

Пермский край  
2024-2025 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 вопроса;
- если это тестовое задание, то прочитайте все предложенные варианты ответа и проанализируйте каждый из них, учитывая формулировку задания; определите, какой из предложенных вариантов ответа наиболее верный;
- если это задание, которое требует развернутого ответа, то запишите подробное решение; помните, что черновики жюри не проверяет, поэтому Ваш ответ должен содержать все этапы решения задания в чистовом варианте;
- не спешите сдавать решения досрочно, ещё раз проверьте все ответы;
- задание теоретического тура считается выполненным, если Вы вовремя сдаёте его членам жюри.

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

Время выполнения заданий – 120 минут (2 часа). Максимальная оценка за выполнение всех олимпиадных заданий – 50 баллов.

**Задание 1. (8 баллов)**



Рис. 1. Фотография звездного неба с тремя яркими звездами

На рис. 1 представлена фотография неба с тремя яркими звездами, которые образуют хорошо различимый треугольник.

- а) Как называется данный астеризм?
- б) Перечислите названия этих трех звезд и обозначьте их расположение на рисунке.
- в) В каких созвездиях находятся эти звёзды?
- г) В каком сезоне года ориентируются по данному треугольнику?

**Задание 2.** (8 баллов)

Можно ли было наблюдать наступление навигационных или астрономических сумерек в Перми 20 июня 2024 года? Ответ обоснуйте. Географическая широта столицы Прикамья  $\varphi = 58^\circ$ .

**Задание 3.** (8 баллов)

Расстояние некоторого космического тела от Солнца в перигелии  $q = 2,8$  а.е., а эксцентриситет орбиты  $e = 0,2$ . Определите расстояние от данного объекта до Солнца в афелии. К какому виду космических объектов это тело может относиться? Ответ поясните.

**Задание 4.** (8 баллов)

Альтаир – самая яркая звезда в созвездии Орла и 12-ая по яркости звезда на небе. Видимый блеск –  $+0,77^m$ , годичный параллакс –  $0,195''$ . Название происходит от арабского «ан-наsr ат-таир», означающего «летающий орёл». Альтаир является одной из вершин летне-осеннего треугольника, который виден в Северном полушарии в летние и осенние месяцы.

Чему равна абсолютная звездная величина Альтаира? Межзвездным поглощением пренебречь.

**Задание 5.** (8 баллов)

Веста – первый по размерам и массе из астероидов в главном астероидном поясе (рис. 2).



Рис. 2. Снимок Весты, сделанный автоматической межпланетной станцией Dawn

До того как Церера была признана карликовой планетой, по размеру Веста считалась третьим астероидом после неё и Паллады, а по массе была второй, уступая только Церере. Однако уточнённый размер Паллады ( $512 \pm 6$  км) оказался чуть меньше диаметра Весты ( $525,4 \pm 0,2$  км), и Веста стала первым по размерам астероидом главного пояса. Это также самый яркий астероид из всех и единственный, который можно наблюдать невооружённым глазом. Веста была открыта 29 марта 1807 года Генрихом Вильгельмом Ольберсом и по предложению Карла Гаусса получила имя древнеримской богини дома и домашнего очага Весты.

Масса Весты –  $2,6 \cdot 10^{20}$  кг, плотность –  $3,46$  г/см<sup>3</sup>, средняя орбитальная скорость –  $19,3$  км/с. Используя эти данные, оцените среднее расстояние астероида Веста от Солнца.

### Задание 6. (10 баллов)

Кривые блеска – один из основных инструментов изучения астрофизических объектов. По сути, они представляют собой зависимость интенсивности излучения от времени. С их помощью изучают как переменные звезды и вспышки сверхновых, так и затмения далеких звезд. Если, например, у звезды есть спутник (другая звезда или экзопланета), орбита которого пересекает луч зрения, то интенсивность излучения звезды для наблюдателя будет периодически меняться. Из этих изменений, даже не имея возможности разрешить изображения самих объектов в телескоп, можно извлечь информацию о параметрах такой системы – о размере и массе обоих тел, а также о расстоянии между звездой и спутником.

