

## XXIII Открытая олимпиада Центральной России – LVII Олимпиада ННЦ по астрономии и физике космоса

### Решения задач для 8 класса

#### 1. Открытие Антарктиды.

- 1.1. Русская экспедиция, конечно, вела записи по «старому стилю» – Юлианскому календарю, по которому Россия жила до февраля 1918 года. В XIX веке различие стилей составляло 12 дней, поэтому дата открытия Антарктиды по «новому стилю» – 28 января. Юбилей открытия отпраздновали 28 января 2020 года.
- 1.2. 28 января 2020 года был вторник. В двухстах прошедших григорианских годах было 49 високосных лет: все, кратные четырём, кроме 1900-го. Таким образом, общее число дней, прошедших между открытием и юбилеем –  $200 \times 365 + 49 = 73049$ , или 10435 полных недель и ещё четыре дня. Четыре дня ранее вторника – это пятница. Следовательно, Антарктида была открыта в пятницу.

2. **Затмение в Тибете.** Во второй половине июня Солнце находится вблизи точки летнего солнцестояния, поэтому его склонение можно оценить как  $\delta = \varepsilon = 23^\circ 26'$ . Светило кульминирует в верхней кульминации на высоте

$$h = 90^\circ - \varphi + \varepsilon,$$

в нашем случае:

$$h = 90^\circ - 30^\circ 46' + 23^\circ 26' = 82^\circ 40'.$$

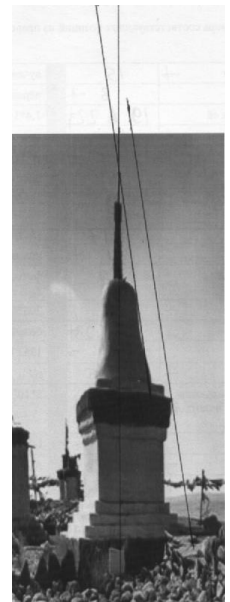
Если считать ступу вертикальным столбом высоты 4,4 м, то длина её тени (\*) в солнечных лучах (в том числе, и от частично затменного Солнца) будет равна:

$$L = H \cdot \operatorname{ctg} h = 4,4 \text{ м} \times \operatorname{ctg} 82^\circ 40' = 0,57 \text{ м} = 57 \text{ см}.$$

(\*) *строго говоря, это не тень, а полутень, так как создаётся она только частью солнечного диска (или кольца во время затмения).*

Однако, когда Солнце находится близко к зениту, ступу едва ли можно считать вертикальным столбом. Рассмотрим её реальную форму, используя в качестве образца ступы фотографию, приложенную к задаче. Сделав соответствующие построения (см. рисунок), легко убедиться, что тень от верхушки сооружения, образованная лучами, падающими под углом  $7^\circ 20'$  к вертикали, падает на колокол ступы и не достаёт не только до земли, но даже до постамента. Следовательно, в создании тени на земле верхушка ступы не участвует, тень от вершины целиком находится внутри тени от постамента.

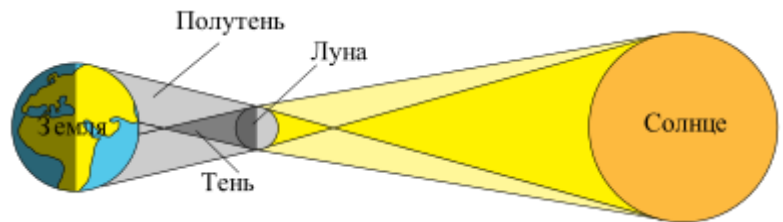
Зная высоту всего сооружения, можно по фотографии оценить высоту постамента. Поскольку постамент не обладает осевой симметрией, длина его тени будет также зависеть от того, как он ориентирован по сторонам горизонта. Достроив чертёж поверх фотографии, убеждаемся, что тень постамента гораздо длиннее, чем была бы тень шпиля, достань она до земли, а именно – примерно 86 см (от оси памятника).



Данные из сопроводительных таблиц могут быть использованы в любой задаче.

