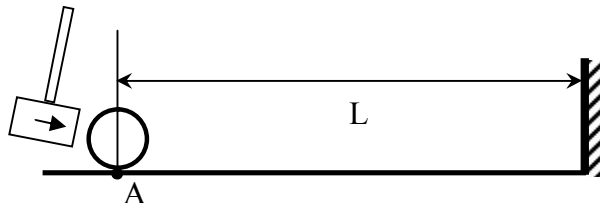


Заключительный этап Всесибирской олимпиады, 2016

Физика, 7 класс

Возможные решения с баллами. Максимальный балл за задачу – 10.

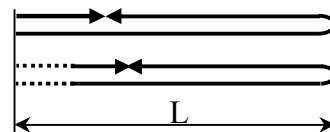
1) Школьник проводит опыты с шарами на горизонтальной плоскости. Он ставит шар в точку А, которая находится на расстоянии $L=1$ м от стенки (см. рисунок). Затем он ударяет по шару молоточком и измеряет время, через которое шар возвращается назад в т. А после удара. В первом опыте школьник взял шар радиуса $R=5$ см, а время возврата составило $T_1=10$ сек. Когда он взял шарик вдвое большего радиуса, и провел аналогичный опыт, то время возвращения в точку А оказалось равным $T_2=12$ сек. Насколько различались скорости шаров в этих двух опытах? Удары шаров об стенку считать абсолютно упругими и мгновенными, трением пренебречь.



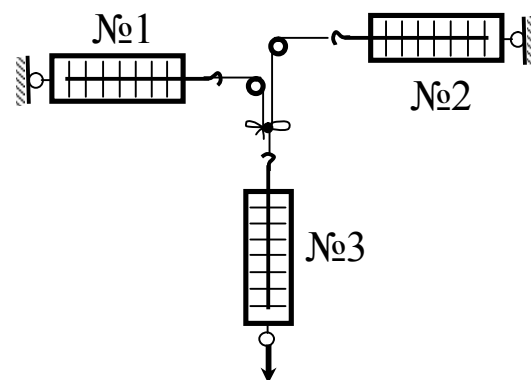
Решение. Центр шара в первом опыте прошел расстояние 190 см (+2 балла) и величина его скорости была равна 19 см/сек (+2 балла). Во втором опыте центр шара прошел расстояние 180 см (+2 балла), имея скорость 15 см/сек (+2 балла). Разница скоростей составила 4 см/сек (+2 балла). Если приводится ответ ≈ 3.3 см/сек, полученный без учета конечных размеров шаров, то ставится 2 балла.

2) Человек и собака идут рядом по дороге с постоянной скоростью. Иногда человек бросает вперед палку на некоторое расстояние. Собака бежит вперед, поднимает палку с земли и приносит её обратно. Когда собака начинает бежать за палкой сразу в момент бросания, то она возвращается к идущему человеку через 6 секунд. Если она начинает бежать тогда, когда палка упадет на землю, то она возвращается через 5 секунд. Во сколько раз скорость полета палки вдоль дороги превышает скорость движения человека? Считать, что собака бежит с одинаковой скоростью и, схватив палку, сразу бежит обратно.

Решение. Обозначим через L длину дороги от точки бросания до точки падения палки, V_{Π} – скорость полета палки вдоль дороги (L , деленное на время полета палки), $V_{\text{ч}}$ – скорость движения человека, $V_{\text{с}}$ – скорость бегущей собаки. Времена до моментов возвращения собаки обозначим $T_1=6$ сек и $T_2=5$ сек. Если собака начинает бег в момент бросания палки, то уравнение, связывающее эти величины, имеет вид $2 \cdot L = T_1 \cdot (V_{\text{ч}} + V_{\text{с}})$ (2 балла). Во втором случае за время полета палки собака вместе с человеком проходит расстояние, равное $V_{\text{ч}} \cdot L / V_{\Pi}$ (+2 балла). Получаем уравнение $2 \cdot (L - V_{\text{ч}} \cdot L / V_{\Pi}) = T_2 \cdot (V_{\text{ч}} + V_{\text{с}})$. (+2 балла) Делим второе уравнение на первое и получаем, что $(1 - V_{\text{ч}} / V_{\Pi}) = T_2 / T_1 = 5/6$ (+2), т.е. $V_{\text{ч}} / V_{\Pi} = 1/6$. Таким образом, палка во время полета движется вдоль дороги в 6 раз быстрее, чем человек во время ходьбы (+2).



