

МОСКОВСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ПО АСТРОНОМИИ. 2020–2021 УЧ. Г.  
ОЧНЫЙ ЭТАП. 6–7 КЛАССЫ  
Решения и критерии оценивания

**Задача 1**

Первые луноходы могли ездить по Луне только во время лунного дня. Определите, какое максимальное расстояние мог проехать луноход за 1 земной год по поверхности Луны, если его скорость 0.18 м/с. Ответ дайте в километрах.

**Решение**

Сначала решим задачу максимально точно. Продолжительность лунных суток равна периоду смены лунных фаз, примерно 29.5 земных суток. В одном году в среднем 365.25 сут. Значит, в одном году содержится

$$N = \frac{365.25}{29.5} \approx 12.38 \text{ лунных суток.}$$

Поскольку нас интересует максимальное расстояние, будем считать, что 0.38 лунных суток приходится на светлое время. Тогда пройденное расстояние будет равно

$$l = \left( \frac{12}{2} + 0.38 \right) \cdot 29.5 \cdot 86400 \cdot 0.18 \approx 2927042 \text{ м} \approx 2927 \text{ км.}$$

Здесь мы учли что из полных 12 лунных суток на дневное время приходится только половина времени, а продолжительность суток составляет 86400 секунд.

Существует более короткое, но менее точное решение. Можно считать, что за год примерно половина времени приходится на ночное время, а половина — на дневное. Тогда пройденное расстояние равно

$$l = \frac{365.25}{2} \cdot 86400 \cdot 0.18 \approx 2840 \text{ км.}$$

Здесь ответ получился немного заниженным, поскольку мы не учли, что год не кратен лунному месяцу.

Выше было приведено два пути решения, которыми, как ожидалось, воспользуются участники олимпиады. Однако, многие пытались учесть скорость движения терминатора по поверхности Луны и тем самым удлинить время работы лунохода. Здесь требуется несколько комментариев.

Предположим, что луноход движется по экватору с востока на запад, преследуя терминатор (границу между днем и ночью). Чему равна скорость терминатора? Радиус Луны равен примерно 1740 км. Длину лунного экватора терминатор проходит за синодический месяц. Тогда

$$v_{\tau} = \frac{2\pi \cdot 1740}{29.5} \approx 371 \text{ км/сут} = 4.29 \text{ м/с.}$$

Скорость лунохода 0.18 м/с. Таким образом, относительно лунохода терминатор движется со скоростью 4.11 м/с. Если в начальный момент времени у лунохода вошло солнце, то оно зайдет через

$$t_{\tau} = \frac{2\pi \cdot 1740}{0.00411} \cdot \frac{1}{2} \approx 1330000 \text{ с} \approx 14.4 \text{ сут.}$$

Значит, в течение 15.4 суток луноход движется, после чего стоит  $29.5/2=14.75$  суток, дожидаясь рассвета. От рассвета до рассвета проходит 30.15 суток. За год таких периодов движения 12.11, из которых на светлое время приходится не более, чем  $15.4 \cdot 12 + 3.45 = 188.25$  сут. Следовательно, дальность хода в этом случае составляет

$$l = 188.25 \cdot 86400 \cdot 0.18 \approx 2927664 \text{ м} \approx 2928 \text{ км.}$$

Получили практически такой же результат, как в самом начале.

Можно рассуждать дальше. Пусть луноход движется не по экватору, а по лунной параллели. Чем короче параллель, тем медленнее будет по ней двигаться терминатор. Значит, если уйти достаточно далеко на север или на юг, то можно найти такую параллель, на которой продолжительность светлого времени суток у движущегося на запад лунохода будет равна году.

Поиск нужной параллели не сложен, но всё же требует больших знаний в области математики, чем предусматривает программа 6/7 классов. Поэтому возникает желание пойти более простым путем — поместить луноход на полюс. Такой путь нельзя считать правильным, поскольку у оси Луны есть, пусть и небольшой, около  $1.5^\circ$ , наклон к эклиптике. Следовательно на полюсе и в его окрестностях будут полярный день и полярная ночь, т. е. продолжительность светлого времени суток принципиально не изменится.

