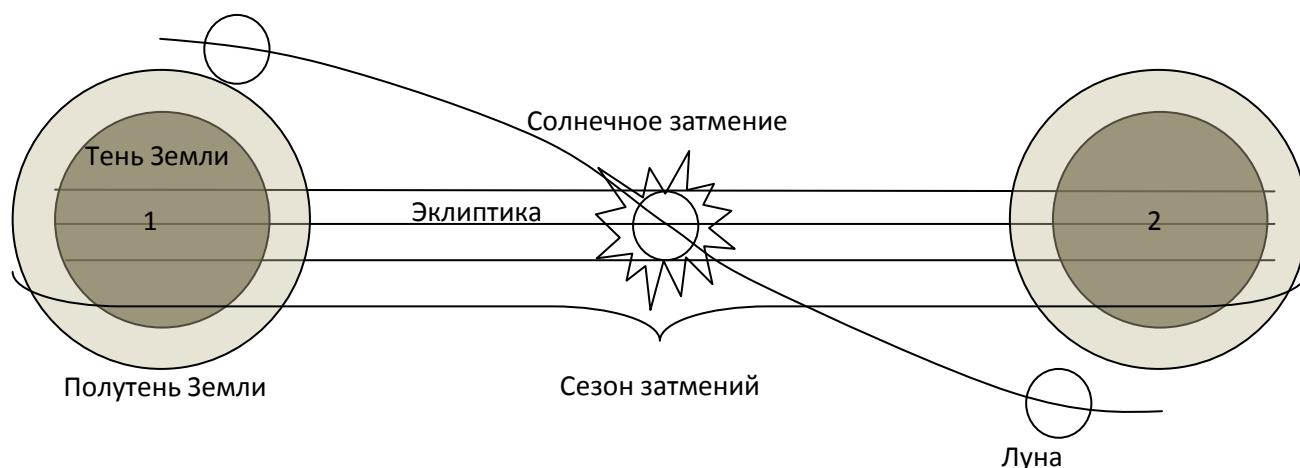


**Межрегиональная предметная олимпиада КФУ  
по предмету «Астрономия»  
заключительный этап (ответы)  
2019-2020 учебный год  
11 класс**

**11.1. Можно ли с уверенностью утверждать, что после полного солнечного затмения в течение 2-х недель обязательно будет лунное затмение? Ответ поясните. (20 баллов)**



Как известно, в году бывает от 2 до 5 солнечных затмений (не более 2-х полных) и от 2 до 4 лунных. Что уже может натолкнуть на ответ.

Для наступления лунного затмения необходимо, чтобы в полнолуние расстояние между центрами земной тени и Луны было меньше, чем  $41' + 15',5 = 56',5$

В большинстве случаев, как видно из *рисунка (5 баллов)*, лунное затмение возможно в том случае, если центр земной тени отстоит от лунного узла, по одну или другую сторону, менее чем на  $10.6^\circ$ .

Синодический период Луны 29.53 сут. От солнечного затмения (в новолуние) до лунного затмения (в полнолуние) пройдет ровно половины  $29.53/2 = 14.765$  сут., что больше 2-х недель! **(10 баллов)**

Тень Земли, перемещаясь по эклиптике со скоростью  $\sim 59'$  в сутки, проходит это расстояние за 10,8 суток, а двойное расстояние в  $21.2^\circ$  — за 21.6 суток. Но так как синодический месяц содержит 29.5 суток, то одно полнолуние может произойти на расстоянии, большем  $10.6^\circ$  к западу от узла, а следующее полнолуние — на таком же расстоянии к востоку от узла, и тогда в этом месяце лунных затмений не будет. Тем более их не будет и в следующий месяц, так как центр Луны пройдет через узел спустя 27.2 дня (драконический месяц), а полунолуние случится на 2.3 дня позже. За 2.3 дня Луна уйдет от узла на  $30^\circ$ , и центр ее пройдет мимо центра земной тени на расстоянии, большем  $56'$ .

Следующее лунное затмение может произойти лишь через полгода, вблизи другого узла лунной орбиты, но по тем же причинам его может и не быть так как из-за эллиптичности орбит угловые размеры Луны и земной полутени могут меняться в пределах 5.5% и 1.7% соответственно (пропорционально эксцентриситету). В случае, когда угловые размеры тени и Луны минимальны, то больше вероятность того, что одного из касаний полутени может и не быть (как первого, так и второго). (5 баллов.)

PS: Например, до и после кольцевого солнечного затмения 21 июня 2020 года, будут полутеневые лунные затмения, поскольку Луна в момент самого затмения Луна будет в апогее, а за 2 недели до и через 2 недели после в перигее.

**11.2. Какой диаметр должен иметь телескоп, чтобы для человека, который смотрит в него на самую яркую звезду ночного неба, на единицу площади сетчатки глаза приходилась такая же интенсивность, как и при взгляде невооруженным глазом на Солнце? (20 баллов)**

Ярчайшая звезда – Сириус, блеск  $-1.5^m$ . Необходимо, чтобы телескоп смог усилить световой поток от Сириуса до солнечного блеска, равного  $-26.8^m$ . Найдём, во сколько раз требуется усилить световой поток от Сириуса  $E_1$  с помощью телескопа до солнечного значения  $E_2$  через закон Погсона (пренебрегаем потерями света на поглощении и рассеянии в телескопе):

$$E_2 / E_1 = 2.512^{(-1.5+26.8)} = 1.32 \cdot 10^{10} \text{ (10 баллов)}$$

Во столько раз больше света должен собирать телескоп, чем зрачок невооружённого глаза. Значит, во столько же раз площадь объектива телескопа должна превосходить площадь зрачка. Отношение площадей кругов пропорционально отношению квадратов их диаметров. Диаметр зрачка примем равным 6 мм (пренебрежём тем, что при взгляде на Солнце зрачок становится меньше), и найдём диаметр телескопа:

$$D = \sqrt{1.32 \cdot 10^{10}} \cdot 6 \text{ мм} \approx 0.7 \text{ км. (10 баллов)}$$

