

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 сгорят 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 посмотреть 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, в полдень в день весеннего равноденствия.

- Наблюдатель, оказавшийся в Висконсине, смог пронаблюдать только частное затмение. Какая сторона диска Солнца осталась для него незакрытой в момент максимальной фазы? Нарисуйте рисунок затмения, на котором кроме вида Солнца в затмении укажите направление на зенит.
- Где раньше наступила максимальная фаза этого затмения: в Питерсберге или в Москоу?

Решение

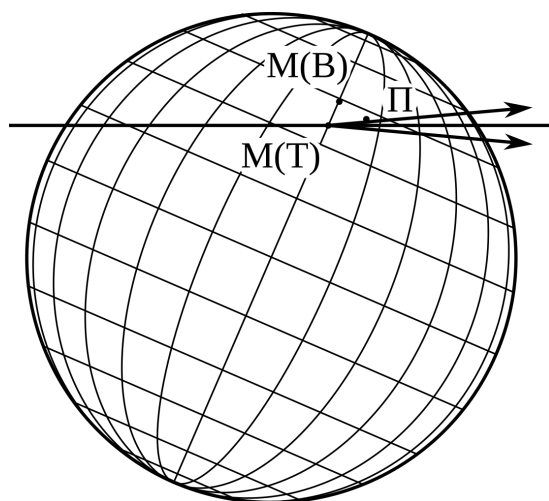
Заметим, что широты двух Москоу отличаются сильно, тогда как долготы практически совпадают. Ответ практически не изменится, если мы пренебрежём разницей долгот. Широты различаются на $7^{\circ}50'$. Выясним, сколько километров содержится в одном градусе широты (эту величину можно помнить). Радиус Земли R равен 6371 км. Тогда окружность Земли равна $2\pi R \approx 40000$ км. Это расстояние соответствует 360° . Тогда в одном градусе $40000/360 \approx 111$ км. Следовательно, искомое расстояние между городами равно $L = 7\frac{5}{6} \times 111 \approx 870$ км.

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

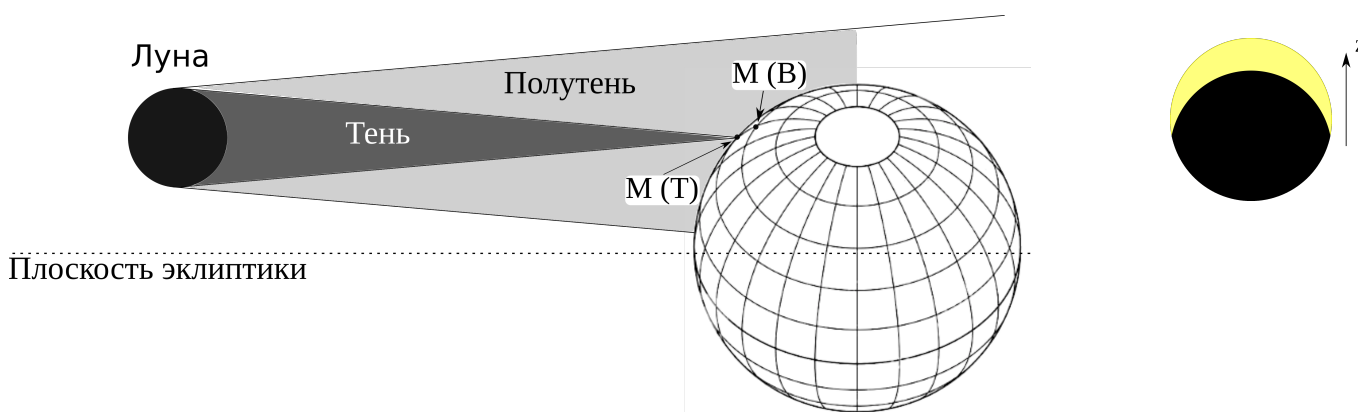
Полоса затмения — это путь луной тени по земной поверхности. В зависимости от того, как расположена земная ось относительно направления на Солнце, а также от того, по какой части Земли движется лунная тень, её движение по координатной сетке может быть достаточно замысловато. Однако при обстоятельствах, заданных в условии, это движение достаточно просто описать.

