

XXVI ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ

ШКОЛЬНЫЙ ЭТАП

ЗАДАНИЯ И РЕШЕНИЯ

7 и 8 класс

№1

Назовите 8 незодиакальных созвездий. За каждое правильно указанное созвездие начисляется 1 балл, за указанное неправильно – снимается 1 балл. Оцениваться будут только первые 8 указанных Вами названий.

Решение

Любые 8 созвездий из https://ru.wikipedia.org/wiki/Созвездие#Список_созвездий, за исключением зодиакальных (Рыбы, Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Змееносец, Стрелец, Козерог, Водолей).

№2

Последнее на данный момент полное лунное затмение наблюдалось 27 июля 2018 года. В каком созвездии находилась Луна в этот день? Ответ обоснуйте.

Решение

Лунное затмение – это покрытие диска Луны земной тенью, при этом Солнце и Луна находятся строго с противоположных от Земли сторон. Соответственно, Луна находится в созвездии, в котором Солнце находится через полгода, т.е. 27 января. 27 января Солнце находится в созвездии Козерога.

Комментарий: в соответствии с "классическим" зодиакальным кругом, 27 января соответствует созвездию Водолея. Однако за время, прошедшее с момента разработки зодиакального круга, вследствие прецессии земной оси моменты времени, соответствующие прохождению Солнца по созвездиям зодиакального круга, изменились. Тем не менее, ответ "Водолея" также будет засчитываться как верный.

Критерии оценивания:

указано, что при лунном затмении Луна и Солнце находятся с противоположных сторон – 4 балла

указано, что Луна находится в том созвездии, в котором находится Солнце через полгода – 2 балла

названо созвездие – 2 балла

№3

Исаак Ньютон родился 25 декабря 1742* года по принятому в то время в Англии юлианскому календарю. В какой день следует праздновать 300-летие со дня его рождения? Ответ обоснуйте.

Решение

Как известно, в григорианском календаре годы, делящиеся на 100, но не делящиеся на 400, високосными не являются (в отличие от юлианского), поэтому каждый такой год разница между календарями увеличивается на одни сутки. В настоящее время она составляет 13 дней, которые нужно прибавить к юлианской дате, чтобы получить григорианскую. В 1742 году она, в соответствии с вышесказанным, составляла $13 - 2 = 11$

дней, т.е. по григорианскому календарю Ньютон родился $25.12.1742+11=4.01.1743$. Соответственно, праздновать его 300-летие нужно 4 января 2043 года.

Критерии оценивания: за решения, в которых не учитывается изменение разницы календарей со временем – не более 2 баллов. Если изменение разницы учитывается, но неверно определено – не более 4 баллов. При наличии арифметической ошибки при сложении дат в верном решении – 7 баллов.

* Это опечатка, в действительности дата рождения И. Ньютона 25 декабря 1642 года. В связи с этим ответ "4 января 1943 года" засчитывался как верный, **если** участник явно указывал, что в условии имеет место опечатка, и проводил рассуждения для правильной даты рождения.

№4

Число звезд в нашей Галактике оценивается как $3 \cdot 10^{11}$ шт., а радиус Галактики – 50000 св. лет. Каково будет расстояние между соседними звездами, если их равномерно расположить по периметру Галактики? Скорость света в вакууме $3 \cdot 10^8$ м/с.

Решение

1 год $=60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \approx 3 \cdot 10^7$ с. Радиус Галактики $50\,000 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 3 \cdot 10^7 = 5 \cdot 10^{20}$ м. Периметр Галактики $2\pi \cdot 5 \cdot 10^{20} \approx 3 \cdot 10^{21}$ м. Тогда расстояние между соседними звездами $3 \cdot 10^{21} / 3 \cdot 10^{11} = 10^{10}$ м, или 10 млн. км. Заметим, что это в 15 раз меньше, чем расстояние от Земли до Солнца.

Критерии оценивания: по два балла за расчет продолжительности года в секундах, радиуса Галактики в метрах, периметра Галактики и получение ответа.

9 класс

№1

Укажите, к каким созвездиям относятся указанные звезды (по 1 баллу за каждый правильный ответ): Сириус, Арктур, Вега, Альтаир, Альдебаран, Денеб, Полярная звезда, Поллукс.

