

**XXV Всероссийская олимпиада школьников по астрономии**  
**II (муниципальный) этап**

**ЗАДАНИЯ И РЕШЕНИЯ**

**7 и 8 класс**

**Задача 1**

Два шахтера находятся в шахтах на одинаковой глубине от поверхности: первый на архипелаге Шпицберген, а второй - вблизи Новокузнецка. Какой из них находится ближе к центру нашей планеты?

*Решение*

Наша планета сплюснута у полюсов. Поэтому находящийся на большей широте (т.е. на архипелаге Шпицберген) шахтер будет находиться ближе к центру Земли.

**Задача 2**

Сколько суток содержал 1918 год в Российской Советской Федеративной Социалистической Республике?

*Решение*

В этом году по решению правительства РСФСР был введен григорианский календарь. Год 1918 был простым и должен был содержать 365 суток. Различие григорианского и юлианского календарей составило к тому времени 13 суток. Поэтому продолжительность 1918 года в РСФСР была  $365-13=352$  дня.

**Задача 3**

Как выглядела бы смена сезонов для жителей Земли, если бы плоскость эклиптики была перпендикулярна плоскости небесного экватора?

*Решение*

Плоскость эклиптики совпадает с плоскостью орбиты Земли, а плоскость небесного экватора перпендикулярна оси вращения нашей планеты. В случае, описанном в условии задачи, ось вращения Земли должна была бы лежать в плоскости ее орбиты, сохраняя свое направление в пространстве. Такая ситуация привела бы к очень резкой смене сезонов. При этом в момент, когда северный полюс Земли обращен к Солнцу для всех жителей Северного полушария наблюдался бы полярный день, а жителей Южного полушария – полярная ночь. Спустя половину года картина менялась бы на противоположную: полярный день для жителей Южного полушария и полярная ночь для всех жителей Северного полушария.

#### Задача 4

На каком круге, нарисованном на глобусе, находятся путешественники, если в истинный солнечный полдень 22 декабря они наблюдают Солнце в зените?

#### Решение

Склонение зенита  $\delta$  равно широте места  $\varphi$ . В день зимнего солнцестояния 22 декабря склонение Солнца  $\delta = -23^\circ 27'$ . Поэтому широта путешественников  $\varphi = -23^\circ 27'$  и они находятся на южном тропике.

### 9 класс

#### Задача 1

Корабль вышел из Сан-Франциско в полдень 12 октября и прибыл во Владивосток ровно через 16 суток. Какое число было в этот момент на календарях жителей Владивостока?

#### Решение

Прибавление 16 суток к дате выхода корабля дает дату 28 октября. Однако, двигаясь из Сан-Франциско во Владивосток, корабль пересекал линию перемены дат. При движении с востока на запад после пересечения этой линии в судовом журнале должен был быть переход через одну дату. Таким образом, корабль прибыл во Владивосток 29 октября.

#### Задача 2

Путешественник ночью заглянул в глубокий колодец и увидел на поверхности воды отражение звезды Веги (прямое восхождение  $\alpha = 18^{\text{h}} 37^{\text{m}}$ ; склонение  $\delta = 38^\circ 47'$ ). Хронометр путешественника, идущий по гринвичскому звездному времени, показал в этот момент  $15^{\text{h}} 29^{\text{m}}$ . Каковы географические координаты путешественника?

#### Решение

В глубоком колодце отражаются только звезды, наблюдаемые вблизи зенита. Поэтому можно считать, что путешественник наблюдал верхнюю кульминацию Веги вблизи зенита. Склонение зенита  $\delta$  равно широте места  $\varphi$ . Поэтому широта путешественника  $\varphi = 38^\circ 47'$ . Местное звездное время  $S$  связано с гринвичским  $S_0$  соотношением:  $S = S_0 + \lambda$ , где  $\lambda$  - 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 обстоятельствах уровень воды в момент наступления океанского прилива окажется минимальным по сравнению с другими приливами?

### *Решение*

Уровень воды в океане зависит от лунно-солнечного прилива. Поэтому для минимального уровня прилива фаза Луны должна соответствовать квадратуре (первая или последняя четверть). Кроме того, расстояния до притягивающих тел должны быть максимальными. Поэтому Луна должна находиться в апогее орбиты, а Земля – в афелии.

### **Задача 4**

Некий международный авантюрист в доказательство древности и знатности своего рода предъявил грамоту о присвоении дворянского титула, выданную его предку в городе Риме 12 октября 1582 года. Стоит ли верить этой грамоте?

