

Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по астрономии

в 2015/2016 учебном году

7-8 классы

Решения задач

№ 1. «Ярчайшие звезды северной полушферы и их видимость»

Условие. Как известно, Арктур, Вега и Капелла являются самыми яркими звездами северной части небесной сферы. Каким созвездиям они принадлежат? Какая из указанных звезд занимала наивысшее положение над горизонтом сегодня в полночь в Вашем регионе? Ответ поясните.

Решение. Арктур – ярчайшая звезда в созвездии Волопаса (весеннее созвездие), Вега – в созвездии Лиры (летнее созвездие), а Капелла – в созвездии Возничего (зимнее созвездие).

Муниципальный тур Всероссийской олимпиады школьников по астрономии проводится в период с 1 ноября по 25 декабря (осенне-зимний период). В этот период в полночь верхней кульминации достигают осенне-зимние созвездия. Поэтому выше других над горизонтом расположены объекты этих созвездий. Т.о., Капелла в полночь должна занимать наивысшее положение (среди указанных звезд) над горизонтом. Вега, будучи звездой летнего созвездия, должна в этот момент быть вблизи горизонта. Поскольку Арктур принадлежит весеннему созвездию, то в полночь он будет расположен в окрестности своей нижней кульминации. Кроме того, Арктур является заходящей звездой для любой точки материковой части России. Поэтому на территории Самарской (Волгоградской, Белгородской) областей Арктур сегодня в полночь будет расположен под горизонтом и потому его нельзя увидеть.

Рекомендации для жюри. Правильное указание созвездия для каждой звезды оценивается по 2 балла (итого – 6 баллов при правильном указании всех созвездий). В 2 балла оценивается развернутый ответ на вопрос о звезде, занимающей наивысшее положение над горизонтом. Следует присвоить 1 балл если дан правильный ответ без пояснений.

№ 2. «О расположении современных обсерваторий»

Условие. Почему в настоящее время ученые стремятся построить новые обсерватории на вершинах гор? Всегда ли так было? Приведите примеры (2-3) обсерваторий, которые уже построены или будут построены по такому принципу.

Решение. Действительно, современные обсерватории создаются на больших высотах над уровнем моря. Это объясняется стремлением 1) уменьшить искажения, вносимые атмосферой Земли в изображения небесных тел, 2) уменьшить поглощение света атмосферой, 3) увеличить площадь части небосвода, доступной наблюдениям.

Исследования показывают, что основные искажения, вносимые в изображения небесных тел, формируются в нижнем слое (тропосфере) земной атмосферы толщиной 10 км. Здесь же поглощается основная часть от теряемого света. Причем, чем ближе к Земле, тем сильнее проявляются данные эффекты.

Такой подход к строительству обсерваторий был не всегда. Данный подход был сформирован как на основе данных наблюдений за земной атмосферой и объективной необходимостью устранения ее влияния, так и на достижениях технологий в строительстве, машиностроении и других отраслях. Кроме того, бурное развитие радиоастрономии и астрофизики космических лучей во второй половине XX столетия ускорили развитие подобных тенденций в строительстве.

В качестве примеров можно привести

1) строящуюся Кавказскую Горную обсерваторию Государственного астрономического института имени П.К. Штернберга Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова (высокогорное плато Шаджатмаз, Карачаево-Черкесия, Россия);

2) недавно построенную обсерваторию-систему радиотелескопов ALMA (дословно Атакамская Большая Миллиметровая/субмиллиметровая Решетка), находящуюся в пустыни Атакама, Чили;

3) Обсерваторию Кека – астрономическую обсерваторию, расположенную на пике горы Мауна-Кеа, на острове Гавайи, США.

Рекомендации для жюри. Исчерпывающее объяснение указанной тенденции оценивается в четыре балла. Еще четыре балла следует присудить за корректно приведенные 2-3 примера обсерваторий.

№ 3. «Планета и ее спутники»

Условие. У какой планеты Солнечной системы существуют два спутника, названия которых с греческого переводятся как «страх» и «ужас»? Как называются эти спутники? Какой номер в порядке удаленности планет от Солнца у данной планеты? Ближе или дальше от Солнца она расположена в сравнении с Землей?

Решение. Речь, очевидно, идет о Марсе. Данная планета обладает двумя спутниками Фобосом («страх») и Деймосом («ужас»). Марс является четвертой планетой по удаленности от Солнца, в то время как Земля является третьей. Поэтому Марс расположен дальше от Солнца, нежели Земля.

Рекомендации для жюри. Правильное указание 1) названия планеты оценивается в 2 балла, 2) названий двух спутников в 2 балла (за название каждого 1 балл), 3) номера в порядке удаленности Марса от Солнца оценивается в 2 балла и 4) соотношения расстояний Марса и Земли в 2 балла.

№ 4. «Серп Венеры и время наблюдений»

Условие. Астроном, пребывая на территории Вашего региона, наблюдал в телескоп серп Венеры, и сделал зарисовку увиденного, представленную на рис. 1. В какое время суток астроном проводил наблюдения? В какой стороне света находилась планета?

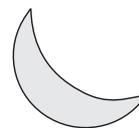


Рис. 1: к задаче № 4.

Решение. Выпуклая часть видимого диска Венеры (как и у Луны) всегда ориентирована "к Солнцу". При этом Солнце находится за горизонтом. Видимая фаза Венеры близка к последней четверти (по аналогии с Луной). Венера, как и Луна, на территории Самарской (Волгоградской, Белгородской) области может наблюдаться вблизи последней четверти у горизонта лишь на востоке, перед восходом Солнца (за $0 \div 3$ часа). Т.о. Венеру астроном наблюдал ночью-утром, в восточной части небосвода.