### 3. Тибетский новый год и затмение.

- 3.1. Поскольку в задаче говорится про лунный календарь, а сегодня вечером будет новолуние (это вы должны помнить), очевидно, Тибетский новый год связан с новолунием.
- 3.2. Солнечные затмения происходят в новолуние. Каждое следующее новолуние происходит в среднем через 29,53 суток. Новолуние в июне 2020 г. состоится через 4 лунных месяца, то есть, примерно через  $4 \times 29,53 = 118,12$  суток. 118 дней после вечера 23 февраля – это вечер 20 июня. В действительности, из-за эллиптичности лунной орбиты реальное время между полнолуниями может немного меняться. В нашем случае это приведёт к тому, что затмение будет несколько позже вычисленного – утром 21 июня.
- 3.3. Примерная схема изображена справа. Важно, что конус тени не доходит до поверхности Земли.
- 3.4. 20-21 июня Солнце (и, естественно, солнечное кольцо во время затмения) находится на границе созвездий Тельца и Близнецов. (Оба ответа можно считать правильными). А вот звёзд никаких видно не будет. При кольцеобразном солнечном затмении небо светлое, дневное.



4. **Кольцо солнечного диска.** Во время затмения лунный диск затмевает  $0,994^2 = 0,988036 \approx 0,988$  площади солнечного диска. Светить будет лишь незакрытая часть (кольцо) солнечного диска. В кольце остаётся примерно  $1 - 0,988 = 0,012$  общей площади солнечного диска. Значит, света от Солнца придёт примерно в  $1/0,012 \approx 83$  раз меньше. Известно, что уменьшение света в  $2,512 \approx 2,5$  раза соответствует изменению звёздной величины на 1. Поскольку спрашивается дать ответ в целых числах, далее можно решить задачу методом перебора целочисленных значений и нахождения наиболее близкого значения.

Изменение на 1 зв.величину – уменьшение света в  $2,512 \approx 2,5$  раза.

Изменение на 2 зв.величины – уменьшение света в  $2,512^2 = 6,31 \approx 6$  раз.

Изменение на 3 зв.величины – уменьшение света в  $2,512^3 = 15,85 \approx 16$  раз.

Изменение на 4 зв.величины – уменьшение света в  $2,512^4 = 39,81 \approx 40$  раз.

Изменение на 5 зв.величин – уменьшение света в  $2,512^5 = 100$  раз.

Получаем, что наиболее близкое к нашей ситуации целочисленное значение – 5.

Ответ: примерно на 5 звёздных величин.

*Примечание. В реальности – больше. Из-за потемнения к краю солнечного диска яркость его внешнего кольца явно меньше, кольцо светит слабее, чем 1% от всего диска, звёздная величина Солнца изменится больше, чем на 5 звёздных величин.*

### 5. Тесное соединение.

- 5.1. 21 декабря 2020 года Юпитер и Сатурн для земного наблюдателя будут находиться вблизи соединения (т.к. Солнце в этот день в Стрельце, близко к Козерогу). Это означает, что расстояние от Земли до Юпитера составит  $1 \text{ а.е.} + 5,2 \text{ а.е.} = 6,2 \text{ а.е.}$ , до Сатурна –  $1 \text{ а.е.} + 9,6 \text{ а.е.} = 10,6 \text{ а.е.}$ . Из рисунка видим, что Земля, Юпитер и Сатурн образуют треугольник, в котором угол «Сатурн» и угол «Земля» соотносятся также, как расстояния «Земля-Юпитер» и «Сатурн-Юпитер», то есть, как  $6,2/4,4$ . Таким образом, Юпитер и Земля из окрестностей Сатурна будут видны под углом

$$\beta = 6' \times 6,2/4,4 = 8,5'.$$

Данные из сопроводительных таблиц могут быть использованы в любой задаче.

*Примечание: конечно, можно написать формулы углов или малых углов. Но для многих семи-восьмиклассников синусы и тангенсы ещё неведомы, в то время, как соотношение «расстояние в N раз больше – угол в N раз меньше» вполне очевидно.*

- 5.2. Поскольку 21 декабря Юпитер и Сатурн для земного наблюдателя будут находиться вблизи соединения, для наблюдателя на Юпитере Сатурн будет виден вблизи противостояния, (а для наблюдателя на Сатурне Юпитер – вблизи нижнего соединения). Снова в одной созвездии для земного наблюдателя эти планеты окажутся через один взаимный синодический период (период повторения конфигураций). Найдём его:

$$S = T_{\text{ЮТс}} / (T_{\text{с}} - T_{\text{Ю}}) = 11,87 \times 29,67 / (29,67 - 11,87) = 19,79 \text{ лет (примерно 20 лет).}$$

При этом Сатурн пройдёт  $19,79/29,67 = 0,667$  зодиакального круга, т.е. 240 градусов (а Юпитер – один полный круг и ещё 240 градусов). Планеты будут на 120 градусов западнее точки зимнего солнцестояния, т.е. на 30 градусов западнее точки осеннего равноденствия – в созвездии Льва.

