

Решения заданий Муниципального этапа олимпиады по астрономии
2015-2016 учебный год
11 класс
Максимальный балл – 60

Задание 1. Выберите верный ответ.

1. Взаимосвязь между светимостью (средней абсолютной звёздной величиной) и периодом пульсаций выражается формулой $M_v = -(1,01 + 2,87 \cdot \lg P)$, где P – период пульсаций цефеиды выражен в

- | | |
|-----------|-------------|
| А) сутках | В) часах |
| Б) годах | Г) секундах |

2. Представлен список пульсаров. Что лишнее в этом списке?

- | | |
|----------------|----------------|
| А) PRS 04 06+6 | В) PSR 1455-33 |
| Б) PSR 2617+98 | Г) PSR 2155-31 |

3. Звёздное время равно сумме

- А) часового угла (t) любого светила и склонения этого же светила $S = t + \delta$
 Б) азимута A светила и прямого восхождения этого же светила $S = A + \alpha$
 В) азимута A светила и склонения этого же светила $S = A + \delta$
 Г) часового угла (t) любого светила и прямого восхождения (α) этого же светила $S = t + \alpha$

4. Где на диаграмме Герцшпрунга – Расселя расположены чёрные дыры?

- А) внизу слева от главной последовательности
 Б) справа внизу главной последовательности
 В) чёрные дыры не отражены на диаграмме
 Г) в верхнем правом углу диаграммы

5. Как заряжен находящийся на орбите ИСЗ?

- А) ИСЗ не заряжен
 Б) заряжен положительно
 В) заряжен отрицательно
 Г) зависит от того, в какое время года запущен ИСЗ

6. Внимательно рассмотрите картинку и определите название данного метеорного потока



	$\alpha = \frac{206265'' \cdot 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}}{10 \text{ м}} = 0,01''$ <p>шая способность (в действительности она будет гораздо хуже).</p> <p><i>Примечание:</i> можно использовать формулу $\alpha = \frac{140''}{D}$, где D – диаметр объектива телескопа в миллиметрах</p>	
3.	<p>Предельный линейный размер d объекта на Луне, видимого в этот телескоп с учетом среднего расстояние от Земли до Луны составляет</p> $d = \frac{L \cdot \rho}{206265''} = \frac{384400000 \text{ м} \cdot 0,01''}{206265''} \approx 19 \text{ м}$	2
4.	<p>Таким образом, посадочную ступень лунного корабля диаметром 4,3 м мы, даже теоретически, увидеть не сможем.</p>	2
5.	Итого	10

Задание 3.

Представим себе фантастическую ситуацию: в Солнечной системе в процессе эволюции вместо одного Солнца сформировались две равные звезды с той же суммарной массой. Будем считать, что температура и плотность вещества при этом сохранились. Сильнее или слабее будут светить эти две звезды, вместе взятые, чем Солнце? Во сколько раз? Постоянной ли будет эта величина?

Решение

№	Этапы решения	Примерный балл
1.	<p>Очевидно, что масса каждой «новой звезды» равна половине массе Солнца. Но световая энергия, излучаемая звездой в единицу времени, при неизменной температуре пропорциональна площади поверхности. Поэтому нужно сравнить, как изменилась общая площадь двух звезд по сравнению с исходной.</p> <p>Т.е. сделан вывод, что излучаемая энергия в данной ситуации зависит только от площади поверхности</p>	2
2.	<p>Площадь поверхности исходной звезды $S_0 = 4\pi R_0^2$, площадь поверхности «новой» звезды $S = 4\pi R^2$, тогда излучающая поверхность двух «новых» звезд в 2 раза больше, т.е. $S' = 8\pi R^2$</p>	2
3.	<p>Найдем связь R и R_0. При условии, что плотность неизменна, объем каждой «новой» звезды равен половине исходного объема:</p> $V = \frac{V_0}{2}$ <p>Учитывая, что объем шара $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, получим $R_0 = R\sqrt[3]{2}$</p>	2
4.	<p>Можно рассчитать отношение площадей излучающих поверхностей</p> $\frac{S'}{S_0} = \frac{8\pi R^2}{4\pi R_0^2} = 2 \left(\frac{R}{R_0} \right)^2 = 2 \frac{1}{\sqrt[3]{4}} \approx 1,26$ <p>Таким образом, энергия излучения двух «новых» звезд была бы в 1,26 раза больше, чем у Солнца</p>	2
5.	<p>Если учесть, что возникшая двойная звезда постоянно обращалась бы вокруг общего центра масс, эти звезды заслоняли бы друг друга от</p>	2