Остается отметить, что искомая зона, где движущийся луноход может обеспечить себе день длиной не меньше года всё же существует и располагается примерно между  $87^\circ$  и  $88.5^\circ$  широты. Впрочем, на чуть менее низких широтах луноход сможет работать не весь год, но дольше, чем время найденное в начале.

### ***Критерии проверки***

Правильное решение оценивается в **8 баллов**.

Правильное решение по упрощённой схеме **5 баллов**.

Если в качестве лунного месяца принимается не синодический, а сидерический месяц, то оценка снижается на **1 балла**, несмотря на то, что ответ получается очень близким к правильному (2921 км).

За правильный ответ в неправильных единицах (метрах, сантиметрах и т. п.) оценка уменьшается на **1 балл**.

Если без дополнительных комментариев не учитывается наличие ночи на Луне, то решение оценивается **1 баллом**.

Участники могут использовать для решения любое разумное значение продолжительности земного года: 365, 366, 365.2422 суток и т. п.

Максимальная оценка за задание **8 баллов**.

(В. Б. Игнатьев)

## Задача 2

Представьте, что вы проснулись на космическом корабле. Навигационные приборы не работают. В передний экран вы видите красный карлик и на панели горит название «Вольф 359». Вы помните, что эта звезда находится в созвездии Льва в 8 световых годах от Солнца. Вам нужно вручную найти на небе Солнце и направить на него корабль. В каком созвездии вы будете искать Солнце? Можно ли это сделать, если у вас есть только карта земного неба, на которой отмечены контуры созвездий и небольшое число самых ярких звёзд в них?

Сколько времени займёт возвращение на Землю, если корабль может двигаться со скоростью 20 000 км/с? Разгон до этой скорости, а также торможение в конце полёта, занимает по двадцать лет, в течение которых корабль проходит по половине светового года. Скорость света равна 300000 км/с.

### **Решение**

Расстояние 8 световых лет не слишком велико по космическим меркам. Контуров большинства созвездий не претерпят значительных изменений, в особенности, контуры тех созвездий, который находятся позади корабля. Яркость звёзд в основном также изменится мало. Так что атласом можно пользоваться без затруднений.

Если корабль летел в сторону созвездия Льва, то Солнце осталось в созвездии, противоположном Льву, т. е. в созвездии Водолея. Будет ли Солнце ярким? Одна из ярчайших на небе звёзд Альфа Центавра находится к Солнцу в два раза ближе, чем Вольф 359, всего в 4 световых годах. Сама Альфа Центавра состоит из двух звёзд, одна из которых очень похожа на Солнце, а другая немного холоднее. Поэтому можно полагать, что Солнце от Вольф 359 будет не самой яркой, но всё же заметной звездой, особенно если учесть, что в Водолее нет слишком ярких звёзд. Найти лишнюю звезду будет несложно.

За время разгона и торможения космический корабль пройдёт расстояние в 1 световой год. С максимальной скоростью остаётся преодолеть лишь 7 световых

лет. Скорость корабля составляет  $\frac{20000}{300000} = \frac{1}{15}$  скорости света. Значит, вместо 7 лет будет затрачено в 15 раз больше, т. е. 105 лет. С учётом времени разгона и торможения – 145 лет. Долгий срок. Кажется, вам снова пора спать.

### **Критерии проверки**

Правильное объяснение алгоритма наведения на Солнце оценивается в **4 балла**: правильное название созвездия — **2 балла**, если только указано, что созвездие в противоположной области неба, то **1 балл**; вывод про возможность использования земной карты — **1 балл**; вывод о том, что Солнце будет достаточно ярким — **1 балл**.

Вычисление времени полёта оценивается ещё в **4 балла**: разгон и торможение в течение 1 года — 1 балл; правильная дистанция полета с постоянной скоростью — 1 балл; правильное время полета с постоянной скоростью — 1 балл; правильный ответ — 1 балл.

Максимальная оценка составляет **8 баллов**.

