

XXIV ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ

МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП

ЗАДАНИЯ И РЕШЕНИЯ

7-8 класс

Задача 1

Два самолета вылетают из одной точки, расположенной на земном экваторе, и двигаются на одинаковых высотах и с одинаковыми скоростями: первый – по географическому меридиану, второй – по экватору Земли. Какой из этих самолетов первым вернется в исходную точку, облетев нашу планету?

Решение

Наша планета сплюснута у полюсов. Поэтому географический меридиан можно рассматривать как эллипс, большая полуось которого является радиусом окружности экватора Земли. Таким образом, длина меридиана меньше длины экватора и первый самолет вернется раньше.

Задача 2

Совпадают ли продолжительности полярного дня для наблюдателей, находящихся на Северном и Южном полюсах Земли?

Решение

Из-за эллиптичности орбиты Земли ее скорость движения изменяется. Быстрее Земля движется вблизи перигелия, который она проходит в начале января. В это время на Южном полюсе стоит полярный день. Поэтому полярный день для наблюдателя, находящегося на Южном полюсе, оказывается короче, чем для наблюдателя на Северном полюсе. На Северном полюсе день длится от весеннего равноденствия (21 марта) до осеннего равноденствия (23 сентября) – 186 суток. Продолжительность полярного дня на Южном полюсе – от 23 сентября до 21 марта составляет 179 суток.

Задача 3

Оцените, на сколько различаются продолжительности дня и ночи для наблюдателя, находящегося на экваторе Земли.

Решение

Для экваториального наблюдателя в любое время года половина суточной параллели Солнца располагается в видимом полушарии, а половина – в невидимом. Однако продолжительность дня считается от восхода над математическим горизонтом верхнего края диска Солнца до захода этого края за горизонт. Принимая угловой диаметр диска Солнца равным $0.^\circ5$ и учитывая, что небесная сфера поворачивается на 1° за 4^m получим за счет этого увеличение продолжительности дня на 2^m . Кроме того, рефракция света в земной атмосфере на восходе и заходе Солнца приподнимает его изображение над горизонтом приблизительно на $0.^\circ5$, что в сумме дает еще 4^m . Таким образом, день оказывается длиннее ночи примерно на 6^m .

Задача 4

В каком месте расположения наблюдателя на поверхности Земли эклиптика может совпасть с математическим горизонтом и когда это можно увидеть?

Решение

Для наблюдателя на северном полярном круге, в момент восхода точки весеннего равноденствия (ее часовой угол, совпадающий со звездным временем, равен 18^h). Для наблюдателя на южном полярном круге, в момент захода точки весеннего равноденствия (звездное время равно 6^h).

Задача 5

Сколько дней будет в феврале 2100 года?

Решение

Номер года содержит целое число столетий, не делящееся на четыре без остатка. Поэтому по действующему григорианскому календарю год не будет високосным и в феврале будет 28 дней.

Задача 6

Можно ли с помощью пушки запустить искусственный спутник Земли? Считайте, что мощность орудия не ограничена, а сопротивление воздуха отсутствует.

Решение

Искусственный спутник Земли движется по замкнутой орбите и обязательно возвращается в исходную точку. Поэтому, если ствол пушки направлен гори-

зонтально, снаряд, имеющий первую космическую скорость, попадет в казенную часть орудия. При других ориентациях пушки снаряд с данной скоростью ударится о поверхность Земли. Таким образом, с помощью пушки запустить искусственный спутник Земли невозможно.

9 класс

Задача 1

Корабль вышел из Владивостока в полдень 5 октября и прибыл в Сан-Франциско в полдень 15 октября. Сколько суток корабль находился в плавании?

Решение

Разность календарных дат равна 10 суткам. Однако, двигаясь из Владивостока в Сан-Франциско, корабль пересекал линию перемены дат. При движении с запада на восток одна дата в судовом журнале должна была повториться дважды. Таким образом, корабль находился в плавании 11 суток.

Задача 2

Путешественник ночью заглянул в глубокий колодец и увидел на поверхности воды отражение звезды Капеллы ($\alpha = 5^{\text{h}} 13^{\text{m}}$; $\delta = 45^{\circ} 57'$). Хронометр путешественника, идущий по гринвичскому звездному времени, показал в этот момент $2^{\text{h}} 05^{\text{m}}$. Каковы географические координаты путешественника?

Решение

В глубоком колодце отражаются только звезды, наблюдаемые вблизи зенита. Поэтому можно считать, что путешественник наблюдал верхнюю кульминацию Капеллы вблизи зенита. Склонение зенита δ равно широте места φ . Поэтому широта путешественника $\varphi = 45^{\circ} 57'$. Местное звездное время S связано с гринвичским S_0 соотношением: $S = S_0 + \lambda$, где λ - долгота. В момент верхней кульминации звезды $S = \alpha$. Географическая долгота путешественника $\lambda = \alpha - S_0 = 3^{\text{h}} 08^{\text{m}} = 47^{\circ}$.

