

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии
2023-2024 учебный год
11 класс
Максимальный балл – 50 баллов**

Уважаемый участник олимпиады!

Вам предстоит выполнить шесть теоретических (письменных) заданий. Задания можно выполнять в любой последовательности. Каждое задание напечатано на отдельной странице и после условия есть место для записи ответов на поставленные вопросы. Пишите аккуратно. Постарайтесь уместить все решение задачи в отведенное для этого место. Все необходимые для решения справочные данные есть в условии задачи или в справочных материалах.

Время выполнения заданий тура 2,5 астрономических часа (150 минут).

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.

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

Задания теоретического тура считаются выполненными, если Вы вовремя сдаете их организаторам олимпиады.

Таблица выставленных баллов (заполняется при проверке жюри)

	Задача №1	Задача №2	Задача №3	Задача №4	Задача №5	Задача №6	Сумма
Подпись проверяющего							

Задача №1. «Прецессия земной оси». (Максимальный балл – 8 баллов)

Прецессия земной оси исторически была третьим из открытых движений Земли (период прецессии ~26000 лет). Оцените вклад прецессии земной оси в изменение климата в Антарктиде в долгосрочной перспективе?

Задача №2. «Летящая комета». (Максимальный балл – 8 баллов)

Комета движется таким образом, что ее орбита касается орбит Земли и Юпитера (не пересекая их). Определите период обращения кометы вокруг Солнца.

Задача №3. «И снова Солнечная система». (Максимальный балл – 8 баллов)

Определите массу Урана, если из наблюдений за его спутником Титанией известно, что период его обращения вокруг планеты составляет 8,7 дня, а радиус орбиты спутника равен 438 000 км.

Задача №4. «Из архива наблюдений». (Максимальный балл – 8 баллов)

9 октября 2015 года на восходе можно было наблюдать одновременно Венеру (она находилась в максимальной элонгации), Марс, Юпитер и стареющий месяц. Считая, что орбиты планет лежат в плоскости эклиптики, определите расстояние от Земли до Юпитера.

Задача №5 «Плеядинский рефлектор». (Максимальный балл – 8 баллов)

Можно ли увидеть Солнце с Плеяд в 60 мм рефлектор. Принять расстояние до Плеяд 130 Пк, Абсолютная звездная величина Солнца 4,83^m.

Задача №6 «Аналемма». (Максимальный балл – 10 баллов)

На фотографии изображена аналемма (фотография Солнца с одного места неподвижной камерой по 1 кадру в день в одно и то же время в течении года). Фотографии были сделаны в Северном полушарии. По фотографии определите примерное истинное солнечное время снимка. Расставьте на фотографии даты характерных точек аналеммы, назовите эти точки. Объясните вертикальную и горизонтальную несимметричность аналеммы. Определите примерную широту места съемки.

Рисунок к заданию №6 (сдается вместе с работой)



Справочная информация, разрешенная к использованию на В

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 $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$
 Постоянная Планка $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$
 Масса протона $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
 Масса электрона $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
 Элементарный заряд $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
 Астрономическая единица 1 а.е. = 1.496 · 10¹¹ м
 Парсек 1 пк = 206265 а.е. = 3.086 · 10¹⁶ м
 Постоянная Хаббла $H = 72 \text{ (км/с)/Мпк}$

Данные о Солнце

Радиус 697 000 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 $+4.72^m$
 Показатель цвета (B–V) + 0.67^m
 Эффективная температура 5800К
 Средний горизонтальный параллакс 8.794''
 Интегральный поток энергии на расстоянии Земли 1360 Вт/м²
 Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли 600 Вт/м²

Данные о Земле

Эксцентриситет орбиты 0.0167
 Тропический год 365.24219 суток
 Средняя орбитальная скорость 29.8 км/с
 Период вращения 23 часа 56 минут 04 секунды
 Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000 года: 23° 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: N₂ (78%), O₂ (21%), Ar (~1%)

Данные о Луне

Среднее расстояние от Земли 384400 км
 Минимальное расстояние от Земли 356410 км
 Максимальное расстояние от Земли 406700 км
 Средний эксцентриситет орбиты 0.055
 Наклон плоскости орбиты к эклиптике 5°09'
 Сидерический (звездный) период обращения 27.321662 суток
 Синодический период обращения 29.530589 суток
 Радиус 1738 км
 Период прецессии узлов орбиты 18.6 лет
 Масса $7.348 \cdot 10^{22} \text{ кг}$ 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
 Видимая звездная величина в первой/последней четверти -10.5^m

Физические характеристики солнца и планет

Планета	Масса		Радиус		Плотность г·см ⁻³	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты градусы	Гео- метр. аль- беда	Вид. звездная величина*
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	$1.989 \cdot 10^{30}$	332946	697000	109.3	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	26.73	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*
Земля							
Луна	7.348·10 ²²	1738	3.34	384400	27.32166	0.12	-12.7
Марс							
Фобос	1.08·10 ¹⁶	~10	2.0	9380	0.31910	0.06	11.3
Деймос	1.8·10 ¹⁵	~6	1.7	23460	1.26244	0.07	12.4
Юпитер							
Ио	8.94·10 ²²	1815	3.55	421800	1.769138	0.61	5.0
Европа	4.8·10 ²²	1569	3.01	671100	3.551181	0.64	5.3
Ганимед	1.48·10 ²³	2631	1.94	1070400	7.154553	0.42	4.6
Каллисто	1.08·10 ²³	2400	1.86	1882800	16.68902	0.20	5.7
Сатурн							
Тефия	7.55·10 ²⁰	530	1.21	294660	1.887802	0.9	10.2
Диона	1.05·10 ²¹	560	1.43	377400	2.736915	0.7	10.4
Рея	2.49·10 ²¹	765	1.33	527040	4.517500	0.7	9.7
Титан	1.35·10 ²³	2575	1.88	1221850	15.94542	0.21	8.2
Япет	1.88·10 ²¹	730	1.21	3560800	79.33018	0.2	~11.0
Уран							
Миранда	6.33·10 ¹⁹	235.8	1.15	129900	1.413479	0.27	16.3
Ариэль	1.7·10 ²¹	578.9	1.56	190900	2.520379	0.34	14.2
Умбриэль	1.27·10 ²¹	584.7	1.52	266000	4.144177	0.18	14.8
Титания	3.49·10 ²¹	788.9	1.70	436300	8.705872	0.27	13.7
Оберон	3.03·10 ²¹	761.4	1.64	583500	13.46324	0.24	13.9
Нептун							
Тритон	2.14·10 ²²	1350	2.07	354800	5.87685**	0.7	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).