

**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ  
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП  
В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ  
2017-2018 УЧЕБНЫЙ ГОД  
ОТВЕТЫ**

<b>11 КЛАСС</b>	
№ задания	Максимальный балл
1.	8
2.	8
3.	8
4.	8
5.	8
6.	8
Итого:	48 баллов

**ПОДРОБНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАНИЙ**

**11 класс**

*Общие указания:* за правильное понимание участником олимпиады сути предоставленного вопроса и выбор пути решения выставляется не менее 4–5 баллов. При отсутствии понимания ситуации и логической связанности решения оценка не может превышать 2–3 балла даже при формально правильном ответе. С другой стороны, арифметические ошибки, приводящие к неверному ответу, не должны быть основанием для снижения оценки более чем на 1–2 балла. Жюри вправе вводить собственные критерии оценивания работ, не противоречащие общим рекомендациям по проверке.

**1. Бриллиант Девы**

Звезды, которые образуют этот астеризм – Арктур ( $\alpha$  Волопаса), Спика ( $\alpha$  Девы), Денебола ( $\beta$  Льва) и Сердце Карла ( $\alpha$  Гончих Псов). Название этого астеризма не является общеизвестным, но в условии задачи есть подсказки, что это почти правильный ромб, состоящий из ярких звезд, как-то связанных с созвездием Девы, поэтому, воспользовавшись картой звездного неба (Приложение 2 к листу заданий), даже не зная этого астеризма, участники олимпиады могут попытаться угадать, из каких звезд он может состоять.

Лучше всего (высоко в небе вблизи верхней кульминации) эти созвездия (в том числе созвездие Девы) видны на наших широтах весной – в марте и апреле (ночью), а также в феврале (под утро) и в мае (вечером).

*Примечание:* для определения наилучшей видимости можно воспользоваться картой звездного неба (Приложение 2 к листу заданий). Эти созвездия будут находиться вблизи верхней кульминации в месяцы, когда Солнце будет на эклиптике в противоположной по прямому восхождению точке небесной сферы (+12 часов).

*Ответ:* Арктур ( $\alpha$  Волопаса), Спика ( $\alpha$  Девы), Денебола ( $\beta$  Льва), Сердце Карла ( $\alpha$  Гончих Псов).  
Март, апрель.

*Критерии оценивания*

По 1 баллу за каждое верное название звезды, еще по 1 баллу за верное указание созвездий, в которых находятся эти звезды. Ошибочно участники олимпиады могут указать вместо звезды Денебола ( $\beta$  Льва) звезду Регул ( $\alpha$  Льва) или звезды  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\zeta$  Девы, что не является верным ответом (они не образуют почти правильный ромб) и при выставлении оценки не засчитывается. Еще до 2 баллов выставляются за указание любых 2 месяцев из приведенного в решении перечня. Однако суммарная оценка за задачу не может превышать 8 баллов.

**2. Альдебаран и Процион**

Это задание на понимание устройства экваториальной системы координат, на которой построено большинство звездных карт, атласов и каталогов. Разность прямых восхождений звезд, упоминаемых в

задании, составляет:  $07\text{ч } 39\text{м } 17,3\text{с} - 05\text{ч } 35\text{м } 55,3\text{с} = 02\text{ч } 03\text{м } 22\text{с}$ . Из определения прямого восхождения следует, что звезды восходят, кульминируют и заходят в порядке роста их прямых восхождений (отсчет увеличивается с запада на восток). Поэтому кульминация Проциона наступит через  $02\text{ч } 03\text{м } 22\text{с}$  после кульминации Альдебарана. Или в  $23\text{ч } 35\text{м } 10\text{с} + 02\text{ч } 03\text{м } 22\text{с} = 25\text{ч } 38\text{м } 32\text{с}$  по часам наблюдателя. Поскольку 25 часов это уже 1 час после полуночи, то верхнюю кульминацию Проциона любитель сможет увидеть в  $01\text{ч } 38\text{м } 32\text{с}$ . Вторая координата (склонение) определяет угловое расстояние светила от небесного экватора. Поскольку склонение Альдебарана больше на:  $16^\circ 30' 30'' - 05^\circ 13' 12'' = 11^\circ 17' 18''$ , то и кульминировать он будет на столько же выше Проциона. Другими словами, высота Проциона в кульминации составит:  $50^\circ 00' 00'' - 11^\circ 17' 18'' = 38^\circ 42' 42''$ .