Решение

Большой Пес, Волопас, Лира, Орел, Телец, Лебедь, Малая Медведица, Близнецы

№2

Космический аппарат "Пионер-10", запущенный в 1972 году, удаляется от Земли со средней скоростью 12 км/с. На каком расстоянии от Земли он находится сейчас? Сколько времени потребовалось бы посланному им сигналу, чтобы достичь Земли? В настоящее время аппарат движется в сторону Альдебарана. Через сколько лет он достигнет его? Расстояние от Земли до Альдебарана 65 св. лет. Скорость света в вакууме $3 \cdot 10^8$ м/с.

Решение

1 год $=60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \approx 3 \cdot 10^7$ с. С момента запуска прошло 46 лет, соответственно, аппарат удалился от Земли на $\sim 140 \cdot 10^7 \cdot 12 = 1,6 \cdot 10^{10}$ км $= 1,6 \cdot 10^{13}$ м. Сигнал распространяется со скоростью света, поэтому он достигнет Земли через $1,6 \cdot 10^{13} / 3 \cdot 10^8 = 5 \cdot 10^4$ с, т.е. около полусуток. (Заметим, что в реальности связь с аппаратом невозможна, т.к. мощность ненаправленного сигнала на таких расстояниях упадет до нерегистрируемого уровня, а сориентировать направленный сигнал настолько точно, чтобы он с этого расстояния попал на Землю, невозможно. Последний прием сигнала с аппарата состоялся в 2003 году.) До Альдебарана осталось лететь $65 \cdot 3 \cdot 10^7 \cdot 3 \cdot 10^8 / 12 \cdot 10^3 = 5 \cdot 10^{13}$ с $= 1,6$ млн. лет.

Критерии оценивания: за нахождение расстояния до аппарата – 3 балла. За нахождение времени достижения сигналом Земли – 2 балла. За нахождение времени полета до Альдебарана – 3 балла

№3

Истинная продолжительность тропического года в настоящий момент составляет 365,242199 суток. Полагая, что она не будет меняться со временем, оцените, за какое время "набежит" ошибка в один день при использовании а) современного (григорианского) календаря; б) календаря Омара Хайяма, в котором из 33 лет 8 високосных.

Решение

В григорианском календаре из 400 лет 97 високосных, поэтому средняя продолжительность года в нем составляет $(97 \cdot 366 + 303 \cdot 365) / 400 = 365,2425$ сут., т.е. лишний день "набежит" за $1 / (365,2425 - 365,242199) = 3300$ лет. В календаре Омара Хайяма средняя продолжительность года $(8 \cdot 366 + 25 \cdot 365) / 33 = 365,242424$, что дает ошибку в 1 день за $1 / (365,242424 - 365,242199) = 4400$ лет, т.е. календарь Омара Хайяма точнее. Отметим, что в действительности ошибка будет набегать за большее время из-за увеличения длительности тропического года вследствие влияния других планет на движение Земли по орбите.

Критерии оценивания: по 4 балла за расчет для каждого календаря, из которых 2 балла – идея расчета и 2 балла – проведение вычислений.

№4

Эксцентриситет земной орбиты равен 0,017. Оцените, на сколько процентов изменяется в течение года мощность излучения Солнца, падающая на Землю.

Решение

Если среднее расстояние от Земли до Солнца принять за a , то максимальное и минимальное расстояния равны $a(1 \pm \epsilon)$ соответственно. При удалении Земли от Солнца падающая на нее мощность убывает, т.к. уменьшается телесный угол, под которым Земля видна от Солнца, соответственно, убывает доля общего излучения, попадающего на Землю. Этот эффект пропорционален квадрату расстояния, поэтому мощность будет меняться от $P_0(1-\epsilon)^2$ до $P_0(1+\epsilon)^2$, т.е. отношение максимальной мощности к минимальной составляет $(1+\epsilon)^2 / (1-\epsilon)^2 \approx 1,07$, т.е. мощность меняется на 7%.

Критерии оценивания: указано, как меняется расстояние от Земли до Солнца – 3 балла. Указано, что мощность зависит от квадрата расстояния – 3 балла. Численный ответ – 2 балла.

