

XXVI ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ 2018 ГОДА

ГОРОДСКОЙ ЭТАП

ЗАДАНИЯ И РЕШЕНИЯ

Задачи для школьников 7-8-х классов

Задача 1

Определите, как соотносятся между собой: а) ось вращения Земли и ось мира; б) плоскость земного экватора и плоскость небесного экватора; в) плоскость географического меридиана наблюдателя и плоскость небесного меридиана;

Решение

- а) ось вращения Земли параллельна оси мира;
- б) плоскость земного экватора параллельна плоскости небесного экватора;
- в) плоскость географического меридиана наблюдателя совпадает с плоскостью небесного меридиана;

Система оценивания: за верный ответ на каждый из п. а) и б) – 2 балла, за п. в) – 4 балла;

Задача 2

В каком из полушарий нашей планеты зима должна быть более холодной под влиянием только астрономических факторов?

Решение

Ближайшую к Солнцу точку орбиты – перигелий, наша планета проходит в начале января. Поэтому в Северном полушарии зима более мягкая, а в Южном, когда Земля находится ближе к афелию, – более холодная.

Задача 3

Сколько суток содержал 1582 год в городе Риме?

Решение

Год 1582 был простым и должен был содержать 365 суток. Но в этом году по инициативе римского папы Григория XIII была проведена календарная реформа, в ходе которой после 4 октября было предписано считать не 5, а 15 октября. Таким образом, в Риме год был на 10 суток короче и содержал 355 суток.

Задача 4

Среди нескольких тысяч метеоритов, найденных на поверхности антарктических ледников, обнаружены образцы, несомненно, прилетевшие с Луны и Марса. Однако до

сих пор не было найдено метеоритов с ближайшей к нам планеты – Венеры. Как можно объяснить эту особенность?

Решение

Метеориты с Луны и Марса в свою очередь возникли под влиянием метеоритной бомбардировки поверхностей этих небесных тел. Для того, чтобы покинуть свои небесные тела и впоследствии упасть на Землю эти обломки должны были приобрести начальные скорости, превышающие вторую космическую, зависящую от массы планеты. Массы Луны и Марса достаточно малы, что определяет сравнительно небольшие значения соответствующих скоростей. Кроме того Луна не имеет атмосферы, а атмосфера Марса довольно разрежена и мало препятствует движению обломков. Венера имеет большую массу и окружена очень плотной атмосферой. Поэтому вероятность попадания ее обломков на Землю достаточно мала.

Система оценивания: за указание на значение второй космической скорости – 6 баллов, за учет влияния атмосферы – 2 балла;

Задачи для школьников 9-х классов

Задача 1

Будет ли звезда, имеющая склонение $\delta = 55^\circ$, незаходящей в пункте с географической широтой $\varphi = 45^\circ$?

Решение

Незаходящая звезда должна иметь неотрицательную высоту $h_{нк}$ в нижней кульминации. Построив проекцию небесной сферы на плоскость небесного меридиана можно получить соотношение: $h_{нк} = \delta - 90^\circ + \varphi$. Для данных, приведенных в условии задачи, $h_{нк} = 10^\circ$ и звезда является незаходящей.

Система оценивания: за простое определение звезды как незаходящей – 4 балла. За расчет высоты в нижней кульминации дополнительно 4 балла.

Задача 2

Наблюдатель прикрепил цифровой фотоаппарат к телескопу, имеющему альт-азимутальную монтировку. После этого он навел телескоп на некоторую звезду и сделал длительную экспозицию, удерживая звезду в центре поля зрения и компенсируя суточное вращение небесной сферы движениями телескопа по высоте и азимуту. Как будут выглядеть другие звезды на полученном изображении участка неба?

Решение

Попытка получить изображение участка неба фотоаппаратом на альт-азимутальной монтировке приводит к вращению поля зрения. При этом звезда, находящаяся в центре поля зрения телескопа, будет иметь точечное изображение. Изображения других звезд будут иметь вид дуг концентрических окружностей, радиусы которых возрастают при удалении от центральной звезды. Аналогичное изображение получается неподвижным фотоаппаратом, наведенным на северный полюс мира. В этом случае вблизи центра кадра будет располагаться Полярная звезда.

Система оценивания: за указание на вращение поля зрения – 6 баллов. За указание на то, что изображения других звезд будут иметь вид дуг концентрических окружностей, радиусы которых возрастают при удалении от центральной звезды, дополнительно 2 балла.

Задача 3

В мемуарах одного театрального режиссера написано, что его Новый революционный театр был создан декретом Совета народных комиссаров от 10 февраля 1918 года. Можно ли подвергнуть сомнению это утверждение?

