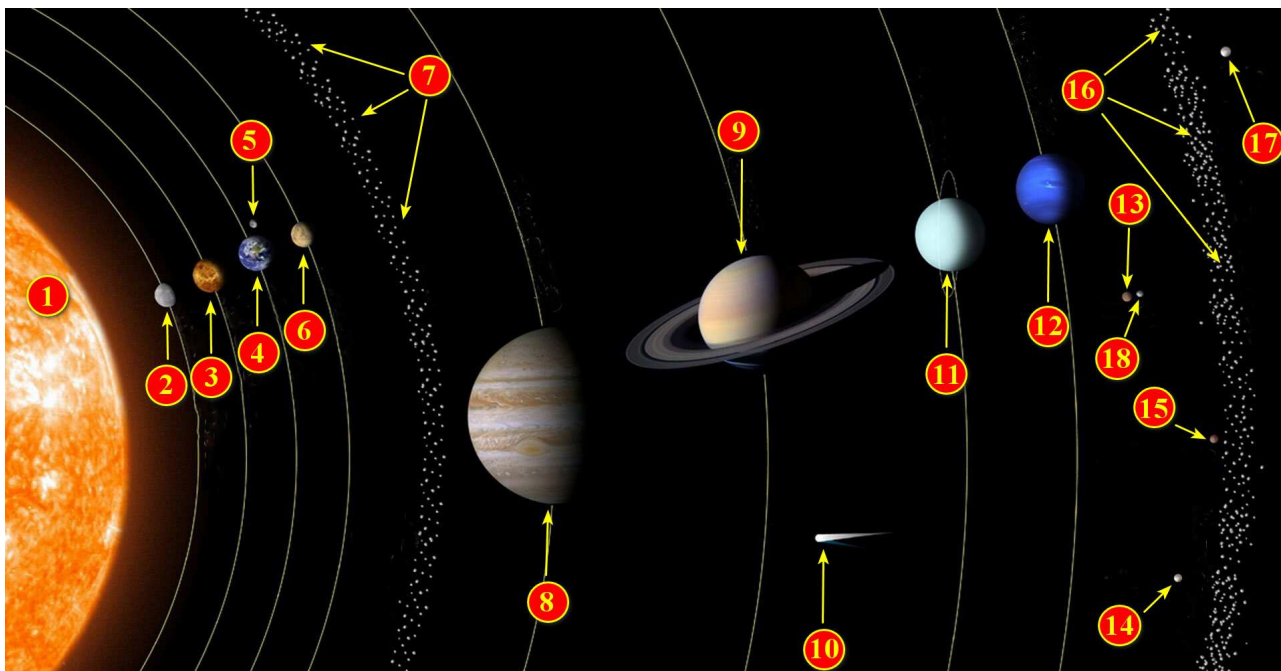


Рис. 1. Основные тела, составляющие Солнечную систему.

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. Комета	Б. Макемаке (карликовая планета)	В. Нептун	Г. Меркурий
Д. Эрида (карликовая планета)	Е. Луна	Ж. Харон (спутник Плутона)	З. Главный пояс астероидов

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

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

2. У какой классической планеты самая высокая средняя массовая плотность? Здесь и далее ответ на вопрос представьте номером, соответствующим данной планете на рис. 1.

3. В какой области Солнечной системы располагается карликовая планета (сама планета не указана на рисунке), которая была открыта в 1801 году как "пропавшая планета", существование которой было предсказано эмпирическим законом Тициуса-Боде?

4. Какая классическая планета Солнечной системы обладает самой высокой угловой скоростью осевого вращения?

5. Если бы все классические планеты были бы твердыми телами, то при погружении их в гигантский океан из жидкой воды (плотность которой равна 1000 кг/м^3), какая(ие) бы из них осталась(ись) на плаву?

6. На круговых орбитах каких планет их скорость относительно Солнца больше 32 км/с ?

№ 2. «Объекты и явления космоса»

Дан список известных объектов и явлений космоса.

Небесные тела			
1. Международная космическая станция	2. Большая туманность Ориона	3. Марс	4. Геостационарный спутник «Радуга»
Небесные явления			
5. Столкновение галактик	6. Полярное сияние	7. Болид	8. Взрыв кометы Холмса

1. Установите соответствие между объектами/явлениями и областями космического пространства, в которых они находятся/происходят. Ответ представьте в виде пар (буква, цифра).