Задача 3

При каких астрономических условиях можно наблюдать максимальную высоту океанского прилива?

Решение

Уровень воды в океане зависит от лунно-солнечного прилива. Максимальный уровень будет наблюдаться, когда Солнце, Земля и Луна находятся на одной прямой (сизигия), что бывает в новолуние или полнолуние. Кроме того, расстояния между телами должны быть минимальными, то есть Луна должна находиться в перигее орбиты, а Земля – в перигелии.

Задача 4

При каких условиях на планете не будет происходить смены дня и ночи?

Решение

Суточное вращение и орбитальное обращение планеты должны происходить с одинаковым периодом и в одном направлении.

Задача 5

В фантастических произведениях часто обыгрывается ужасная сцена падения космического корабля на Солнце. Оцените возможность такого события при современном уровне развития космонавтики.

Решение

В поле притяжения Солнца в соответствии с законами Кеплера все тела, скорость которых меньше скорости убегания, движутся по замкнутым орбитам. Поэтому падение на Солнце возможно только в том случае, если тангенциальная (касательная) составляющая скорости тела станет равна нулю.

Земля движется по орбите вокруг Солнца со средней скоростью около 30 км/с. Поэтому для падения на Солнце стартовавший с Земли корабль должен компенсировать эту скорость, т.е. его двигатель должен быть способен разогнать корабль до 30 км/с. Современный уровень развития ракетной техники не позволяет достичь подобных скоростей.

Задача 6

Лучший из телескопов, изготовленных Галилеем, имел диаметр объектива около 6 см. Оцените, насколько более слабые по блеску звезды мог наблюдать ученый в этот телескоп по сравнению с наблюдениями невооруженным глазом? С каким увеличением он при этом должен был проводить наблюдения?

Решение

Телескоп позволяет видеть более слабые звезды, поскольку собирает свет с отверстия большего диаметра (объектива), чем невооруженный глаз, соответ-

венно, увеличивается световой поток от данной звезды, попадающий в зрачок наблюдателя. Это усиление потока – проникающая способность оптического прибора – пропорционально площади апертуры или квадрату диаметра объектива. Максимальный диаметр зрачка глаза составляет 0.6 см, что в 10 раз меньше диаметра объектива. Поэтому телескоп позволял наблюдать в 100 раз (или на 5 звездных величин) более слабые по блеску звезды по сравнению с наблюдениями невооруженным глазом. Увеличение при этом должно быть равно или больше равнозрачкового увеличения, при котором размер выходного зрачка совпадает с размером зрачка глаза наблюдателя. В этом случае увеличение равно отношению диаметров объектива телескопа и зрачка глаза, в данном случае оно равно 10.

10 класс

Задача 1

Известно, что Луна светит отраженным светом Солнца, причем свет распространяется в космическом пространстве по кратчайшему расстоянию. Однако при наблюдении молодой Луны в момент захода Солнца хорошо заметно, что перпендикуляр к линии, соединяющей рожки лунного серпа, не проходит через Солнце. Почему?

Решение

Мы наблюдаем Солнце и Луну в проекции на поверхность небесной сферы. Луч света от Солнца по-прежнему распространяется прямолинейно и по кратчайшему расстоянию. Однако на сфере таким кратчайшим расстоянием является дуга большого круга.

Задача 2

Незаходящая звезда имеет высоту в верхней кульминации 50° , а в нижней кульминации 20° . Какие значения могут иметь склонение этой звезды и широта местности?

Решение

Условие задачи допускает два варианта решения. В первом случае верхняя кульминация происходит к югу от зенита. Тогда высота в верхней кульминации $h_{\text{вк}}$ связана с широтой φ и склонением звезды δ уравнением: $h_{\text{вк}} = 90^\circ - \varphi + \delta$. Для высоты в нижней кульминации $h_{\text{нк}}$ имеем уравнение: $h_{\text{нк}} = \delta - 90^\circ + \varphi$. Рассматривая эти выражения как систему из двух уравнений с двумя неизвестными получим решение $\delta = 35^\circ$, $\varphi = 75^\circ$.

Во втором случае звезда имеет верхнюю кульминацию к северу от зенита. Тогда для нее будем иметь уравнение: $h_{\text{вк}} = \varphi + 90^\circ - \delta$. Уравнение для нижней кульминации остается неизменным. Снова, рассматривая эти выражения как систему из двух уравнений с двумя неизвестными, получим решение $\delta = 75^\circ$, $\varphi = 35^\circ$.