*Примечание:* при решении этого задания важна точность вычислений, так как в его условии экваториальные координаты даны с точностью до долей секунды и угловых секунд.

*Ответ:* кульминацию звезды Процион можно будет увидеть в  $01\text{ч } 38\text{м } 32\text{с}$  на высоте  $38^\circ 42' 42''$ .

*Критерии оценивания*

Верное вычисление разности прямых восхождений звезд – 1 балл.

Понимание сущности прямого восхождения и верное вычисление времени верхней кульминации Проциона (с точностью до секунд) – 3 балла. Если участник в качестве ответа указывает  $25\text{ч } 38\text{м } 32\text{с}$ , то оценка снижается на один балл. Если участник округляет время до минут, максимальная оценка за этот этап решения составляет – 2 балла.

Верное вычисление разности склонений звезд – 1 балл.

Понимание сущности склонения и верное вычисление высоты кульминации Проциона (с точностью до угловых секунд) – 3 балла. Если участник округляет высоту до угловых минут, то максимальная оценка за этот этап решения составляет – 2 балла, до градусов – 1 балл.

### 3. Стрелец А

Вначале определим большую полуось орбиты звезды S2, воспользовавшись соотношением:

$$r_{\text{п}} = a(1 - e). \text{ Отсюда: } a = \frac{r_{\text{п}}}{(1 - e)} = \frac{120}{(1 - 0,88)} = 1000 \text{ а.е.}$$

Затем применим третий обобщенный закон Кеплера, сравнив систему двух тел Стрелец А–звезда S2 с другой известной системой двух тел, например, Солнце–Земля:  $\frac{T_1^2(M + m_1)}{a_1^3} = \frac{T_2^2(M_c + m_2)}{a_2^3}$ , где  $M$  – масса объекта Стрелец А,  $m_1$  – масса звезды S2,  $M_c$  – масса Солнца;  $m_2$  – масса Земли;  $T_1$  и  $a_1$  – период обращения звезды S2 вокруг объекта Стрелец А и большая полуось ее орбиты;  $T_2$  и  $a_2$  – период обращения Земли вокруг Солнца ( $T_2 = 1$  г) и большая полуось ее орбиты ( $a_2 = 1$  а.е.).

Предположим, что масса объекта Стрелец А много больше массы звезды S2 ( $M \gg m_1$ ). Учитывая, что масса Солнца много больше массы Земли ( $M_c \gg m_2$ ), получим выражение:  $M = \frac{a_1^3}{T_1^2} M_c$ . Подставив численные значения, найдем массу объекта Стрелец А, выраженную в массах Солнца:

$$M = \frac{1000^3}{15,5^2} M_c \approx 4 \cdot 10^6 M_c. \text{ То есть объект Стрелец А в 4 млн. раз массивнее Солнца. По современным представлениям, компактным объектом с такой массой может быть только сверхмассивная черная дыра.}$$

*Ответ:* Масса компактного объекта Стрелец А составляет примерно 4 млн. масс Солнца. Этот объект – сверхмассивная черная дыра.

*Критерии оценивания*

Верное определение большой полуоси орбиты звезды – 2 балла.

Применение третьего обобщенного закона Кеплера и правильное вычисление массы объекта Стрелец А – 4 балла.

Вывод, что таким массивным и компактным объектом как Стрелец А, является сверхмассивная черная дыра – 2 балла.

### 4. Два затмения Луны

Полная фаза первого январского лунного затмения продлится  $1\text{ч } 17\text{м}$  ( $14\text{ч } 08\text{м} - 12\text{ч } 51\text{м}$ ) с максимальной фазой в  $13\text{ч } 30\text{м}$  по всемирному времени (середина этого интервала времени). Так как разница всемирного времени с красноярским составляет +7 часов, в Красноярске в это время будет  $20\text{ч } 30\text{м}$ .

