

Решения и критерии

---

**Задача 1**

В интернете можно увидеть много видеозаписей болидов (ярких метеоров), снятых с помощью автомобильных видеорегистраторов и камер видеонаблюдения. Подобные видео интересны для учёных, изучающих метеоры. Как вы думаете, почему? Какую информацию о метеорных телах можно получить из подобных записей?

**Решение**

Метеор — это атмосферное явление, возникающее при сгорании в атмосфере метеорных тел: метеороидов, осколков комет, астероидов и пр. Ученым важно знать количество метеорных тел, их размерах и скоростях, с которыми они входят в атмосферу Земли, так как эти метеорные тела могут представлять опасность для спутников и космических станций, а очень большие, которые не сгорают в атмосфере, и для жителей Земли.

На видеорегистратор обычно попадают яркие метеоры — болиды, некоторые из которых не полностью сгорают в атмосфере и падают на Землю как метеориты. Так как отдельный болид видно на довольно ограниченном участке Земли, то не всегда ученые о нем знают. Поэтому видео, снятые на камеру, помогают узнать о большем количестве болидов.

Кроме этого важно знать о траектории полета метеорного тела через атмосферу. Для этого необходимо наблюдать один и тот же метеор как минимум из двух точек. Тогда с помощью триангуляции можно определить траекторию метеора и место падения метеорита. Для этого важно знать координаты мест наблюдения, азимут и высоту начала и конца трека метеора. Чем больше будет точек наблюдения, тем точнее получится определить нужные параметры.

Само видео состоит из большого числа фотографий с маленькими экспозициями, можно по ним измерить длину трека метеора, а затем, зная расстояние до него, можно определить его скорость в разные моменты времени.

**Критерии проверки**

- Камеры позволяют обнаружить большее число болидов **2 балла**
- Определение траектории болида **4 балла**  
А именно:
  - Описание метода или рисунок, поясняющий триангуляцию — **2 балла**
  - Необходимо знать точку съемки — **1 балл**
  - На видео интересуют высота и азимут болида — **1 балл**
- Определение скорости метеора с помощью камеры **2 балла**

Максимальная оценка за задачу **8 баллов**

(М. В. Силантьев)

Решения и критерии

---

**Задача 2**

Однажды житель города Питерсберг, штат Пенсильвания ( $41^{\circ}10'$  с.ш.,  $79^{\circ}39'$  з.д.), отправился смотреть полное солнечное затмение к своему другу в город Москоу. По ошибке, вместо Москоу, штат Теннесси ( $35^{\circ}3'$  с.ш.,  $89^{\circ}24'$  з.д.), он оказался в Москоу, штат Висконсин ( $42^{\circ}53'$  с.ш.,  $89^{\circ}54'$  з.д.).

- Оцените расстояние между вышеупомянутыми Москоу.
- На какой максимальной высоте над горизонтом могло наблюдаться затмение в Москоу, штат Теннесси?

Предположим, что полная фаза затмения наблюдалась в Москоу, штат Теннесси, в полдень в день весеннего равноденствия.

- Смог ли наблюдатель в Висконсине пронаблюдать полную фазу затмения?
- Где раньше наступила максимальная фаза этого затмения: в Питерсберге или в Москоу?

Радиус Земли равен 6371 км.

**Решение**

Заметим, что широты двух Москоу отличаются сильно, тогда как долготы практически совпадают. Ответ практически не изменится, если мы пренебрежём разницей долгот. Широты различаются на  $7^{\circ}50'$ . Выясним, сколько километров содержится в одном градусе широты (эту величину можно помнить). Радиус Земли  $R$  равен 6371 км. Тогда окружность Земли равна  $2\pi R \approx 40000$  км. Это расстояние соответствует  $360^{\circ}$ . Тогда в одном градусе  $40000/360 \approx 111$  км. Следовательно, искомое расстояние между городами равно

