

ОСЕННЯЯ ОЛИМПИАДА 2017/18

ФИЗИКА

7 класс

1. Почему если температура воздуха выше нуля, снежки лепить легко, а если температура снега намного меньше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ снежки лепятся плохо?

Ответ. Мокрый снег «скрепляют» силы поверхностного натяжения воды.

2. Ветер уносит воздушный шар в южном направлении. В какую сторону при этом отклонится флажок, прикрепленный к вершине гондолы?

Ответ. Флажок провисает, так как воздушный шар летит со скоростью, равной скорости ветра.

3. Почему, оступившись с утоптанной тропинки, можно довольно глубоко провалиться в рыхлый снег? А в начале весны, когда снег оседает при таянии, тропинка иногда оказывается даже выше окружающей снежной целины. Чем это можно объяснить?

Ответ. Снег на тропинке утаптывается, уровень тропинки ниже уровня окружающего пушистого снега, в который нога глубже проваливается. В углубление ветер наматывает снег, который тоже утаптывается. Таким образом, каждый снегопад с ветром увеличивает количество снега на тропинке больше, чем вокруг нее. Весной же обледеневшая тропинка тает медленнее, чем окружающий рыхлый снег.

4. Если измерить плотность деревянного бруска, покрытого краской, то она окажется равной $\rho = 600\text{ кг/м}^3$. На самом деле брусок состоит из двух частей, равных по объёму, плотность одной из которых в два раза больше плотности другой. Найдите плотности обеих частей бруска. Массой краски можно пренебречь.

Решение. Пусть m – масса каждой части бруска, ρ_1 и $\rho_2 = \rho_1/2$ – их плотности. Тогда части бруска имеют объёмы m/ρ_1 и $2m/\rho_1$, а весь

бруску массу $2m$ и объём $3m/\rho_1$. Средняя плотность бруска

$$\rho = \frac{2m}{3m/\rho_1} = \frac{2\rho_1}{3}. \text{ Отсюда находим плотности частей бруска } \rho_1 = \frac{3\rho}{2} = 900 \text{ кг/м}^3, \rho_2 = \frac{3\rho}{4} = 450 \text{ кг/м}^3.$$

5. Школьники побывали на экскурсии в Москве и возвращались обратно в Тверь на автобусах, которые ехали со скоростью $v_1 = 70$ км/ч. Пошёл дождь, и водители снизили скорость до $v_2 = 60$ км/ч. Когда дождь кончился, до Твери осталось проехать $s = 40$ км. Автобусы поехали со скоростью $v_3 = 75$ км/ч и въехали в Тверь в точно запланированное время. Сколько времени шёл дождь? Чему равна средняя скорость автобуса? Для упрощения считайте, что автобусы в пути не останавливались.

Решение. Средняя скорость автобуса – это отношение пройденного пути к затраченному времени. Так как расстояние от Москвы до Твери из-за дождя не изменилось, и время, проведённое школьниками в автобусе, также не изменилось (потому что автобусы въехали в Тверь в точно запланированное время), то средняя скорость совпадает с начальной скоростью $v_{\text{ср}} = 70$ км/ч.

Пусть дождь шёл в течение времени t . Тогда путь, пройденный за это время, составил $v_2 t$. Время, за которое после дождя автобусы проехали оставшееся расстояние, равно s/v_3 . Ясно, что за время, затраченное автобусами с момента начала дождя до прибытия в Тверь, должно равняться времени, которое потребовалось бы для преодоления того же расстояния с начальной скоростью v_1 :

$$t + \frac{s}{v_3} = \frac{v_2 t + s}{v_1}.$$

Отсюда находим время, в течение которого шёл дождь:

$$t = \frac{v_1}{v_1 - v_2} \left(\frac{s}{v_1} - \frac{s}{v_3} \right) = \frac{s(v_3 - v_1)}{v_3(v_1 - v_2)} = 16 \text{ мин.}$$

8 класс

1. Есть ли физическая ошибка в следующем стихотворении:

«Она жила и по стеклу текла,
Но вдруг её морозом прихватило,
И неподвижной льдинкой капля стала,
А в мире поубавилось тепла?»