№5

Ученик 9 класса Иван из Саратова ($51^\circ 32'$ с.ш., $46^\circ 00'$ в.д.) переписывается со своим американским сверстником Джоном, проживающим в г. Сан-Франциско ($37^\circ 46'$ с.ш., $122^\circ 26'$ з.д.). Сегодня у Джона день рождения, и Иван решил отправить ему поздравительное сообщение ровно в полдень по истинному местному времени Сан-Франциско. Сколько времени ему придется ждать после наступления полудня по истинному местному времени в Саратове?

Решение

Как известно, истинное время ST связано с универсальным временем по Гринвичу UTC соотношением $ST = UTC + \text{долгота}$ – значение уравнения времени. Значение уравнения времени одинаково для всех точек Земли, поэтому разность времен наступления истинного полудня в двух точках определяется разностью их долгот, которая составляет $46^\circ + 122^\circ 26' = 168^\circ 26'$, или 11 ч 13,7 минуты. Столько и придется ждать. (Допускается ответ с округлением: 11 ч 15 минут).

Критерии оценивания: обоснование – 5 баллов, вычисления – 3 балла

№6

Период обращения Марса вокруг Солнца составляет 687 дней. Определите отношение максимального и минимального угловых размеров Марса при наблюдении с Земли. Орбиты Марса и Земли можно считать круговыми.

Решение

Максимальным размер будет в момент противостояния, а минимальным – вблизи соединения. В эти моменты расстояние между Землей и Марсом равно разности и сумме радиусов их орбит. Т.к. угол, под которым Марс виден с Земли, малый, то можно считать, что угловой размер Марса равен отношению диаметра Марса к расстоянию от Марса до Земли. Таким образом, отношение угловых размеров определяется как отношение суммы радиусов орбит Марса и Земли к их разности.

В соответствии с третьим законом Кеплера $R_M/R_3=(687/365)^{2/3}=1,52$, тогда отношение угловых размеров $(1+1,52)/(1,52-1)=4,84$ (допускается ответ 5).

Критерии оценивания: указано, в какие моменты размер максимален и минимален – 2 балла; указано, чему равны расстояния от Земли до Марса в эти моменты – 1 балл, указана связь углового размера с расстоянием – 1 балл, определено отношение радиусов орбит Земли и Марса – 3 балла, получен ответ – 1 балл.

10 класс

№1

Укажите, к каким созвездиям относятся указанные звезды (по 1 баллу за каждый правильный ответ): Сириус, Арктур, Процион, Альтаир, Альдебаран, Денеб, Полярная звезда, Поллукс.

Решение

Большой Пес, Волопас, Малый Пес, Орел, Телец, Лебедь, Малая Медведица, Близнецы

№2

27 июля 2018 г. планета Марс находилась в самых лучших для её наблюдения условиях. Определите созвездие, в котором находился Марс в этот день. Ответ обоснуйте

Решение

Марс – внешняя планета, поэтому самые лучшие условия для её наблюдения – это противостояние, когда расстояние между Землей и Марсом минимально, а Солнце находится с противоположной от Земли стороны. Это означает, что Марс находится в созвездии, в котором Солнце находилось за полгода до этого (27 января), то есть в созвездии Козерога. (См. также комментарий к задаче 7-2.)

Критерии оценивания: за указание, что Марс в противостоянии – 4 балла, за указание, что Марс будет в том созвездии, в котором Солнце находится через полгода – 2 балла, за указание созвездия – 2 балла.

№3

Период обращения Марса вокруг Солнца равен 687 дней, а период обращения вокруг своей оси почти совпадает с земным. Сколь часто марсианский астроном сможет наблюдать Землю в наилучших условиях? Орбиты планет можно считать круговыми.

