

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ
РЕГИОНАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

**КРИТЕРИИ И МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ
ВЫПОЛНЕННЫХ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ
МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭТАПА
ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ АСТРОНОМИИ
2025/26 учебный год**

Максимальная оценка результатов участника возрастной группы (7-8, 9, 10-11 классы) определяется арифметической суммой всех баллов, полученных за выполнение заданий и не должна превышать 48 баллов.

7-8 классы

Задание 1.

Зимой Земля ближе к Солнцу, чем летом, на 5 млн. км. Почему же тогда летом жарко, а зимой холодно?

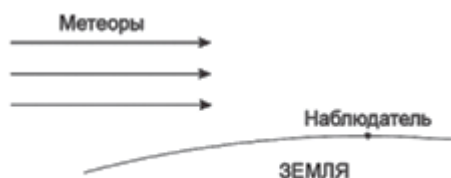
Решение. Температура поверхности Земли и воздуха зависит от угла, под которым солнечные лучи падают на Землю. Зимой этот угол – острый, и лучи скользят по земной поверхности, не успевая её нагреть за короткий зимний день. Летом же солнечные лучи более отвесны и поэтому сильнее её нагревают. Изменение угла падения солнечных лучей является следствием обращения Земли вокруг Солнца и очень медленным изменением положения земной оси относительно плоскости земной орбиты.

Максимальный балл – 8.

Задание 2.

Один любитель астрономии рассказывал, что видел как звёзды «летели снизу вверх». Возможно ли такое? Ответ обоснуйте.

Решение. Увидеть как звёзды «летели снизу вверх» можно. Если метеор летит горизонтально относительно наблюдателя, по касательной к плоскости горизонта, приближаясь к нему, то он увидит его полёт снизу вверх. Для частиц, относящихся к метеорным потокам, такая ситуация наступит, если радиант потока будет находиться вблизи горизонта, или даже его ниже.



Максимальный балл – 8.

Задание 3.

Известно, что время наступления океанских приливов каждый день смещается примерно на 50 минут. Почему?

Решение. Время наступления океанских приливов и отливов определяется положением Луны на небе. Двигаясь по своей орбите в сторону, противоположную видимому вращению звёздного неба, Луна каждый день кульминирует примерно на 50 минут позже, чем в предыдущий день, завершая полный оборот вокруг Земли, относительно Солнца, за 29,5

суток – синодический период Луны. На 50 минут смещается и время приливов и отливов.

Максимальный балл – 8.

Задание 4.

С какой средней скоростью движется граница дня и ночи (терминатор) по поверхности Луны ($R = 1738$ км) в районе её экватора?

Для справки: период смены лунных фаз (синодический период Луны) равен примерно 29,5 суток, период осевого вращения Луны (звёздный или сидерический) равен примерно 27,3 суток.

Решение. Длина лунного экватора $L = 2\pi R \approx 10\,920,2$ км. Движение терминатора определяется периодом смены лунных фаз, т.е. 29,5 сут. = 708 ч. Отсюда $V = L/P = 10\,920,2/708 \approx 15$ км/ч.

Максимальный балл – 8.

Задание 5.

Продолжительность суток на Марсе – 24 часа 37 минут. Один марсианский год длится 1,88 земного года. Чему равна продолжительность марсианского года в земных сутках?

Решение. Продолжительность марсианского года в земных сутках составляет $365,25 \cdot 1,88 \approx 686,7$ сут. Продолжительность марсианских суток в земных сутках равна: $(24 \cdot 60 + 37)/(24 \cdot 60) \approx 1,029$. Отсюда продолжительность марсианского года в земных сутках составляет $686,7/1,029 \approx 668$ суток. Важно заметить, что продолжительность земного года не равна целому числу суток, т.е. 365, а больше этого числа приблизительно на 6 часов, что составляет дополнительные 0,25 суток, из-за чего и вводятся високосные года, с дополнительными сутками в феврале.

Максимальный балл – 8.

9 класс

Задание 1.

Обоснуйте насколько точным или неточным с физической точки зрения является распространённое название явления невесомости «микрогравитация».

Решение. Это название является неправильным с точки зрения физики. Невесомость появляется при свободном падении в любом гравитационном

поле, и исчезновение веса никоим образом не означает исчезновение или уменьшение силы тяжести. Явление невесомости возникает при свободном падении и возле поверхности Земли, где её гравитационное поле никак не может уменьшаться в миллион раз, о чём говорит приставка «микро» равная 10^{-6} .

Максимальный балл – 8.

Задание 2.

Принято считать, что во всей видимой части Вселенной содержится порядка 10^{10} крупных галактик, таких, как наша, а в каждой галактике примерно $2 \cdot 10^{11}$ звёзд. Оцените, какой объём воды будет содержать число молекул, равное числу звёзд во Вселенной.