На рис. 3 показана кривая блеска звезды HD 189733 во время прохождения по ней ее спутника – экзопланеты HD 189733b. Период обращения этой экзопланеты  $P = 2,22$  дня. Известно, что радиус звезды примерно равен радиусу Солнца. На основе этих данных попробуйте оценить радиус экзопланеты.

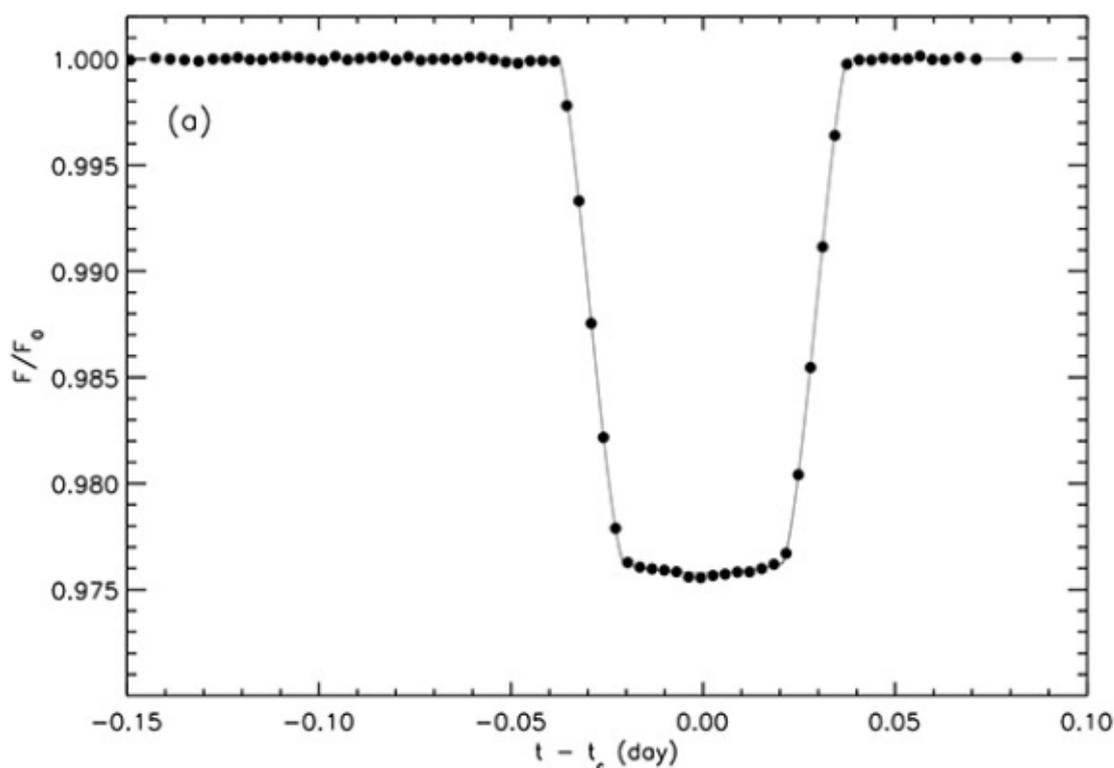


Рис. 3. Кривая блеска звезды HD 189733

## 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  $3.88 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$   
 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  $5800 \text{ К}$   
 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  $365.24219 \text{ суток}$   
 Средняя орбитальная скорость  $29.8 \text{ км/с}$   
 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  $6378.14 \text{ км}$   
 Полярный радиус  $6356.77 \text{ км}$   
 Масса  $5.974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$   
 Средняя плотность  $5.52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$   
 Объемный состав атмосферы:  $\text{N}_2$  (78%),  $\text{O}_2$  (21%),  $\text{Ar}$  (~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  $7.348 \cdot 10^{22}$  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- 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.		градусы		сут.
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 <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).