

XXVI Всероссийская олимпиада школьников по астрономии

Самара, 2019 г.

Блиц-тест

IX/X/XI.1 РАВНОДЕНСТВИЕ

О.С. Угольников



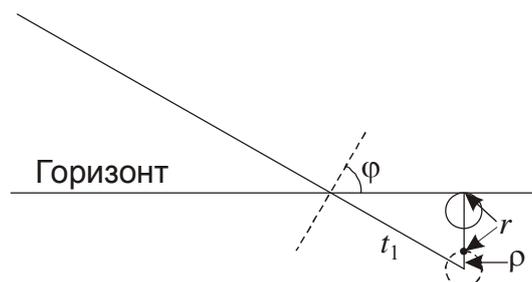
1. Условие. Расставьте четыре города России в порядке возрастания долготы светового времени в день весеннего равноденствия: Владивосток ($43^{\circ}07'$ с.ш., $131^{\circ}54'$ в.д., А), Красноярск ($56^{\circ}01'$ с.ш., $92^{\circ}52'$ в.д., В), Махачкала ($42^{\circ}59'$ с.ш., $47^{\circ}00'$ в.д., С), Москва ($55^{\circ}45'$ с.ш., $37^{\circ}38'$ в.д., D). Рельеф и разность состояния атмосферы не учитывать. Считать световым время, в течение которого хотя бы часть диска Солнца располагается над видимым горизонтом.

1. Решение. Казалось бы, 20 марта – это день весеннего равноденствия (или день, предшествующий ему), и световой день должен быть всюду одинаковым, около 12 часов. Однако, есть ряд факторов, которые влияют на длительность светового дня, причем по-разному для четырех городов, указанных в условии. Так как эти факторы невелики, мы можем сначала оценивать их по отдельности, а потом определять суммарный эффект для каждого из случаев.

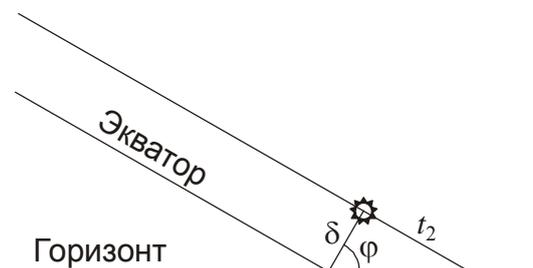
Сначала обратим внимание, что Солнце имеет угловой радиус ρ около $16'$, а его изображение поднимается рефракцией на угол r около $35'$. В итоге, время захода Солнца вблизи равноденствия увеличивается на величину

$$t_1 = \frac{r + \rho}{\cos \varphi}.$$

Эта величина составляет 4.64 минуты для широты 43° (Владивосток и Махачкала) и 6.08 минут для широты 56° (Красноярск и Москва). Таким образом, за счет угловых размеров Солнца и рефракции в двух более северных городах заход Солнца произойдет позже (а восход – раньше) на 1.44 минуты.



Рассмотрим теперь центр Солнца, не учитывая рефракцию. Момент его восхода или захода в том или ином пункте происходит не точно в равноденствие. Будем рассматривать момент восхода или захода Солнца, при котором его склонение равно δ , мало отличающ от нуля.



По рисунку мы видим, что заход центра Солнца произойдет позже (а восход – раньше) на величину

$$t_2 = \delta \operatorname{tg} \varphi.$$

Если склонение Солнца δ меньше нуля, то величина t_2 отрицательна, и заход произойдет раньше (восход – позже). В этом случае долгота светового дня уменьшится в северных широтах. Однако, это не компенсирует эффект рефракции и углового размера Солнца, описанный выше. Действительно, даже за целые сутки до равноденствия Солнце отстоит от точки равноденствия на угол около 1° , и его склонение в день равноденствия

$$\delta > -\delta_D = -1^\circ \sin 23.4^\circ = -0.4^\circ.$$

Здесь δ_D - суточное изменение склонения Солнца вблизи весеннего равноденствия. Значение t_2 превышает величину $-t_{2D} = -\delta_D \operatorname{tg} \varphi = -1.49$ минуты для широты 43° (Владивосток и Махачкала) и -2.37 минуты для широты 56° (Красноярск и Москва). Выигрыш южных городов составит не более 0.88 минуты, что не компенсирует эффект, описанный в начале решения. Суммарный эффект по заходу Солнца $t_1 + t_2$ в пользу северных городов будет не меньше 0.56 минуты.

