

**Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии  
в 2015/2016 учебном году**

**9 класс**

**Решения**

**№ 1. «О Плеядах»**

**Условие.** Что такое *Плеяды*? В каком созвездии они находятся? В какое время года условия их наблюдения являются оптимальными?

**Решение.** *Плеяды* (также известны как объект в каталоге Мессье под номером М45 или *Семь сестер*) являются *рассеянным звездным скоплением* – группой звезд, образованных из одного гигантского молекулярного облака и имеющих примерно одинаковый возраст. Общее количество звезд в скоплении  $(1 \div 3) \cdot 10^3$ . Они заполняют область пространства, имеющую неправильную форму и связаны друг с другом относительно слабыми гравитационными силами. Главными представителями скопления являются молодые горячие звезды. Скопление расположено в созвездии Тельца и потому Плеяды хорошо видны зимой в северном полушарии и летом в южном полушарии. Это одно из самых ближайших к Земле и одно из наиболее заметных для невооруженного глаза рассеянных скоплений.

**Рекомендации для жюри.** Правильное указание того, что Плеяды являются рассеянным скоплением оценивается в 2 балла. Дополнительное пояснение о том, что такое рассеянное скопление оценивается в 1 балл. Правильное наименование созвездия, в котором расположены Плеяды оценивается в 3 балла и корректное указание времени года, в котором оптимальные условия для наблюдений – в 2 балла.

**№ 2. «Горизонтальные координаты звезды»**

**Условие.** Чему равны горизонтальные координаты (азимут и зенитное расстояние) звезды, находящейся в верхней кульминации, для наблюдателя в г. Самаре ( $\varphi_S = 53^\circ 12'$ ), если эта звезда в нижней кульминации наблюдалась в точке севера?

**Решение.** Если звезда в нижней кульминации находится в точке севера (принадлежащей математическому горизонту), то ее высота над горизонтом равна нулю:

$$\delta_* + \varphi_S - 90^\circ = 0, \Rightarrow \delta_* = 90^\circ - \varphi_S = 36^\circ 48'.$$

Поскольку  $\delta_* < \varphi_S$ , то данная звезда в верхней кульминации будет находиться на небесном меридиане, к югу от зенита, тогда азимут должен быть равен нулю –  $A_* = 0^\circ$ , а зенитное расстояние определяется формулой вида:

$$z_* = \varphi_S - \delta_* = 16^\circ 24'.$$

То горизонтальные координаты звезды в верхней кульминации есть  $A_* = 0^\circ 00'$ ,  $z_* = 16^\circ 24'$ .

**Рекомендации для жюри.** Вывод о принадлежности горизонту точки севера и, как следствие, вывод о равенстве нулю высоты оценивается 2 баллами. Расчет склонения звезды оценивается также 2 баллами. Вывод о кульминации к югу от зенита и о равенстве нулю азимута оценивается 2 баллами. Правильный расчет зенитного расстояния звезды в верхней кульминации также оценивается 2 баллами.

**№ 3. «Шкалы времени»**

**Условие.** Какую из представленных временных шкал (звездное время, истинное солнечное время, среднее солнечное время) в настоящее время используют в большинстве стран мира, в повседневной жизни для счета времени? Почему? Почему остальные шкалы для этого не подходят?

**Решение.** Сегодня большинство стран мира используют для измерения времени шкалу среднего солнечного времени – систему счета времени, основанную на контроле за равномерным движением по экватору некоторой абстрактной точки – *среднего экваториального Солнца*. Именно равномерное движение данной точки обеспечивает равномерность течения времени – главного преимущества данной шкалы перед другими шкалами.

Именно из-за отсутствия строгой равномерности течения времени шкалу истинного солнечного времени не используют в наши дни. Отсутствие наглядности в определении положения на небосводе точки весеннего равноденствия и ориентир на ночное небо (хотя человек бодрствует и нуждается в счете времени в дневное время) не позволили использовать звездное время как шкалу для измерения времени в повседневной жизни.