Задача 3

Планета движется вокруг Солнца по эллиптической орбите с эксцентриситетом e . Оцените для этой планеты отношение потоков солнечной радиации в перигелии и афелии.

Решение

По определению эксцентриситет эллипса e равен отношению расстояния между его фокусами c к длине большой оси $2a$: $e = c/2a$. Согласно первому закону Кеплера Солнце находится в фокусе эллипса орбиты планеты. Тогда расстояние планеты от Солнца в перигелии $r_{\text{п}} = a - c/2$, а в афелии $r_{\text{а}} = a + c/2$. Подставляя в эти выражения значения c из определения эксцентриситета, получим $r_{\text{п}} = a(1 - e)$ и $r_{\text{а}} = a(1 + e)$. Считая, что потоки радиации обратно пропорциональны квадратам расстояния, получим искомое отношение в виде: $[(1 + e)/(1 - e)]^2$.

Задача 4

Двойная звезда, состоящая из звезд 3 и 4 звездных величин, находится так далеко от наблюдателя, что не разрешается невооруженным глазом. Какую звездную величину будет иметь эта звезда?

Решение

Известно, что отношение блеска I_n к I_m звезд, имеющих звездные величины n и m , описывается формулой Погсона

$$\frac{I_n}{I_m} = 2.512^{m-n} \quad \text{или в логарифмическом виде} \quad \lg \frac{I_n}{I_m} = 0.4(m - n)$$

Если принять блеск первой звезды за единицу, то блеск второй составит $1/2.512 = 0.398$. У двойной звезды блески компонент складываются и суммарный блеск становится равным 1.398. Сравнивая отношение этого блеска к блеску первой звезды по формуле Погсона получим разность их звездных величин, равную $-2.5 \lg(1.398) = -2.5 \times 0.1455 = -0.364$. Таким образом, звездная величина двойной звезды равна $3 - 0.364 = 2.636$.

Задача 5

Два астронома наблюдают звезды в телескопы-рефракторы, используя 10-кратное увеличение. Диаметр объектива телескопа первого астронома равен 6 см, а второго – 60 см. Кто из них может наблюдать более слабые по блеску звезды?

Решение

Для первого астронома увеличение является равнозрачковым (т.к. диаметр объектива телескопа как раз в 10 раз больше диаметра зрачка 0,6 см) и весь собранный световой поток попадает в зрачок глаза наблюдателя. У второго астронома увеличение в 10 раз меньше равнозрачкового, поэтому собранный световой поток распределяется по кругу диаметром 6 см, и в зрачок попадает только 1% от нее, то есть эффективно используется только 0.1 диаметра объектива телескопа. Поэтому оба астронома увидят одинаково слабые по блеску звезды.

Задача 6

Наиболее заметными фраунгоферовыми линиями в спектре Солнца являются линии H и K, принадлежащие ионизованному кальцию. Можно ли утверждать, что кальций – наиболее распространенный химический элемент на Солнце?

Решение

Нет. Интенсивность спектральных линий существенно зависит от температуры. В случае солнечной хромосферы температура благоприятна для формирования линий поглощения H и K.

11 класс

Задача 1

Около 1100 года до нашей эры китайские астрономы нашли, что в день летнего солнцестояния высота Солнца в полдень равнялась $79^{\circ} 07'$, а в день зимнего солнцестояния равнялась $31^{\circ} 19'$. В обоих случаях Солнце наблюдалось к югу от зенита. Какова географическая широта китайской обсерватории? Каково тогда было наклонение эклиптики к экватору и почему происходит изменение этого угла?

Решение

Истинный солнечный полдень соответствует верхней кульминации Солнца, происходящей по условию задачи к югу от зенита. Пусть наклон эклиптики к экватору равен ε . Тогда полуденная высота Солнца в летнее солнцестояние

$h_{\text{д}} = 90^\circ - \varphi + \varepsilon$, где φ - широта местности. Полуденная высота Солнца в зимнее солнцестояние $h_3 = 90^\circ - \varphi - \varepsilon$. Рассматривая эти выражения как систему из двух уравнений с двумя неизвестными, получим решение: $\varphi = 34^\circ 47'$ и $\varepsilon = 23^\circ 54'$. Современное значение угла $\varepsilon = 23^\circ 27'$. Его медленное изменение вызвано прецессией от планет – изменением положения плоскости земной орбиты в пространстве, вызванным возмущением ее движения слабым притяжением других тел Солнечной системы.

Задача 2

Получите формулу, связывающую показания часов на здании городской думы с показанием расположенных перед этим зданием солнечных часов.