Теперь нам нужно учесть, что величина δ будет разной для четырех городов. В восточной части России световой день наступает раньше, и склонение Солнца в это время там будет меньше. Владивосток располагается на 85° или 0.236 часть дуги восточнее Махачкалы, и склонение Солнца во время восхода (и захода) будет на 0.236 δ_D меньше. В результате, местное время захода Солнца во Владивостоке будет на 0.236 $t_2 = 0.35$ минуты меньше, чем в Махачкале.

Проводя аналогичные рассуждения для Москвы и Красноярска, разделенных по долготе на 55° (0.153 дуги), получаем, что местное время захода Солнца в Москве будет больше на 0.36 минуты. Необходимо отметить, что долгота дня в Красноярске будет больше, чем в Махачкале, так как эффект от широты, описанный выше, больше по величине.

Итак, самым коротким световой день будет во Владивостоке (А), затем идет Махачкала (С), Красноярск (В) и Москва (D). В таблице приведены реальные значения долгот дня в этих городах 20 и 21 марта 2019 года. Момент равноденствия приходится на 01ч по московскому времени 21 марта. Видно, что полученный ответ справедлив для обеих дат, как до, так и после равноденствия.

| Дата, 2019 | Владивосток | | | Красноярск | | | Махачкала | | | Москва | | |
|------------|-------------|----|----|------------|----|----|-----------|----|----|--------|----|----|
| | ч | м | с | ч | м | с | ч | м | с | ч | м | с |
| 20 марта | 12 | 06 | 54 | 12 | 08 | 55 | 12 | 07 | 34 | 12 | 09 | 35 |
| 21 марта | 12 | 09 | 52 | 12 | 13 | 37 | 12 | 10 | 31 | 12 | 14 | 13 |

1. Алгоритм оценивания. Общая оценка складывается из количества правильных пар в ответе участников. Всего возможных пар из четырех объектов шесть, в каждой из них объекты в ответе должны идти в правильном порядке. Например, для пары А-В правильным считается ответ, в котором буква В стоит позже буквы А (долгота дня в Красноярске больше, чем в Махачкале).

При появлении в решении двух или трех противоположных пар (например, ответ АВАВ или АВАС с парами АВ и ВА) все эти пары, в том числе правильные, не оцениваются. При дублировании одной пары без противоположной (например, ответ ААВВ) эта пара оценивается только один раз. Итоговая оценка зависит от числа правильных пар N следующим образом:

| N | Баллы | N | Баллы |
|---|-------|---|-------|
| 0 | 0 | | |
| 1 | 1 | 4 | 6 |
| 2 | 2 | 5 | 7 |
| 3 | 4 | 6 | 8 |

IX/X/XI.2 ВЕЛИКОЕ СОЕДИНЕНИЕ

О.С. Угольников



2. Условие. 27 февраля 1953 года до нашей эры состоялось Великое соединение планет – Меркурий (А), Венера (В), Марс (С) и Сатурн (D) поместились на небе Земли в область с диаметром 0.5° . При этом угловое расстояние планет от Солнца было максимально возможным для такого соединения, а фаза Меркурия была наименьшей из всех четырех планет. Расположите четыре планеты А, В, С, D по возрастанию их видимого диаметра на Земле в этот момент, от самого малого до самого большого.

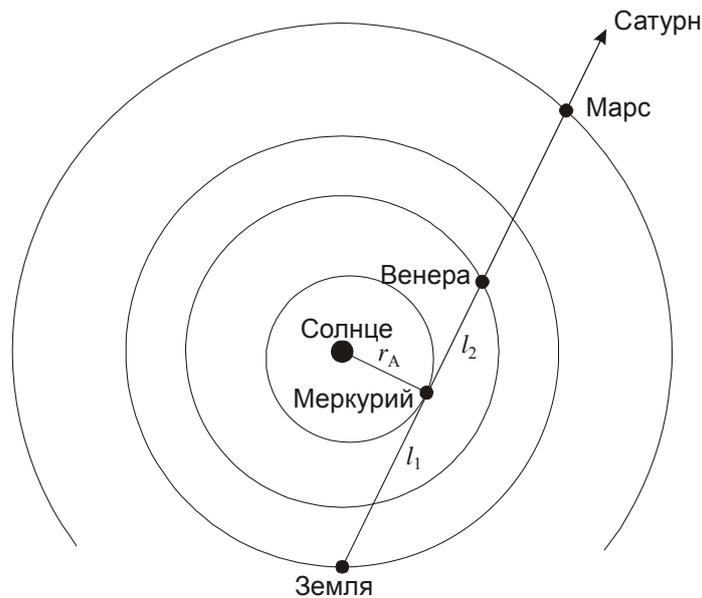
2. Решение. Так как угловое расстояние планет от Солнца было наибольшим для такого соединения, мы можем сделать вывод, что самая близкая к Солнцу планета – Меркурий – находилась в наибольшей элонгации и одновременно в афелии своей орбиты. Пространственное расстояние Меркурия от Солнца в этот момент было равно