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 равноденствия, то Северный полюс Земли обращен максимально в сторону

Решения и критерии



противоположную движению Земли. Горизонтальной черной линией показан путь лунной тени, каким бы он был, если бы Луна двигалась параллельно плоскости эклиптики. Поскольку сама Луна движется среди звезд по небу с запада на восток, то и её тень движется по земле с запада на восток. На самом деле орбита Луны наклонена на 5.1° . Мы не знаем, в каком направлении Луна пересекает плоскость эклиптики, поэтому на рисунке показаны оба направления. С помощью рисунка сразу можно сделать вывод, что раз Питерсберг находится восточнее Москвы, то и затмение там наступит позже.



Наблюдатель, находящийся в лунной тени, видит полностью перекрытый Лунной диск Солнца. Если он сместится из центра тени, то из-за лунного выгянет солнечный диск, причем с той же стороны в которую сместится наблюдатель. Максимальная фаза затмение в Москоу, штат Висконсин, наступит незначительно позже, чем в Москоу, штат Теннесси. Поскольку Висконсин севернее Теннесси, Солнце и Луна там будут располагаться ниже над горизонтом в момент затмения, но также примерно над точкой юга (чуть западнее). Поскольку наблюдатель сместился к северу, то из-за Луны выгянул северный край солнечного диска, который обращен к зениту.

Решения и критерии

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

Шаровое звёздное скопление находится в 1 килопарсеке от нас и имеет видимую звёздную величину 5^m . Найдите его абсолютную звёздную величину. Считая, что скопление состоит из миллиона одинаковых звёзд, определите абсолютную звёздную величину одной звезды скопления.

Решение

Известно, что изменение освещённости в 100 раз приводит к изменению звёздной величины на 5. Абсолютная звёздная величина соответствует освещённости, которую создавал бы объект, находящийся на расстоянии 10 пк. Скопление располагается в 100 раз дальше. Освещённость обратно пропорциональна квадрату расстояния. Поэтому скопление создает освещённость в 100^2 раз меньшую, чем если бы оно находилось на расстоянии 10 пк. Поэтому абсолютная звёздная величина скопления на 10 величин меньше, т.е. -5^m .

Миллион — это 100^3 . Поэтому все вместе звёзды скопления светят на 15 величин ярче, чем одна. Значит абсолютная звездная величина одной звезды равна 10^m .

Критерии проверки

- | | |
|---|----------------|
| • Изменение освещенности в 100 раз \leftrightarrow изменение звездной величины на 5^m | 1 балл |
| • Зависимость освещенности от расстояния | 2 балла |
| • Абсолютная звездная величина на 10^m меньше видимой | 1 балл |
| • Соотношение блеска всего скопления и одной звезды | 2 балла |
| • Ответ | 2 балла |

Максимальная оценка за задачу **8 баллов**

(А. М. Татарников)

Решения и критерии

Задача 4

В каком году впервые мы будем встречать Старый Новый год 29 февраля? 1 марта? В каком году в последний раз Старый Новый год выпадет на 1 марта?

Решение

Сейчас Старый Новый год или 1 января по юлианскому календарю приходится на 14 января. Между действующим григорианским календарем и юлианским есть важное отличие. Каждый год, номер которого заканчивается на 00 (например, 1700, 2100, 3300 ...) и число столетий которого не делится на 4, в григорианском календаре не является високосным, тогда как в юлианском — является.

Разница в 1 день между началом года в двух календарях будет расти на 3 дня за 400 лет. Между 14 января и 28 февраля 45 дней. Такая разница накопится за 15 400-леток или за 6000 лет. Значит в $2021 + 6000 = 8021$ году Старый Новый год будет приходиться на 28 февраля.