$$L = 7\frac{5}{6} \times 111 \approx 870 \text{ км.}$$

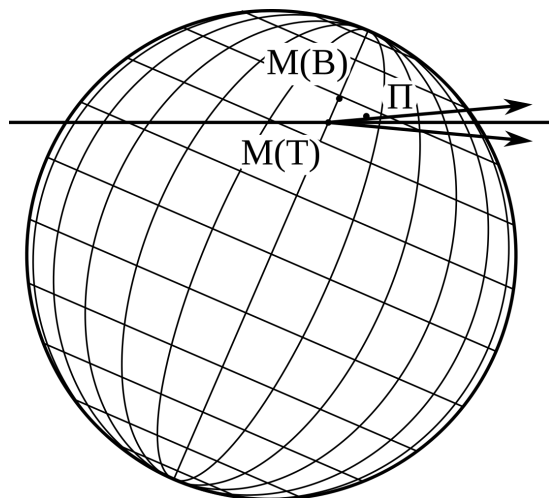
Максимальное склонение  $\delta_{\odot} = +23^{\circ}26'$  Солнце достигает в день летнего солнцестояния. В этот день на широте  $\varphi$  оно может подняться на высоту  $h = 90^{\circ} - \varphi + \delta_{\odot} = 78^{\circ}23'$ . Это и есть максимальная высота затмения.

Наблюдать полную фазу затмения можно только в тех частях земной поверхности, на которые попадает лунная тень. Поскольку лунная тень непрерывно перемещается по поверхности Земли, наблюдать полную фазу можно только в узкой полосе, ширина которой не превосходит 300 км. Расстояние между городами гораздо больше, поэтому увидеть полное затмение незадачливому наблюдателю не удастся.

На рисунке показана Земля с координатной сеткой, как она была бы видна со стороны Солнца в день затмения. Точками показано примерное расположение наших трёх городов. Поскольку затмение происходит в день весеннего

Решения и критерии

---



равноденствия, то Северный полюс Земли обращен максимально в сторону противоположную движению Земли. Горизонтальной черной линией показан путь лунной тени, каким бы он был, если бы Луна двигалась параллельно плоскости эклиптики.

Направление движения Луны вокруг Земли совпадает с направлением вращения Земли вокруг своей оси, т.е. с запада на восток. Поэтому на рисунке Луна и вслед за ней лунная тень движется слева направо. На самом деле орбита Луны наклонена на  $5.1^\circ$ . Из условия мы не можем узнать, в каком направлении Луна пересекает плоскость эклиптики, поэтому на рисунке показаны оба возможных направления.

С помощью рисунка сразу можно сделать вывод, что раз Питерсберг находится восточнее Москву, то и затмение там наступит позже.

**Критерии проверки**

- Правильный ответ на каждый из вопросов **по 2 балла**
- Вычислительная ошибка уменьшает на **1 балл** оценку за тот пункт, в котором она сделана
- Ответ без пояснений оценивается **0 баллов**, даже если он правильный

Максимальная оценка за задачу **8 баллов**

(Е. Н. Фадеев)

Решения и критерии

---

**Задача 3**

Как вы знаете, в юлианском календаре каждый четвертый год високосный. Современный григорианский календарь чуть сложнее, но сейчас мы про это не будем вспоминать. Сколько дней должно быть в календарной неделе, чтобы календарь повторялся каждые 4 года, то есть 1 января каждого 4-го года в столетии приходилось на один и тот же день недели?

**Решение**

В обычном календарном году 365 дней, а в високосном — 366. За 4 года пройдет

$$4 \times 365 + 1 = 1461 \text{ день.}$$

Для того, чтобы календарь повторялся каждые 4 года необходимо, чтобы в этот промежуток времени укладывалось целое число недель. Значит, нам необходимо найти делители числа 1461.

Первый делитель найти легко. Поскольку сумма цифр числа 1461 равна 12 и делится на 3, то 3 — искомый делитель. Тогда  $3 \times 487 = 1461$ . Число 3 — простое. Для того, чтобы найти простые делители числа 487 нужно перебрать все простые числа от 2 до  $\sqrt{487} \approx 22$ . Это числа 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17 и 19. Ни на одно из этих чисел 487 не делится без остатка, следовательно, оно простое.

У нас есть два варианта, неделя длиной 3 дня или 487 дней. Во втором случае неделя получается длиннее года, так что такой вариант не подходит. Остается трехдневная неделя.

Формально у числа 1461 есть делитель 1, но неделя из одного дня не имеет смысла, поскольку тогда день и неделя не отличимы друг от друга.

**Критерии проверки**

- Вывод о том, что за 4 года проходит 1461 день **2 балла**
- Найден делитель 3 **2 балла**
- Показано, что второй делитель 487 — простой **2 балла**
- Окончательный ответ **2 балла**

Если в ответ вынесены оба числа, то за последний пункт выставляется только **1 балл**.