$$r_A = a_A (1 + e_A) = 0.467 \text{ а.е.}$$

Здесь a_A и e_A – большая полуось и эксцентриситет орбиты Меркурия. Угловое удаление от Солнца составляло $\varepsilon = \arcsin(r_A / a_0) = 27.8^\circ$, а угловой диаметр Меркурия

$$\delta_A = \arcsin \frac{d_A}{l_1} = \arcsin \frac{d_A}{\sqrt{a_0^2 - r_A^2}} = 7.6''.$$

Здесь d_A – диаметр Меркурия, a_0 – радиус орбиты Земли. Расстояние до Меркурия составляло $l_1 = 0.88$ а.е. Нам также известно, что фаза Меркурия, равная 0.5, была наименьшей среди всех планет. Из этого мы делаем вывод, что Венера имела большую фазу и располагалась дальше от Земли, нежели Меркурий.



Расстояние до нее, как и до других планет, можно найти из теоремы косинусов, но можно поступить проще. Как видно из рисунка, при наблюдении с Венеры Меркурий также находится в наибольшей элонгации, и расстояние между этими планетами равно

$$l_2 = \sqrt{a_B^2 - r_A^2} = 0.56 \text{ а.е.}$$

С расстояния $l_1 + l_2 = 1.44$ а.е. Венера имеет угловой диаметр $11.5''$, что больше, чем у Меркурия, но меньше, чем у Сатурна, который даже в соединении с Солнцем, с расстояния около 11 а.е. имеет угловой диаметр около $15''$. Наконец, Марс, расположенный примерно в 2 а.е. от Земли, будет иметь угловой диаметр $5''$, то есть окажется наименьшим в небе Земли. Итак, планеты нужно расставить в порядке: С, А, В, D.

Реальные значения угловых диаметров планет во время Великого соединения составили: Марс (С) - $4.3''$, Меркурий (А) - $7.8''$, Венера (В) - $11.4''$, Сатурн (D) - $16.1''$.

2. Алгоритм оценивания. Общая оценка складывается из количества правильных пар в ответе участников. Всего возможных пар из четырех объектов шесть, в каждой из них объекты в ответе должны идти в правильном порядке. Например, для пары А-В правильным считается ответ, в котором буква В стоит позже буквы А (угловой диаметр Венеры больше, чем угловой диаметр Меркурия).

При появлении в решении двух или трех противоположных пар (например, ответ АВВАВ или АВАС с парами АВ и ВА) все эти пары, в том числе правильные, не оцениваются. При дублировании одной пары без противоположной (например, ответ ААВВ) эта пара оценивается только один раз. Итоговая оценка зависит от числа правильных пар N следующим образом:

