

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
2019-2020 учебный год
11 класс
Максимальный балл – 60**

Задание 1. Выберите верный ответ.

1. Звезды с массой, равной 50 массам Солнца в процессе эволюции проходят этапы

- 1) протозвезда – белый карлик – звезда главной последовательности – красный сверхгигант
- 2) протозвезда – звезда главной последовательности – красный сверхгигант – сверхновая звезда
- 3) протозвезда – планетарная туманность – красный сверхгигант – белый карлик
- 4) протозвезда – звезда главной последовательности – сверхновая звезда – белый карлик

2. Что представляет собой темная полоса, идущая вдоль диска спиральной галактики «Сомбреро» M104



- 1) скопление холодных звезд поздних спектральных классов
- 2) места, в которых много планетарных туманностей
- 3) непрозрачный слой межзвездной среды: межзвездной пыли и газа
- 4) скопление водородных облаков

3. Некоторая звезда вдвое больше и вдвое горячее Солнца. Во сколько раз ее светимость превышает солнечную?

- | | |
|--------------|-------------|
| 1) В 78 раз | 3) В 58 раз |
| 2) В 64 раза | 4) В 98 раз |

4. Почему в качестве стандартных свечей для определения расстояний

предпочитают использовать переменные звёзды?

- 1) Они дальше видны
- 2) Таких объектов очень много
- 3) Они имеются среди звёзд разного возраста
- 4) Их периоды переменности легко определяются