3) Имеется три динамометра с одинаковыми длинами шкал. Динамометр №1 рассчитан на максимальную силу 5 Н, а динамометры №2 и №3 рассчитаны на 10 Н каждый. Динамометры №1 и №2 закреплены, к их концам привязаны нити, которые перекинуты через блоки (см. рис.) Концы нитей связаны, а к узлу прикреплен динамометр №3, который медленно перемещают, натягивая нити. В некоторый момент показания динамометров, в порядке нумерации, составляют 1 Н, 3 Н и 4 Н. Что будут показывать динамометры №1 и №2, когда третий динамометр станет показывать 10 Н? Считать, что нити нерастяжимы, трением можно пренебречь.



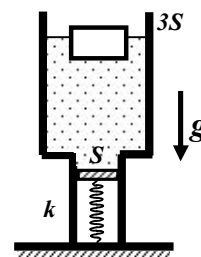
Решение: Отношение между показаниями динамометров №1 и №2 может отличаться от отношения максимально возможных нагрузок, 1:2, из-за того, что выбором начальных положений динамометров можно произвольно менять соотношение между натяжениями нитей. Так как концы нитей связаны, увеличение силы со стороны динамометра №3 приведет к одинаковому смещению концов пружин обоих закрепленных динамометров (+2 балла). Так как жесткости пружин у динамометров №1 и №2 различаются вдвое (+1 балл), то *изменения* показаний этих динамометров также будет различаться вдвое (+2 балла): если *изменение* показаний динамометра №1 составит X , т.е. собственно показание будет равно $(1+X)$ Ньютон, то у динамометра №2 изменение составит $2X$, а показание будет равно $(3+X)$. Однако всегда сумма показаний динамометров №1 и №2 должна быть равна показаниям динамометра №3 (+ 1 балл).

Таким образом, при показании динамометра №3 равном 10 Н будет верно соотношение $(1+X)+(3+2X)=10$ (+2 балла за это или аналогичное уравнение).

Т.е. $X=2$ Н, а показания первого и второго динамометров составят 3 Н и 7 Н, соответственно (по 1 баллу за каждое значение).

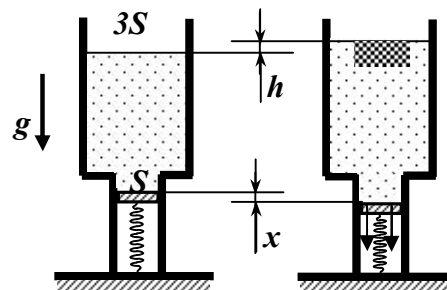
Если формально правильный ответ получен, фактически, подбором, но с явным учетом равенства показаний динамометра №3 сумме показаний других динамометров, то всего ставится 3 балла.

4) В дне цилиндрического стакана площадью сечения $3S$ проделано отверстие, в которое вертикально вмонтирована трубка площадью сечения S . Трубка перекрыта подвижным поршнем, который снизу подпирается пружиной жесткости k (см. рисунок). В исходной ситуации в стакан налита вода и всё находится в равновесии. Затем в воду аккуратно кладут ещё и деревянный брусок массы M , который плавает в широкой части стакана. Насколько возрастает деформация пружины после опускания бруска? Ответ дать в виде буквенного выражения. Плотность воды ρ , трения нет.



Решение. Дополнительная деформация пружины появится из-за того, что после опускания бруска поднимется уровень воды в стакане и, соответственно, увеличится давление воды на поршень (+1 балл).

Изменение силы давления на подвижный поршень равно $\Delta F = \rho g(x+h)S$, где x – искомое смещение поршня вниз, h – подъем уровня воды в стакане (+2 балла).



Влияние остальной воды определяет исходную деформацию пружины. Согласно закону Гука, $\Delta F = xk$ (+ 1 балл).

Уровень воды в стакане после опускания в него плавающего бруска станет таким, как будто в стакан долили воду объемом, равном объему погруженной части бруска (заштриховано на правой части поясняющего рисунка).

