

**XXX РОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ 2021-2022**  
**КАЛУЖСКАЯ ОБЛАСТЬ МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**Возможные решения и критерии оценки**  
**11 КЛАСС**

*Задание подготовил доцент кафедры физики и математики КГУ им. К.Э. Циолковского М.С. Красин*

**1. «Подвижная карта звёздного неба»** По подвижной карте звёздного неба определите момент времени (по времени, указанному на накладном круге карты), когда звезда Регул будет находиться в верхней кульминации для жителей Калуги 5 декабря 2021 года. Обязательно поясните, как Вы смогли это определить с помощью подвижной карты.

**1. «Подвижная карта звёздного неба» (8 баллов). Ответ:** утром в 05-20.

**Пояснения:** Звезда Регул – это  $\alpha$  Льва. Накладываем подвижный круг на карту и поворачиваем так, чтобы  $\alpha$  Льва оказалась на линии, север-юг к югу от полюса мира. Определяем время, соответствующее точке на подвижном круге, оказавшейся рядом с датой 5 декабря.

**Рекомендуемые критерии.** Если указано, что Регул – это  $\alpha$  Льва, то ставить 2 балла.

Если указано время в интервале от 05-10 до 05-30 добавить 6 баллов при условии наличия пояснений. При отсутствии пояснений добавить только 1 балл.

Если указано время в интервале от 05-00 до 05-40 добавить 4 балла при условии наличия пояснений. При отсутствии пояснений добавить только 1 балл.

Остальные ответы считать неправильными.

За неправильный ответ с попыткой объяснения ставить 1 балл.

Если принадлежность звезды к созвездию определена неправильно, но затем дальнейшие расчёты оказались верными, то не ставить 2 балла за правильное определение принадлежности звезды к созвездию, а оценки по остальным критериям не снижать, если расчёты правильные (это надо будет проверить по карте).

**2. «Экстремалы».** Группа спортсменов-экстремалов совершала путешествия по монгольским степям. Одним из условий было отсутствие связи с внешним миром (и с интернетом). За десять дней путешествия спортсмены обнаружили, что высота Полярной звезды над горизонтом уменьшилась приблизительно на  $3^\circ$ , а Солнце в верхней кульминации оказалось приблизительно на 30 минут позже, чем в день старта. Определите приблизительно модуль перемещения спортсменов и направление их перемещения, в том числе, угол между направлением перемещения и меридианом, если широта места старта равнялась  $47^\circ$ . Считать, что радиус Земли равен 6400 км, скорость света 300 тыс км/с,  $\pi=3$ , парсек=206255 а.е., 1 а.е.=150 млн км,  $\sqrt{2} = 1,4$ ,  $\sqrt{3} = 1,7$

**2. «Экстремалы» (8 баллов). Возможное решение:**

2.1. Высота Полярной уменьшилась, значит, они смещались к югу.

2.2. Смещение к югу на  $3^\circ$  соответствует смещению к югу на  $l_1 = \frac{2\pi \cdot 6400 \text{ км}}{360^\circ} 3^\circ = 320 \text{ км}$

2.3. Запаздывание времени кульминации Солнца свидетельствует о смещении спортсменов к западу.

2.4. Разница во времени в 30 мин свидетельствует о том, что они сместились на запад на  $\frac{0,5}{24}$  часть длины окружности, проходящей по поверхности земного шара на широте места перемещения.

2.5. Поскольку широта изменилась от  $47^\circ$  до  $44^\circ$ , то можно считать, что радиус окружности равен  $R_\varphi = 6400 \text{ км} \cdot \cos 45^\circ = 6400 \cdot \frac{1,4}{2} \text{ км} = 4480 \text{ км}$

2.6. Значит, спортсмены сместились к западу на  $l_2 = \frac{2\pi \cdot 4480 \text{ км}}{24} 0,5 = 560 \text{ км}$

2.7. Согласно теореме Пифагора перемещение равно  $s = \sqrt{l_1^2 + l_2^2} = 650 \text{ км}$  (ответ округлён до двух значащих цифр).