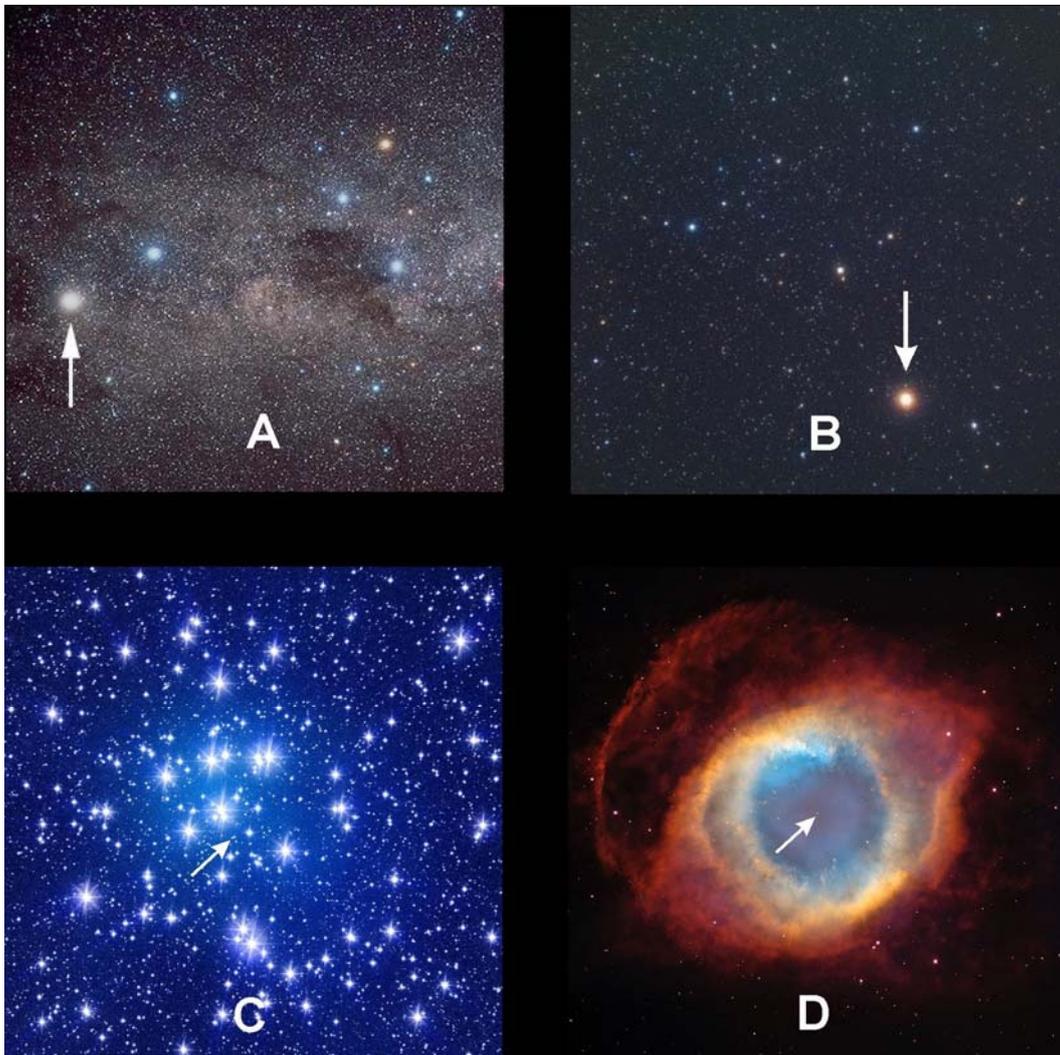
| N | Баллы | N | Баллы |
|---|-------|---|-------|
| 0 | 0 | | |
| 1 | 1 | 4 | 6 |
| 2 | 2 | 5 | 7 |
| 3 | 4 | 6 | 8 |

IX/X/XI.3 ЭВОЛЮЦИЯ

О.С. Угольников



3. Условие. Перед Вами четыре фото звезд, схожих по массе с Солнцем. Расположите их в порядке этапов эволюции звезды, от самого раннего к самому позднему. Считать, что все звезды на фото С образовались одновременно.



3. Решение. На фото А мы видим желтую звезду солнечного типа на главной последовательности, то есть на основной стадии эволюции. Мы можем узнать в ней нашу соседку - α Центавра, по характерному рисунку этого созвездия и располагающегося рядом Южного Креста. На фото В мы видим Арктур - α Волопаса, звезду на поздней стадии красного гиганта. Звезда на фото С располагается внутри рассеянного скопления, которое может существовать только сравнительно короткое время после образования его звезд. Наконец, на фото D мы видим звездный остаток – белый карлик внутри планетарной туманности. Ответ выглядит следующим образом: С, А, В, D.

3. Алгоритм оценивания. Общая оценка складывается из количества правильных пар в ответе участников. Всего возможных пар из четырех объектов шесть, в каждой из них объекты в ответе должны идти в правильном порядке. Например, для пары А-В правильным

считается ответ, в котором буква В стоит позже буквы А (стадия красного гиганта наступает после схода звезды с главной последовательности).