Этот объем согласно закону Архимеда, равен M/ρ (+2 балла), и, вследствие практической несжимаемости воды, он связан с изменениями объемов воды в разных частях сосуда таким образом: $M/\rho = x \cdot S + h \cdot 3S$ (+ 2 балла).

Таким образом, находим, что $h = M/(3\rho S) - x/3$ и

$$x = \frac{Mg}{3k - 2\rho gS} \quad (+2 \text{ балла}).$$

Заметим, что если в условии сказано, что тело плавает в широкой части стакана, то это означает, что $3k > 2\rho gS$. Если бы знаменатель дроби в ответе не был бы положительным, то при наличии воды в широкой части стакана равновесие не было бы возможно и без добавления тела.

Заключительный этап Всесибирской олимпиады, 2015-2016

Физика, 8 класс

Возможные решения с баллами. Максимальный балл за задачу – 10.

1) Лодочник плывет между двумя деревнями, находящимися на разных берегах реки. Скорость течения воды относительно берега на этой реке везде равна V , кроме самой середины, где течение очень бурное. Лодочник старается пересечь середину побыстрее, но его всегда при этом сносит на расстояние L вниз по течению. Каковы минимальные затраты времени T_0 лодочника на всю поездку «туда и обратно», если на поездку вниз по течению он тратит на T часов меньше, чем на обратную дорогу? Скорость лодки относительно воды равна $3V$, расстояние между деревнями много больше ширины реки.

Решение. Согласно условию, временем на пересечение самой реки по сравнению с временем всей поездки можно пренебречь. Если обозначить расстояние между деревнями вдоль реки S , то время движения вниз по течению будет равно $(S-L)/(V+3V)$ (+2 балла). Здесь учтено, что при пересечении середины лодку быстро снесет на расстояние L по направлению к пункту назначения и что скорость лодки относительно берега равна $V+3V=4V$. При обратном движении лодочнику придется проплыть лишнее расстояние L вверх по течению (+1 балл). Поэтому время движения составит $(S+L)/(3V-V)$ (+2 балла).

По условию задачи $T = \frac{S+L}{2V} - \frac{S-L}{4V} = \frac{S}{4V} + \frac{3L}{4V}$ (за уравнение, выражающее такую связь, +1 балл).

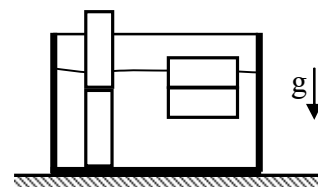
Искомой величиной является полное время поездки $T_0 = \frac{S+L}{2V} + \frac{S-L}{4V} = \frac{3S}{4V} + \frac{L}{4V}$ (за уравнение, выражающее такую связь, +1 балл).

Так как $\frac{S}{4V} = T - \frac{3L}{4V}$, то $T_0 = 3T - 2L/V$ (+3 балла).

Если приводится решение, в котором, фактически, положено $L=0$, то ставится всего 3 балла.

2) Школьник исследует два внешне одинаковых прямоугольных бруска.

Когда он положил их друг на друга и опустил в сосуд с водой, то они плавали так, что из воды выступала половина верхнего бруска (см. рис.). Потом он поставил бруски друг на друга вертикально в тот же сосуд. При этом верхний брусок торчал из воды на 80 % своей высоты, а нижний брусок давил на дно сосуда с силой, равной 75% собственного веса более легкого бруска.



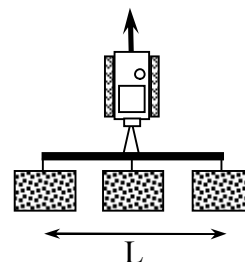
Найти средние плотности материалов, из которых сделаны бруски, если плотность воды равна $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Решение. Обозначим объем одного бруска V , их плотности - ρ_1 и $\rho_2 > \rho_1$ (для определенности). В том случае, когда бруски плавают, верно соотношение $\rho g(V+V/2) = (\rho_2 + \rho_1)gV$ (+3 балла).