**Рекомендации для жюри.** Выбор верного утверждения, без обоснования ответа, оценивается в 2 балла. Подробное правильное обоснование непригодности истинного солнечного времени и звездного времени в качестве шкалы времени, используемой в повседневной жизни оценивается еще по 3 балла за каждую шкалу. Неполное, но правильное обоснование оценивается  $1 \div 2$  баллами (в каждом случае), на усмотрение членов жюри. Если дано обоснование (в том числе и развернутое), но в корне неправильное, то баллы за него не выставляются!

#### № 4. «Фотография лун Сатурна»

**Условие.** В июне 2015 года космическая станция «Кассини» получила уникальную фотографию (см. рис. 1), на которой одновременно запечатлены три спутника Сатурна – Рея, Титан и Мимас с малыми фазами. Определите, какой из данных спутников Титан? Свой ответ обоснуйте.

**Решение.** На фотографии отчетливо видно, что "серпы" спутников 1 и 3 подобны по форме друг другу и сильно различаются по форме от "серпа" второго спутника. У последнего длина "рогов серпа" существенно больше. Это объясняется *иным характером взаимодействия солнечного света с поверхностью спутника*. Как известно, Титан – это единственный спутник Сатурна у которого обнаружена плотная атмосфера. Именно рассеяние света и его рефракция в атмосфере спутника приводит к удлинению рогов серпа. Т.о. спутник под номером 2 – Титан. Важно отметить, что данный феномен давно известен и наблюдается у Венеры по тем же причинам.

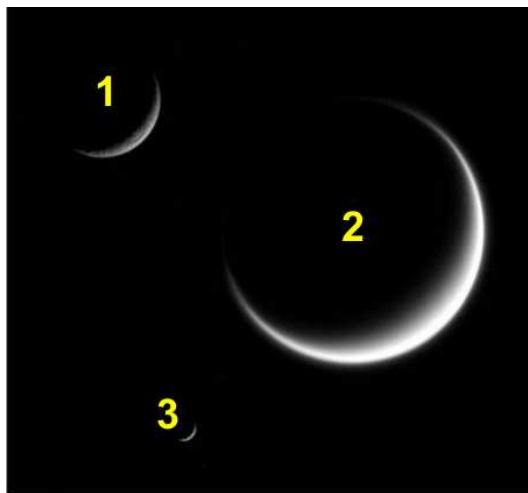


Рис. 1: к задаче № 4.

**Рекомендации для жюри.** Выбор верного утверждения, без обоснования ответа, оценивается в 2 балла. Правильное указание причины различия длины рогов серпа (различный характер взаимодействия света с поверхностями спутников) отмечается 3 баллами. Указание, что Титан является единственным спутником Сатурна с плотной атмосферой и, что именно, рассеяние света и его рефракция являются главными причинами феномена удлинения рогов оценивается еще 3 баллами. Следует считать неправильным такое объяснение: Титан – самый большой спутник Сатурна, следовательно, и самой большой спутник на фото есть Титан. За такое объяснение баллы не начисляются! Самый большой спутник вовсе не обязан быть самым большим на фотографии, в силу произвольного расположения спутников по отношению к станции.

#### № 5. «Комета 27P/Кроммелина в афелии»

**Условие.** Между орбитами каких классических планет расположен афелий орбиты кометы 27P/Кроммелина, если известно ее перигелийное расстояние –  $q = 0.735$  а.е., а эксцентриситет орбиты равен  $\varepsilon = 0.919$ . Как часто бывает комета в афелии? Чему равна скорость кометы в афелии (в км/с)?

**Решение.** Перигелийное и афелийное расстояния в терминах эксцентриситета ( $\varepsilon$ ) и большой

полуоси ( $a$ ) можно представить в виде:

$$q = a(1 - \varepsilon), \quad Q = a(1 + \varepsilon), \quad \Rightarrow \quad Q = q \left( \frac{1 + \varepsilon}{1 - \varepsilon} \right) = 17.4 \text{ а.е.}$$

Очевидно, что полученное значение существенно больше большой полуоси Сатурна, но меньше полуоси Урана (см. справочные данные). Т.о. афелий орбиты кометы 27P/Кроммелина расположен между орбитами Сатурна и Урана. Для определения частоты появления кометы в своем афелии, необходимо вычислить период ее обращения вокруг Солнца. Для этого воспользуемся третьим законом Кеплера (в сравнении с Землей):

$$\left( \frac{a}{a_{\oplus}} \right)^3 = \left( \frac{T}{T_{\oplus}} \right)^2, \quad \Rightarrow \quad T = T_{\oplus} \left( \frac{a}{a_{\oplus}} \right)^{3/2} = T_{\oplus} \left( \frac{q}{a_{\oplus}(1 - \varepsilon)} \right)^{3/2} = 27.3 \text{ лет.}$$

здесь  $a_{\oplus} = 1$  а.е.,  $T_{\oplus} = 1$  год – большая полуось орбиты Земли и период ее обращения; т.о. комета бывает в своем афелии 1 раз в 27.3 года.

