

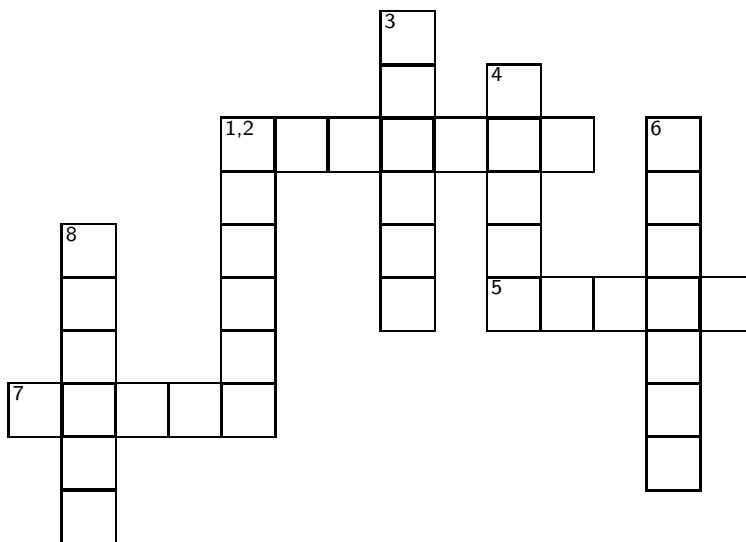
**Всероссийская олимпиада школьников по астрономии**  
**Муниципальный этап, теоретический тур**  
**2022/2023 учебный год**  
**7 класс**

**Решения задач и критерии их оценивания**

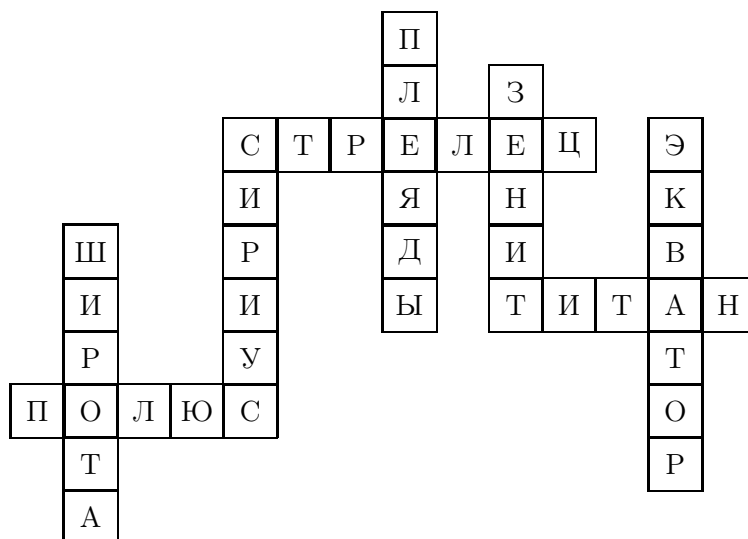
**№ 1. «Кроссворд-ревью для 7-го класса»**

**Условие.** Ответьте на следующие вопросы, заполнив ниже представленный кроссворд:

1. Как называется самая яркая звезда (по вертикали) ночного небосвода Самарской области?
2. Какое зодиакальное созвездие (по горизонтали) проходит Солнце в день зимнего солнцестояния?
3. Как называется яркое рассеянное звездное скопление в созвездии Тельца?
4. Как называется точка небесной сферы, расположенная традиционно над головой наблюдателя?
5. Как называется крупнейший спутник Сатурна?
6. Как называется большой круг небесной сферы, делящий ее на две равные части: северную и южную полушферы?
7. Как называется точка небосвода, расположенная рядом с Полярной звездой, относительно которой все небесные тела совершают свое суточное движение?
8. Как называется географическая координата, которая для г. Самары составляет (с точностью до целых)  $53^\circ$ ? *Максимальный балл – 8.*



*Решение.*



*Рекомендации для жюри.*

<b>Выполненная часть решения задачи</b>	<b>Балл</b>
За каждое правильное понятие/ название	1(8)