Когда одни стоят один на одном, касаясь дна, т.е. когда кроме сил тяжести и давления воды на бруски действует и сила реакции опоры ($3 \cdot \rho_1 gV/4$) со стороны сосуда, то верно уравнение $\rho g(V+V/5) + 3 \cdot \rho_1 gV/4 = (\rho_2 + \rho_1)gV$ (+3 балла).

Решая уравнения получаем, что $\rho_1 = \rho \cdot 4/10 = 400 \text{ кг/м}^3$ (+2 балла), $\rho_2 = 1.1\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$ (+2 балла).

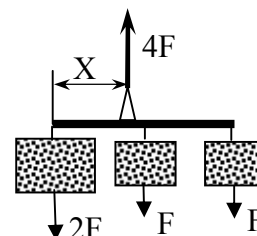
3) Трактор тянет по полю сцепку из 3 одинаковых борон, находящихся на равных расстояниях друг от друга (см. рис., вид сверху). Расстояние между точками крепления крайних борон равно $L=8$ м. Левая борона сломалась, и в мастерской ее заменили другой, более тяжелой бороной. В поле выяснилось, что сила трения, действующая на новую борону, вдвое больше, чем сила трения, действующая на старую борону. Поэтому, чтобы всю сцепку поменьше перекашивало во время движения, тракторист решил сместить место крепления трактора к сцепке в сторону. В какую сторону и насколько метров ему надо сместить место крепления?



Решение. Сцепку с боронами будет меньше перекашивать, если сумма моментов сил трения относительно места крепления к трактору, будет как можно меньше, в идеале – нулевой (+2 балла).

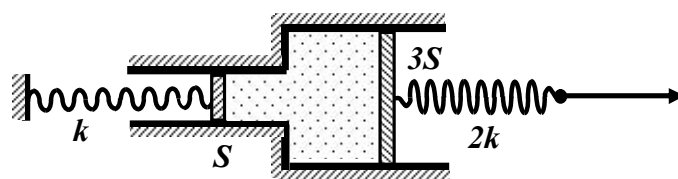
Конкретный расчет нового положения места крепления может быть разным. Один из вариантов – такой, как показано ниже.

На рисунке показаны силы, действующие на сцепку с боронами: 3 силы трения (F – сила трения, действующая на старую борону) и сила, действующая со стороны трактора. Так как на новую борону действует вдвое большая сила трения, то сила, действующая со стороны трактора на сцепку, увеличится до $4F$.



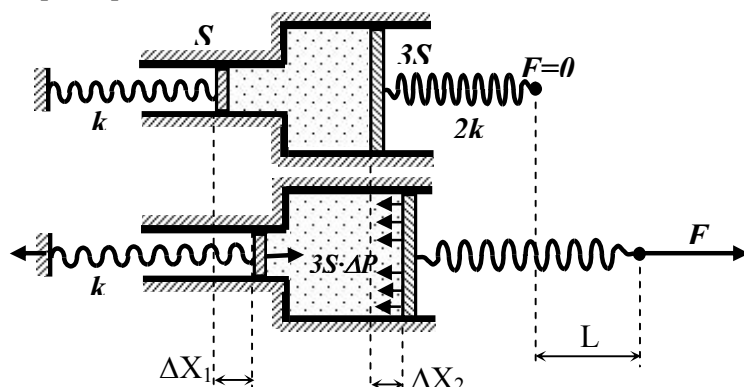
Обозначим за X расстояние от нового места крепления до края, где прикреплена новая борона. Приняв за точку отсчета этот край, запишем условие равновесия для сцепки $4F \cdot X = F \cdot L/2 + F \cdot L$ (+5 баллов за правильно составленное уравнение, выражающее условие на моменты сил). Таким образом, $X = 3 \cdot L/8 < L/2$, то есть место крепления надо сместить к новой бороне (+1) на расстояние $(L/2 - 3 \cdot L/8) = L/8 = 1$ м (+2 балла).

4) В начальном положении система закрепленных труб сечения S и $3S$, а также вставленных в них поршней и пружин, которые прикреплены к поршням (см. рисунок), покоится. Между поршнями находится несжимаемая жидкость. Левый конец пружины с жесткостью k неподвижно закреплен. К правому, свободному концу пружины жесткости $2k$ прикладывают внешнюю силу и медленно сдвигают этот конец пружины на расстояние L . Насколько при этом растянется другая пружина? Считать, что жидкость под поршни не подтекает, трения нет, а внешнее давление достаточно большое. Влиянием силы тяжести пренебречь.