Решение

В 1918 году постановлением Совнаркома в России был введен григорианский календарь. При этом после 1 февраля предписывалось считать дату 14 февраля. Поэтому дата 10 февраля этого года для Совнаркома не существовала и он не мог в этот день выносить каких-либо решений. Очевидно, что дата создания театра указана неверно.

Задача 4

Ученик неподвижно сидит за столом. В каких движениях он участвует в действительности совершенно незаметно для себя?

Решение

- 1) Вертикальные движения, связанные с приливной деформацией твердого тела Земли;
- 2) Вращение Земли вокруг собственной оси;
- 3) Движение системы Земля-Луна вокруг общего центра масс;
- 4) Годичное движение Земли вокруг Солнца;
- 5) Движение полюса нашей планеты;
- 6) Движение, связанное с нутацией оси вращения Земли;
- 7) Движение, связанное с прецессией оси вращения Земли;
- 8) Движение Солнечной системы в Галактике;
- 9) Движение Галактики относительно Местной группы галактик;
- 10) Движение Местной группы галактик относительно реликтового излучения;

Задача 5

При каких астрономических условиях можно наблюдать максимальную высоту океанского прилива?

Решение

Уровень воды в океане зависит от лунно-солнечного прилива. Поэтому фаза Луны должна соответствовать сизигии (новолуние или полнолуние). Кроме того, Луна должна находиться в перигее орбиты, а Земля – в перигелии.

Система оценивания: за верное определение фаз Луны – 4 балла, за перигей Луны – 2 балла, за перигелий Земли – 2 балла.

Задача 6

Известно, что невооруженным глазом видны звезды шестой звездной величины. Лучший из телескопов, изготовленных Галилеем, имел диаметр объектива около 6 см. Оцените предельную звездную величину объектов, которые мог наблюдать ученый в этот телескоп. С каким увеличением он при этом должен был проводить наблюдения?

Решение

Проницающая способность телескопа пропорциональна площади апертуры или квадрату диаметра. Принимая диаметр зрачка глаза равным 0.6 см получим, что телескоп позволял наблюдать в 100 раз (или на 5 звездных величин) более слабые по блеску звезды по сравнению с наблюдениями невооруженным глазом. Предельная звездная величина объектов, которые мог наблюдать ученый в этот телескоп, равна 11. Увеличение при этом должно быть равно или больше равнозрачкового увеличения, оцениваемого как отношение диаметров объектива телескопа и зрачка глаза равное 10.

Задачи для школьников 10-х классов

Задача 1

Некто уверял, что живя в городе Саратове (широта $\varphi = 51^\circ 32'$) он наблюдал днем звезду Капеллу (клонение $\delta = 45^\circ 57'$) со дна очень глубокого колодца. Стоит ли верить такому утверждению? Каковы перспективы дневных наблюдений звезд со дна глубокого колодца?

Решение

Со дна очень глубокого колодца видна только небольшая область неба с центром в зените. Света от этой области неба приходит очень мало и на дне колодца становится достаточно темно. По-видимому, на этой темноте основывается поверье о возможности дневных наблюдений звезд.

Известно, что верхняя кульминация звезды в зените возможна в случае, когда $\delta = \varphi$. По условию задачи склонение звезды меньше широты местности. В этом случае звезда должна иметь верхнюю кульминацию к югу от зенита и зенитное расстояние $z = \varphi - \delta = 5^\circ 35'$. Этот угол достаточно велик и не соответствует очень большой глубине колодца. Таким образом, утверждение данного «очевидца» не заслуживает доверия.

Звезды не видны днем в ясную погоду из-за высокой яркости фона неба. Очевидно, что эта яркость не изменится при погружении наблюдателя в колодец. Поэтому правильным является следующее утверждение: если мы не могли наблюдать в дневное время звезду с поверхности Земли, мы не увидим ее и со дна колодца.

Задача 2

Штурман корабля 22 июня измерил секстантом полуденную высоту Солнца, наблюдавшегося к югу от зенита, которая оказалась равной $61^\circ 22'$. Хронометр, идущий по всемирному времени, показал в этот момент $14^h 18^m$. По морскому астрономическому ежегоднику уравнение времени было 2^m . Каковы географические координаты корабля?