Решение. Число звёзд в видимой части Вселенной

$$N_z = 10^{10} \cdot 2 \cdot 10^{11} = 2 \cdot 10^{21},$$

это соответствует количеству вещества

$$\nu = N_z / N_A = 2 \cdot 10^{21} / 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \approx 0,32 \cdot 10^{-2} \text{ моль}.$$

Молярная масса воды 18 г/моль, следовательно, масса воды соответствующая 0,0032 моля равна:

$18 \text{ г/моль} \cdot 0,0032 \text{ моля} \approx 0,06 \text{ г}$, что соответствует $0,06 \text{ см}^3$ воды при плотности 1 г/см^3 .

Максимальный балл – 8.

Задание 3.

971 год тому назад в созвездии Тельца взорвалась сверхновая, образовав знаменитую Крабовидную туманность, в центре которой находится остаток сверхновой – пульсар NP 0531, с периодом вращения $T = 0,033 \text{ с}$. Оцените его плотность.

Решение. Оценить предельную скорость вращения небесного тела можно, приравняв линейную скорость точек его поверхности к первой космической скорости.

$$F = \frac{GMm}{R^2} = \frac{mv^2}{R}, \quad M = V \cdot \rho = \frac{4}{3}\rho\pi R^3, \quad v = \frac{2\pi R}{T},$$

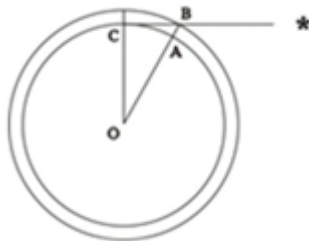
$$\text{отсюда } \rho = \frac{3\pi}{GT^2} = 1,3 \cdot 10^{14} \text{ кг/м}^3.$$

Максимальный балл – 8.

Задание 4.

Какую толщину атмосферы пронизывает луч света звезды при наблюдении её вблизи горизонта, если высота однородной атмосферы (т.е. слой воздуха с плотностью и давлением на уровне моря и массой равной атмосфере Земли) равна 8 км.

Решение. В точке С находится наблюдатель, СВ – линия горизонта. В направлении СВ видна звезда, АВ = 8 км. $CO = AO = R_{\text{Земли}} = 6400$ км.



Из прямоугольного треугольника ОСВ находим сторону ВС – длина пути света звезды в атмосфере:

$$BC^2 = OB^2 - OC^2 = (R + AB)^2 - R^2, \text{ отсюда } BC = 320 \text{ км.}$$

Максимальный балл – 8.

Задание 5.

Протяженность Благовещенска (географическая широта равна $50,3^\circ$) с востока на запад составляет около 18 км. На сколько раньше солнце встает на его восточной окраине, чем на западной?

Решение. Вычислим длину окружности параллели на широте Благовещенска, которая составляет $2\pi R \cos \varphi$, где R – радиус Земли, равный 6378 км, φ – широта Благовещенска. Тогда разность долгот (длина дуги) на широте Благовещенска:

$$360^\circ \cdot 18 \text{ км} / (2\pi \cdot 6378 \text{ км} \cdot \cos 50,3^\circ) = 0^\circ,25.$$

На этот угол Земля поворачивается за 1 минуту – это и есть разница в моментах восхода Солнца.

Максимальный балл – 8.

Задание 6.

Принимая, что Сатурн обращается вокруг Солнца по круговой орбите с радиусом около 10 а.е., определите видимую звёздную величину Солнца с одного из спутников Сатурна. Звёздную величину Солнца при наблюдениях с Земли считать равной $-26,7^m$.

Решение. По условию Сатурн в 10 раз дальше от Солнца, чем Земля. Значит, на единицу площади любого освещаемого объекта на таком расстоянии попадает в $10^{-2} = 100$ раз меньше солнечной энергии (можно сказать, что Солнце оттуда видно в 100 раз более «слабым»). А по определению звёздных величин, разнице в блеске в 100 раз соответствует разница в 5^m . Таким образом, видимая звёздная величина Солнца из окрестностей Сатурна равна примерно: $-26,7^m + 5^m = -21,7^m$.

Максимальный балл – 8.

10-11 классы

Задание 1.

В 2001 году космический аппарат NEAR впервые осуществил мягкую посадку на астероид Эрос. Скорость опускания аппарата на поверхность Эроса составила 2 м/с. Если бы удар был упругим, то на какую высоту подпрыгнул бы аппарат от удара? Для упрощённых расчётов считать астероид шаром с диаметром 30 км и средней плотностью 3000 кг/м^3 .

Решение. Поскольку удар упругий, аппарат отскочит от поверхности с той же скоростью, с которой он ударился об неё. Для оценки высоты подъёма, определим ускорение свободного падения вблизи поверхности:

$$g = \frac{GM}{R^2} = G \left(\frac{\frac{4}{3}\pi R^3 \rho}{R^2} \right) = \frac{4}{3} G \pi R \rho.$$

Предполагая, что аппарат отскочит от астероида на небольшую высоту, изменением величины ускорения свободного падения можно пренебречь и высоту найти из закона сохранения энергии:

$$hg = v^2/2 \Rightarrow h = \frac{3v^2}{2g} = \frac{3v^2}{8\pi G R \rho} \approx 160 \text{ м.}$$

Максимальный балл – 8.

Задание 2.