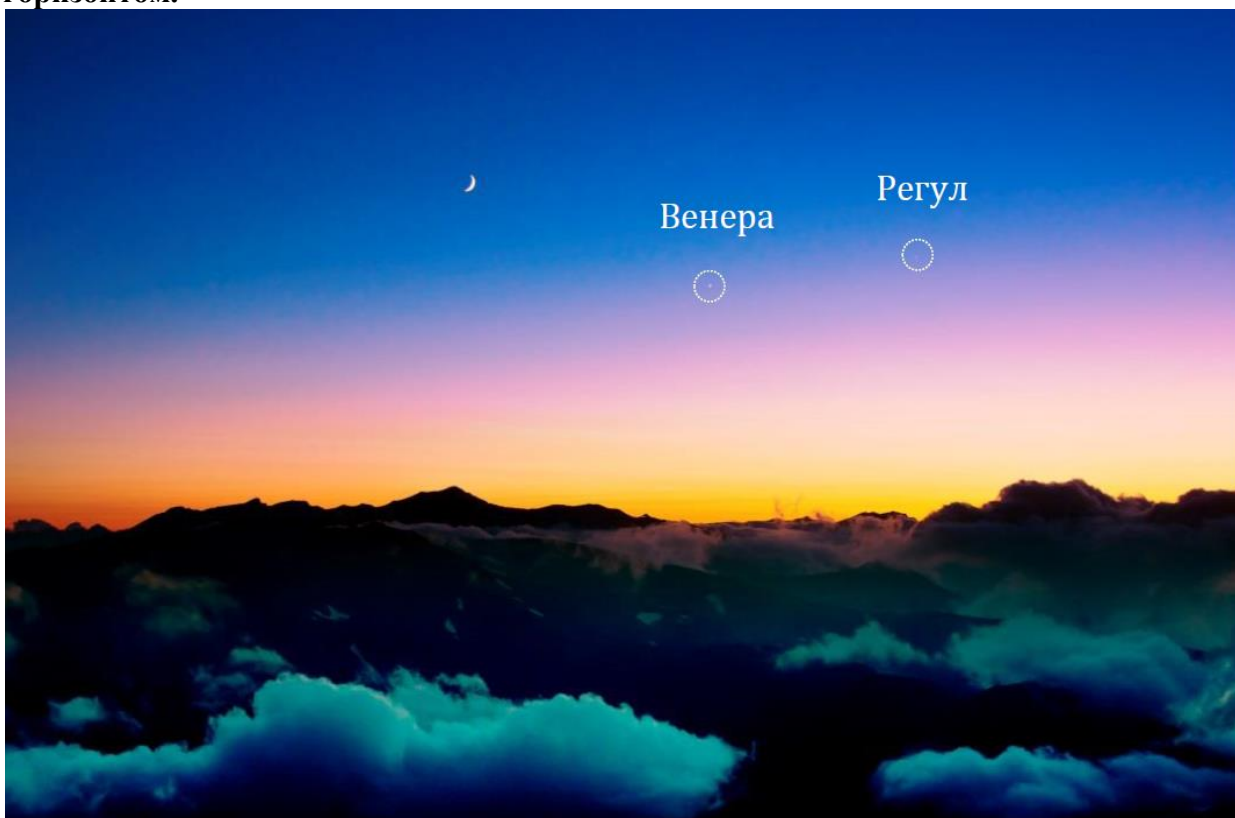
5. Космологическая сингулярность - это

- 1) вселенная в прошлом, с бесконечно малыми размерами и бесконечно высокой плотностью
- 2) структурное соответствие объектов
- 3) критическое состояние Вселенной, скачкообразный переход в новое упорядоченное состояние
- 4) асимметрия космических объектов
- 5) состояние Вселенной в прошлом, которое характеризуется бесконечно малыми размерами

6. Гелиоцентрическая система объясняет петлеобразное движение планет

- 1) различием скоростей движения Земли и планеты по орбитам
- 2) суточным вращением Земли
- 3) сочетанием движения Солнца и движения планет вокруг Солнца
- 4) изменением скорости движения планеты по орбите
- 5) взаимным притяжением планет

7. На фотографии, сделанной 19 июля 2015 года на вершине горы Пастухова показано положение Луны и Венеры сразу после того, как край Солнца скрылся за горизонтом.



Назовите конфигурацию планеты

- | | |
|----------------------|------------------------|
| 1) квадратура | 3) восточная элонгация |
| 2) нижнее соединение | 4) западная элонгация |

8. Распределение энергии в спектре реликтового излучения соответствует температуре

- | | |
|----------|----------|
| 1) 2,8 К | 3) 4,0 К |
| 2) 50 К | 4) 273 К |

9. Проницающая способность бинокля с диаметром объектива 60 мм равна

- | | |
|----------------|---------------|
| 1) $m = 10^m$ | 3) $m = 11^m$ |
| 2) $m = 9,5^m$ | 4) $m = 12^m$ |

10. Расположение солнечных слоев, начиная с внешнего, имеет следующий порядок

- 1) корона, хромосфера, ядро, фотосфера, конвективная зона
- 2) фотосфера, корона, хромосфера, конвективная зона, ядро
- 3) корона, фотосфера, хромосфера, ядро, конвективная зона
- 4) корона, хромосфера, фотосфера, конвективная зона, ядро
- 5) фотосфера, конвективная зона, корона, хромосфера, ядро

Решение

ВОПРОС	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ОТВЕТ	2	3	2	4	1	1	3	1	3	4

За каждую верно определенную позицию выставляется по 1 баллу. **Итого 10 баллов.**

Задание 2. В исламском лунном календаре год состоит из 12 лунных месяцев, половина из которых состоит из 29 дней, половина – из 30 дней. За 30 лет в календарь вставляется 11 високосных дней. Определить, за какой промежуток времени в лунном календаре набегит лишний год по сравнению с григорианским календарем.

Решение

№	Этапы решения	Баллы
1	Лунный год T_L в исламском календаре составляет 12 лунных месяцев по 29.5 дней, то есть 354 дней, плюс еще (11/30) дней за счет добавления 11 високосных суток за 30 лет.	2
2	Получившееся значение (354.3667 дней) практически совпадает с продолжительностью 12 синодических лунных периодов	2
3	Но эта величина на 10.8758 дней меньше продолжительности года по григорианскому календарю T_G . Предположим, что за N григорианских лет прошло $(N+1)$ лет по лунному календарю.	2
4	$N \cdot T_G = (N + 1) \cdot T_L; \quad N = \frac{T_L}{T_G - T_L} = 32.58.$	2
5	В итоге разница между исламским лунным и григорианским календарем составит целый год по прошествии 32.58 лет по григорианскому календарю или, то же самое, 33.58 лет по лунному календарю.	2
Итого		10

Задание 3. Тесная двойная система состоит из двух одинаковых компонент, похожих на Солнце. Планета обращается вокруг центра масс этой пары по орбите, близкой к круговой. Плоскость орбиты планеты перпендикулярна плоскости орбит звезд, а температурные условия на этой планете практически неотличимы от земных. Найдите продолжительность года на планете.