**№ 2. «Расстояния и размеры в астрономии и единицы их измерения»**

*Условие.* Вашему вниманию в представленных ниже таблицах 1 и 2 даны характерные расстояния между объектами космоса или размеры каких-либо их составляющих и единицы их измерения. Установите соответствие между данными масштабами и единицами измерения. К каждой позиции первой таблицы подберите соответствующую позицию второй. Ответ представьте парами «цифра-буква», т.е. например, (1,В), (7,Г) и т.д. *Максимальный балл – 8.*

№	Масштаб	№	Масштаб	№	Масштаб	№	Масштаб
1	Высота горы Эверест	3	Расстояние между Землей и Юпитером	5	Расстояние, которое проходит свет в пустоте за $3 \cdot 10^{-12}$ с	7	Диаметр космической пылинки
2	Размеры крупнейших метеоритов	4	Диаметр диска Млечного пути	6	Расстояние до ближайшей звезды к Солнцу	8	Расстояние до самых далеких галактик во Вселенной

Таблица 1. К определению характерных расстояний между объектами космоса, размеров каких-либо их составляющих.

№	Единица	№	Единица	№	Единица	№	Единица
А	мкм ( $10^{-6}$ м)	С	м ( $10^0$ м)	Е	а.е.	Г	кпк ( $10^3$ пк)
В	мм ( $10^{-3}$ м)	Д	км ( $10^3$ м)	Ф	св.г.	Н	Гпк ( $10^9$ пк)

Таблица 2. К определению единиц измерения расстояний между объектами космоса, их размеров в астрономии.

*Решение.*

1. Как известно, высота горы Эверест составляет 8849 м или 8.849 км (последняя единица измерения определяет порядок данной величины). В итоге имеем пару – (1,Д).

2. Размеры самого крупного метеорита, Гоба составляют  $2.7 \times 2.7 \times 0.9$  м. Значит имеем пару – (2,С).

3. Согласно справочным данным, среднее расстояние между Юпитером и Землей составляет 5.203 а.е. В итоге имеем пару (3,Е).

4. Как известно, диаметр галактики Млечный путь составляет 30(56) кпк. Значит, в данном случае имеем пару (4,G).

5. Легко рассчитать расстояние, пройденное светом за указанное время, по формуле:

$$s = c \cdot \tau = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 3 \cdot 10^{-12} \text{ с} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м} \approx 10^{-3} \text{ м} = 1 \text{ мм}.$$

Таким образом, имеем пару (5,B).

6. Ближайшей звездой к Солнцу является Проксима Центавра, расстояние до которой составляет 4.25 св. года. В результате получаем пару (6,F).

7. Самые мельчайшие частицы в космосе традиционно называют *космической пылью*, диаметр самых крупных из которых не превосходит 1 мкм или  $10^{-6}$  м. В итоге получается пара (7,A).

8. Расстояния до самых далеких галактик во Вселенной можно оценить, используя современное значение ее возраста,  $\tau_\ell = 13.85$  млрд. лет. Полагая, что последние возникли вскоре после возникновения самой Вселенной, следовательно свет от них, двигаясь со скоростью  $c$  проходит расстояние  $s = c \cdot \tau_\ell = 13.85$  млрд. св. лет. Поскольку 1 пк = 3.26 св. лет, то будет логичным выразить полученное расстояние в более крупной единице Гпк:  $s = 4.25$  Гпк. Следовательно, получаем пару (8,H).

**Ответ:** в итоге получаем следующие пары: (1,D); (2,C); (3,E); (4,G); (5,B); (6,F); (7,A); (8,H).

**Рекомендации для жюри.**

Выполненная часть решения задачи	Балл
За каждую правильно определенную пару	1(8)

### № 3. «Плотность населения г. Самары и среднее расстояние между его жителями»

**Условие.** Как известно, в настоящее время население г. Самары составляет 1.137 млн человек. При этом площадь города равна 541.4 км<sup>2</sup>. Определите: а) поверхностную плотность населения города (как количество жителей города, приходящихся на один квадратный км), б) величину площадки (в м<sup>2</sup>), приходящуюся на одного жителя этого города? Оцените в) среднее расстояние между жителями города (по поверхности Земли), если полагать, что форма каждой такой площадки – квадрат, и каждый житель города расположен в геометрическом центре этого квадрата? *Максимальный балл – 8.*