То есть максимум затмения наступит за 4,5 часа до истинной полночи (около 1 часа ночи по красноярскому времени). Как можно понять, в январе – это темное время суток, а поскольку лунные затмения можно наблюдать со всего ночного полушария Земли, то в Красноярске это затмение будет видно. Так как лунные затмения происходят в полнолуние, а полная Луна кульминирует (находится на юге) в истинную полночь, то затмение можно будет наблюдать в юго-восточной части неба.

Аналогично со вторым июльским затмением: оно продлится 1ч 44м с максимумом вблизи 20ч 22м по всемирному времени. В Красноярске в этот момент будет уже 20ч 22м +7ч = 03ч 22м (28 июля). То есть – через 2ч 22м после истинной полночи. Это тоже ночное время, так что и это затмение также будет видно из Красноярска. Только на этот раз Луна будет видна уже в юго-западной части неба (после истинной полночи).

Сравнивая продолжительности затмений, можно заметить, что июльское затмение будет более долгим (так как Луна пройдет ближе к центру земной тени, чем в январе). Однако высота Луны над горизонтом во время июльского затмения будет меньше, чем во время январского. Это объясняется следующим образом: высота Солнца максимальна летом, а минимальна – зимой, так как Солнце на эклиптике летом находится выше небесного экватора, а зимой – ниже. А противоположная точка эклиптики, в которой будет находиться полная Луна во время лунного затмения, кульминирующая в истинную полночь, наоборот, летом – ниже небесного экватора, а зимой – выше. По этой причине лучше будет видно январское затмение, так как наблюдению «высокой» Луны не будут мешать предметы видимого горизонта (дома, деревья и т.п.).

Еще один фактор в пользу январского затмения – это темная зимняя ночь, в отличие от короткой светлой летней ночи, когда не заканчиваются астрономические сумерки. Кроме того, окончание полной фазы июльского затмения (в 04ч 14м красноярского времени) будет проходить уже во время утренних гражданских сумерек.

*Примечание:* в момент максимума январского затмения высота Луны над горизонтом Красноярска составит более 26 градусов, в то время как в июле – немногим более 7 градусов. Желаем удачных наблюдений!

*Ответ:* в Красноярске будут видны оба затмения, так как они будут происходить, когда в городе будет темное время суток. Но лучше будет видно январское затмение, потому что Луна в это время будет выше над горизонтом, а полная фаза затмения придется на полностью темное время суток.

#### *Критерии оценивания*

Знание разницы между всемирным временем и красноярским – 2 балла.

Вывод о возможности наблюдать оба затмения в Красноярске с пояснениями – 2 балла.

Вывод о большей продолжительности июльского затмения – 1 балл.

Вывод с пояснениями о лучших условиях наблюдения затмения в январе в связи:

- с большей высотой Луны над горизонтом – 2 балла.

- с ночными условиями наблюдения во время полной фазы затмения – 1 балл.

### 5. Персеиды из южного полушария

Поскольку метеоры в потоке летят примерно по параллельным траекториям, то радиант будет в зените для наблюдателя  $H_1$  (см. Рис. 1), расположенного на географической широте, равной склонению радианта  $\delta$ . Пренебрегая рефракцией, можно найти положение наблюдателя  $H_2$ , у которого радиант будет виден на горизонте. Из рисунка видно, что  $\delta + (-\varphi) = 90^\circ$ , откуда  $\varphi = \delta - 90^\circ = -32^\circ$ .

Попытка учесть толщину атмосферы ( $h = 100$  км) приведет нас еще южнее – к наблюдателю  $H_3$ , для которого все метеорные тела потока с высотой ниже ста километров будут экранироваться Землей, а остальные – пролетать выше 100 км и не смогут породить метеоры.

Из рисунка видно, что эта поправка  $\alpha$  может достичь еще  $10^\circ$ , так как  $\cos(\alpha) = R/(R+h) \approx 6378/6478 \approx 0,9846$ , то  $\alpha \approx 10^\circ$ .

