

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии
2020 – 2021 учебный год**

Примерная схема оценивания решений по традиционной 8-балльной системе:

0 баллов — решение отсутствует, абсолютно некорректно, или в нем допущена грубая астрономическая или физическая ошибка;

1 балл — правильно угадан бинарный ответ («да-нет») без обоснования;

1–2 балла — попытка решения не принесла существенных продвижений, однако приведены содержательные астрономические или физические соображения, которые можно использовать при решении данного задания;

2–3 балла — правильно угадан сложный ответ без обоснования или с неверным обоснованием;

3–6 баллов — задание частично решено;

5–7 баллов — задание решено полностью с некоторыми недочетами;

8 баллов — задание решено полностью.

Выставление премиальных баллов сверх максимальной оценки за задание не допускается.

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии
2020 – 2021 учебный год**

10 класс-РЕШЕНИЯ

1. Разделите перечисленные ниже объекты на четыре группы: звёзды, созвездия, спутники планет, карликовые планеты. Эридан, Церера, Альбиро, Заяц, Ио, Капелла, Регул, Титан, Плутон, Рея, Эрида, Живописец, Центавр, Хаумеа, Прокцион, Тритон.

Ответ запишите в виде таблицы:

Звёзды	Созвездия	Спутники планет	Карликовые планеты

Ответ:

Звёзды	Созвездия	Спутники планет	Карликовые планеты
Альбиро Капелла Регул Прокцион	Эридан Заяц Живописец Центавр	Ио Титан Рея Тритон	Церера Плутон Эрида Хаумеа

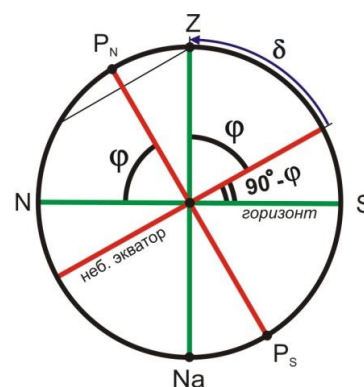
2. Определите географическую широту на поверхности Земли, где звезда Антарес кульминирует в зените. Ответ обоснуйте. (Склонение звезды Антарес $\delta = -26^\circ 19'$)

Из рассмотрения проекции небесной сферы на плоскость небесного меридиана можно получить условие нахождения светила в зените в момент его кульминации: $\varphi = \delta$.

Тот же самый результат вытекает из формулы для верхней кульминации (в зените $h = 90^\circ$):

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta = 90^\circ \Rightarrow \varphi = \delta.$$

Поскольку склонение Антареса отрицательно, то кульминировать в зените эта звезда будет в южном полушарии Земли на географической широте $\varphi = -26^\circ 19'$ ($26^\circ 19'$ ю.ш.).



3. На какое минимальное расстояние приближается к Солнцу астероид №2910 Йошкар-Ола, если период его обращения вокруг Солнца 3,269 года, а расстояние в афелии составляет 2,546 а.е.

Дано: $T = 3,269$ года, $Q = 2,546$ а.е.

Минимальное расстояние будет, когда астероид в перигелии своей орбиты.

1) Вычислим большую полуось a орбиты астероида (из III закона Кеплера):

$$T^2 = a^3 \Rightarrow a = \sqrt[3]{T^2} = \sqrt[3]{3,269^2} = 2,203 \text{ а.е.}$$

2) Т.к. расстояние в афелии $Q = a(1 + e)$, то эксцентриситет орбиты e составит

$$Q = a + ae \quad e = \frac{Q-a}{a} = \frac{2,546 - 2,203}{2,203} = 0,1557$$

3) Расстояние в перигелии:

$$q = a(1 - e) = 2,203 (1 - 0,1557) = 1,860 \text{ а.е.}$$

4. Зачем раз в четыре года в феврале вводят дополнительный день? Добавлялся ли такой день в 2020 году? в 1900 году? в 2000 году? Объясните, почему.

1. Календарный год должен содержать целое количество дней, а период смены времён года, связанный с обращением Земли вокруг Солнца (тропический год), – нецелое количество дней (365,2422 суток). Разница близка к четверти суток (0,25 суток), поэтому за 4 года накапливаются почти полные сутки. Для компенсации этого сдвига каждый четвёртый год вводится дополнительный (високосный) день в феврале (29 февраля) и в юлианском, и в григорианском календаре.

2. 2020 год – високосный, т.е. в феврале был дополнительный день. Правило определения високосного года – номер года должен нацело делиться на 4 (2020 делится нацело на 4).

3. Чтобы исключить 3 лишних суток, накапливающихся в юлианском календаре примерно за 400 лет (ведь год должен быть не 365,25 сут., а близок к 365,2422 сут), в григорианском календаре вводится новое правило – годы столетий, в которых число столетий не делится нацело на 4, не считаются високосными. Поэтому 1900 год – простой, а 2000 – високосный (19 на 4 нацело не делится, а 20 – делится), в 1900 году не было дополнительного дня в феврале, а в 2000 – был.