2.8. Угол  $\alpha$  между направлением перемещения и меридианом равен

$$\arctg \frac{560}{320} = \arctg 1,75, \text{ следовательно, } \alpha = 60^\circ$$

Ответ. Спортсмены переместились на юго-запад на 650 км, при этом угол между направлением их перемещения и меридианом составил приблизительно  $60^\circ$

### Рекомендуемые критерии

За каждый пункт ставить по 1 баллу

**3. «Квадратура».** Определите параллакс Марса, когда он находится в восточной квадратуре. Считать, что радиус орбиты Марса равен 1,52 а.е., параллакс Солнца равен  $8,8''$ . При пояснении решения сделайте рисунок с расположением планет и Солнца, а также рисунок с изображением параллактического угла.

**3. «Квадратура» (8 баллов). Возможное решение.**

3.1. Рисунок 1

3.2. Из рисунка 1 следует, что  $r = \sqrt{r_M^2 - r_3^2} = 1,14$  а. е.

3.3. Рисунок 2

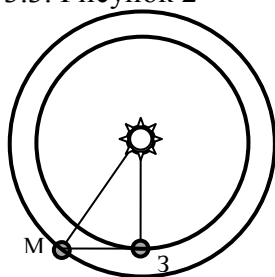


Рис. 1

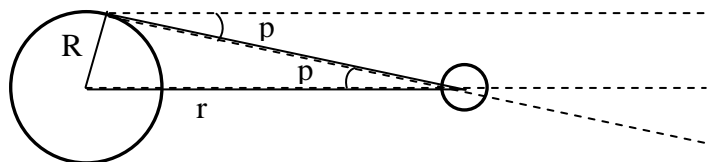


Рис. 2

3.4. Из рисунка 2 следует, что  $\sin p = \frac{R}{r}$  угол  $p$  мал поэтому в радианной мере  $p = \frac{R}{r}$ , а в секундах  $p'' = \frac{206265 \cdot R}{r}$

3.5. Параллакс Солнца  $p''_c = \frac{206265 \cdot R}{r_3}$ , поэтому  $206265 \cdot R = r_3 \cdot p''_c$ , подставив это в 3.4. получаем, что параллакс Марса в квадратуре равен

$$p'' = \frac{r_3 \cdot p''_c}{r} = \frac{1 \cdot 8,8''}{1,14} = 7,7''$$

### Рекомендуемые критерии

За пункты 3.1, 3.3, 3.5 ставить по 2 балла. За пункты 3.2 и 3.4 ставить по 1 баллу

Если при решении этой задачи использовались не параллакс Солнца, а радиус Земли и величина 1 а.е. (эти сведения приведены в задаче 2), то оценку не снижать.

**4. «Комета».** Комета, подлетела к Солнцу на минимальное расстояние, равное 0,4 а.е., т.е. радиусу орбиты Меркурия. При этом скорость кометы оказалась равна 66 км/с. Учитывая, что орбитальная скорость Меркурия равна 48 км/с, найдите афелийное расстояние кометы и её скорость в афелии. При расчётах можно считать, что масса Солнца равна  $2 \cdot 10^{30}$  кг, гравитационная постоянная равна  $G = 6,7 \cdot 10^{-11} (\text{Н} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{кг}^2})$ , остальные сведения можно взять в условиях предыдущих задач или обойтись этих данных.