Рекомендации для жюри. Представление правильного ответа без обоснования оценивается в 2 балла. Важно увидеть аналогию фаз Венеры с фазами Луны. Обоснование этой аналогии отмечается тремя баллами. Еще три балла даются за корректное обоснование времени наблюдений (и стороны света) Луны и Венеры в окрестности последней четверти.

№ 5. «Тесное сближение Юпитера и Венеры 2015 года»

Условие. 30 июня 2015 года в западной части небосвода наблюдалось явление тесного сближения Венеры и Юпитера. Данные тела подошли так близко друг к другу, что выглядели вместе, как ярчайшая «двойная звезда».

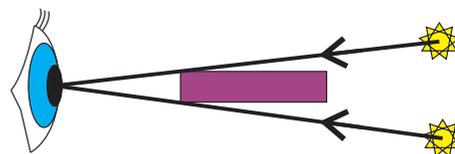


Рис. 2: к задаче № 5.

Очевидцы утверждали, что линейка (толщина которой 1 мм), ориентированная торцевой частью к наблюдателю и направленная на «двойную звезду», еще «пролазила» между планетами (см. рис. 2), если расстояние от глаз до ближнего к наблюдателю края линейки было 18 см. Оцените (в угловых минутах) минимальное угловое расстояние (угол между лучами света, пришедшими от данных тел) между данными планетами на указанный момент.

Решение. Самый простой способ оценки углового расстояния заключается в использовании свойств окружности. Для этого заметим, что толщина линейки $\ell = 1$ мм много меньше рассто-

яния $R = 18$ см от нее до глаз. Следовательно, искомый угол α мал и тогда торцевую грань линейки, обращенную к наблюдателю можно рассматривать как дугу окружности, с радиусом R , и центром, расположенным на хрусталике глаза (см. рис. 3).

Длина ℓ дуги, совпадающей с гранью, пропорциональна углу раствора α . Легко составить следующую пропорцию:

$$\left\{ \begin{array}{l} \ell \rightarrow \alpha, \\ 2\pi R \rightarrow 360^\circ. \end{array} \right\} \Rightarrow \alpha = 360^\circ \left(\frac{\ell}{2\pi R} \right) = 0.32^\circ \approx 19'. \quad (1)$$

Т.о. $\alpha \approx 19'$. Поскольку, задача носит оценочный характер, то допускаются в качестве ответа значения из интервала $(15', 23')$.

Замечание: возможен альтернативный способ решения, основанный на свойствах треугольников, с использованием тригонометрических функций – синус или тангенс. Однако, для большинства учащихся данный способ еще не доступен, в силу отсутствия соответствующих знаний.

Рекомендации для жюри. Догадка о замене прямого отрезка дугой окружности в силу малости угла оценивается в 3 балла. Вывод и правильная запись окончательной формулы для угла также оценивается в 3 балла. Правильный численный расчет угла оценивается в 2 балла.

№ 6. «Уменьшение массы Солнца и распространение света»

Условие. Как известно, в недрах Солнца каждую секунду сгорает 4.25 млн тонн звездного вещества, превращаясь в солнечный свет и поток нейтрино, покидающих Солнце. Вычислите, насколько уменьшится масса Солнца (в кг) за то время, пока свет распространяется от Солнца до Земли.

Решение. Прежде всего вычислим время t_p распространения света от Солнца до Земли. Для этого воспользуемся значениями соответствующего расстояния между телами и скорости света, представленными в справочных данных.

$$t_p = \frac{a_{\oplus}}{c} = \frac{1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}}{2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 499 \text{ с.}$$

За это время масса Солнца должна уменьшится на величину

$$\Delta m = v_m \cdot t_p = 4.25 \cdot 10^6 \cdot 10^3 \text{ кг/с} \cdot 499 \text{ с} = 2.12 \cdot 10^{12} \text{ кг.}$$

Итак, искомая величина $\Delta m = 2.12 \cdot 10^{12}$ кг.

Рекомендации для жюри. Правильный расчет времени распространения света от Солнца до Земли оценивается в 4 балла. Корректный расчет величины Δm , на которую уменьшается масса Солнца также оценивается в 4 балла.

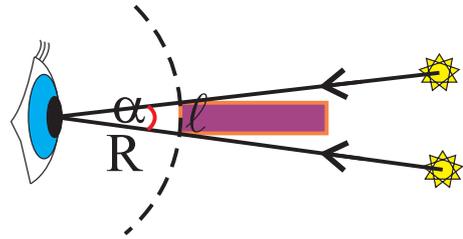


Рис. 3: к задаче № 5.

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

§3. Данные о Земле

- Эксцентриситет орбиты – 0.017
- Тропический год – 365.24219 сут
- Средняя орбитальная скорость – 29.8 км/с
- Период вращения – 23 часа 56 минут 04 секунды
- Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000.0 – $23^\circ 26' 21.45''$
- Экваториальный радиус – 6378.14 км
- Полярный радиус – 6356.77 км
- Масса – $5.974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
- Средняя плотность – $5.52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$
- Объемный состав атмосферы – N₂ (78%), O₂ (21%), Ar (~ 1%)

§4. 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 сут
- Синодический период обращения – 29.530589 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 ⁻³	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 [†]	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 [†]	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 ⁻³	км	сут		
Земля							
Луна	$7.348 \cdot 10^{22}$	1738	3.34	384400	27.32166	0.12	-12.7
Марс							
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
Юпитер							
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
Сатурн							
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
Уран							
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
Нептун							
Тритон	$2.14 \cdot 10^{22}$	1350	2.07	354800	5.87685 [†]	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.