Скорость кометы в своем афелии есть

$$V_Q = \sqrt{\frac{G \mathcal{M}_{\odot}}{a} \left( \frac{1 - \varepsilon}{1 + \varepsilon} \right)} = \sqrt{\frac{G \mathcal{M}_{\odot}}{q} \frac{(1 - \varepsilon)^2}{1 + \varepsilon}} = V_{\oplus} \sqrt{\frac{a_{\oplus}}{q} \frac{(1 - \varepsilon)^2}{1 + \varepsilon}} = 2.0 \text{ км/с.}$$

здесь  $V_{\oplus} = 29.8$  км/с – средняя орбитальная скорость Земли (см. справочные данные).

**Рекомендации для жюри.** Правильное представление аналитической формулы в терминах  $q$  и  $\varepsilon$  для афелийного расстояния кометы оценивается в 2 балла. Определение частоты появления кометы в окрестности афелия своей орбиты, связанное с расчетом периода ее обращения оценивается в 3 балла. Правильное представление аналитической формулы для скорости в афелии в терминах известных величин и справочных данных, плюс ее расчет оценивается еще 3 баллами.

#### № 6. «Пролет спутника над Самарой»

**Условие.** Низкоорбитальный спутник пролетает над г. Самарой ( $\varphi_S = 53^\circ 12'$ ). Оцените время, которое необходимо спутнику, чтобы пройти над городом 1) вдоль меридиана, 2) вдоль параллели, если известно, что протяженность города с севера на юг составляет 50 км, а с запада на восток – 20 км.

**Решение.** Согласно условию задачи протяженность г. Самары вдоль меридиана составляет  $\ell_m = 50$  км, вдоль параллели –  $\ell_p = 20$  км. Поскольку спутник низкоорбитальный, то его скорость приблизительно равна первой космической скорости –  $V_I = 7.91$  км/с. Следовательно, при движении спутника в меридианной плоскости время прохождения составит

$$\tau_m = \frac{\ell_m}{V_I} = 6.3 \text{ сек.}$$

Если же спутник движется над Самарой вдоль параллели, то с учетом вращения Земли возможны две ситуации: 1) спутник движется в направлении суточного вращения Земли (с запада на восток). В данном случае Самара перемещается в том же направлении что и спутник со скоростью  $V_s$  (относительно центра Земли)

$$V_s = \frac{2\pi \mathcal{R}_{\oplus} \cos \varphi_S}{T_{\oplus}} = 0.28 \text{ км/с.}$$

Следовательно, относительно Самары спутник будет перемещаться со скоростью:

$$V_1 = V_I - V_s = 7.63 \text{ км/с.}$$

Следовательно, время транзита в этом случае есть

$$\tau_{p1} = \frac{\ell_p}{V_1} = 2.6 \text{ сек.}$$

2) спутник движется в направлении, обратном направлению суточного вращения Земли (с восток на запад): В этом скорость спутника относительно Самары составляет

$$V_2 = V_1 + V_s = 8.19 \text{ км/с},$$

а время транзита в этом случае есть

$$\tau_{p2} = \frac{\ell_p}{V_2} = 2.4 \text{ сек.}$$

**Рекомендации для жюри.** Правильная оценка времени пролета спутника над Самарой вдоль меридиана оценивается в 2 балла. Расчет скорости движения Самары относительно центра Земли оценивается также в 2 балла. Рассмотрение и корректная оценка времени в двух частных случаях при движении спутника вдоль параллели оценивается в 2 балла за каждый случай.

**На решение задач муниципального этапа олимпиады по астрономии школьникам отводится 4 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 –  $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
- 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.