Решение

№	Этапы решения	Баллы
1	Так как плоскость орбиты планеты перпендикулярна плоскости орбит звезд, взаимные затмения звезд хотя и наблюдаются на этой планете, но носят эпизодический характер и не влияют на температурный режим.	2
2	Мы можем считать, что планета постоянно получает тепло от обеих звезд, каждая из которых излучает как Солнце.	2
3	Чтобы получать от них столько же энергии, сколько получает Земля от одного Солнца, планета должна располагаться на расстоянии $\sqrt{2}$ или 1.41 а.е. от центра масс тесной двойной системы.	2
4	Для определения периода обращения планеты воспользуемся обобщенным III законом Кеплера $T^2 = \frac{4\pi^2}{G(M+m)} a^3$. Для удобства рассуждения закон запишем в следующем виде: $\frac{a^3}{T^2 M} = 1$, a – радиус орбиты в астрономических единицах, T – период обращения в годах, M – суммарная масса системы в массах Солнца.	2
5	Учитывая то, что $a = 1.41$ и $M = 2$, получаем, что период обращения планеты составляет 1,19 лет.	2
	Итого	10

Задание 4. Звезда Сириус наблюдалась в верхней кульминации в двух пунктах (одни из которых находится на экваторе) с разницей в 2 часа. При этом ее высота над горизонтом составляла 73° и 78° . Оцените расстояние между пунктами, в которых проводились наблюдения.

Решение

№	Этапы решения	Баллы
1	Если верхняя кульминация Сириуса произошла в двух пунктах с разницей 2 часа, то разница в долготе этих пунктов равна 30° (т.к. Земля делает полный оборот в 360 за 24 часа, то разнице во времени между двумя пунктами в 1 час соответствует разница по долготе 15°).	2
2	Разница по широте зависит от того от зенита или с разных сторон происходят верхняя и нижняя кульминации. В итоге высота в верхней кульминации составляет $h_{вк} = 90 \pm (\varphi - \delta)$, где φ – широта места наблюдения, а δ склонение светила. Рассматривая все четыре возможных случая (т.е., кто помнит, что склонение Сириуса $\delta \sim -17^\circ$, может облегчить себе работу, ограничившись только вариантами, когда $h_{вк} = 78^\circ$), получаем, что широта второго пункта наблюдения может равняться либо $\pm 5^\circ$. либо $\pm 29^\circ$.	2
3	Для того, чтобы посчитать расстояние между пунктами, необходимо рассмотреть соответствующий сферический треугольник. Однако следует заметить, что расстояние по широте между пунктами в любом случае достаточно мало для того, чтобы можно было считать поверхность Земли в широтном направлении плоской, т.е. считать соответствующий треугольник расположенным на поверхности цилиндра (можно заметить, что даже для широт $\varphi = \pm 29^\circ$ длина стороны	2

	«прямоугольника», соответствующей данной параллели, составляет $\cos \varphi = 0.87$ часть длины стороны, лежащей на экваторе: для широт $\varphi = \pm 5^\circ$ отношение сторон практически равно 1). Тогда можно воспользоваться плоской геометрией и найти расстояние между пунктами по теореме Пифагора равно $r^2 = r_\varphi^2 + r_\lambda^2$, где r_φ расстояние по широте, а r_λ по долготе, взятые в линейной мере. Их можно вычислить как длину дуги окружности с радиусом, равным радиусу Земли R_3 .	
4	Окончательно получаем для $\varphi = \pm 5^\circ$: $r^2 = \left(\frac{5^\circ}{360^\circ} 2\pi R\right)^2 + \left(\frac{30^\circ}{360^\circ} 2\pi R\right)^2 = \left(\frac{\pi R}{180}\right)^2 (5^2 + 30^2)$ $r = \frac{\pi R}{180} \sqrt{5^2 + 30^2} \approx 3400 \text{ км}$	2
5	Окончательно получаем для $\varphi = \pm 29^\circ$: $r^2 = \left(\frac{29^\circ}{360^\circ} 2\pi R\right)^2 + \left(\frac{30^\circ}{360^\circ} 2\pi R\right)^2 = \left(\frac{\pi R}{180}\right)^2 (29^2 + 30^2)$ $r = \frac{\pi R}{180} \sqrt{29^2 + 30^2} \approx 4700 \text{ км}$	2
	Итого	10

Задание 5. Оцените, сколько звезд таких как Канопус (α Киля – вторая по яркости звезда ночного неба, звездная величина $m = -1^m$) нужно собрать вместе, чтобы они светили так же ярко, как полная Луна (звездная величина $m_L = -12.7^m$)?