Решение

Для Марса Земля – внутренняя планета, поэтому наилучшие для наблюдения условия – в элонгации. Угол элонгации можно определить как $\arcsin(R_3/R_M)$. Отношение радиусов орбит Земли и Марса можно определить из третьего закона Кеплера: $R_3/R_M=0,66$, тогда угол элонгации составляет 41° . При равном земной продолжительности дня такому углу соответствует интервал времени более 2,5 часов, то есть при восточной элонгации Земля

появится на небе через 2,5 часа после восхода Солнца и зайдёт за горизонт через 2,5 часа после захода Солнца. Поэтому наблюдать Землю можно будет вечером, после заката. Аналогично, наблюдать Землю можно будет в западной элонгации примерно за 2,5 часа до рассвета. Интервал времени между двумя последовательными конфигурациями планеты – это синодический период планеты (Марса), который можно вычислить как $687 \cdot 365 / (687 - 365) = 778$ дней. За это время Землю в удачных условиях можно будет наблюдать дважды.

Примечание: угол между восточной и западной элонгациями составит примерно 82° , что позволяет вычислить время между элонгациями как произведение синодического периода на отношение $82^\circ / 360^\circ$ через противостояние (минимальное время) или на отношение $360^\circ - 82^\circ / 360^\circ$ через соединение (максимальное время между различными элонгациями).

Критерии оценивания: указано, что наилучшие условия – в элонгации – 2 балла, рассчитан радиус орбиты Марса – 1 балл, рассчитан угол элонгации – 1 балл, показано, в каком случае можно наблюдать Землю в восточной и западной элонгации – 2 балла, указан синодический период – 1 балл, получен ответ – 1 балл.

№4

Известно, что высота орбиты МКС составляет примерно 415 км, а период обращения – 92 минуты. Исходя из этих данных, оцените расстояние от Земли до Луны. Радиус Земли 6400 км.

Решение

По третьему закону Кеплера (с учетом того, что период обращения Луны 28 суток ≈ 40000 минут, получим $R_{З-Л} = (415 + 6400)(40000/92)^{2/3} - 6400 \approx 384$ тыс. км. Это хорошо совпадает с реальным значением. (Ответ 390 тыс. км, подразумевающий расстояние от центра Земли до центра Луны, также допускается.)

Критерии оценивания: за полное верное решение – 8 баллов. Если участник "забывает" про радиус Земли (т.е. в качестве радиуса орбиты МКС использует 415 км) – 4 балла. Если есть арифметические ошибки – 6 баллов.

№5

Ученик 10 класса Иван из Саратова ($51^\circ 32'$ с.ш., $46^\circ 00'$ в.д.) переписывается со своим американским сверстником Джоном, проживающем в г. Сан-Франциско ($37^\circ 46'$ с.ш., $122^\circ 26'$ з.д.). Сегодня у Джона день рождения, и Иван решил отправить ему поздравительное сообщение ровно в полдень по истинному местному времени Сан-Франциско. Сколько времени ему придется ждать после окончания олимпиады (14.00 по местному поясному времени Саратова)?

Решение

Как известно, истинное время ST связано с универсальным временем по Гринвичу UTC соотношением $ST = UTC + \text{долгота}$ – значение уравнения времени. Значение уравнения времени одинаково для всех точек Земли, поэтому при вычитании оно уничтожится и далее учитывать его не будем. Тогда в Саратове истинный полдень наступит в $12.00 - 46^\circ / 360^\circ \cdot 24 = 8.56$ UTC, или в 12.56 по местному времени, т.е. за 1 ч 4 м до момента окончания олимпиады. Разность времен наступления истинного полудня в двух точках определяется разностью их долгот, которая составляет $46^\circ + 122^\circ 26' = 168^\circ 26'$, или 11 ч 13,7 минуты. Таким образом, ждать придется 11 ч 13,7 мин – 1 ч 4 мин = 10 ч 9,7 минут. Столько и придется ждать. (Допускается ответ с округлением: 10 ч 10 минут).

Критерии оценивания: по 4 балла за определение момента истинного полдня в Саратове и определение разности времени наступления истинного полдня в Саратове и Сан-Франциско.

№6

Видимая звездная величина Луны в полнолуние при наблюдении с Земли составляет $-12,74^m$. Какой она станет в тот момент, когда Луна будет находиться в западной квадратуре?

