

Олимпиада по астрономии. Муниципальный этап  
11 класс

**Задание 1. (§ 2.3. Объекты далёкого космос)**

22 февраля 2016 года в созвездии Дракона был зафиксирован взрыв сверхновой SN2016aps, которая, по оценкам астрономов, вспыхнула ярче, чем вся наша Галактика. За всю историю наблюдений она стала самой мощной сверхновой: процесс наблюдался более 1000 дней и по подсчётам в результате взрыва было выброшено от 50 до 100 масс Солнца. Оцените в годах, когда произошёл взрыв звезды, если известно, что красное смещение равно  $z=0,2657$ ?

**Решение**

1) Найдём расстояние до сверхновой, воспользовавшись законом

Хаббла и красным смещением:  $v = H_0 r$ ,  $v = cz$ ,  $r = \frac{cz}{H_0} \approx \frac{300000 \cdot 0,2657}{72} = 1107 \text{ Mпк}$ . (3

балла)

2) Переводим парсеки в километры:

$r = 1107 \cdot 10^6 \cdot 206265 \cdot 150000000 \approx 3,425 \cdot 10^{22} \text{ км}$ . (2 балла)

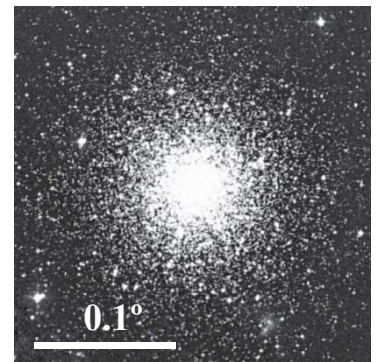
3) Свет от взрыва шёл к нам со скоростью света, то есть произошёл

$t = \frac{r}{c} \approx 1,14 \cdot 10^{17} \text{ с} = \frac{1,14 \cdot 10^{17}}{60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365} \approx 3,6 \text{ млн лет}$ . (3 балла)

Ответ: 3,6 млн лет

**Задание 2. (§ 8.3. Зависимость звёздной величины от расстояния)**

На рисунке изображено шаровое скопление M12, оно было открыто Шарлем Мессье 30 мая 1764 года в созвездии Змееносца. Абсолютная звёздная величина скопления оценивается равной  $-7,32^m$ , видимая звёздная величина равна  $+6,7^m$ . Оцените линейный радиус скопления, для простоты считая, что скопление занимает всю фотографию, а значение межзвёздного поглощения между нами и M12 принимается равным  $0,57^m$ .



**Решение**

1) Шкала, указанная на рисунке, с помощью линейки позволяет найти угловой радиус: примерно  $\alpha = 0,25 / 2 = 0,125^\circ$  или  $0,125 \cdot \frac{\pi}{180} \approx 0,00218 \text{ рад}$ . (3 балла: 2 балла за поиск углового радиуса и 1 балл за перевод в радианы)

2) По условиям задачи известны абсолютная и видимая звёздные величины, так как угловой размер скопления достаточно мал, то есть объект можно считать точечным, то можно найти расстояние до него

$r = 10^{0,2(m-M-A)+1} = 10^{0,2(6,7+7,32-0,57)+1} \approx 4900 \text{ кпк}$  (3 балла: 2 балла – если найдено расстояние без учёта поглощения, и 3 балла, если поглощение учтено)

3) Из треугольника с вершинами Земля – центр скопления – край скопления найдём линейный радиус: из малости угла следует, что  $\sin \alpha \approx \alpha$ ,

тогда радиус  $R \approx \alpha r = 0,00218 \cdot 4900 \approx 10,7 \text{ нк}$ . (2 балла – проведена оценка радиуса по формуле)

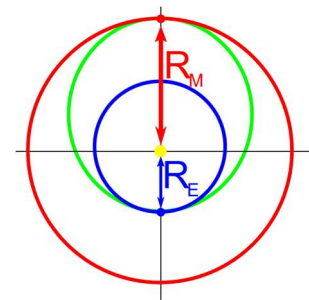
Ответ:  $10,7 \text{ нк}$

### Задание 3. (§ 10.2. Небесная механика в Солнечной системе)

В 1925 году немецкий учёный Вальтер Гоман описал траекторию движения космического аппарата между двумя планетами, позднее получившую его имя. Гомановская траектория – эллиптическая орбита перехода, касающаяся в одном месте орбиты Земли, а в другом орбиты планеты-цели. Такая орбита требует всего двух включений ракетных двигателей: сначала надо приобрести скорость отлёта, чтобы покинуть орбиту Земли и выйти на собственную эллиптическую орбиту вокруг Солнца, в конце пути нужно приобрести скорость схода с промежуточной орбиты на орбиту планеты-цели. Сделать рисунок орбиты и найти время полёта до Марса по гомановской орбите, считая для простоты, что орбиты Земли и Марса круговые. Считать, что точки отлёта от Земли и посадки на Марс расположены на одной прямой с Солнцем, но по разные стороны от него.