5. Вокруг звезды по эллиптическим орбитам обращаются три планеты, в таблице приведены некоторые параметры этих орбит.

Параметр	Планета 1	Планета 2	Планета 3
Период обращения, земные сутки	14,03	33,96	?
Большая полуось, а. е.	?	0,172	0,428
Эксцентриситет	0,11	0,2	0,15

Определите большую полуось планеты 1 и период обращения планеты 3.

Период обращения планеты и большая полуось её орбиты связаны соотношением, известным как 3-й закон Кеплера:

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2} = \frac{a_3^3}{T_3^2} = \text{const}$$

Обратите внимание, что эксцентриситет в данное соотношение не входит. Таким образом, большая полуось первой планеты

$$a_1 = \sqrt[3]{\frac{T_1^2 \cdot a_2^3}{T_2^2}} = \sqrt[3]{\frac{14,03^2 \cdot 0,172^3}{33,96^2}} \approx 0,0954 \text{ а. е.}$$

Период обращения третьей планеты

$$T_3 = \sqrt{\frac{T_2^2 \cdot a_3^3}{a_2^3}} = \sqrt{\frac{33,96^2 \cdot 0,428^3}{0,172^3}} \approx 133,3 \text{ сут.}$$

6. В феврале 2006 года в одной из галактик, находящейся на расстоянии 440 млн. световых лет от Земли в направлении созвездия Овна, вспыхнула сверхновая звезда. Какова была её абсолютная звездная величина, если видимая звездная величина составляла $+17^m$? Во сколько раз светимость сверхновой звезды была больше светимости Солнца? Абсолютная звездная величина Солнца равна $+4,8^m$.

1) Абсолютная звездная величина M связана с видимой звездной величиной m и расстоянием в парсеках до звезды r следующим соотношением:

$$M = m + 5 - 5 \lg r \quad M = 4,8 + 5 - 5 \lg(440000000/3,26) = -18,7^m.$$

Таким образом, $M = -18,7^m$ без учета поглощения излучения межзвездной пылью. Так как созвездие Овна находится в стороне от Млечного Пути – диска Галактики, в котором сосредоточены газопылевые облака, то поглощением света можно пренебречь.

2) Определим различие в светимостях сверхновой звездой и Солнца, зная абсолютную звездную величину Солнца $M_c = +4,8^m$:

$$\frac{L}{L_c} = 2,512^{M_c - M} = 2,512^{4,8 + 18,7} \approx 2,5 \cdot 10^9$$

т.е. одна сверхновая звезда светила как 2,5 миллиарда звезд, подобных нашему Солнцу!

СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Основные физические и астрономические постоянные	
Гравитационная постоянная $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ Скорость света в вакууме $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ Постоянная Стефана-Больцмана $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$	Астрономическая единица $1 \text{ а.е.} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ м}$ Парсек $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ м}$

Данные о Солнце	
Радиус $695\,000 \text{ км}$ Масса $1,989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$ Светимость $3,88 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$ Поток солн. энергии на расстоянии Земли 1360 Вт/м^2 Видимая звездная величина $-26,8^m$	Абсолютная визуальная звездная величина $+4,8^m$ Абсол. болометрическая звездная величина $+4,7^m$ Показатель цвета (B-V) $+0,67^m$ Температура поверхности около 6000К Средний горизонтальный параллакс $8,794''$

Данные о Земле	
Эксцентриситет орбиты $0,017$ Тропический год $365,24219 \text{ суток}$ 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 $5,52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$

Данные о Луне	
Среднее расстояние от Земли 384400 км Эксцентриситет орбиты $0,055$ Наклон плоскости орбиты к эклиптике $5^\circ 09'$ Сидерический (звездный) период обращения $27,321662 \text{ сут.}$ Синодический период обращения $29,530589 \text{ суток}$	Радиус 1738 км 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 звезд. величина в полнолуние $-12,7^m$

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЦА И ПЛАНЕТ

Планета	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Гео-метр, аль-bedo	Видимая звездная величина**
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	$1,989 \cdot 10^{30}$	332946	695000	108,97	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	-2,9
Юпитер	$1,899 \cdot 10^{27}$	317,94	71492	11,209	1,33	9,924 час	3,13	0,52	-2,9
Сатурн	$5,685 \cdot 10^{26}$	95,181	60268	9,4494	0,69	10,656 час	25,33	0,47	-0,5
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
Плутон	$1,5 \cdot 10^{22}$	0,003	1160	0,1819	1,1	6,387 сут*	122,52	0,3	13,7

* - обратное вращение.

** - для наибольшей элонгации Меркурия и Венеры и наиболее близкого противостояния внешних планет.

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
Плутон	5913,5	39,5294	0,2482	17,148	248,54 лет	366,7