**Решение. 1.** Определим поверхностную плотность  $\sigma$  населения города:

$$\sigma = \frac{N}{S_S} = \frac{1.137 \cdot 10^6 \text{ чел}}{541.4 \text{ км}^2} = 2100 \text{ чел/км}^2. \quad (1)$$

2. Вычислим величину площадки (в м<sup>2</sup>), приходящуюся на одного жителя этого города:

$$S_1 = \frac{S_S}{N} = \frac{541.4 \text{ км}^2}{1.137 \cdot 10^6 \text{ чел}} = 476 \text{ м}^2/\text{чел}. \quad (2)$$

3. Учитывая, что площадка, приходящаяся на одного человека, имеет форму квадрата, сторона которого  $a$  (см. рис. 1), тогда последняя величина связана с  $S_1$  выражением вида:

$$S_1 = a^2, \Rightarrow a = \sqrt{S_1} = 21.8 \text{ м}. \quad (3)$$

Если учащийся не знает понятие корня, то он может приблизительно найти  $a$  методом последовательного подбора.

4. Полагая далее, что каждый житель города расположен в геометрическом центре такого квадрата, тогда среднее расстояние  $r$  между жителями равно стороне этого квадрата (см. рис. 1). Значит искомая величина  $r = a = 21.8$  м.

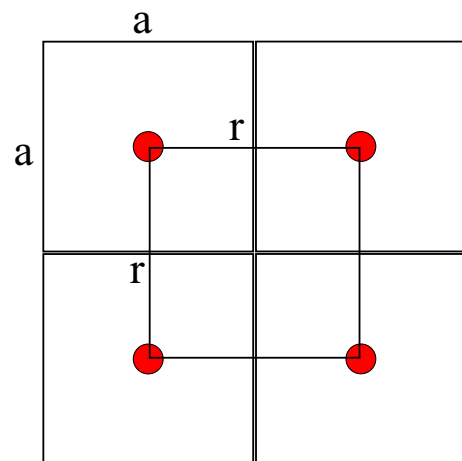


Рис. 1. К определению среднего расстояния между жителями г. Самары.

**Ответ:** к задаче представляется результатами (1)-(2);  $r = 21.8$  м.

**Рекомендации для жюри.**

Выполненная часть решения задачи	Балл
За правильно полученные результаты (1)-(3)	2(6)
Правильно установлена связь между $r$ и $a$ + дано численное значение $r$	1+1

#### № 4. «Загадочное астрономическое явление»

**Условие.** С поверхности какой планеты земной группы можно наблюдать явление, представленное на рис. 2 (на фото светлый круг – видимый диск Солнца)? Как называется это явление? Как называется тело, спроецировавшееся на диск Солнца? К какому классу объектов Солнечной системы его относят? Можно ли увидеть с Земли невооруженным глазом эту планету и это "темное тело" в принципе? Свой ответ поясните. *Максимальный балл – 8.*

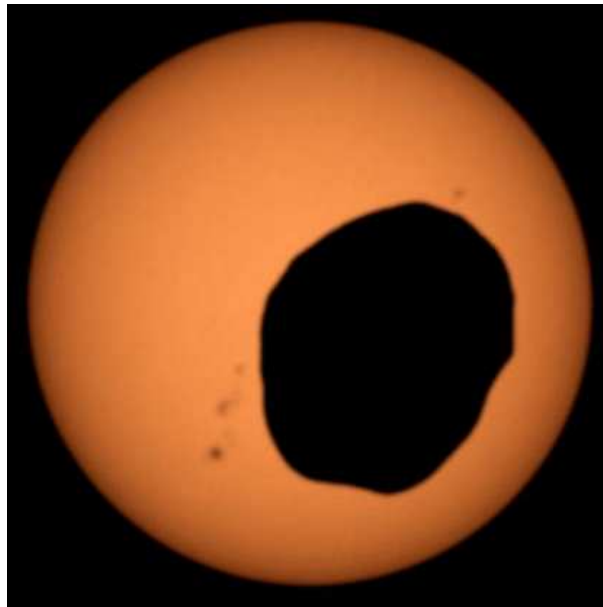


Рис. 2. К задаче №4.