Ответ. При кристаллизации воды выделяется тепло.

2. Почему, когда наливают сок из жестяной банки через отверстие в крышке, то делают два отверстия. Только тогда идёт хорошая струя.

Ответ. Если сделать в крышке банки только одно отверстие и опрокинуть банку, сок будет вытекать до тех пор, пока давление в жидкости на уровне отверстия не станет равным атмосферному. Когда в крышке два отверстия, то воздух, попадающий в банку через «свободное» отверстие, оказывает дополнительное давление на жидкость и выталкивает её.

3. Баржа «Севрюга» плывет по прямой реке с постоянной скоростью $u = 5$ м/с длиной $L = 100$ м. На корме баржи стоит матрос. Он начинает ходить по барже от кормы к носу и обратно. Вперёд он идёт с постоянной относительно баржи скоростью $v_1 = 1$ м/с, а назад с постоянной относительно баржи скоростью $v_2 = 2$ м/с. Какой путь пройдёт матрос относительно берега реки, если пройдёт по барже туда и обратно $n = 10$ раз?

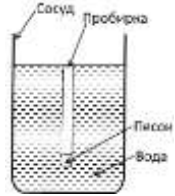
Решение. Время прохождения матросом пути от кормы к носу $t_1 = \frac{L}{v_1}$ и обратно $t_2 = \frac{L}{v_2}$, а расстояния, которые он проходит относительно берега равны: туда $l_1 = (u + v_1)t_1$ и обратно $l_2 = (u + v_2)t_2$. Отсюда

$$\begin{aligned} s = n(l_1 + l_2) &= n \left\{ (u + v_1) \frac{L}{v_1} - (u + v_2) \frac{L}{v_2} \right\} = nuL \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) = \\ &= 10 \cdot 5 \cdot 100 \left(\frac{1}{1} + \frac{1}{2} \right) = 7500 \text{ м.} \end{aligned}$$

Ответ: матрос пройдёт относительно берега реки путь

$$s = nuL \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) = 7500 \text{ м.}$$

4. У школьника Эльдара есть стеклянная пробирка массой $M=80$ г и вместительностью $V=60$ мл. Он опустил пробирку в цилиндрический сосуд с водой и постепенно насыпал на дно пробирки песок до тех пор, пока она не погрузилась в воду по горлышко (см. рис.). Затем Эльдар измерил массу песка, находившегося в пробирке в этот момент, и она оказалась равной $m=12$ г. Внутренний радиус сосуда, в который опущена пробирка, равен $R=5$ см. Плотность воды $\rho_{\text{в}}=1$ г/см³. Определите по этим данным плотность стекла пробирки и вычислите, на сколько поднялся уровень воды в сосуде в результате погружения пробирки в воду.



Решение. Условие равновесия пробирки $F_T = F_A \rightarrow (M + m)g = m_{\text{выт.воды}} g$; $m_{\text{выт.воды}} = \rho_{\text{в}}(V + V_{\text{стекла}}) \rightarrow (M + m)g = \rho_{\text{в}}(V + V_{\text{стекла}})g \rightarrow$

$$V_{\text{стекла}} = \frac{M + m}{\rho_{\text{в}}} - V = \frac{M + m - \rho_{\text{в}}V}{\rho_{\text{в}}}.$$

$$\rho_{\text{ст}} = \frac{M}{V_{\text{стекла}}} = \frac{M\rho_{\text{в}}}{M + m - \rho_{\text{в}}V} = \frac{80 \cdot 1}{80 + 12 - 1 \cdot 60} = 2,5 \text{ г/см}^3,$$

Объем воды, вытесненный пробиркой, равен:

$$V_{\text{выт}} = \frac{M + m}{\rho_{\text{в}}} = \pi R^2 \Delta h \rightarrow \Delta h = \frac{M + m}{\rho_{\text{в}} \pi R^2} = \frac{80 + 12}{1 \cdot 3,14 \cdot 5^2} \approx 1,17 \text{ см.}$$

Ответ: плотность стекла 2,5 г/см³4 уровень воды в сосуде поднялся на 1,17 см.