### *Решение*

В указанном году по инициативе римского папы Григория XIII была проведена календарная реформа, в ходе которой следующим днем после 4 октября 1582 г было предписано считать не 5, а 15 октября. Таким образом, даты 12 октября 1582 года в Риме не было и грамота явно поддельная.

### **Задача 5**

Оцените суммарный импульс, который необходимо придать космическому кораблю, находящемуся на орбите Земли вне сферы действия ее притяжения, для того, чтобы он вышел на орбиту вокруг Солнца подобную земной, но с плоскостью орбиты перпендикулярной плоскости эклиптики? Масса корабля 1 тонна.

### *Решение*

Земля и космический корабль на ее орбите движутся вокруг Солнца со средней скоростью  $V_c$  около 30 км/с (ее можно определить, разделив длину орбиты на период обращения – 1 год, либо непосредственно взять из справочных данных). Для выполнения условия задачи сначала должна быть скомпенсирована эта скорость, для чего потребуется импульс  $mV_c$ . После этого необходимо сообщить кораблю импульс  $mV_c$  в направлении, перпендикулярном плоскости эклиптики. Суммарный импульс составит  $2mV_c \approx 6 \cdot 10^7$  кг·м/с

### **Задача 6**

Лучший из телескопов, изготовленных Галилеем, имел диаметр объектива около 6 см. Оцените, на сколько звездных величин более слабые по блеску звезды можно наблюдать в телескоп Специальной астрофизической обсерватории (диаметр зеркала 6 м) по сравнению с телескопом Галилея?

*Решение*

Проницающая способность оптического прибора пропорциональна площади апертуры или квадрату диаметра. Поэтому отношение значений блесков предельно слабых звезд для телескопа Галилея  $I_G$  и телескопа САО  $I_{SAO}$  составит  $10^4$ . Разница звездных величин этих звезд  $\Delta m$  будет равна  $\Delta m = 2.5 \lg(I_G / I_{SAO}) = 10$ .

## 10 класс

### Задача 1

В какой фазе Луна имеет максимальную высоту над горизонтом в марте для наблюдателя, находящегося в городе Саратове?

*Решение*

Саратов расположен в Северном полушарии Земли. В этом случае максимальную высоту над горизонтом Луна может иметь тогда, когда ее склонение максимально. Поскольку видимая траектория движения Луны близка к эклиптике, это означает, что она должна располагаться вблизи точки летнего солнцестояния. В марте Солнце находится вблизи точки весеннего равноденствия. Поэтому фаза Луны – первая четверть.

### Задача 2

Незаходящая звезда имеет высоту в нижней кульминации  $10^\circ$ , а ее склонение равно  $45^\circ$ . Какова географическая широта наблюдателя?

*Решение*

Для высоты в нижней кульминации  $h_{нк}$  имеем уравнение:  $h_{нк} = \delta - 90^\circ + \varphi$ . Из этого уравнения получаем решение  $\varphi = 55^\circ$ .

### Задача 3

Планета движется вокруг Солнца по эллиптической орбите с эксцентриситетом  $e$ . Оцените для этой планеты отношение угловых диаметров Солнца 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  $r_n = a - c/2$ , а в афелии  $r_a = a + c/2$ . Подставляя в эти выражения значения  $c$  из определения эксцентриситета получим  $r_n = a(1 - e)$  и  $r_a = a(1 + e)$ . Считая, что угловые диаметры Солнца малы и обратно пропорциональны расстояниям получим искомое отношение в виде:  $(1 + e)/(1 - e)$ .

#### Задача 4

Двойная звезда, состоящая из звезд 4 и 5 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

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

Таким образом, разность в одну звездную величину соответствует отношению блесков звезд 2.512. 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 будет равен 1.398. Вычисляя 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  $4 - 0.364 = 3.636$ .

#### Задача 5

Почему требования к точности изготовления поверхности зеркала телескопа-рефлектора в два раза выше, чем к точности изготовления поверхности линзы объектива для телескопа-рефрактора?

#### Решение

Это вызвано известным эффектом, возникающим при отражении света зеркалом: при повороте зеркала на угол  $\alpha$  отраженный луч отклоняется на угол  $2\alpha$ . Поэтому наличие неровности того же масштаба на зеркале приведет к в 2 раза большему искажению в изображении.

#### Задача 6

Известно, что Солнечная система совершает один оборот вокруг центра Галактики примерно за 230 миллионов лет, двигаясь по приблизительно круговой орбите радиусом 8 кпк. Считая, что основная масса Галактики сосредоточена внутри этой орбиты оцените, какую скорость надо придать Солнечной системе, для того, чтобы она покинула пределы Галактики?