Варианты ответов:

А) Атмосфера Земли (от поверхности Земли и до высоты 180 км)	Б) Околосферное внеатмосферное пространство (выше 180 км над поверхностью Земли и не больше 1.5 млн от центра последней)	В) Ближний космос (Солнечная система)	Г) Дальний космос (вне Солнечной системы)

2. Какое из перечисленных небесных тел имеет самые большие линейные размеры?

Варианты ответов:

Международная космическая станция	Большая туманность Ориона	Марс	Геостационарный спутник «Радуга»
-----------------------------------	---------------------------	------	----------------------------------

3. Какое небесное тело, в результате собственного движения, все время остается над одной и той же точкой поверхности Земли?

Варианты ответов:

Международная космическая станция	Большая туманность Ориона	Марс	Геостационарный спутник «Радуга»
-----------------------------------	---------------------------	------	----------------------------------

4. Какое небесное явление ожидает наш Млечный путь через 4.5 млрд лет?

Варианты ответов:

Столкновение галактик	Полярное сияние	Болид	Взрыв кометы Холмса
-----------------------	-----------------	-------	---------------------

5. Какие явления могут наблюдаться и в атмосфере Земли, и в атмосферах других планет?

Варианты ответов:

Столкновение галактик	Полярное сияние	Болид	Взрыв кометы Холмса
-----------------------	-----------------	-------	---------------------

№ 3. «Координаты светил и широта местности»

На рис. 2 представлена небесная сфера для жителя северного географического полушария, расположенного на широте φ ($\varphi > 0$).

1. Если дуги небесного меридиана $\check{N}P_N$ и $P_N\check{Z}$ полагать равными между собой, т. е.

$$\check{N}P_N = P_N\check{Z}, \quad (1)$$

то чему будет равна широта места наблюдения жителя?

Варианты ответов:

1. 0°	2. 15°	3. 30°
4. 45°	5. 60°	6. 90°

2. Чему будет равна высота светила, кульминирующего в точке D , если дуги небесного меридиана $\check{N}A$, $\check{A}B$, $\check{B}Z$, $\check{Z}C$, $\check{C}D$, $\check{D}S$ равны между собой? Т. е.

$$\check{N}A = \check{A}B = \check{B}Z = \check{Z}C = \check{C}D = \check{D}S. \quad (2)$$

Варианты ответов:

1. 0°	2. 15°	3. 30°
4. 45°	5. 60°	6. 90°

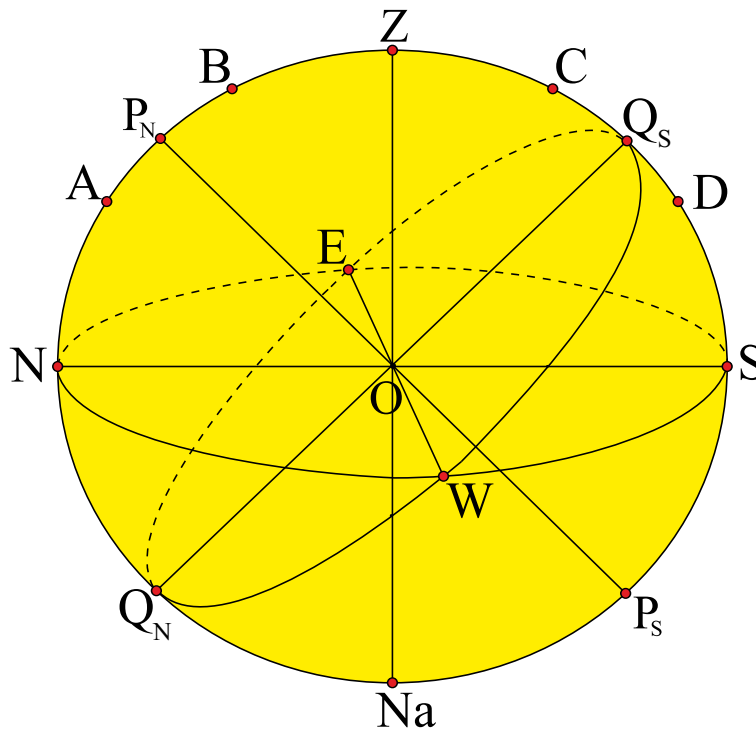


Рис. 2. Небесная сфера для жителя северного географического полушария. Отмечены следующие точки: P_N, P_S – северный и южный полюсы мира, Z, Na – зенит и надир места наблюдения, N, E, S, W – точки севера, востока, юга и запада соответственно; также показаны линии: ZNa – отвесная линия, $P_N P_S$ – ось мира, NS – полуденная линия, EW – линия "восток-запад"; большие круги: $NESW$ – математический горизонт, $Q_N E Q_S W$ – небесный экватор, $P_N Z Q_S P_S Na Q_N$ – небесный меридиан.