Протяженность Благовещенска (географическая широта равна $50,3^\circ$) с востока на запад составляет около 18 км. На сколько раньше солнце встает на его восточной окраине, чем на западной?

Решение. Вычислим длину окружности параллели на широте Благовещенска, которая составляет $2\pi R \cos \varphi$, где R – радиус Земли, равный 6378 км, φ – широта Благовещенска. Тогда разность долгот (длина дуги) на широте Благовещенска:

$$360^0 \cdot 18 \text{ км} / (2\pi \cdot 6378 \text{ км} \cdot \cos 50,3^0) = 0^0,25.$$

На этот угол Земля поворачивается за 1 минуту – это и есть разница в моментах восхода Солнца.

Максимальный балл – 8.

Задание 3.

С какой максимальной скоростью метеорные тела могут попадать в атмосферу Земли?

Решение. Эта скорость равна сумме первой и второй космической скорости для Солнца на расстоянии от него равного одной астрономической единицы, т.е. радиуса орбиты Земли:

$$\Delta V = V_I + V_{II} = V_I(\sqrt{2} + 1) = \sqrt{\frac{GM_{\odot}}{a_{\oplus}}}(\sqrt{2} + 1) \approx 73 \text{ км/сек.}$$

Максимальный балл – 8.

Задание 4.

На какой максимальный угол по эклиптике отходят планеты Венера и Земля от Солнца на небе Марса? Орбиты всех планет считать круговыми.

Решение. Рассмотрим два прямоугольных треугольника: Марс – Земля/Венера – Солнце. Для угла при вершине – Марс справедливо:

$$\sin \alpha = a_{\text{Земли}} / a_{\text{Марса}} = 1/1,5 \Rightarrow \alpha \approx 42^0;$$

$$\sin \alpha = a_{\text{Венеры}} / a_{\text{Марса}} = 0,7/1,5 \Rightarrow \alpha \approx 28^0.$$



Максимальный балл – 8.

Задание 5.

В феврале 2027 года в очередной раз пройдёт перигелий самая короткопериодическая из известных комет – комета Энке (2P), которая то удаляется от Солнца на 4,09 а.е., то приближается к нему до 0,336 а.е. С какими главными планетами солнечной системы теоретически могла бы столкнуться эта комета, если бы её орбита лежала в плоскости эклиптики? Определите период обращения кометы Энке вокруг Солнца.

Решение. Глядя на характеристики орбит планет, увидим, что орбита кометы в самой дальней точке не достигает орбиты Юпитера, а в самой ближней – немного заходит вглубь орбиты Меркурия. Если бы комета двигалась в плоскости эклиптики, то теоретически она могла бы столкнуться с Меркурием, Венерой, Землей и Марсом (вблизи линии узлов, вне зависимости от наклона их орбит к плоскости эклиптики).

Из данных задачи следует, что большая ось орбиты кометы составляет $4,09 + 0,336 = 4,426$ а.е. Тогда большая полуось будет равна: $a = 2,213$ а.е., а период обращения можно найти из III-го закона Кеплера: $T = \sqrt{a^3} \approx 3,3$ года.

Максимальный балл – 8.

Задание 6.

В 2013 году в известной спиральной галактике Мессье 74 (M74) в созвездии Рыб вспыхнула сверхновая звезда, достигшая в максимуме блеска $+12^m$. Оцените расстояние до галактики M74 в световых годах, приняв, что абсолютная звёздная величина сверхновой в максимуме вспышки составляла -18^m .

Решение. Воспользуемся формулой, определяющей абсолютную звездную величину: $M = m + 5 - 5 \lg R$ (где R – расстояние до звезды в парсеках). Выражая отсюда R , получим:

$$\lg R = (m + 5 - M) / 5 = (12 + 5 + 18) / 5 = 7,$$

откуда $R = 10^7$ парсек. Зная, что $1 \text{ пк} = 3,26$ световых года, найдём расстояние до галактики: 32,6 миллиона световых лет.

Данную задачу можно решить также путём логических рассуждений. Абсолютная звездная величина – это видимая величина объекта на стандартном расстоянии в 10 парсек. Обратим внимание на то, что разница в блеске составляет ровно 30^m . Из определения звёздных величин известно, что разница в 5^m соответствует разнице в блеске в 100 раз. Учитывая, что блеск изменяется пропорционально $1 / R^2$, получаем, что если мы поместим звезду

на расстояние в 10 раз дальше стандартного, её видимый блеск упадёт в $10^2 = 100$ раз или изменится на 5^m . Продолжив такую цепочку удалений, получим:

$10 \text{ пк} = -18^m$, $100 \text{ пк} = -13^m$, $10^3 \text{ пк} = -8^m$, $10^4 \text{ пк} = -3^m$, $10^5 \text{ пк} = +2^m$, $10^6 \text{ пк} = +7^m$, $10^7 \text{ пк} = +12^m$.

Другими словами, чтобы объект с абсолютной величиной -18^m был виден как $+12^m$, он должен находиться на расстоянии $R = 10^7$ парсек.

Максимальный балл – 8.