При появлении в решении двух или трех противоположных пар (например, ответ АВВВ или АВАС с парами АВ и ВА) все эти пары, в том числе правильные, не оцениваются. При дублировании одной пары без противоположной (например, ответ ААВВ) эта пара оценивается только один раз. Итоговая оценка зависит от числа правильных пар N следующим образом:

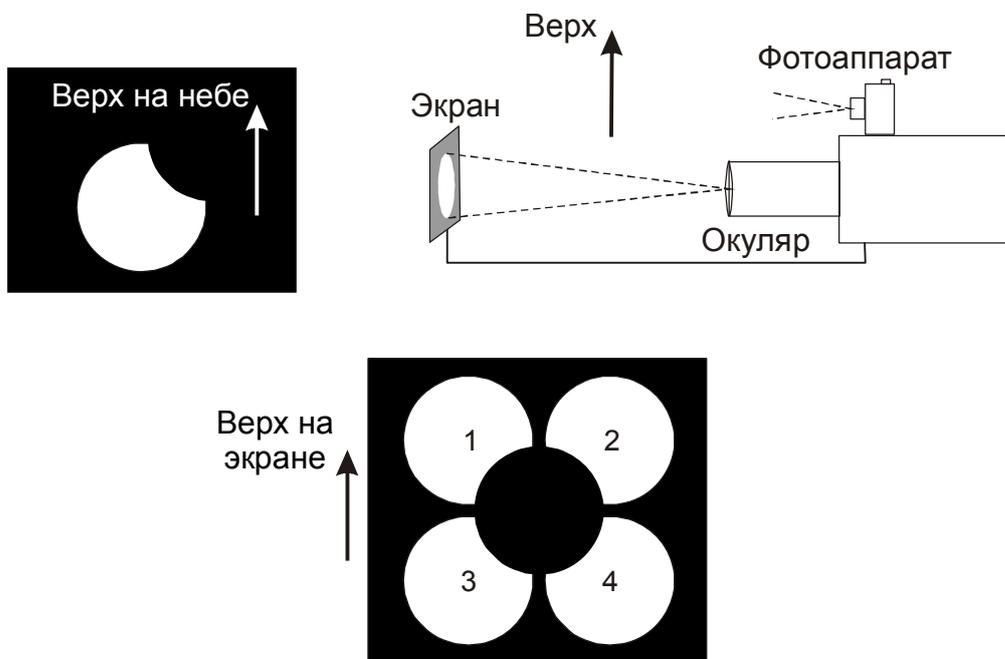
| N | Баллы | N | Баллы |
|---|-------|---|-------|
| 0 | 0 | | |
| 1 | 1 | 4 | 6 |
| 2 | 2 | 5 | 7 |
| 3 | 4 | 6 | 8 |

IX/X/XI.4 КВАДРОСКОП

О.С. Угольников



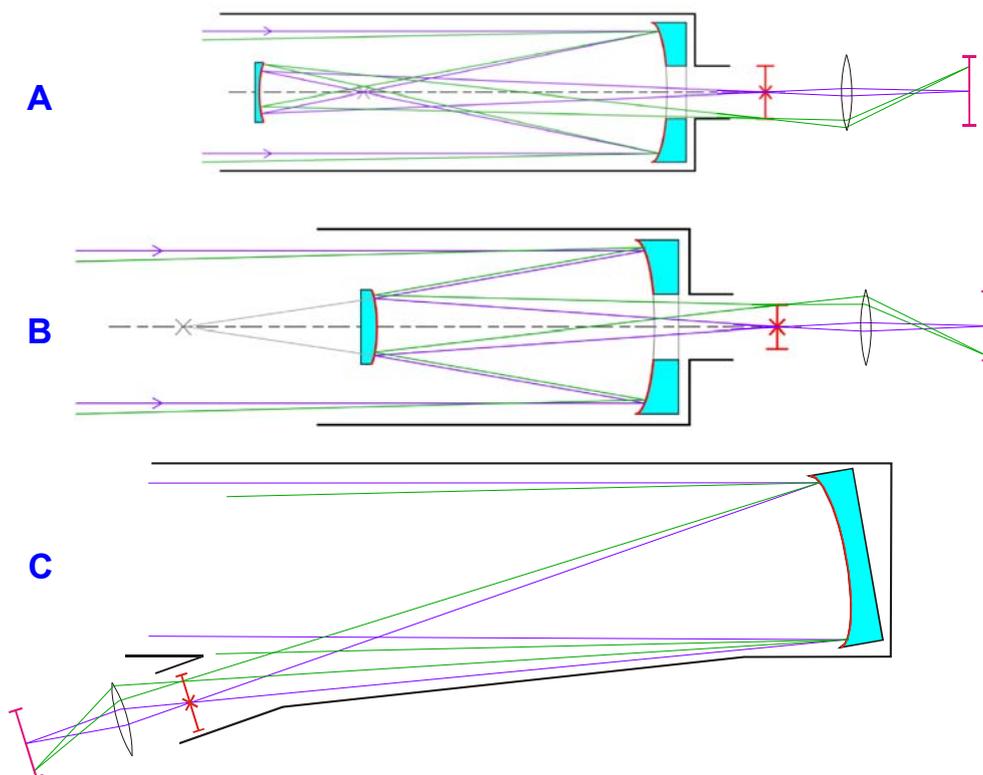
4. Условие. Перед Вами фото частного солнечного затмения (прямое изображение) и четыре фотографии изображения Солнца на непрозрачном солнечном экране, сделанные в этот же момент в этом же пункте со стороны трубы телескопа вдоль оптической оси окуляра с помощью обычного фотоаппарата в нормальном (неперевернутом) положении, см. рисунок. В телескопе используется простой однолинзовый положительный окуляр Кеплера. Отметьте, какое из этих четырех фото было сделано с использованием рефлектора системы Грегори (А), системы Кассегрена (В), системы Ломоносова-Гершеля (телескоп только с главным зеркалом и окуляром, С), а какое фото не могло быть сделано ни с одним из этих трех телескопов (D).