Решение

Истинный солнечный полдень соответствует верхней кульминации Солнца. В этот момент истинное солнечное время $T_{\odot} = 12^{\text{h}} 00^{\text{m}}$. Дата 22 июня соответствует дню летнего солнцестояния, когда склонение Солнца δ_{\odot} равно углу наклона плоскости эклиптики к плоскости небесного экватора $\delta_{\odot} = 23^{\circ} 27'$. Штурманом измерена высота в верхнюю кульминацию $h_{\text{вк}}$, которая для случая кульминации к югу от зенита связана с широтой места φ и склонением δ_{\odot} соотношением: $h_{\text{вк}} = 90^{\circ} - \varphi + \delta_{\odot}$. Отсюда $\varphi = 90^{\circ} - h_{\text{вк}} + \delta_{\odot}$ и подстановка данных дает географическую широту корабля $\varphi = 52^{\circ} 05'$. Всемирное время T_0 это среднее солнечное время гринвичского меридиана. Поэтому находим местное среднее солнечное время $T_m = T_0 + \eta$, где η — уравнение времени. Связь местного времени с долготой λ имеет вид $T_m = T_0 + \lambda$. Из этих соотношений находим долготу корабля $\lambda = T_0 + \eta - T_0$ или $\lambda = -2^{\text{h}} 16^{\text{m}}$. Переведя долготу в градусную меру с учетом знака, получим окончательный ответ: широта корабля $\varphi = 52^{\circ} 05'$ северная, долгота $\lambda = 34^{\circ} 00'$ западная.

Задача 3

Корабль вышел из Владивостока в полдень 7 мая и прибыл в Сан-Франциско в полдень 17 мая. 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 4

Александр Сергеевич Пушкин родился в Москве. На календарях жителей Москвы в этот день была дата 26 мая 1799 года. В какую дату мы отметили его день рождения в этом году?

Решение

В день рождения А.С.Пушкина Россия и Москва жили по юлианскому календарю, а в 2018 году мы живем по григорианскому календарю, по которому не считаются високосными года содержащие целое число столетий не делящееся на четыре без остатка. По юлианскому календарю все года содержащие целое число столетий считаются високосными. Поэтому каждый такой год разница дат календарей будет изменяться на единицу. В XXI и XX веках разница дат календарей равна 13. В XIX веке – 12, а в конце XVIII века, когда родился А.С.Пушкин, эта разница равнялась 11. Поэтому мы отмечали его день рождения 6 июня.

Система оценивания: за оценку разности дат, равной 11 – 6 баллов. За точный перевод даты в новый стиль дополнительно 2 балла.

Задача 5

Луна движется по эллиптической орбите с эксцентриситетом $e = 0.055$. Оцените отношение видимых угловых диаметров Луны в перигее и апогее для геоцентрического наблюдателя.

Решение

По определению эксцентриситет эллипса e равен отношению расстояния между его фокусами c к длине большой оси $2a$: $e = c/2a$. Можно считать, что геоцентрический наблюдатель находится в фокусе эллипса лунной орбиты. Тогда расстояние Луны в перигее $r_n = a - c/2$, а в апогее $r_a = a + c/2$. Подставляя в эти выражения значения c из определения эксцентриситета получим $r_n = a(1 - e)$ и $r_a = a(1 + e)$. Считая, что угловой диаметр Луны обратно пропорционален расстоянию получим искомое отношение в следующем виде: $(1 + e)/(1 - e) = 1.12$.

Система оценивания: за вывод правильной формулы – 6 баллов, за точно проведенный расчет – 2 балла.

Задача 6

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 $3 - 0.364 = 2.636$.

Задачи для школьников 11-х классов

Задача 1

22 июня в истинную солнечную полночь наблюдается звезда с экваториальными координатами: прямое восхождение $\alpha = 18^h$, склонение $\delta = 50^\circ$. Географическая широта наблюдателя $\varphi = 40^\circ$. Оцените горизонтальные координаты (азимут и высоту) звезды в данный момент.

Решение

Момент времени, указанный в задаче, соответствует нижней кульминации Солнца в день летнего солнцестояния. Прямое восхождение Солнца в этот день равно 6^h , а его часовой угол в нижней кульминации 12^h . Сумма часового угла Солнца и его прямого восхождения равна звездному времени S , составляющему 18^h . Учитывая аналогичную связь звездного времени с часовым углом звезды t , даваемую выражением $S = \alpha + t$ получим, что часовой

угол звезды $t = 0^h$. Это значение соответствует верхней кульминации звезды. Так как склонение звезды превышает широту местности, то верхняя кульминация происходит к северу от зенита и азимут равен $A = 180^\circ$. Для случая данной кульминации высота $h_{вк}$ равна $h_{вк} = 90^\circ - \delta + \varphi$, откуда получаем высоту звезды $h = 80^\circ$.

Система оценивания: за определение азимута – 4 балла, за определение высоты – 4 балла.

Задача 2

Получите формулу, связывающую момент поясного времени с моментом истинного солнечного времени.