(М. В. Силантьев)

### **Задача 3**

Некоторый астроном в средних широтах Северного полушария Земли наблюдал яркую комету с большой «головой» (комой) рядом с полной Луной и не заметил у неё хвост. Через 30 лет он наблюдал эту же комету вечером. Рядом с кометой так же находилась Луна, но в этот раз у кометы был длинный красивый хвост, хотя она была на том же расстоянии от Земли, что и во время первого наблюдения. Почему в первый раз астроном не заметил хвост кометы? Нарисуйте примерный вид Луны и кометы во время второго наблюдения.

### **Решение**

Хорошо известно, что хвост кометы направлен от Солнца. Полная Луна находится на небе в противоположной от Солнца стороне. Поскольку в первый раз комета находилась рядом с Луной, то наблюдатель смотрел на комету со стороны Солнца вдоль хвоста. Хвост сливался с головой кометы.

Во время второго появления кометы она была видна уже сбоку, что позволило увидеть её во всей красе. Значит и Луна должна быть не в полной фазе, а близкой к первой или последней четверти. Поскольку наблюдение производилось вечером, то Луна должна быть растущей. Светлая часть Луны должна быть обращена к Солнцу, а хвост кометы — в противоположном направлении. Итоговый рисунок должен быть примерно следующим:



---

Можно заметить, что во время первого наблюдения комета была дальше от Солнца, а значит её хвост должен быть меньше. Но раз комету было видно рядом с яркой полной Луной, значит она была очень близко к Земле, следовательно, во второй раз она наблюдалась не намного ближе к Солнцу.

### ***Критерии проверки***

Правильное объяснение причины отсутствия хвоста кометы во время первого наблюдения оценивается в **4 балла**. Если правильного объяснения нет, но есть рассуждения о большем расстоянии кометы от Солнца и меньшей яркости хвоста, то они могут быть оценены **1 баллом**.

Рисунок, на котором отмечены правильное взаимное положение Луны и кометы, причём Луна нарисована растущей, оценивается в **4 балла**. Если нарисована стареющая Луна, то оценка за этот этап не может превышать **3 балла**. Если на рисунке узкий серп Луны близкой к новолунию, то оценка не превышает **2 баллов** для растущей луны и **1 балла** для стареющей. Если нарисована Луна без указания фазы (полная Луна), то рисунок не оценивается.

Максимальная оценка за задачу — **8 баллов**.

*(М. В. Силантьев)*

### **Задача 4**

На планете в одной далёкой-далёкой галактике жители использовали календарь, содержащий 243 дня. Потом учёные обнаружили, что за 4 года набегают ошибка примерно в 1 день: истинный год немного длиннее. Тогда они стали включать в календарь один дополнительный високосный день раз в 4 года. В результате оказалось, что за 25 лет в новом календаре образуется ровно один лишний день. Сколько длится год на этой планете? Предложите такое правило расстановки високосных лет, чтобы ошибка в один день наступала не раньше, чем через 100 лет.

## Решение

Раз в 4 года календарный год отстаёт от истинного на один день, значит за один год набирается разница около четверти дня. За 25 лет тогда должно набраться  $\frac{25}{4}$  дня. Поскольку раз в 4 года добавляется високосный день, то за 25 лет должна быть недостача  $\frac{1}{4}$  дня. В этом случае мы полагаем, что продолжительность года составляет  $243\frac{1}{4}$  суток. На деле же набегает лишний день. Здесь можно размышлять разными способами:

1) Год продолжительностью  $243\frac{1}{4}$  суток длиннее истинного на  $\frac{1}{25}$ . Тогда

$$\frac{1}{4} - \frac{1}{25} = \frac{25}{100} - \frac{4}{100} = \frac{21}{100},$$

Отсюда делаем вывод, что более точная продолжительность года составляет

$$243\frac{21}{100} = 243.21.$$

2) Если использовать календарь без високосных лет, то за 25 лет календарь отстанет на  $\frac{25}{4} = 6\frac{1}{4}$  дня. Но, как мы знаем из условия, их оказывается на 1 день меньше. Тогда за 25 лет в календаре не хватает  $5\frac{1}{4} = \frac{21}{4}$  дней. За год должно получаться в 25 раз меньше, то есть  $\frac{21}{100}$ , откуда продолжительность года

$$243\frac{21}{100} = 243.21.$$

Это ответ на первый вопрос. Ответим теперь на второй. Заметим, что  $\frac{21}{100}$  очень близко к  $\frac{20}{100} = \frac{1}{5}$ , то есть логичнее добавлять високосный день не раз в 4 года, а раз в 5 лет. Поскольку  $\frac{21}{100} = \frac{20}{100} + \frac{1}{100} = \frac{1}{5} + \frac{1}{100}$ , то ошибка календаря составит как раз 1 день за 100 лет.