4. Решение. Изобразим ход лучей в каждом из трех телескопов с однолинзовым окуляром Кеплера и солнечным экраном. Будем считать, что телескоп наведен на центр Солнца, лучи от которого показаны фиолетовым цветом. Зеленые лучи идут от нижнего края Солнца.

Изображение Солнца строится в главном фокусе, показанным красной линией (с крестом), за которым устанавливается окуляр. За счет того, что он удаляется от фокуса несколько дальше собственного фокусного расстояния, он будет строить вторичное изображение Солнца на экране, показанном малиновой линией.

В телескопе Грегори (А) лучи от одной точки поверхности Солнца сходятся вместе один раз внутри трубы телескопа, а главный фокус является уже второй точкой их пересечения. Поэтому лучи от нижнего края Солнца окажутся внизу главной фокальной плоскости. Количество зеркал, от которых отражается свет, в телескопе Грегори четно, и они имеют общую ось. Поэтому телескоп Грегори строит в главном фокусе прямое изображение объекта. На экране - уже в третьей фокальной плоскости - изображение станет перевернутым, а при фотографировании отраженного от него изображения - еще и зеркальным. Поэтому при использовании телескопа Грегори (А) мы получим фото 1.



Телескоп системы Кассегрена (В) имеет выпуклое вторичное зеркало, и лучи от одной точки Солнца сходятся в первый раз только в главном фокусе. Поэтому этот телескоп строит там перевернутое изображение, которое зеркальным также не будет. На рисунке мы видим, что зеленые лучи от нижнего края Солнца попадают в верхнюю часть главной фокальной плоскости, но в нижнюю часть экрана, где изображение вновь станет прямым. Фотоаппарат его зарегистрирует в зеркальном виде, зафиксировав в итоге фото 4.

В телескопе системы Ломоносова-Гершеля (С) зеркало всего одно. За счет небольшого наклона к оси телескопа оно создает изображение вне трубы телескопа. Оно будет перевернутым (зеленые лучи попадают в верхнюю часть изображения) и зеркальным. На солнечном экране изображение вновь перевернется, а при фиксации фотоаппаратом не будет зеркальным. В результате, на фото мы получим прямое изображение Солнца - 3.

Итак, ответ на вопрос задания - А, D, С, В.

4. Алгоритм оценивания.

| Ответ | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------|---|---|---|---|
| А | 2 | 0 | 0 | 1 |
| В | 1 | 0 | 0 | 2 |
| С | 0 | 1 | 2 | 0 |
| Д | 0 | 2 | 1 | 0 |

Общая оценка получается суммированием оценок по каждому из изображений Солнца (1-4). Пустая клетка (нет ответа) оценивается в 0 баллов. При многократном повторе ответов А, В или С они не засчитываются, даже если среди них есть правильные. Повтор ответа Д допускается, но оценивается только один раз (при двух буквах Д в клетках 2 и 3 участник получает 2 балла).