5. В калориметре находится $m=100$ г расплавленного металла галлия при температуре его плавления $t_{\text{пл}}=29,8$ °С. Его начали медленно охлаждать, оберегая от внешних воздействий, и в результате температура понизилась до $t=19,8$ °С, а галлий остался жидким. Когда переохлаждённый таким образом жидкий галлий размешали палочкой, он частично перешёл в твёрдое состояние. Найдите массу

отвердевшего галлия и установившуюся в калориметре температуру. Удельная теплота плавления галлия $\lambda = 80$ кДж/кг, удельная теплоёмкость галлия $c = 410$ Дж/(кг·°С). Теплоемкостью калориметра и палочки пренебречь.

Решение. При отвердевании галлия выделяется теплота кристаллизации, что приводит к нагреванию системы до температуры плавления галлия $t_{\text{пл}} = 29,8$ °С, поскольку только при этой температуре жидкий и твёрдый галлий будут находиться в равновесии.

Количество теплоты, выделяющееся при отвердевании массы m_1 галлия, равно λm_1 . Оно идёт на нагревание всего галлия до температуры плавления, для этого требуется количество теплоты $cm(t_{\text{пл}} - t)$. Следовательно, $m_1 = cm(t_{\text{пл}} - t)/\lambda \approx 5,1$ г.

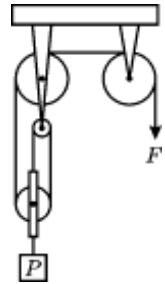
Заметим, что если бы переохлаждение было очень сильным, то теплоты кристаллизации могло бы не хватить для нагревания всей массы галлия до температуры плавления. Однако поскольку $m_1 < m$, то в нашем случае галлий действительно нагреется до этой температуры.

9 класс

1. По алюминиевой проволоке пропускают ток такой силы, что она слегка накаляется. Почему при охлаждении одной части проволоки (например, водой) другая её часть накаляется сильнее? Напряжение на концах проволоки поддерживается неизменным.

Решение Сопротивление охлаждённой части уменьшается, ток в проволоке ($I = U/R$) увеличивается, а количество теплоты на неохлаждённой части ($Q = I^2Rt$) возрастает.

2. На кондитерской фабрике для подъёма тяжёлых ящиков с шоколадом используется система из четырёх блоков и одного троса, закреплённых на потолке, как показано на рисунке. С какой силой F надо тянуть вниз за конец троса, чтобы удерживать или медленно и равномерно поднимать заготовку, вес которой равен P ? Участки троса, не лежащие на блоках, горизонтальны или вертикальны, весом блоков, троса и трением можно пренебречь.

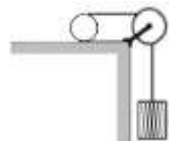


Решение. Ввиду невесомости блоков и троса и отсутствия трения сила натяжения троса равна F в любой его части. К нижнему блоку приложены три силы F , направленные вверх, и одна сила P , направленная вниз. Поскольку этот блок находится в равновесии или медленно и равномерно поднимается, то $P = 3F$, а $F = P/3$.

Можно также решать эту задачу, пользуясь «золотым правилом механики». Нетрудно заметить, что при перемещении нижнего блока вверх на высоту h три вертикальных отрезка троса над нижним блоком укоротятся на ту же величину, так что надо будет переместить конец троса вниз на расстояние $3h$, то есть, проигрывая в расстоянии в 3 раза, мы получаем выигрыш в силе – она уменьшается тоже в три раза, и $F = P/3$.

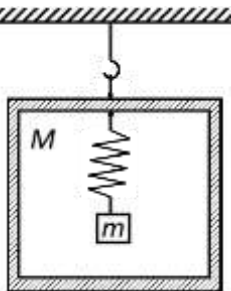
Ответ: $F = P/3$.

3. Нерастяжимая нить намотана на цилиндр, а другим концом привязана к грузу. Какой путь пройдет груз, когда катящийся без скольжения цилиндр, длина окружности которого равна l , сделает один оборот?