**Решение. 1.** Прежде всего, необходимо четко понимать: какое астрономическое явление запечатлено на данной фотографии. Поскольку светлый круглый диск – это Солнце, то на его поверхность спроецировалось *тело неправильной формы*, расположенное между Солнцем и наблюдателем. Неправильной формой обладают в Солнечной системе лишь астероиды, кометы и некоторые небольшие спутники больших планет. Очевидно, угловые размеры темного тела сопоставимы с угловыми размерами Солнца, но все же меньше указанных. Значит темное тело, располагалось относительно близко к планете земной группы, с поверхности которой велась съемка. Значит, вероятнее всего, это спутник этой планеты.

Как известно у Меркурия и Венеры спутников нет. Кроме того, с поверхности Венеры невозможно, в принципе, увидеть Солнце из-за плотной и непрозрачной атмосферы. У Земли имеется лишь один крупный естественный спутник – Луна. Она имеет правильную сферическую форму. Значит данное явление свершилось с участием одного из спутников Марса (*Фобоса* или *Деймоса*), с поверхности которого велась съемка.

**2.** Поскольку темное тело (спутник) лишь частично закрывает более далекое от наблюдателя тело – Солнце, то запечатленное явление – *транзит*, явление проецирования диска небесного тела меньших угловых размеров на диск более далекого тела с большими угловыми размерами. Если угловые размеры более близкого тела не меньше угловых размеров более далекого тела, то более близкое тело может полностью закрыть более далекое от наблюдателя и породить явление *затмения*.

**3.** Как известно, Марс можно наблюдать невооруженным глазом с поверхности Земли. Согласно справочным данным, средние значения звездных величин Фобоса и Деймоса в противостоянии составляют  $+11.3^m$  и  $+12.6^m$  соответственно, что существенно больше проникающей силы человеческого глаза ( $+6^m$ ). Значит, данные спутники нельзя увидеть с Земли, в принципе, невооруженным глазом.

**Ответ:** с поверхности Марса; транзит; Фобос или Деймос; Марс виден, спутники не видны невооруженным глазом.

**Рекомендации для жюри.**

Выполненная часть решения задачи	Балл
С использованием логических рассуждений явно назван Марс, с поверхности которого была получена эта фотография	2

*Рекомендации для жюри (продолжение).*

<b>Выполненная часть решения задачи</b>	<b>Балл</b>
Явно указано, что темное тело является естественным спутником. + Явно названы имена Фобоса и/или Деймоса	1+1
Правильно названо запечатленное явление – транзит / указано близкое по смыслу, но все же неверное понятие затмения	2/ 1
Корректно указана (не)возможность наблюдений Марса + его спутников невооруженным глазом	1 + 1

*На решение задач муниципального этапа олимпиады по астрономии школьникам отводится 3 часа.*

# 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 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 –  $5778 \text{ К}$
- Средний горизонтальный параллакс –  $8.794''$
- Интегральный поток энергии на расстоянии Земли –  $1360 \text{ Вт/м}^2$
- Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли –  $600 \text{ Вт/м}^2$

## §3. Данные о Земле

- Эксцентриситет орбиты –  $0.017$
- Тропический год –  $365.24219 \text{ сут}$
- 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 2000.0 –  $23^\circ 26' 21.45''$
- 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%),  $\text{Ar}$  ( $\sim 1\%$ )

## §4. Данные о Луне

- Среднее расстояние от Земли –  $384400 \text{ км}$
- Минимальное расстояние от Земли –  $356410 \text{ км}$
- Максимальное расстояние от Земли –  $406700 \text{ км}$
- Эксцентриситет орбиты –  $0.055$
- Наклон плоскости орбиты к эклиптике –  $5^\circ 09'$
- Сидерический (звездный) период обращения –  $27.321662 \text{ сут}$
- Синодический период обращения –  $29.530589 \text{ сут}$

- 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 г·см <sup>-3</sup>	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты градусы	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 <sup>†</sup>	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 <sup>†</sup>	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 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

## §7. Характеристики некоторых спутников планет

Спутник	Масса	Радиус	Плотность	Радиус орбиты	Период обращения	Геометрич. альбе-до	Вид. звездная величина*
	кг	км	г·см <sup>-3</sup>	км	сут		
<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	0.20	~ 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 <sup>†</sup>	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.