**4. «Комета» (8 баллов). Возможное решение.** Искомые сведения можно найти, если учесть закон сохранения энергии (1) и второй закон Кеплера (2) в приложении к точкам перигелия и афелия.

$$-G \frac{mM}{q} + \frac{mv_q^2}{2} = -G \frac{mM}{Q} + \frac{mv_Q^2}{2} \quad \text{или после сокращения} \quad -G \frac{M}{q} + \frac{v_q^2}{2} = -G \frac{M}{Q} + \frac{v_Q^2}{2} \quad (1)$$

$$q \cdot v_q = Q \cdot v_Q \quad (2)$$

где  $q$ - перигелийное расстояние,  $Q$ - афелийное расстояние

Расчёты можно упростить, если учесть,

1) что из закона всемирного тяготения и условия движения Меркурия по окружности радиусом

$$r = q, \text{ поэтому } \frac{m_1 v_1^2}{q} = G \frac{m_1 M}{q^2}, \quad \text{получаем } GM = qv_1^2$$

2) что скорость кометы близка ко второй космической скорости на орбите Меркурия ( $48 \frac{\text{км}}{\text{с}} \cdot \sqrt{2} = 68 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ ) то орбита её сильно вытянута, поэтому кинетическая энергия в афелии значительно меньше её кинетической энергии в перигелии, тогда (1) преобразуется в

$$-G \frac{M}{q} + \frac{v_q^2}{2} = -G \frac{M}{Q} \quad \text{и далее} \quad -v_1^2 + \frac{v_q^2}{2} = -v_1^2 \frac{q}{Q}, \quad \text{откуда} \quad \frac{q}{Q} = 1 - \frac{v_q^2}{2v_1^2}$$

$$\text{Получаем } Q = q \frac{2v_1^2}{2v_1^2 - v_q^2} = q \frac{2}{2 - \left(\frac{v_q}{v_1}\right)^2} = 18,3 \cdot q = 7,3 \text{ а. е.} \quad (3)$$

Используя второй закон Кеплера (2), получаем, что скорость в афелии у кометы в 18,3 раза меньше скорости в перигелии, т.е. равна  $66 \frac{\text{км}}{\text{с}} : 18,3 = 3,6 \frac{\text{км}}{\text{с}}$  (4)

### Рекомендуемые критерии

За пункты (1)-(4) ставить по 2 балла. При решении системы без упрощения оценку не снижать

Если задача не решена, но указано, что орбита кометы эллиптическая, то ставить 1 балл.

Если задача не решена, но записан закон всемирного тяготения, то добавить 1 балл.

**5. «Вспышка».** Астрономы обнаружили, что видимая звёздная величина одной из звёзд уменьшилась на  $\Delta m = 10^m$  Во сколько раз изменилась её светимость?

**5. «Вспышка» (8 баллов). Возможное решение.** Согласно закону Погсона, уменьшение звёздной величины на  $5^m$  соответствует увеличению яркости объекта в 100 раз. (1)

Значит, яркость звезды увеличилась в  $100^2 = 10000$  раз. (2)

Поскольку расстояние до звезды не изменилось, значит, светимость звезды увеличилась тоже в 10000 раз. (3)

**Рекомендуемые критерии.** За пункты (1) и (2) ставить по 3 балла. За пункт (3) ставить 2 балла.

Если указано, что яркость уменьшилась, то общую оценку снизить на 3 балла.

Если в решении использована формула Погсона, то оценку не снижать.

**6. «Ранжирование».** Полярная, Сириус, Проксима, Вега. Расположите названия в последовательность от самой яркой звезды на звёздном небе до самой тусклой.

**6. «Ранжирование» (8 баллов). Возможное решение.** Сириус, Вега, Полярная, Проксима.

### Рекомендуемые критерии.

За правильное расположение каждой звезды ставить 8 баллов.