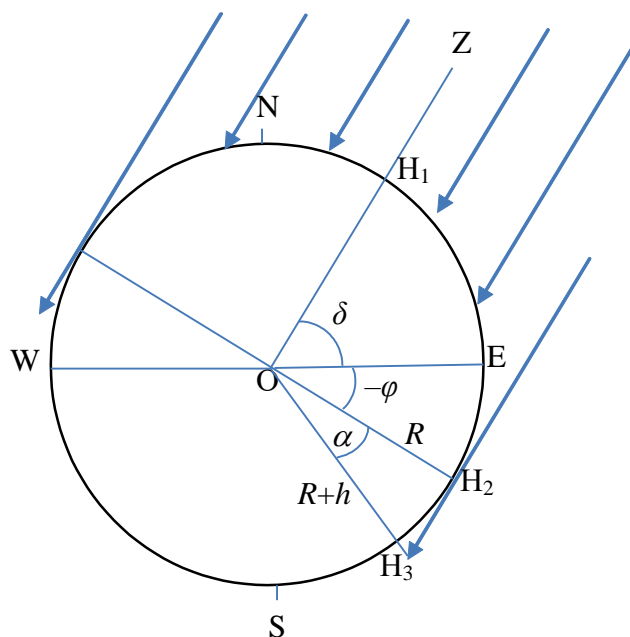


Рис. 1

Таким образом, метеоры из метеорного потока Персеид можно наблюдать примерно до широты  $-(32^\circ+10^\circ) = -42^\circ$  или 42 градуса южной широты. Но даже если в северном полушарии будет наблюдаться «звездный дождь», то наблюдатели на южных широтах  $-30\div 40^\circ$  имеют шансы увидеть только редкие одиночные метеоры.

*Ответ:* примерно до широты  $-42^\circ$  ( $42^\circ$  ю.ш.).

*Критерии оценивания*

Определение широты наблюдателя ( $-32^\circ$ ), у которого радиант будет виден на горизонте (т.е. без учета толщины атмосферы) – 3 балла.

Учет толщины атмосферы и получение широты наблюдателя, примерно, равной  $-42^\circ$  – 3 балла.

Корректно выполненный рисунок – 2 балла.

## **6. Сверхновая в «Фейерверке»**

Из соотношения  $M = m + 5 - 5 \lg r$ , связывающего абсолютную звездную величину  $M$  с видимой звездной величиной  $m$  и расстоянием до звезды  $r$ , выраженному в парсеках, получим:  $\lg r = (m + 5 - M) / 5 = (12,8^m + 5 + 18^m) / 5$ . Отсюда  $r \approx 14,5$  Мпк =  $14,5$  Мпк  $\cdot 3,26$  св. г.  $\approx 47$  млн. св. л.

Но так как галактика NGC 6946 находится на границе созвездий Лебедя и Цефея, расположенных близко к Млечному Пути, т.е. к галактической плоскости, то свет, приходящий от ее звезд испытывает сильное поглощение межзвездной пылью. Поэтому полученное расстояние до галактики NGC 6946 сильно завышено.

*Примечание:* в действительности расстояние до галактики NGC 6946 составляет примерно 5,5 Мпк ( $\approx 18$  млн. св. л.).

*Ответ:* примерно 14,5 Мпк ( $\approx 47$  млн. св. л.).

*Критерии оценивания*

Вывод или использование готового соотношения, связывающего абсолютную звездную величину звезды с видимой звездной величиной и расстоянием до нее – 4 балла.

Правильное определение расстояния до галактики в мегапарсеках или световых годах – 2 балла.

Указание на сильное влияние межзвездного поглощения на точность определения расстояния – 2 балла.

Задания подготовили

Председатель предметно-методической комиссии  
регионального этапа всероссийской олимпиады школьников  
в Красноярском крае по астрономии,  
кандидат технических наук, доцент

С.В. Бутаков

Председатель жюри регионального этапа  
всероссийской олимпиады школьников  
в Красноярском крае по астрономии,  
член Российской Ассоциации учителей астрономии,  
заслуженный педагог Красноярского края

С.Е. Гурьянов

С замечаниями, пожеланиями, предложениями и вопросами можно обращаться по адресу: [butakov@kspu.ru](mailto:butakov@kspu.ru) или по тел. 8-904-897-97-60.