	наблюдателя	
6.	Итого	10
7.	<i>Примечание: задача может быть решена путём прямых расчетов с использованием количественных данных о Солнце, приведённых в справочных материалах</i>	

Задание 4. Основываясь на представлениях молекулярно-кинетической теории, оцените давление и температуру внутри Солнца. Для простоты расчетов можно считать, что Солнце состоит в основном из атомарного водорода.

Решение

№	Этапы решения	Примерный балл
1.	Согласно молекулярно-кинетической теории давление газа p связано с его температурой T и концентрацией молекул n соотношением $p = nkT$, отсюда $T = \frac{p}{nk}$. Поскольку Солнце не расширяется и не сжимается, давление его внутренних слоев на любой глубине равно давлению внешних слоев, создаваемому силой тяжести F_T . Отсюда следует, что для определения температуры на какой-то глубине внутри Солнца необходимо определить концентрацию атомов n на этой глубине и давление вышележащих слоев p	2
2.	Для упрощения будем определять температуру на расстоянии $\frac{R_C}{2}$ от центра Солнца, где концентрацию атомов водорода будем считать приближенно равной среднему значению для Солнца $n = n_{cp} = \frac{\rho_{cp} \cdot N_A}{M}$, $M = 10^{-3}$ кг/моль – молярная масса атомарного водорода	2
3.	Выделим вертикальный столб газа с площадью основания S ; давление верхних слоев на лежащие ниже в этом столбе можно оценить, пренебрегая зависимостью плотности газа от глубины. Примем расстояние от центра Солнца до центра масс верхней половины столба газа равным $\frac{3}{4}R_C$ и рассчитаем силу тяготения, учитывая, что этот слой притягивается веществом, находящимся внутри слоя на расстоянии, меньшем $\frac{3}{4}R_C$, при этом его масса равна $M_1 = \frac{M_C (\frac{3}{4}R_C)^3}{R_C^3} = \frac{27}{64}M_C$ $F \approx \frac{27G \cdot m \cdot M_C}{64(\frac{3}{4}R_C)^2} = \frac{27G \cdot \rho_{cp} \cdot \frac{R_C}{2} \cdot S \cdot M_C}{64(\frac{3}{4}R_C)^2} = \frac{3G \cdot \rho_{cp} \cdot S \cdot M_C}{8R_C}$	3
4.	Давление на искомой глубине равно $p = \frac{F}{S} = \frac{3G \cdot \rho_{cp} \cdot M_C}{8R_C} = \frac{9G \cdot M_C^2}{32\pi R_C^4}$, а температура $T = \frac{p}{nk} = \frac{G \cdot \rho_{cp} \cdot M_C \cdot M}{\frac{9}{8}R_C \cdot \rho_{cp} \cdot N_A \cdot k} = \frac{8G \cdot M_C \cdot M}{9R_C \cdot N_A \cdot k}$.	2

5.	Подставив числовые значения, получим оценку давления и температуры: $p = 10^{14}$ Па; $T = 10^7$ К. В недрах Солнца давление газа примерно в миллиард раз превышает нормальное атмосферное давление, а температура составляет около 10 млн К.	1
6.	Итого	10

Задание 5. Какие небесные явления описывает А.С. Пушкин в стихотворении? В какой фазе находилась Луна?

На небесах печальная Луна
Встречается с небесною зарею,
Одна горит, другая холодна.
Заря блестит невестой молодою,
Луна пред ней, как мертвая, бледна.

Решение

№	Этапы решения	Примерный балл
1.	В стихах описывается встреча Луны с «молодой» утренней зарей кажущееся побледнение лунного света на фоне все более яркого утреннего неба	3
2.	Утром на небе может быть видна только «старая», убывающая Луна	3
3.	А.С. Пушкин говорит о «печальной луне», а не «месяце», вероятно, наш спутник имел фазу более 0,5, то есть находился между полнолунием и последней четвертью	4
4.	Итого	10

Задание 6.