Ответ без обоснования оценивается **0 баллов**.

Максимальная оценка за задачу **8 баллов**

(В. Б. Игнатьев)

Решения и критерии

---

**Задача 4**

На фотографии показано солнечное затмение, которое произошло 4 декабря 2021 года. Как вы думаете, где наблюдали это затмение? Почему вы так решили? Как перемещалось Солнце по кадру: слева направо или справа налево? Какое затмение наблюдалось: полное или частное? Расстояние между двумя положениями Солнца равно  $0.75^\circ$ . Оцените продолжительность затмения в этой точке наблюдения.



**Решение**

Мы видим, что суточное движение Солнца происходит параллельно линии горизонта. Такое возможно только на полюсах. Поскольку в декабре в Арктике полярная ночь, то это затмение можно было наблюдать только в Антарктиде, а точнее, на Южном полюсе. Это же подтверждает антенна Южного полярного телескопа (SPT), установленная на антарктической станции Амундсен-Скотт.

Поскольку наблюдение ведется в Южном полушарии, суточное движение Солнца происходит справа налево. Даже в середине затмения часть солнечного диска осталась видна. Значит, затмение частное.

Решения и критерии

---

За 24 часа за счет суточного движения Солнце проходит по небу  $360^\circ$ . Значит угловое расстояние  $0.75^\circ$  оно преодолевает за 3 минуты. Ущерб солнечного диска можно различить на 27 изображениях Солнца, откуда получаем время затмения:  $27 \times 3 = 81$  минута.

**Критерии проверки**

- Правильный ответ «южный полюс» **2 балла**  
без обоснования — **1 балл**, ответ «Антарктида» — **1 балл**, ответы «южное полушарие», «полюс» или «северный или южный полюс» не являются правильными (**0 баллов**)
- Правильное направление движения Солнца **1 балл**  
Засчитывается только при правильном указании места точки съемки
- Правильная фаза затмения **1 балл**
- Определение продолжительности затмения **4 балла**  
При правильных вычислениях стоит засчитывать ответы от 67 до 81 минут  
Если затмение найдено на всех 33 изображениях, то оценка за этап не более **2 баллов**

Максимальная оценка за задачу **8 баллов**

(М. В. Силантьев)

Решения и критерии

---

**Задача 5**

Вам дана карта движения среди звезд кометы C/2021 A1 (Leonard) с 20 ноября 2021 года по 1 января 2022 года. Положение кометы отмечено кружками через каждые сутки.

- Отметьте на карте направление хвоста кометы 1 декабря, 12 декабря и 27 декабря (дорисуйте его к нужному кружку). Поясните сделанный выбор направлений.
- Обведите кружком и подпишите собственное имя яркой звезды, рядом с которой находилась комета 4-5 декабря.
- Комета пересекает несколько созвездий. Выберите среди них те, в которых бывает Солнце.
- В какое время суток лучше всего была видна эта комета в Москве в конце ноября? Поясните свой ответ.
- В какое время суток лучше всего было наблюдать эту комету в Мурманске в начале января? Поясните свой ответ.

**Решение**

Как известно, хвост кометы всегда направлен от Солнца. С конца ноября по начало января Солнце перемещается по созвездиям Скорпиона, Змееносца и Стрельца. Следовательно, хвосты комет должны быть направлены в стороны, противоположные этим созвездиям (см. рисунок).

