

Пермский край  
2023-2024 учебный год  
**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ПО АСТРОНОМИИ  
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП  
11 КЛАСС**

*Уважаемый участник олимпиады!*

Вам предстоит выполнить теоретические задания.

Выполнение заданий тура целесообразно организовать следующим образом:

- не спеша, внимательно прочитайте задание и уясните суть каждого вопроса;
- запишите подробный ответ на каждый вопрос;
- в чистовом варианте каждый ответ должен содержать все этапы решения;
- помните, что черновики жюри не проверяет;
- не спешите сдавать решения досрочно, ещё раз проверьте все ответы;
- задание теоретического тура считается выполненным при своевременной сдаче работы членам жюри.

Время выполнения заданий – 120 минут (2 часа).

Максимальная оценка за выполнение всех олимпиадных заданий – 50 баллов.

К комплекту заданий прилагается справочная информация, разрешенная к использованию на муниципальном этапе олимпиады.

**Задание 1.** (8 баллов)

17 сентября 2023 года комета Нисимура прошла перигелий всего в 33 млн. км от поверхности Солнца. Она вернется только через 437 лет. Определите расстояние в млн. км, на которое она удалится от Солнца.

**Задание 2.** (8 баллов)

Недавно отмечалась очередная годовщина запуска первого искусственного спутника Земли, выведенного на орбиту 4 октября 1957 года. Какие цели преследовали этим запуском? Поясните, почему на спутнике были установлены два радиопередатчика с частотами 20,005 и 40,002 МГц, а также две антенны?

**Задание 3.** (8 баллов)

Звезда движется относительно Солнца под углом  $45^\circ$  к лучу зрения. При этом ее гелиоцентрическая лучевая скорость равна 20 км/с, а собственное движение –  $0.10''$  в год. Чему равен тригонометрический параллакс звезды?

**Задание 4.** (8 баллов)

Две звезды **A** и **B** в желтых лучах светят одинаково. В красных лучах звезда **B** на  $0.1^m$  ярче, чем звезда **A**. Если не учитывать возможное влияние межзвездной среды, то какая из звезд имеет более высокую температуру? Как влияет межзвездная среда на звездные величины небесных объектов.

### Задание 5. (8 баллов)

Двойная звезда состоит из одинаковых компонент солнечного типа, обращающихся по круговой орбите вокруг общего центра масс. Система является затменной переменной, а линия водорода  $H\alpha$  (656,3 нм) каждые 5 лет сначала раздваивается на 0,10 нм, а потом вновь сливается воедино. Чему равно расстояние между звездами?

### Задание 6. (10 баллов)

Представьте, что с Земли наблюдается чрезвычайно редкое явление одновременного прохождения Венеры и Меркурия по видимому диску Солнца. Опишите наблюдаемые траектории движения планет по диску Солнца и оцените время явления в следующей упрощенной модели:

- орбиты планет являются окружностями, плоскости которых лежат в плоскости эклиптики;
- радиусы орбит равны среднему расстоянию планет от Солнца;
- наблюдаемые прохождения Венеры и Меркурия по видимому диску Солнца начинаются одновременно.

## Приложение

### Справочная информация, разрешенная к использованию на ВсОШ

#### *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  $1 \text{ а.е.} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$

Парсек  $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$

Постоянная Хаббла  $H = 72 \text{ (км/с)/Мпк}$

#### *Данные о Солнце*

Радиус  $697\,000 \text{ км}$

Масса  $1.989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$

Светимость  $3.88 \cdot 10^{26}$  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  $1360 \text{ Вт/м}^2$   
Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли  $600 \text{ Вт/м}^2$

#### *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:  $23^\circ 26' 21.45''$   
Экваториальный радиус 6378.14 км  
Полярный радиус 6356.77 км  
Масса  $5.974 \cdot 10^{24}$  кг  
Средняя плотность  $5.52 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$   
Объемный состав атмосферы: N<sub>2</sub> (78%), O<sub>2</sub> (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  $5^\circ 09'$   
Сидерический (звездный) период обращения 27.321662 суток  
Синодический период обращения 29.530589 суток  
Радиус 1738 км  
Период прецессии узлов орбиты 18.6 лет  
Масса  $7.348 \cdot 10^{22}$  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 <sup>-3</sup>	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты градусы	Гео- метр. аль- бедо	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		Эксцент- риситет	Наклон к плоскости эклиптики градусы	Период обращения	Синодический период сут.
	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. альбедо	Видимая звездная величина*
	кг	км	г/см <sup>3</sup>	км	сут.		m
<b>Земля</b>							
Луна	$7.348 \cdot 10^{22}$	1738	3.34	384400	27.32166	0.12	-12.7
<b>Марс</b>							
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
<b>Юпитер</b>							
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
<b>Сатурн</b>							
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
<b>Уран</b>							
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
<b>Нептун</b>							
Тритон	$2.14 \cdot 10^{22}$	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).