Решение

Обозначим момент по среднему солнечному поясному времени как $T_{п}$, а по истинному солнечному времени – T_{\odot} . В основе поясного времени лежит среднее солнечное время $T_{м}$, связанное с T_{\odot} выражением: $T_{м} = T_{\odot} + \eta$, где η – уравнение времени. Местное среднее время связано с всемирным временем T_0 как $T_{м} = T_0 + \lambda$, где λ – долгота пункта, выраженная в часовой мере угла. Поясное время связано с всемирным соотношением $T_{п} = T_0 + n$, где n – номер часового пояса, для которого выполняется расчет. Исключая из этих соотношений $T_{м}$ и T_0 получим искомую формулу: $T_{п} = T_{\odot} + \eta - \lambda + n$.

Задача 3

В астрономическом каталоге даны экваториальные координаты и все другие астрометрические характеристики звезды. Какие астрономические факторы должен учесть наблюдатель, чтобы с максимально возможной точностью навести по экваториальным координатам свой телескоп на эту звезду сегодняшним вечером? Перечислите эти факторы в порядке уменьшения их влияния.

Решение

- 1) Прецессия оси вращения Земли от эпохи каталога до момента наблюдения;
- 2) Годичная абберрация;
- 3) Нутация оси вращения Земли;
- 4) Собственное движение звезды;
- 5) Атмосферная рефракция;
- 6) Годичный параллакс звезды;
- 7) Суточная абберрация;
- 8) Суточный параллакс звезды;

Система оценивания: за указание каждого фактора – 1 балл.

Задача 4

Когда разница дат григорианского и юлианского календарей станет равной 14?

Решение

Известно, что в настоящее время разница дат календарей равна 13. По григорианскому календарю не считаются високосными года, содержащие целое число столетий, которое не делится на четыре без остатка. По юлианскому календарю все года содержащие целое

число столетий считаются високосными. Поэтому 2100 год будет високосным по юлианскому календарю и будет содержать дату 29 февраля. По григорианскому календарю этот год будет простым и февраль закончится числом 28. Таким образом, разница станет равной 14 начиная с даты 1 марта 2100 года по григорианскому календарю.

Система оценивания: за точное указание года – 4 балла, за дополнительное точное определение даты – 4 балла.

Задача 5

В этом году отмечалось столетие со дня падения метеорита «Саратов». Оцените максимальную скорость, с которой данное метеорное тело, несомненно, принадлежащее Солнечной системе, могло войти в атмосферу Земли.

Решение

На расстоянии в 1 а.е. от Солнца круговая скорость находится как отношение длины окружности орбиты к продолжительности звездного года и 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 $V_s = 71.9$ км/с. Однако ко времени входа в атмосферу метеорное тело приобретет дополнительную скорость за счет силы земного тяготения. Энергия, сообщаемая этой силой, характеризуется значением второй космической скорости $V_2 = 11.2$ км/с. На основании закона сохранения энергии 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 6

Величина солнечной постоянной (полного потока излучения Солнца на расстоянии в 1 а.е. за пределами атмосферы) составляет 1360 Вт/м². Принимая коэффициент отражения солнечного излучения (альбедо Земли) равным 0.3 оцените среднюю равновесную температуру нашей планеты. Сравните ее с наблюдаемым значением 14.7°C и объясните причину различия.

Решение

На нашу планету приходит поток излучения равный $\pi R^2 S$, где S – значение солнечной постоянной, а R – радиус Земли. Этот поток перераспределяется на всю поверхность Земли, площадь которой равна $4\pi R^2$ так, что с учетом альбедо A единица поверхности планеты в среднем за сутки поглощает поток $(1-A)S/4$. При условии, что Земля находится в лучистом равновесии и излучает энергию подобно абсолютно черному телу с температурой T , этот поток должен равняться излученному потоку σT^4 , где $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ Вт·м⁻²·К⁻⁴ – постоянная Стефана – Больцмана. Из равенства потоков получаем среднее значение равновесной температуры

$$T = \sqrt[4]{\frac{(1-A)S}{4\sigma}}.$$

После подстановки в эту формулу численных значений имеем $T = 254.5$ К или в шкале Цельсия $T = -18.7^\circ\text{C}$. Различие с наблюдаемым значением температуры Земли,

составляющие 33.4 К, объясняется парниковым эффектом в атмосфере нашей планеты, создаваемым преимущественно водяным паром.

Система оценивания: за вывод формулы и получение значения температуры – 6 баллов, за объяснение различия температур дополнительно 2 балла.

Комплект подготовлен М.Б. Богдановым.