Как и 2000-й, 8000 год високосный в обоих календарях, значит в 8100 году в последний раз Старый Новый год придется на 28 февраля, а 29 февраля в григорианском календаре не будет. Високосный день появится в юлианском календаре только спустя почти 2 месяца после начала года, т.е. разница между календарями увеличится на день. Тогда в следующем, 8101 году старый Новый год выпадет на следующий после 28 февраля день — 1 марта. Поскольку этот год не високосный, то 29 февраля в нем нет вообще.

Ближайшим високосным годом окажется 8104-й. Вот тогда-то и будет Старый Новый год 29 февраля.

Ответим теперь на последний вопрос. Очевидно, что до 8200 года раз в 4 года Старый Новый год будет попадать на 29 февраля, а 3 раза на 1 марта. После 8200 года разница в календарях вырастет еще на 1 день и ситуация всё столетие будет подобной: каждый високосный год старый Новый год будет попадать на 1 марта. Последним таким високосным годом будет 8296.

Можно добавить, что спустя довольно продолжительное время, когда юлианский календарь отстанет от григорианского на год и два месяца, снова наступит период, когда Старый Новый год начнет выпадать на 29 февраля и 1 первое марта. Потом отставание увеличится на 2 года и так далее. То есть, в строгом смысле, последнего раза не будет, если не начать рассуждать о конечности жизни Солнца или Вселенной в целом. В данной задаче такие рассуждения, очевидно, излишни.

Критерии проверки

- Правильное понимание устройства григорианского календаря **1 балл**
- Расчет столетия, в котором разница достигнет 60 дней **2 балл**

Решения и критерии

- Год, когда СНГ в первый раз выпадает на 1 марта **1 балл**
- Год, когда СНГ в первый раз выпадает на 29 февраля **2 балл**
- Год, когда СНГ в последний раз выпадает на 1 марта **2 балл**

Максимальная оценка за задачу **8 баллов**

(А. В. Ребриков, В. Б. Игнатъев)