- 5.3. Для повторения этой конфигурации в Козероге потребуется три таких периода, т.е. 59,37 года. Юпитер и Сатурн встретятся в Козероге в начале 2080 года. (Моделирование на электронном планетарии показывает дату 15 марта 2080 года).

## 6. Глобус.

- 6.1. Диаметр Земли – 12 800 км (= 1 280 000 000 см), глобуса – 32 см; значит, модель выполнена в масштабе 1 : 40 000 000. При равной средней плотности шаров масса пропорциональна кубу радиуса. Поэтому масса наполненного глобуса будет меньше массы Земли в  $(40000000)^3$  раз, т.е. в  $6,4 \times 10^{22}$  раз, и равна примерно 9,4 кг.
- 6.2. Т.к. толщина и плотность пластмассы не изменилась, масса полой планеты пропорциональна квадрату её радиуса. Масса полой планеты будет больше массы глобуса в  $(40000000)^2$  раз, т.е. в  $1,6 \times 10^{15}$  раз, и равна  $1,12 \times 10^{15}$  кг.
- 6.3. Как мы выяснили в предыдущем пункте, масса полой планеты пропорциональна квадрату её радиуса. Масса полой планеты размером с Землю в

$$5,97 \times 10^{24} \text{ кг} / 1,12 \times 10^{15} \text{ кг} = 5,33 \times 10^9 \text{ раз}$$

меньше массы Земли. Таким образом, размер модели Земли, сделанной из массы всей Земли, будет в

$$(5,33 \times 10^9)^{1/2} = 7,3 \times 10^4 \text{ раза}$$

больше размера настоящей Земли. Её диаметр составит

$$7,3 \cdot 10^4 \times 1,28 \cdot 10^4 \text{ км} \approx 9,3 \cdot 10^8 \text{ км},$$

что равно 6,2 астрономическим единицам. Диаметр такого глобуса больше расстояния от Солнца до Юпитера.

## 7. Прохождения Меркурия в XXI веке.

- 7.1. Для земного наблюдателя внутренняя планета может спроецироваться на диск Солнца только тогда, когда в момент нижнего соединения она находится вблизи плоскости эклиптики, то есть вблизи узлов своей орбиты. Узлы орбиты Меркурия ориентированы в пространстве так, что на одной линии с ними Земля оказывается в мае и ноябре.
- 7.2. Белые медведи видят только майские прохождения, поскольку в мае на Северном полюсе и его окрестностях Солнце над горизонтом, а в ноябре – под горизонтом. В XXI веке медведь увидит 5 из 14 прохождений или примерно 36%.

Данные из сопроводительных таблиц могут быть использованы в любой задаче.

Аналогично пингвины могут наблюдать только ноябрьские прохождения, но не майские, в XXI веке он увидит 9 из 14 прохождений или примерно 64%.

Увидит ли конкретный жираф какое-либо прохождение, зависит от того, в какое время суток для него они происходят. Однако поскольку жирафы равномерно распределены вдоль экватора, каждое конкретное прохождение кто-нибудь из них увидит. То есть, для популяции жирафов вероятность увидеть прохождение равна 100%.

Таким образом, популяция жирафов увидит все прохождения (100%), популяция пингвинов – меньше (64%), а популяция медведей – совсем мало (36%).

**7.3.** На рисунках надо изобразить грустного белого медведя, который видит меньше всего прохождений Меркурия и довольных (своими наблюдениями) жирафа и пингвина.

### **8. Самолёт и Луна.**

**8.1.** Угловой размер самолёта составляет примерно половину лунного диска, т.е. около 15'. При длине самолёта  $L$  от 30 до 40 м (современный лайнер) получаем расстояние  $3438 \cdot L/15$ , т.е. от 7 до 9 км – вполне разумный ответ.

**8.2.** Определить стороны горизонты нам поможет рельеф Луны. Лунный терминатор проходит приблизительно с севера на юг (север слева, где Море Дождей). Нос самолёта проецируется на Море Кризисов, следовательно, сверху на картинке лунный восток, смотрящий на земной запад). Направление полёта самолёта – запад-северо-запад.

**8.3.** Поскольку самолёт мы видим «снизу», Луна находится высоко над горизонтом, вблизи кульминации. Судя по положению терминатора, возраст Луны 8-9 суток, и кульминирует она в 19-20 часов местного времени.

**8.4.** Т.к. Луна кульминирует вблизи зенита, фото сделано в тропических широтах. (Действительно, фото сделано на северо-востоке Австралии).

Данные из сопроводительных таблиц могут быть использованы в любой задаче.