**11.3. Во сколько раз будут отличаться угловые размеры Альдебарана и карликовой планеты Плутон для наблюдателя с Земли, если годичный параллакс Альдебарана  $\pi'' = 0.05''$ , а радиус в 40 раз больше солнечного? Чей угловой размер будет больше? (20 баллов)**

Решение начинается с того, что мы должны вспомнить, почему Плутон исключили из списка больших планет Солнечной системы. Существенным аргументом было то, что размер Плутона был меньше, чем у Луны. (2 балла) Вдобавок, эксцентриситет орбиты был такой, что зачастую Плутон становился ближе Нептуна. (2 балла) Предположив радиус Плутона в пределах 1000-1500 км и большую полуось в пределах 30-50 а.е., можно оценить его угловой размер.

Солнце с расстояния в 1 а.е. видно под углом примерно  $32'$ .

Оценить угловой размер Плутона можно, зная, что он примерно в 600 раз меньше Солнца и в 40 раз дальше (нестрого). Отсюда  $(32' \cdot 60'') / (600 \cdot 40) = 0.08''$

*(7 баллов)*

Расстояние до Альдебарана  $1/\pi'' = 20$  пк, т.е он в  $(200 \cdot 206265) = 4125300$  раз дальше.  $(32' \cdot 60'' \cdot 40) / 41253000 = 0.019''$ . *(7 баллов)*

Получается, что угловой размер Плутона всего в 4 раза больше Альдебарана!!!  
*(2 балла)*

**11.4. Оцените абсолютную звёздную величину сверхновой, вспыхнувшей в 1987 году в Большом Магеллановом облаке, если в максимуме блеска она имела видимую звёздную величину  $+2.9^m$ . (20 баллов)**

$M = m + 5 - 5 \cdot \lg r$ , где  $r$  в парсеках

и чтобы найти  $M$ , необходимо каким-то образом узнать расстояние до БМО.

*(3 балла)*

Известно, что БМО и ММО – неправильные карликовые галактики. Они находятся за пределами диска и гало нашей галактики Млечный Путь и являются её спутниками. *(3 балла)*

Диаметр диска нашей Галактики 100 тыс. световых лет (или 30 тыс. парсек). Размер гало в 2-3 раза больше, а БМО и ММО находятся недалеко от его границ .

Предположим расстояние до БМО в 3-4 радиуса галактического диска (около 45 — 60 тыс. парсек). *(10 баллов)*

Поставив значения в формулу, получим значение  $M$  от  $-15.4^m$  до  $-16^m$ . *(4 балла)*

**11.5. В спектре квазара ULASJ1342+0928 водородная линия  $L_\alpha$  наблюдалась на длине волны  $\lambda = 1038.21$  нм. Оцените расстояние до квазара и его возраст, если лабораторная длина волны линии  $\lambda_0 = 121.57$  нм. (20 баллов)**

Длина волны линии  $L_\alpha$  будет смещаться в длинноволновую сторону спектра за счёт космологического красного смещения:

$$z = \Delta\lambda/\lambda = (1038.21 - 121.57) / 121.57 = 7.54 \quad (3 \text{ балла})$$

Из справочных данных постоянная Хаббла  $H_0 = 68$  (км/с)/Мпк

Космологическое расстояние рассчитывается из закона Хаббла  $v = H_0 \cdot r$

*(3 балла)*

При  $z \ll 1$  справедливо соотношение  $v / c = z$ , что равноценно эффекту Доплера.

При этом ответ  $r = (z \cdot c) / H_0 \approx 33.26$  Гпк  $\approx 108$  млрд. световых лет будет неверен.

*(3 балла)*

Скорость на космологических расстояниях может быть вычислена из красного смещения с учётом поправок из теории относительности Эйнштейна, поскольку при  $z > 1$  скорости уже сравнимы со скоростью света, тогда

$$v / c = ((1 + z)^2 - 1) / ((1 + z)^2 + 1) \text{ и расстояние до квазара будет}$$

$$r = (((1 + z)^2 - 1) / ((1 + z)^2 + 1) \cdot c) / H_0 = (0.97 \cdot 300000 \text{ км/с}) / 68 \text{ (км/с)/Мпк} \approx 4.28 \text{ Гпк} \approx 13.95 \text{ млрд. световых лет. (6 баллов)}$$

Возраст Вселенной из той же формулы  $((1 + z)^2 - 1) / ((1 + z)^2 + 1)$  для  $z$  стремящейся к  $\infty$  будет равен  $(1 \cdot 300000 \text{ км/с}) / 68 \text{ (км/с)/Мпк} \approx 4.4 \text{ Гпк} \approx 14.38$  млрд. световых лет, которые по своей сути и будут отображать время от Большого взрыва (с точностью до постоянной Хаббла). Отсюда возраст квазара будет равен разности  $T = 14.38 - 13.95 = 430$  млн. лет. **(5 баллов)**

Если в решении возраст Вселенной взят из памяти в пределах 14.0 –14.5 млрд. лет, то вычисления также засчитываются полностью (!)