3. Чему равно склонение светила, кульминирующего в точке C , при соблюдении вышеуказанных условий (1)-(2)?

Варианты ответов:

1. -45°	2. -15°	3. 0°
4. 15°	5. 45°	6. 60°

4. Житель наблюдает шесть ярких звезд, склонения которых представлены в следующей таблице.

Варианты ответов:

Порядковые номера и склонения звезд		
1. 48°	2. -48°	3. 75°
4. 25°	5. -60°	6. -30°

Установите соответствие между номерами данных звезд и классами небесных тел для данной точки наблюдения. Ответ представьте в виде пар (буква, цифра).

Классы небесных светил по их видимости		
А. Незаходящие светила	Б. Восходящие и заходящие светила	В. Невосходящие светила

№ 4. «Наблюдения Марса с двух точек поверхности Земли»

В некоторый момент времени Марс оказался в верхней кульминации на одной высоте одновременно в двух разных точках (А и В) поверхности Земли. При этом склонение Красной планеты в этот момент было равно $+20^\circ$. Сумма высот Солнца, наблюдавшегося в те же сутки в этих точках в верхней кульминации к югу и к северу от зенита соответственно, составляло $\chi_\odot = h_A^{(\odot)} + h_B^{(\odot)} = +120^\circ$. Определите:

1. Что Вы можете сказать о географических долготах данных точек?
2. Географические широты данных точек (в градусах, до целых).

Название звезды	α_*	δ_*	π''	m_v
Сириус	$06^h45^m09^s$	$-16^\circ42'58''$	$8.5828''$	-1.46^m
Процион	$07^h39^m18^s$	$+05^\circ13'30''$	$0.28605''$	0.38^m

Таблица 1. Экваториальные координаты (α_* , δ_*), параллакс (π'') и видимый блеск (m_v) для Сириуса и Проциона.

3. В каких географических полушариях находятся данные точки?
4. Расстояние (в км) между данными пунктами по поверхности Земли.
5. В какие сутки года произошла описанная ситуация, если склонение Солнца было меньше марсианского значения на $43^\circ26'$?
6. К какой важной точке эклиптики ближе всего располагался Марс?

№ 5. «Орбиты двух тел Солнечной системы»

1. Чему равно максимальное значение сидерического периода (в годах) обращения небесного тела А, движущегося вокруг Солнца по круговой орбите, с поверхности которого еще можно увидеть Солнце невооруженным глазом еще как неточечный объект? Разрешающую способность человеческого глаза принять равной $1'$.
2. Чему равно значение сидерического периода обращения (в годах) небесного тела В, движущегося вокруг Солнца по круговой орбите, с поверхности которого видимая яркость Солнца равна видимой яркости Луны в фазе полнолуния?
3. Определите минимально возможное расстояние (в а. е.) между телами А и В, если их орбиты лежат в одной плоскости.
4. Чему равен угол (в градусах) наибольшей элонгации тела А с поверхности тела В?

№ 6. «Полет к звезде Процион»

В далеком будущем человечество наверняка сможет путешествовать к звездам. Предположим, что звездолет будущего благополучно долетел до окрестностей звезды Процион. Определите:

1. Какую видимую звездную величину будет иметь Сириус для пилотов звездолета в окрестности данной звезды?
2. С каким объектом земного неба по видимой яркости его можно будет сравнить?
3. Какая звезда выглядит ярче: Сириус с поверхности Земли или Процион из окрестностей Сириуса?

Для земного наблюдателя звезды Сириус и Процион сегодня имеют экваториальные координаты, параллакс и видимый блеск, представленные в табл. 1. Изменением данных параметров от настоящего момента до момента прибытия звездолета в окрестности Проциона следует пренебречь.

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.