Решение

Часы на здании городской думы идут по среднему солнечному поясному времени $T_{\text{п}}$, а солнечные часы – по истинному солнечному времени T_{\odot} . Среднее солнечное время $T_{\text{м}}$ связано с T_{\odot} выражением: $T_{\text{м}} = T_{\odot} + \eta$, где η – уравнение времени. Местное среднее время связано с всемирным временем T_0 как $T_{\text{м}} = T_0 + \lambda$, где λ – долгота пункта, выраженная в часовой мере угла. Поясное время связано с всемирным соотношением $T_{\text{п}} = T_0 + n$, где n – номер часового пояса, по времени которого живет данный город. Исключая из этих соотношений $T_{\text{м}}$ и T_0 получим искомую формулу: $T_{\text{п}} = T_{\odot} + \eta - \lambda + n$.

Задача 3

В качестве аргумента против гелиоцентрической модели мира Аристотель выдвигал отсутствие годичных параллактических смещений звезд. Оцените расстояние до звезды, у которой он смог бы заметить это смещение. Какую видимую звездную величину имело бы Солнце на этом расстоянии?

Решение

Аристотель мог проводить наблюдения только невооруженным глазом. Поэтому минимальный годичный параллакс, который он был способен измерить, можно принять совпадающим с угловой разрешающей способностью глаза, равной $100''$. В этом случае расстояние d составляет 0.01 парсека. Известна формула, связывающая абсолютную звездную величину M , видимую звездную величину m и расстояние d (измеренное в парсеках): $M = m + 5 - 5 \lg d$. Принимая для Солнца $M = 5^{\text{м}}$, получим из этой формулы значение $m = 0.28^{\text{м}} + 5 \lg d = -10^{\text{м}}$.

Задача 4

Оцените максимальную скорость, с которой метеорное тело, принадлежащее Солнечной системе, может войти в атмосферу Земли.

Решение

На расстоянии в 1 а.е. от Солнца круговая скорость равна $V_c = 29.8$ км/с. Тело, принадлежащее Солнечной системе, на этом расстоянии не может иметь скорость, превышающую параболическую $V_n = \sqrt{2}V_c = 42.1$ км/с. Считая, что Земля движется с круговой скоростью, получим максимальную скорость столкновения $V_s = V_c + V_n = 71.9$ км/с. Однако при приближении к Земле уменьшается потенциальная энергия взаимодействия метеорного тела и Земли, что приводит к увеличению кинетической энергии метеорного тела и, соответственно, его скорости. Это изменение энергии соответствует второй космической скорости $V_2 = 11.2$ км/с. Тогда максимальная скорость, с которой метеорное тело, принадлежащее Солнечной системе, может войти в атмосферу Земли V_{\max} может быть найдена из соотношения $V_{\max}^2 = V_s^2 + V_2^2$ и равна 72.8 км/с.

Задача 5

Величина солнечной постоянной составляет 1360 Вт/м². Оцените светимость и эффективную температуру Солнца.

Солнечной постоянной называется поток излучения Солнца на среднем расстоянии от Земли до Солнца за пределами атмосферы.

Решение

Из справочных данных известно, что среднее расстояние Земли от Солнца $a = 1$ а.е. $= 1.5 \times 10^8$ км, а его радиус $R = 7 \times 10^5$ км. Тогда светимость Солнца равна $L = 4\pi a^2 S$, где S – значение солнечной постоянной. Считая, что Солнце излучает энергию подобно абсолютно черному телу с эффективной температурой T_{eff} получим $L = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{eff}}^4$, где $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ Вт·м⁻²·К⁻⁴ – постоянная Стефана – Больцмана. С использованием этих формул получаем $L = 3,8 \cdot 10^{26}$ Вт и $T_{\text{eff}} = 5800$ К.

Задача 6

Каким образом, наблюдая диск Солнца, можно доказать, что значительная доля энергии в его внешних слоях переносится излучением?

Решение

Известно явление потемнения диска Солнца к краю. Отсутствие переноса энергии излучением эквивалентно предположению, что коэффициент поглощения излучения солнечным веществом бесконечно велик. В этом случае энергия может излучаться только с поверхности. При заданной поверхностной яркости поток излучения с малой площадки S пропорционален площади ее проекции на плоскость, перпендикулярную лучу зрения. Если площадка S находится на краю видимого диска Солнца, то площадь проекции равна нулю и потемнение диска к краю должно было быть полным. В действительности потемнение к краю диска Солнца не полное, что свидетельствует о наличии переноса энергии излучением. Потемнение к краю зависит от длины волны и, исследуя его, можно изучить изменение с длиной волны свойств излучения и поглощения солнечного вещества.

Комплект заданий подготовлен М.Б. Богдановым

Рекомендации по оцениванию заданий

Максимальная оценка за выполнение каждого задания составляет 8 баллов. Не менее 4-5 баллов выставляется за правильное понимание участником сути вопроса и правильный выбор пути решения. Оставшиеся баллы выставляются за правильность расчетов, аккуратную и полную подачу ответа.