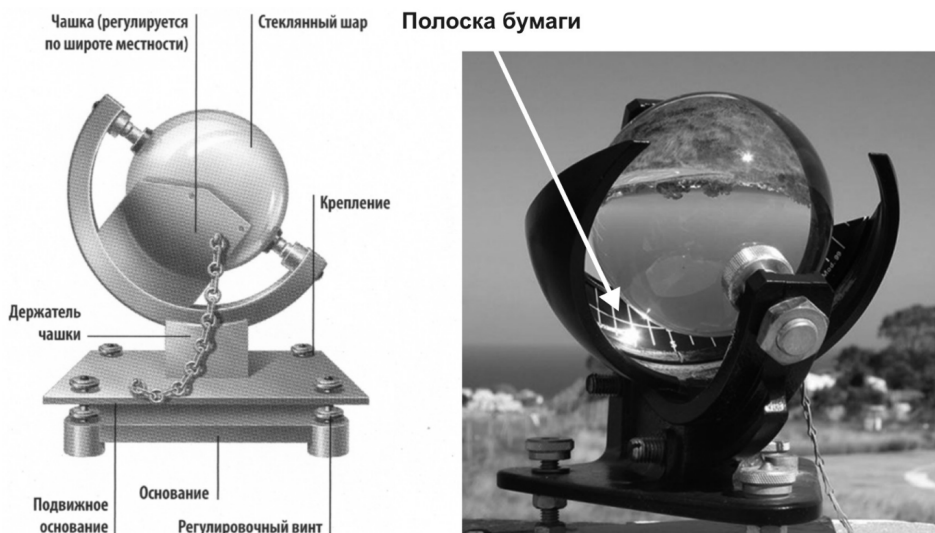
Решения и критерии

Задача 5

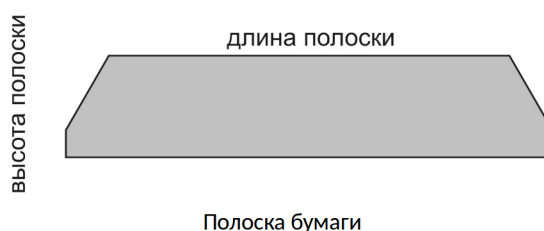
Гелиограф — один из метеорологических приборов. Он предназначен для регистрации количества времени в сутках, которое Солнце не закрыто облаками. Конструкция гелиографа приведена на рисунке и фотографии. На особой неподвижной монтировке, ось которой направлена на полюс Мира, закреплен стеклянный шар. На вогнутом экране (его называют «чашка») за шаром располагается тёмная полоска бумаги (её размеры в нашем конкретном случае всегда одинаковые). Солнечное излучение, пройдя через шар, попадает на эту полоску и прожигает её. По длине прожженной части определяется время, которое в этот день прямой солнечный свет доходил до прибора.

а) Зная, что расстояние от центра шара до экрана равно 200 мм и считая, что прибор устанавливается на местности на много лет, определите минимальную высоту полосок бумаги, которые надо заготовить для приборов, установленных на широте 55° и на широте 30° . Искривлением прожжённых суточных следов на бумаге пренебречь.

б) Как видно из схемы и фото прибора, «чашка» и полоска имеет форму, близкую к трапеции с зауженной верхней частью. Объясните, чем это может быть вызвано?



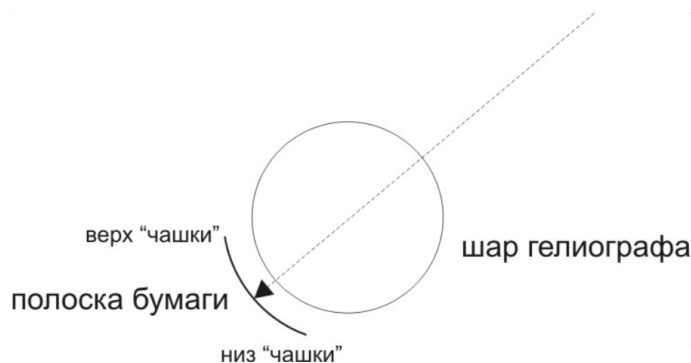
Примечание: конкретный вид прибора не играет роли при решении задачи.



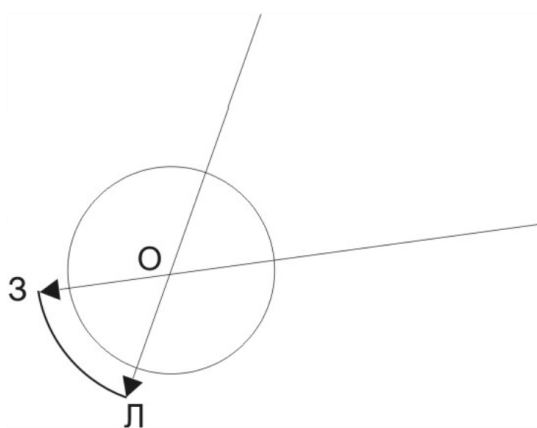
Решение

Решения и критерии

Чтобы понять, как на полоске бумаги появляется отметка о положении Солнца, нарисуем в проекции на небесный меридиан схему хода луча Солнца, находящегося в верхней кульминации.



Луч Солнца, идущий через центр шара, не изменит своего направления, а для остальных лучей шар будет работать аналогично положительной линзе, собирая свет в пятно на бумаге. В ходе суточного движения пятно будет перемещаться по полоске бумаги, прожигая линию той или иной степени прерывистости (в зависимости от наличия/отсутствия облаков). Чем выше Солнце находится на небе в полдень, тем ниже на полоске будет суточный след. Этим и определяется минимальная высота полоски бумаги, необходимая для того, чтобы на неё мог попасть суточный след в крайних положениях Солнца по высоте над горизонтом: в дни зимнего и летнего солнцестояний. Эти два положения на небе разделяет угол примерно в $23.5 \times 2 = 47^\circ$.