В ночь с 29 на 30 июля 2015 года, как сообщали средства массовой информации, жители России могли видеть «необычайно большую Луну». При этом видимый угловой диаметр Луны составлял 33'13". Объясните причину этого явления. На сколько видимый угловой диаметр «большой» Луны был больше углового диаметра «обычной» Луны, а во сколько раз отличались их видимые площади? Как вы считаете, действительно ли можно было заметить невооруженным глазом увеличение размера Луны?

Решение

№	Этапы решения	Примерный балл
1.	Явление «большой» Луны – суперлуние объясняется совпадением нескольких факторов. Во-первых, видимое полушарие Луны должно быть полностью освещено Солнцем, т.е. Луна должна быть в фазе полнолуния. Во-вторых, нужно, чтобы Луна в момент полнолуния находилась в ближайшей к Земле точке своей орбиты – перигее.	2
2.	Луна, находящаяся низко над горизонтом и наблюдаемая на фоне земных предметов (домов, деревьев), кажется больше, чем когда она поднимется выше (оптическая иллюзия Понцо, названная так в честь Марио Понцо, попытавшегося объяснить ее в 1913 году). В действительности же угловые размеры Луны остаются одинаковыми (в этом можно убедиться, если на протяжении ночи смотреть на Луну на фоне монетки: соотношение размеров Луны и монетки будет одинаковым при любых положениях Луны).	2
3.	Так как указанное в задаче явление происходило летом, когда Луна не поднимается высоко над горизонтом (Так как Луна в полнолу-	2

	нии находится около эклиптики в точке, противоположной Солнцу, то ее высота в момент верхней кульминации будет минимальна летом), то этот эффект также оказал влияние на восприятие ее размера.	
4.	<p>Для определения на сколько в действительности Луна была больше «обычной» за видимый угловой диаметр «обычной» Луны возьмем величину $d_{cp}=31'05''$ – угловой диаметр Луны на среднем расстоянии от Земли $R=384\,400$ км. Величину d_{cp} можно вспомнить или вычислить $d_{cp} = \frac{206265'' \cdot D}{R} = 1865'' = 31'05''$</p> <p>Угловой диаметр «большой» Луны был больше «обычной» Луны на $33'13''-31'05''=2'08''$. Так как считается, что разрешающая способность глаза составляет $2'$, то, казалось бы, различить невооруженным глазом увеличение размера Луны невозможно.</p>	2
5.	<p>Посчитаем, во сколько раз увеличилась видимая площадь Луны:</p> $\frac{S}{S_{cp}} = \frac{d^2}{d_{cp}^2} = \frac{(33'13'')^2}{(31'05'')^2} = \frac{(1991'')^2}{(1865'')^2} = 1,14$ <p>Т.е. на 14% увеличилась видимая площадь Луны, что не так уж много. Поэтому значительную роль в «увеличении» Луны сыграл эффект Понцо, особенно во время ее восхода</p>	2
6.	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 = $206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$

Данные о Солнце

Радиус 695 000 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 $+4.72^{\text{m}}$
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 СОЛНЦА И ПЛАНЕТ

Планета	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Геометр. альбедо	Видимая звездная величина**
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	1.989·10 ³⁰	332946	695000	108.97	1.41	25.380 сут	7.25	–	–26.8
Меркурий	3.302·10 ²³	0.05271	2439.7	0.3825	5.42	58.646 сут	0.00	0.10	–0.1
Венера	4.869·10 ²⁴	0.81476	6051.8	0.9488	5.20	243.019 сут*	177.36	0.65	–4.4
Земля	5.974·10 ²⁴	1.00000	6378.1	1.0000	5.52	23.934 час	23.45	0.37	–
Марс	6.419·10 ²³	0.10745	3397.2	0.5326	3.93	24.623 час	25.19	0.15	–2.9
Юпитер	1.899·10 ²⁷	317.94	71492	11.209	1.33	9.924 час	3.13	0.52	–2.9
Сатурн	5.685·10 ²⁶	95.181	60268	9.4494	0.69	10.656 час	25.33	0.47	–0.5
Уран	8.683·10 ²⁵	14.535	25559	4.0073	1.32	17.24 час*	97.86	0.51	5.7
Нептун	1.024·10 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