#### Решение

1) Рисунок – из условия задачи орбита эллиптическая (показана зелёным), с противоположных от Солнца сторон касается Земли (орбита показана синей окружностью) и Марса (орбита показана красной окружностью) (3 балла – рисунок с пояснением)



2) Большая полуось гомановской орбиты равна половине суммы радиусов орбит Земли и Марса:

$$a_G = \frac{R_E + R_M}{2} = \frac{1 + 1,524}{2} \approx 1,262 \text{ a.e.} \quad (2 \text{ балла})$$

3) Из третьего закона Кеплера найдём период движения вокруг Солнца по орбите:  $T_G = a_G^{3/2} \approx 1,42$  года, так как аппарат должен преодолеть половину орбиты, то время полёта равно примерно  $0,71$  года (3 балла: 2 балла за третий закон Кеплера, 1 балл за полупериод)

Ответ:  $0,71$  года

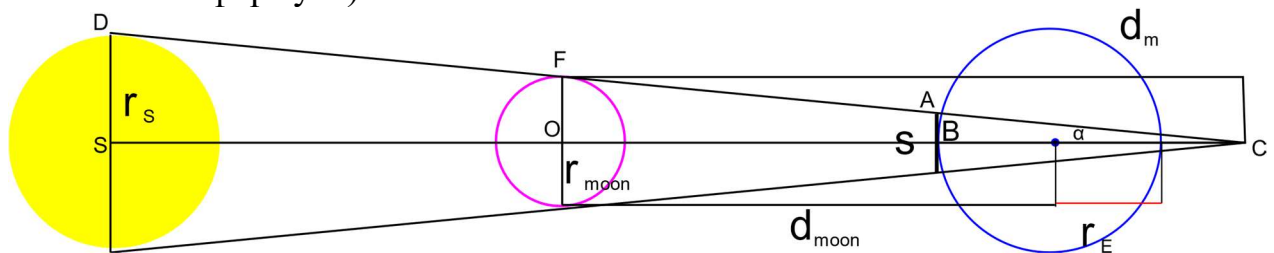
### Задание 4. (§ 10.3. Система Солнце – Земля – Луна)

Следующее полное солнечное затмение, которое произойдёт в Москве, произойдёт лишь 16 октября 2126 году... Будет ли оно полным или частичным в Курске, если расстояние по прямой между городами составляет примерно  $456 \text{ км}$ ?

#### Решение

1) Для получения ответа на вопрос задачи необходимо определить ширину тени Луны. Из условия задачи расстояние от Земли до Луны в день затмения неизвестно, поэтому ширину тени можно только оценить. Максимальной ширина будет при условии, что Луна находится в перигее, то есть на минимальном расстоянии от Земли (необходимо отличать полное затмение от кольцеобразного!). На рисунке показана область на поверхности Земли, которая

будет в полной тени. Чтобы найти ширину тени, надо рассмотреть треугольник ABC. Нетрудно выразить, что  $\frac{s}{2} = BC \operatorname{tg} \alpha = (d_m - d_{moon} + r_E) \operatorname{tg} \alpha$ . (3 балла, объяснение и формула)



2) Найдём  $d_m$  из подобия треугольников FOC и DSC:  $\frac{OC}{SC} = \frac{OF}{DS}$ , так как

$$SC \approx 1a.e., \text{ то } d_m = OC = SC \frac{OF}{DS} = 1a.e. \cdot \frac{r_{moon}}{r_s} \text{ (1 балл)}$$

3) Чтобы найти угол  $\alpha$ , воспользуемся треугольником SDC:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{SD}{SC} \approx \frac{r_s}{1a.e.} \text{ (1 балла)}$$

4) Итак,  $s = 2(1a.e. \cdot \frac{r_{moon}}{r_s} - d_{moon} + r_E) \cdot \frac{r_s}{1a.e.}$  (1 балла, выведена конечная

формула)

5) Подстановка числовых значений в километрах даёт

$$s = 2 \cdot (150000000 \cdot \frac{1738}{697000} - 356400 + 6370) \cdot \frac{697000}{150000000} \approx 223 \text{ км}, \text{ что меньше}$$

расстояния между Курском и Москвой, то есть в Курске будет наблюдаться частичное затмение (2 балла – оценка ширины и ответ на вопрос задачи)

Ответ: частичное затмение

**Задание 5. (§ 6.3. Движение искусственных спутников и Луны вокруг Земли (приближение круговой орбиты). Движение спутников планет)**

Чему равен период вращения на синхронной орбите Юпитера? Чему равен радиус этой орбиты?