Решение. Так как скорость нити ровно в 2 раза больше скорости центра, груз пройдёт в 2 раза большее расстояние, чем цилиндр: $2l$.

Ответ: $2l$.



4. Коробка массой M подвешена на нитке к потолку комнаты (см. рисунок). Внутри коробки на лёгкой пружине подвешен груз массой m . Нитку пережигают. Найдите ускорения груза и коробки сразу после пережигания нити. Ускорение свободного падения равно g .

Решение. До пережигания нити на груз массой m действовали направленная вниз сила тяжести mg и равная ей по величине и противоположная по направлению сила упругости пружины F . На коробку действовали направленная вниз сила упругости пружины F и сила тяжести Mg , а также направленная вверх сила натяжения нити $T = F + Mg$. Сразу после пережигания нити сила её натяжения обратится в ноль, а остальные силы, действующие на груз и коробку, останутся прежними. По этой причине ускорение груза сразу после пережигания нити будет равно нулю. На коробку же будут действовать только силы тяжести и упругости, поэтому ускорение коробки

будет равно $a = \frac{F + Mg}{M} = \frac{m + M}{M} g$.

Ответ: 0 ; $\frac{m + M}{M} g$.

5. В Китае некоторые считают, что кипяток, налитый в чашку, может заметно остыть даже за несколько секунд, что испортит качество получившегося чая. Проверим, правы ли они. Над чашкой очень горячей воды поднимается пар. Скорость подъёма пара, оцениваемая на глаз, равна $v = 0,1$ м/с. Считая, что весь поднимающийся над чашкой пар имеет температуру 100 °С, оцените скорость осты-

вания чашки с очень горячей водой за счёт испарения воды (эта скорость измеряется в градусах за секунду). Масса воды в чашке $m = 200$ г, площадь поверхности воды $S = 30$ см², удельная теплота парообразования воды $L = 2,3 \cdot 10^3$ Дж/кг, удельная теплоёмкость воды $c = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·°C), плотность водяного пара при 100 °C равна $\rho = 0,58$ кг/м³.

Решение. За время Δt испаряется $\Delta m = \nu \Delta t S \rho$ воды. Энергия испарения забирается у оставшейся в чашке воды: $\Delta mL = c \Delta tm$, отсюда $\nu \Delta t S \rho L = c \Delta tm$. Искомая скорость $u = \Delta t / \Delta t = \nu \rho S L / cm \approx 0,00048$ °C/с.

Ответ: 0,00048 °C/с

10 класс

1. Имеются два одинаковых длинных черных ящика. В одном из них находится постоянный магнит, а в другом – длинная катушка из медной проволоки, подключённая к источнику постоянного тока (батареяке). Как, используя только эти «чёрные ящики», определить, в каком из них находится постоянный магнит? Нельзя заглядывать внутрь ящиков, разбирать и разрушать их.

Решение. Если поднести к «чёрному ящику» сбоку внешний магнит, то намагниченность постоянного магнита изменится, и он будет притягиваться к внешнему магниту: катушка из медной проволоки притягиваться к внешнему магниту не будет (медь – немагнитный материал). В качестве внешнего магнита можно использовать второй «чёрный ящик». Следовательно, конец «чёрного ящика» с катушкой будет притягиваться к середине «чёрного ящика» с постоянным магнитом, а конец «чёрного ящика» с постоянным магнитом не будет притягиваться к середине «чёрного ящика» с катушкой.

Другой способ заключается в наблюдении за ящиками в течение длительного времени: «чёрный ящик» с катушкой будет нагреваться, что можно заметить на ощупь, кроме того, со временем ток через катушку и создаваемое им магнитное поле станут меньше из-за разрядки батарейки.

2. В стоящий на столе калориметр налита вода комнатной температуры t_0 . С большой высоты h в калориметр падают одинаковые капли воды той же температуры t_0 . На уровне поверхности воды в калориметре есть небольшое отверстие, через которое вытекает

лишняя вода. Какая температура установится в калориметре спустя большое время после начала падения капель? Удельная теплоемкость воды равна c , ускорение свободного падения капель равно g . Теплоемкостью калориметра, отдачей тепла от его стенок и испарением воды можно пренебречь.