Если указаны Вега, Сириус, Полярная, Проксима, то ставить 5 баллов

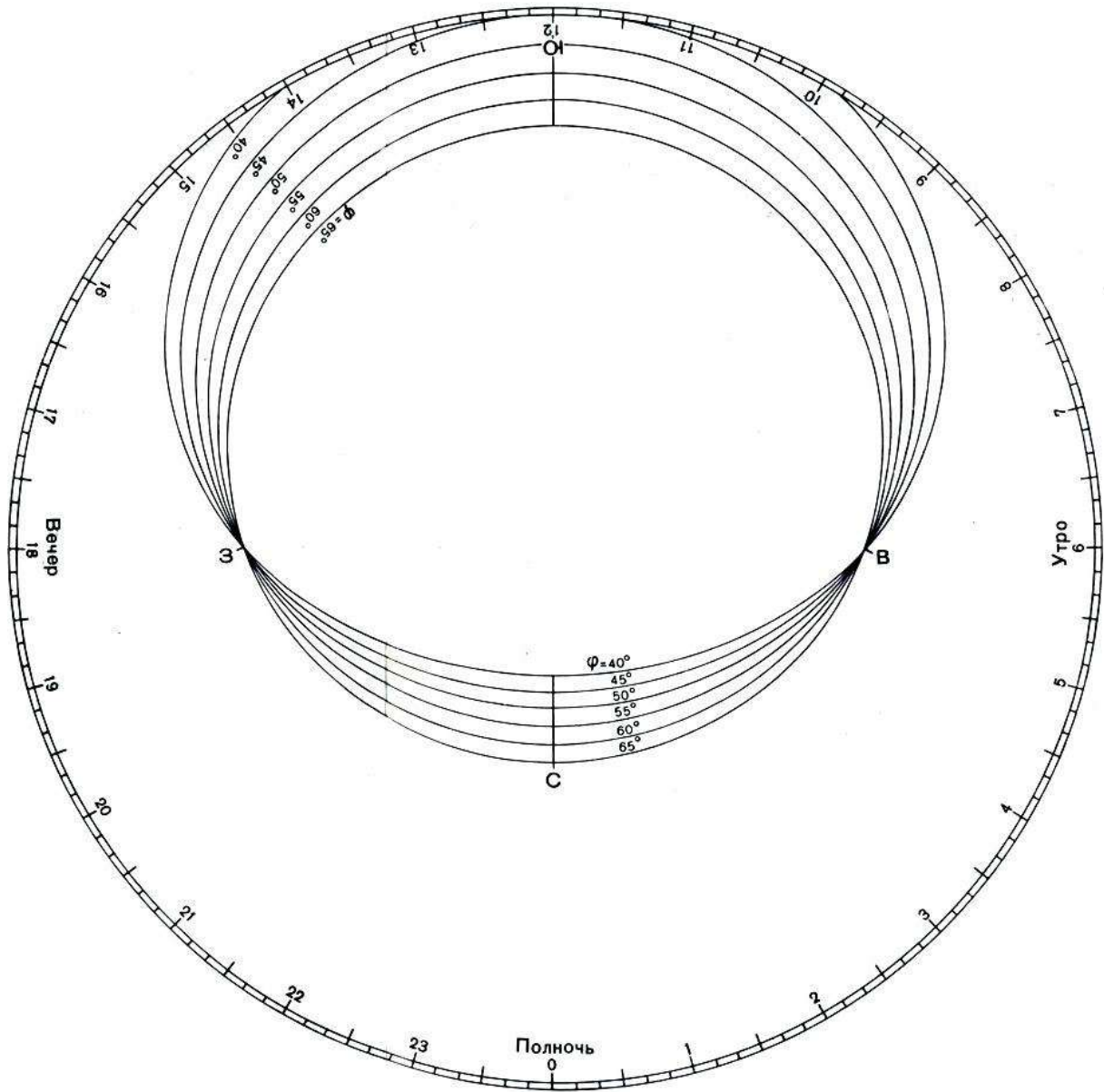
Если указаны Сириус, Вега, Проксима, Полярная, то ставить 5 баллов

Если указаны Полярная, Сириус, Вега, Проксима, то ставить 3 балла

Если указаны Вега, Сириус, Проксима, Полярная, то ставить 2 балла

Во всех остальных вариантах ставить 1 балл

# НАКЛАДНОЙ КРУГ К КАРТЕ ЗВЕЗДНОГО НЕБА



Накладной круг следует обрезать по контуру и внутри вырезать «окружность» по линии, соответствующей 55°. Подвижная карта и накладной круг прилагаются (см. далее).

### ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЕЗДНОГО НЕБА