Решение

№	Этапы решения	Баллы
1	По условию некоторое количество «Канопусов» должны светить как полная Луна, следовательно, должно выполняться соотношение $E_L = N \cdot E_{\text{кон}}, N - \text{искомое число звезд. } N = \frac{E_L}{E_{\text{кон}}}$	2
2	Учтем связь между звездной величиной m и освещенностью E $m = -2.5 \lg E + \text{const}$ запишем формулу освещенности, которую создают светила на Земле $E_L = 10^{0.4(\text{const} - m_L)}$ и $E_{\text{кон}} = 10^{0.4(\text{const} - m)}$	3
3	$N = \frac{10^{0.4(\text{const} - m_L)}}{10^{0.4(\text{const} - m)}} = 10^{0.4(m - m_L)} = 10^{0.4(-1 - (-12.7))} \approx 10^{4.7} \approx 50118.7 \approx 5 \cdot 10^4$	3
4	Требуется собрать вместе $5 \cdot 10^4$ звезд минус первой величины, чтобы они светили как полная Луна.	2
	Итого	10

Задание 6. В 1917 году Ричи и Кертис обнаружили в спиральном объекте NGC 224 (M31) появляющиеся и через несколько дней исчезающие яркие точки. Предположив, что это новые звезды в максимуме блеска и измерив видимую звездную величину этих звезд в максимуме блеска Ричи и Кертис вычислили расстояние до них. Оно оказалось приблизительно равным 460 тысячам парсек, что в пятнадцать раз больше диаметра Галактики.

Определите светимость этого спирального объекта, если его можно наблюдать в виде туманного пятнышка видимым блеском $+4,3^m$.

О каком объекте идет речь в задаче? Каково расстояние до него по современным оценкам?

Решение

№	Этапы решения	Баллы
1	$M = m + 5 - 5 \lg r$, r – расстояние до звезды (в парсеках)	2
2	$M = 4,3 + 5 - 5 \lg 460000 = -18,5$	2
3	Для нахождения светимости звезды используем формулу Погсона, сравнивая ее характеристики с характеристиками Солнца (справочные материалы) $\frac{L}{L_0} = 2,512^{M_0 - M}$	2
4	$\frac{L}{L_0} = 2,512^{M_0 - M} = 2,512^{4,8 - (-18,5)} = 2,512^{23,3} \approx 2,1 \cdot 10^9$ <p>Настолько большая светимость подчеркивает факт, что объект состоит из миллиардов звезд, т.е. является галактикой</p>	2
5	Речь в задаче идет о спиральной галактике Андромеды (Туманность Андромеды), расстояние до которой, по современным оценкам, 2,5 млн. св. лет.	2
	Итого	10

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

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 а.е. = $1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$
Парсек 1 пк = 206265 а.е. = $3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
Постоянная Хаббла $H = 63 \text{ км/с Мпк}$.

Данные о Солнце

Светимость $3.88 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
Спектральный класс G2
Видимая звездная величина -26.78^{m}
Абсолютная болометрическая звездная величина $+4.72^{\text{m}}$
Показатель цвета (B-V) $+0.67^{\text{m}}$
Температура поверхности около 6000К
Средний горизонтальный параллакс $8.794''$

Данные о Земле

Эксцентриситет орбиты 0.017
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 $5.974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Средняя плотность $5.52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$

Данные о Луне

Среднее расстояние от Земли 384400 км
Минимальное расстояние от Земли 356410 км
Максимальное расстояние от Земли 406700 км
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
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}

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЕТ

Планета	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Геометр. альбеда	Видимая звездная величина**
	Кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
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

* – 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