Решение

В соответствии с формулой Погсона разности видимых звездных величин двух светил связана с излучаемыми ими мощностями соотношением $m_1 - m_2 = -2,5 \lg(P_1/P_2)$. Расстояние от Солнца до Луны и от Луны до Земли при движении Луны практически не меняются, но в западной квадратуре (т.е. третьей четверти) Солнцем освещена только половина видимого диска Луны, поэтому излучаемая им мощность будет в два раза меньше. Соответственно, видимая звездная величина станет равной $-11,98^m$ (допускается ответ -12^m)

Критерии оценивания: записана формула Погсона – 3 балла, указано, что мощность убывает в два раза – 3 балла, получен ответ – 2 балла.

11 класс

№1

Укажите, к каким созвездиям относятся указанные звезды (по 1 баллу за каждый правильный ответ): Сириус, Арктур, Процион, Альтаир, Альдебаран, Денеб, Бетельгейзе, Поллукс.

Решение

Большой Пес, Волопас, Малый Пес, Орел, Телец, Лебедь, Орион, Близнецы

№2

см. задачу 10-2

№3

см. задачу 10-3

№4

Эксцентриситет орбиты Земли 0,017, а орбиты Юпитера 0,049. У какой из планет и во сколько раз больше абсолютное значение изменения плотности потока солнечной энергии в течение периода обращения по орбите? Период обращения Юпитера 11,86 года.

Решение

Если среднее расстояние от Земли до Солнца принять за a , то максимальное и минимальное расстояния равны $a(1 \pm \epsilon)$ соответственно. При удалении Земли от Солнца падающая на нее мощность убывает, т.к. уменьшается телесный угол, под которым Земля видна от Солнца, соответственно, убывает доля общего излучения, попадающего на Землю. Этот эффект пропорционален квадрату расстояния, поэтому мощность будет меняться от $P_0(1-\epsilon)^2$ до $P_0(1+\epsilon)^2$, т.е. отношение максимальной мощности к минимальной составляет $(1+\epsilon)^2/(1-\epsilon)^2 \approx 1,07$, т.е. мощность меняется на 7%.

Аналогичные расчеты для Юпитера дадут относительное изменение в 21%. Однако в задаче спрашивается про абсолютное изменение, которое получится, если относительное умножить на среднюю плотность потока солнечной энергии. Эта плотность потока обратно пропорциональна квадрату радиуса орбиты, который, в свою очередь, по третьему закону Кеплера пропорционален периоду обращения в степени $2/3$. Соответственно, плотность потока энергии у Земли в $(11,86)^{4/3} \approx 27$ раз больше. Поэтому

абсолютное изменение плотности потока солнечной энергии у Земли будет в 9 раз больше, чем у Юпитера.

Критерии оценивания: найдены относительные изменения – у одной планеты – 3 балла, у двух – 4 балла; указана связь относительного изменения с абсолютным – 1 балл, найдено отношение средних плотностей потоков энергии – 2 балла, получен ответ – 1 балл.

№5

см. задачу 10-5

№6

Сферическое альbedo Луны составляет 0,067, а ее видимая звездная величина в полнолуние при наблюдении с Земли составляет $-12,74^m$. Какова была бы видимая звездная величина полной Земли при наблюдении с Луны, если альbedo Земли 0,306. Радиусы Земли 6400 км, Луны 1700 км.

Решение

Расстояние от Луны до Земли много меньше, чем расстояние от них до Солнца, поэтому освещенность поверхности Луны и Земли Солнцем можно считать одинаковой. Поскольку площадь поверхности Земли в $(6400/1700)^2=14$ раз больше, чем Луны, светимость Земли будет в $14 \cdot 0,306/0,067=64$ раза больше, чем у Луны. Тогда, в соответствии с формулой Погсона $m_1 - m_2 = -2,5 \lg(P_1/P_2)$ видимая звездная величина полной Земли при наблюдении с Луны будет равна $-17,26^m$.

Критерии оценивания: рассчитано отношение светимостей Земли и Луны – 5 баллов (в т.ч. 3 балла – за учет разной площади и 2 балла – разного альbedo), получен ответ – 3 балла.

Составители комплекта: Р.К. Мухамбетова, М.Н. Нурлыгаянова, А.В. Савин.

E-mail sarphys@yandex.ru