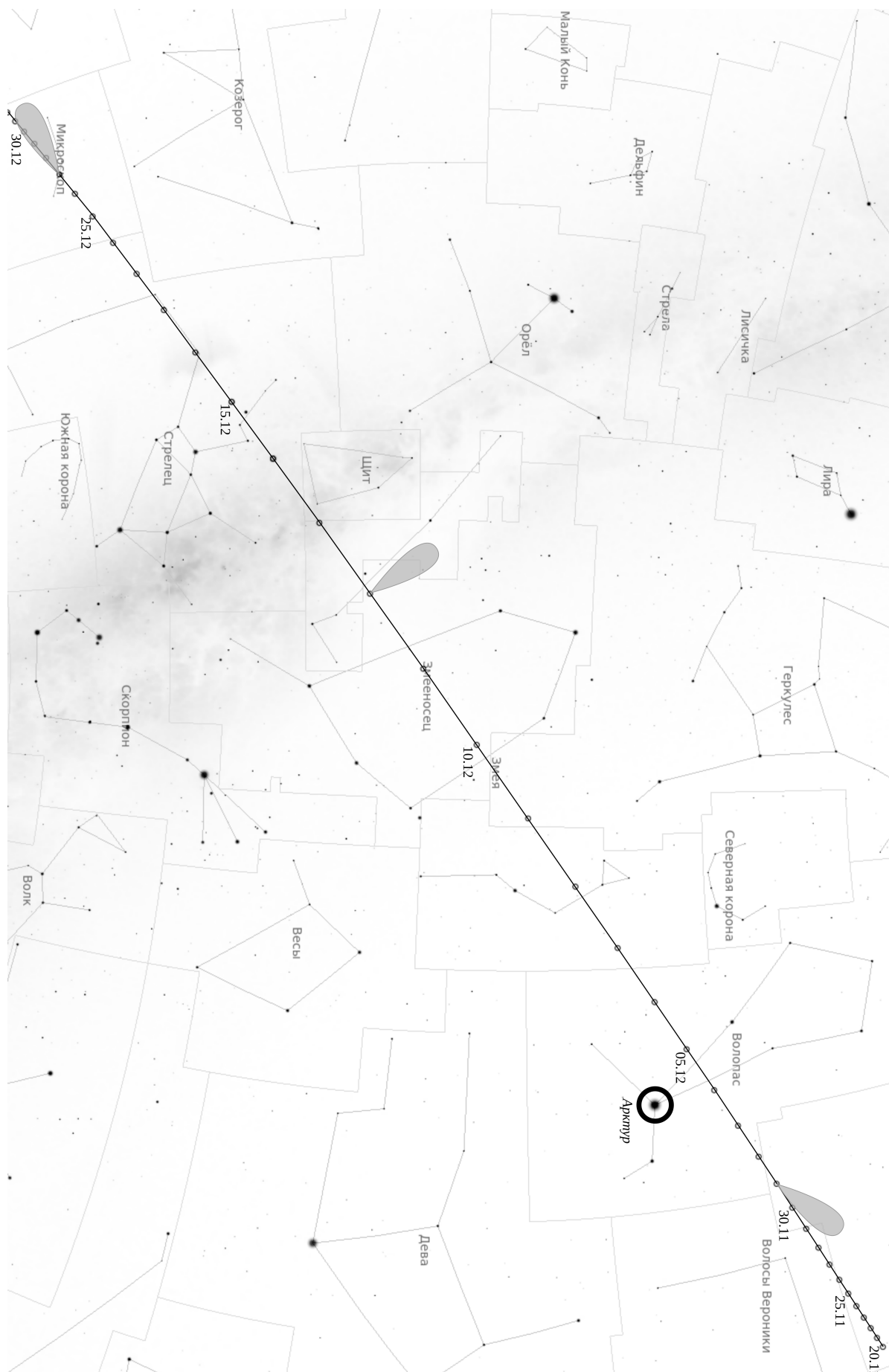
В начале декабря комета пересекает созвездие Возничего. Самая яркая звезда в нем ( $\alpha$  Возничего) называется Арктур.

Солнце бывает в 12 зодиакальных созвездиях, а также в созвездии Змееносца. Комета проходит через Змееносца, а также через зодиакальное созвездие Стрельца.

В ноябре комета находится западнее и севернее Солнца. Поэтому видно ее было только по утрам до восхода Солнца.

В январе комета оказалась в созвездиях Микроскоп и Южная Рыба. Оба этих созвездия в Мурманске не видны. Можно вспомнить, что в Мурманске в это время полярная ночь, т.е. не восходит даже Солнце, находящееся примерно в середине созвездия Стрельца. Следовательно, комету наблюдать в это время в Мурманске невозможно.

Решения и критерии





Решения и критерии

---

**Критерии проверки**

- Верное указание направления хвоста кометы по **1 баллу**
- Верное объяснение выбранного направления **1 балл**
- Верное указание звезды и ее названия по **1 баллу**
- За каждое верное созвездие **1 балл**  
За каждое неверное — вычитается **1 балл**. За этот пункт оценка не может быть меньше 0 баллов и влиять на оценку других частей задачи.
- Правильные ответы на последние два вопроса по **1 баллу**
- Объяснения ответов на последние два вопроса по **1 баллу**

Максимальная оценка за задачу **12 баллов**

*(Е. Н. Фадеев)*