**Решение**

1) На синхронной орбите период обращения спутника равен периоду осевого вращения планеты. Для Юпитера это 9,924 часа (2 балла)

2) Для поиска радиуса орбиты  $a_{st}$  необходимо воспользоваться третьим

законом Кеплера  $\left(\frac{a_{st}}{a_{sp}}\right)^3 = \left(\frac{T_{st}}{T_{sp}}\right)^2$ , при этом в качестве  $a_{sp}$  и  $T_{sp}$  необходимо взять

значения для некоторого спутника Юпитера, например Ио, имеющего радиус орбиты 421800 км и период обращения 1,769 суток. (3 балла, формула, выбор произвольного спутника)

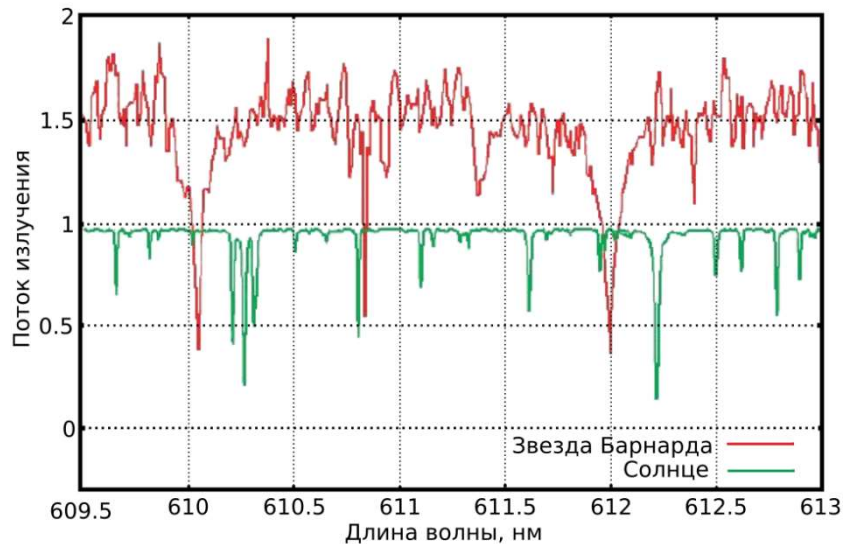
$$3) \quad a_{st} = a_{sp} \left( \frac{T_{st}}{T_{sp}} \right)^{2/3} \approx 421800 \left( \frac{9.924}{1.769 \cdot 24} \right)^{2/3} \approx 160000 \text{ км} \quad (3 \text{ балла} -$$

формула и вычисления)

Ответ: 9,924 часа, 160000 км

### Задание 6. (§8.7. Движение звёзд)

Звезда Барнарда обладает самой большой известной скоростью углового перемещения по небесной сфере (около  $10,358''/\text{год}$ ). На рисунке представлен небольшой участок спектров Солнца и звезды Барнарда. В связи с тем, что звезда Барнарда существенно холоднее Солнца, её спектр содержит большее количество линий по сравнению с солнечным. Однако две ярко выраженные линии спектра Солнца также присутствуют и в спектре звезды Барнарда. Определите радиальную, трансверсальную и полную пространственную скорости звезды, если её параллакс равен  $0,547''$ .



### Решение

1) Для определения радиальной скорости необходимо воспользоваться эффектом Доплера, на основании которого  $v_p = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c$ . (2 балла, эффект Доплера)

2) Солнце в среднем находится на постоянном расстоянии от Земли,  $\Delta\lambda$  проще всего найти из разности больших красного и зелёного пика в спектрах вблизи 612 нм –  $\Delta\lambda \approx -0,22 \text{ нм}$  (расстояние между пиками находится с помощью шкалы и линейки), длина волны  $\lambda = 612,22$  (удобнее всего это делать с помощью линейки), таким образом,  $v_p = -\frac{0,22}{612,22} \cdot 300000 \approx -108 \text{ км/с}$ , знак минус говорит

о том, что звезда приближается к Земле (фиолетовое смещение) (2 балла, найдено смещение, найдена скорость)

3) Из параллакса находим расстояние до звезды  $r = 1/\pi \approx 1.8 \text{ пк} \approx 5.64 \cdot 10^{13} \text{ км}$ . (1 балл, расстояние до звезды)

4) За год звезда проходит  $x = ar$ , тогда трансверсальная скорость равна  $v_t = \frac{x}{t} = \frac{ar}{t} \approx 10.3 \cdot \frac{\pi}{180 \cdot 3600} \cdot \frac{5.64 \cdot 10^{13}}{365 \cdot 24 \cdot 3600} \approx 89 \text{ км/с}$ . (2 балла, выведена

формула, проведён расчёт)

5) По теореме Пифагора находим полную пространственную скорость:  
 $v = \sqrt{v_r^2 + v_t^2} \approx 140 \text{ км/с}$ . (1 балл, найдена полная скорость)  
Ответ:  $-108 \text{ км/с}$ ,  $89 \text{ км/с}$ ,  $140 \text{ км/с}$