#### Решение

Круговая скорость  $V_c$  Солнечной системы получается делением длины орбиты  $2\pi R$  на период обращения  $T$  и равна 214 км/с. При выполнении условий задачи параболическая скорость Солнечной системы определяется как  $V_n = V_c \sqrt{2}$  и оказывается равной 303 км/с.

## 11 класс

### Задача 1

21 марта через час после захода Солнца наблюдается звезда с экваториальными координатами: прямое восхождение  $\alpha = 7^{\text{h}} 00^{\text{m}}$ , склонение  $\delta = 50^{\circ} 00'$ . Географическая широта наблюдателя  $\varphi = 40^{\circ} 00'$ . Оцените горизонтальные координаты (азимут и высоту) звезды в данный момент.

#### Решение

На момент времени, указанный в задаче, Солнце находится в точке весеннего равноденствия и поэтому часовой угол этой точки, равный звездному времени  $S$ , составит  $7^{\text{h}} 00^{\text{m}}$ . Учитывая связь звездного времени с часовым углом звезды  $t$ , даваемую выражением  $S = \alpha + t$  получим, что часовой угол звезды  $t = 0^{\text{h}} 00^{\text{m}}$ . 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  $h_{\text{вк}}$  равна  $h_{\text{вк}} = 90^{\circ} - \delta + \varphi$ , откуда получаем высоту звезды  $h = 80^{\circ}$ .

### Задача 2

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

#### Решение

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

### Задача 3

Один прадедушка школьника родился в Москве 10 января 1900 года, а другой – в Санкт-Петербурге 10 апреля 1900 года. В какие даты он должен был отмечать их дни рождения в этом году?

#### Решение

В указанные дни Москва, Санкт-Петербург и Россия жили по юлианскому календарю. До 1 марта 1900 года разность дат григорианского и юлианского календарей составляла 12, а начиная с 1 марта, стала равной 13. В этом году

школьник должен отмечать день рождения первого прадедушки 22 января, а второго – 23 апреля.

#### **Задача 4**

Какой диаметр должна была бы иметь параболическая антенна радиотелескопа, работающего на длине волны 0,1 м, для достижения того же углового разрешения, что и телескоп Галилея с диаметром объектива 0,06 м?

#### *Решение*

Теоретическое разрешение телескопов ограничено явлением дифракции. Это разрешение прямо пропорционально длине волны и обратно пропорционально диаметру телескопа. Для телескопа Галилея можно принять, что длина волны соответствует максимуму чувствительности глаза и равна 0,55 мкм. Тогда диаметр антенны будет равен диаметру телескопа Галилея, умноженному на отношение длин волн, и составит приблизительно 11 км.

#### **Задача 5**

Известно, что период обращения планеты определяется большой полуосью ее орбиты и не зависит от степени сжатия орбитального эллипса. Используя эту особенность, оцените время падения Земли на Солнце, которое произошло бы при остановке движения нашей планеты.

#### *Решение*

В соответствии с третьим законом Кеплера квадрат периода обращения планеты (в звездных годах) равен кубу большой полуоси орбиты (в астрономических единицах). Падение Земли на Солнце можно рассматривать как движение по сильно сжатому эллипсу, в фокусе которого находится Солнце. Для сильно сжатого эллипса фокусы близки к концам большой полуоси, поэтому длина большой полуоси такого эллипса равна половине астрономической единицы. Для того, чтобы упасть на Солнце, Земле нужно будет переместиться в противоположную текущему положению точку эллипса. В силу симметрии движения по эллипсу необходимое для этого время  $t$  будет равно половине периода обращения. Таким образом, из равенства  $(2t)^2 = (1/2)^3$  следует

$$t = \frac{1}{4\sqrt{2}} \text{года} = 64.6 \text{сут.}$$

#### **Задача 6**

Как следует из общей теории относительности, коэффициент усиления потока излучения космической гравитационной линзой быстро уменьшается с увеличением ее углового расстояния до линзируемого источника и не зависит от длины волны. Тем не менее, при наблюдении прохождения звезды типа Солнца вблизи от гравитационной линзы в максимуме блеска было обнаружено покраснение звезды. Как можно объяснить этот эффект?

### *Решение*

Известно явление потемнения диска Солнца к краю, причем степень потемнения зависит от длины волны – в красной области спектра потемнение существенно меньше, чем в синей. Коэффициент усиления потока гравитационной линзой не зависит от длины волны, но его быстрое уменьшение приводит к тому, что излучение от краевой области диска усиливается сильнее. Поэтому в максимуме блеска при минимальном угловом расстоянии от линзы начинает наблюдаться покраснение света звезды.

*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.