Крайние положения показаны на рисунке. Высоту h полоски ЗЛ можно найти разными способами, например, через соотношение длины окружности и длины дуги:

$$h = \frac{47^\circ}{360^\circ} 2\pi R = 164 \text{ мм.}$$

Как мы видим, высота полоски не зависит от широты места наблюдения (до

Решения и критерии

тех пор пока Солнце в полдень кульминирует над горизонтом, что выполняется и для широты 55° , и для широты 30°).

Длина части суточного пути Солнца, находящейся над горизонтом, зависит от сезона. Зимой она короче, летом длиннее. Поэтому полоску бумаги можно вырезать соответствующим образом. Экономии бумаги при этом не происходит, т.к. обрезки идут в мусор. Поэтому основная причина в другом — бесполезная часть полоски будет отбрасывать тень в летние дни, когда Солнце восходит (и заходит) в точках горизонта, находящихся севернее точек запада и востока.

Критерии проверки

- Рассмотрение влияния сезонного изменения высоты Солнца **2 балла**
- Вычисление высоты полоски с верным ответом **3 балла**
(с ответом в 2 раза меньшим — **1 балл**)
- Ответ, что высота полоски не зависит от широты **1 балл**
- Полное верное (через длину суточного пути и экранирование) объяснение почему полоску (чашку) обрезают **2 балла**
(если без длины суточного пути или без экранирования — **1 балл**)

Максимальная оценка за задачу **8 баллов**

(А. М. Татарников)

Решения и критерии

Задача 6

На изображении показан коллаж из фотографий Солнца в день солнечного затмения, которое произошло 4 декабря. Полная фаза затмения показана на нижнем изображении Солнца. Как вы думаете, где сделана фотография этого затмения? Почему вы так решили? По или против часовой стрелки двигалось Солнце на снимке во время создания этого снимка? Определите местное время полной фазы затмения и широту точки наблюдения.



Решение

Мы видим, что в течение суток Солнце постоянно находится над горизонтом. Поскольку наблюдение проводится в декабре, полярный день может быть только в Антарктиде. В южном полушарии суточное вращение небесной сферы вокруг полюса мира происходит по часовой стрелке. Именно в этом направлении будет двигаться Солнце.

Местное время отсчитывается от нижней кульминации Солнца. Поэтому нам необходимо определить, какое изображение Солнца находится ближе всего

Решения и критерии

к горизонту. Для того, чтобы сделать измерения максимально аккуратно, найдем положение южного полюса мира. Это можно сделать, проведя несколько хорд через изображения солнц и восстановив срединный перпендикуляр к ним. Подобным образом можно найти положение зенита. С помощью циркуля проведем линию горизонта, после чего измерим расстояние от изображений солнц до горизонта так, чтобы линия, вдоль которой проходит измерение, проходила через полюс мира. Мы получим, что ближе всего к горизонту четвертое изображение солнца справа от затмения. Получаем, что местное время равно 4 часа.



Можно обратить внимание, что интервалы между фотографиями не строго равны 1 часу. Можно с помощью транспортира определить, что угол между изображениями Солнца составляет 51° , т.е. время равно 3 часа 45 минут, но, принимая во внимание не слишком точное определение полуночи, это уточнение нам не слишком много даёт.

За 17 дней до зимнего солнцестояния модуль склонения Солнца чуть меньше, чем $23^\circ 26'$ и практически не меняется день ото дня. Можно оценить его величину в $22^\circ - 23^\circ$. Тогда диаметр суточной параллели Солнца составляет $134^\circ - 136^\circ$. Измеряя высоту полюса мира, получаем значение $77^\circ - 79^\circ$ ю.ш.

Критерии проверки

- Ответ Антарктида

2 балла

Решения и критерии

- (без обоснования — **1 балл**)
- Направление движения Солнца **2 балла**
(Засчитывается только при правильном указании места точки съемки)
 - Определение местного времени **4 балла**
(При ошибочном направлении движения Солнца **2 балла**)
 - Определение широты **4 балла**

Максимальная оценка за задачу **12 баллов**

(М. В. Силантьев, Е. Н. Фадеев)