Решение. Потенциальная энергия каждой капли массой m идёт на увеличение её внутренней энергии, поэтому $mgh = cm(\theta - t_0) \rightarrow \theta = t + gh/c$.

Ответ: $\theta = t + gh/c$.

3. Если сбросить массивное тело с большой высоты, то из-за сопротивления воздуха оно большую часть пути будет двигаться с постоянной установившейся скоростью. Для пластмассового бильярдного шара эта скорость составляет 100 м/с. Если его сделать из материала с вдвое большей плотностью, то при тех же размерах его скорость увеличится до 140 м/с. Если взять шар из того же материала, что и бильярдный шар, но вдвое большего диаметра, то скорость установившегося движения также составит 140 м/с. Какой станет эта скорость для шара из того же материала, но в 10 раз меньшего диаметра?

Решение. Данные задачи позволяют определить зависимость силы сопротивления от скорости и поперечной площади падающего тела.

$$2mg \approx kS \cdot (1,4v)^2; \quad 8mg = k \cdot \pi \cdot (2R)^2 \cdot (1,4v)^2 = 4k \cdot S \cdot (1,4v)^2$$

Подходит модель $F = kSv^2$. При уменьшении диаметра тела в 10 раз его масса уменьшилась в 1000 раз, площадь поперечного сечения стала меньше в 100 раз. При сохранении зависимости сила сопротивления уравнивает силу тяжести при скорости в $\sqrt{10}$ раз меньшей, т.е. установившаяся скорость падения составит около 32 м/с.

Ответ: 32 м/с.

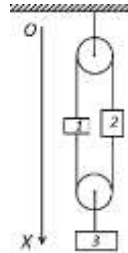
4. Мягкий резиновый шарик налетает на твёрдый кубик такой же массы, между ними происходит лобовой удар. После этого удара скорость шарика составляет 0,1 от его начальной скорости. Какая часть кинетической энергии шарика перешла при ударе в тепло?

Решение. Согласно закону сохранения импульса $mv_0 = 0,1mv_0 + mv_1 \rightarrow v_1 = 0,9v_0$. Искомая величина

$$\alpha = \frac{K_1 - K_2}{K_1} = \left[\frac{mv_0^2}{2} - \left(\frac{m(0,1v_0)^2}{2} + \frac{m(0,9v_0)^2}{2} \right) \right] : \frac{mv_0^2}{2} = 0,18 .$$

Ответ: 0,18.

5. В системе, изображённой на рисунке, грузы 1 и 2 прикреплены к нитям, массы грузов 1, 2 и 3 равны M , $2M$ и $3M$ соответственно. Найдите их ускорения. Трение отсутствует. Блоки невесомы, нити невесомы и нерастяжимы, не лежащие на блоках участки нитей вертикальны.



Решение. Из чертежа видно, что груз массой $3M$ двигаться не может, и поэтому его ускорение равно нулю. Так как блоки и нити невесомы и трение отсутствует, то сила натяжения T_1 верхней нити, перекинутой через верхний блок, постоянна вдоль всей её длины. То же самое справедливо и для силы натяжения T_2 нижней нити, на которой висит нижний блок. Направим координатную ось Ox вниз и обозначим ускорение груза массой $2M$ через a . Тогда груз массой M , двигающийся в противоположном направлении, имеет ускорение $-a$. Запишем второй закон Ньютона для грузов массами M и $2M$: $-Ma = Mg - T_1 + T_2$, $2Ma = 2Mg - T_1 + T_2$. Вычитая первое уравнение из второго, получим, что $3Ma = Mg$. Отсюда $a = g/3$. Таким образом, груз массой M движется с ускорением $g/3$ вверх, груз массой $2M$ — с ускорением $g/3$ вниз, ускорение груза массой $3M$ равно нулю.

Ответ: груз массой M движется с ускорением $g/3$ вверх, груз массой $2M$ — с ускорением $g/3$ вниз, ускорение груза массой $3M$ равно нулю.