Это не единственный вариант расстановки високосных годов. Можно вставлять 4 високосных года за 19 лет, например в 5, 10, 15 и 19 года. Тогда погрешность в один день будет набегать за 1900 лет, что вполне удовлетворяет условию задачи. Совсем точный результат получится, если за 100 лет сделать 21 високосный год. Можно найти и другие подходящие варианты.

## Критерии проверки

Определение продолжительности года — **4 балла**. Ответ  $243\frac{1}{4}$  оценивается **1 баллом**.

Правильная система вставки високосных годов оценивается в **4 балла**.

Арифметическая ошибка снижает максимально возможную оценку за этап до **2 баллов**. Этапы оцениваются независимо.

Максимальная оценка за задание **8 баллов**.

(М. В. Силантьев)

## Задача 5

Определите среднюю скорость подъёма протуберанца, если известно, что первые признаки начала его появления были замечены 28 февраля 1990 г. в 22ч45м (UT), а приведённая фотография была получена 1 марта 1990 г. в 1ч15м на стадии завершения роста протуберанца. Ответ выразите в км/с. Приведите в решении все измерения и промежуточные вычисления. Для сравнения на фото приведена Земля (какой она выглядела бы, находясь на месте протуберанца).

Радиус Солнца равен 696 000 км или 109 радиусов Земли.



### **Решение**

Для вычисления средней скорости движения требуется знать пройденный путь и затраченное на это время.

Определим «длину пути». В качестве «линейки» в данной задаче можно использовать изображение Земли или Солнца. Точные измерения дают для этого рисунка следующие соотношения (отношение размеров Земли и Солнца на рисунке определять не требуется; достаточно сравнить высоту протуберанца с размерами Земли или Солнца): отношение размеров Солнца и Земли на фото примерно соответствуют действительности (примерно 100-110 раз), протубера-

нец примерно в 13 раз меньше диаметра Солнца или примерно в 8 раз больше диаметра Земли. Таким образом, высота протуберанца примерно равна

$$S = 8 \cdot 12800 = 102400 \text{ км.}$$

Определим затраченное время. Високосным 1990 год не был, т. е. даты 29 февраля 1990 г. не существует. Значит, время подъема протуберанца составило

$$T = 1\text{ч}15\text{м} + (24\text{ч} - 22\text{ч}45\text{м}) = 2\text{ч}30\text{м} = 9000\text{с.}$$

Вычислим скорость:

$$V = \frac{S}{T} = \frac{102400}{9000} \approx 11 \text{ км/с.}$$

Ответ: примерно 11 км/с.

### ***Критерии проверки***

Верное определение отношения размеров протуберанца и Земли (7..9 раз) (или Солнца — обратное отношение в диапазоне 11..15) до **+4 баллов**. Если перепутан радиус и диаметр — 2 балла.

Верное вычисление линейных размеров протуберанца (конкретный ответ зависит от значения отношения размеров из предыдущего пункта, одно должно соответствовать другому) до **+3 баллов**, но не более **1 балла** в случае ошибки в предыдущем пункте.

Верное вычисление времени роста протуберанца до **+2 баллов**.

Запись или использование формулы для вычисления скорости **+1 балл**.

Верное вычисление скорости (полученное значение лежит в диапазоне 10..13 км/с) до **+2 баллов**. Если ответ дан не в км/с, а в других единицах, то оценка снижается на **1 балл**.

Ошибка, допущенная на каком-либо этапе, наказывается снижением оценки только за этот этап.

Максимальная оценка за задание **12 баллов**.

(А. М. Татарников)