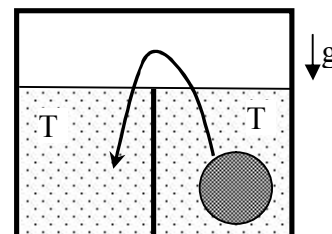


Решение. Изобразим новые положения поршней и концов пружин. Обозначим: искомое изменение длины левой пружины ΔX_1 (этому же равно смещение левого поршня) смещение правого поршня ΔX_2 (этому же равно смещение левого конца правой пружины), силу, приложенную к свободному концу правой пружины F .

По закону Гука $F = 2k(L - \Delta X_2)$ (+1 балл). Правый поршень находится в равновесии, поэтому сила, действующая на поршень со стороны пружины, равна равнодействующей сил давления жидкости (изнутри) и внешней среды на поршень (схематично показана короткими стрелками на рисунке). Т.е. $F = 3S \cdot \Delta P = 2k(L - \Delta X_2)$, где ΔP – перепад давлений по разные стороны поршня (+2 балла). Таким образом, на левый поршень со стороны внешней среды и жидкости действует сила $F_1 = S \cdot \Delta P$ (+1 балл). Левая пружина при этом должна растянуться на такую величину, чтобы поршень был в равновесии, т.е. $F_1 = S \cdot \Delta P = k \Delta X_1$ (+1 балл). Смещения поршней связаны между собой вследствие неизменности объема жидкости: $S \cdot \Delta X_1 = 3S \Delta X_2$ (+2 балла). Решая систему уравнений, получаем, что $\Delta X_1 = 6L/11$ (+3 балла).



5) В прямоугольный сосуд ровно посередине вставили вертикальную перегородку, которая доходит до дна сосуда, но ниже его по высоте (см. рисунок). Слева от перегородки, до ее верхнего края, в сосуд налита жидкость с температурой $T_1=20^\circ\text{C}$. Справа от перегородки находятся небольшое тело и жидкость, налитая также до верха перегородки. Эти тело и жидкость имеют температуру $T_2=40^\circ\text{C}$. Тело вынимают из правой и быстро опускают в левую часть сосуда. Через некоторое время в левой части установилась температура $T_3=25^\circ\text{C}$, а в правой - $T_4=36^\circ\text{C}$. Найти отношение удельных теплоемкостей тела и жидкости, если плотность тела вдвое больше плотности жидкости. Теплообменом с окружающей средой и стенками сосуда, а также теплопроводностью перегородки и зависимостью плотностей от температуры пренебречь.



Решение. Введем обозначения: объем и удельная теплоемкость тела - V_T и C_T ; весь объем, плотность и удельная теплоемкость жидкости - V , ρ и C , соответственно. Искомой величиной является отношение C_T/C . Заметим, что в выбранных обозначениях объем жидкости, находившейся в левой части (слева от перегородки), равен $(V + V_T)/2$, а в правой – меньше на V_T , т.е. $(V - V_T)/2$ (можно выбрать и более удобные обозначения).

После переноса тела из-за вытеснения жидкости она начнет переливаться в правую часть, а объем всей перетекшей жидкости равен V_T (+1 балл).

Рассмотрим процесс теплообмена в правой части, в который переливается жидкость. При достаточно быстром переносе тела теплообменом между телом и жидкостью до того, как вся лишняя жидкость перетекла в другую часть, можно пренебречь, т.е. температура втекающей жидкости равна T_1 . Значит, уравнение теплового баланса для жидкости в правой части имеет вид:

$$\rho \cdot V_T \cdot C \cdot T_1 + \rho \cdot \frac{V - V_T}{2} \cdot C \cdot T_2 = \rho \cdot \frac{V + V_T}{2} \cdot C \cdot T_4 \quad (+2 \text{ балла})$$

Отсюда находим отношение объемов тела и всей жидкости: $\frac{V_T}{V} = \frac{T_2 - T_4}{T_2 + T_4 - 2T_1} = \frac{1}{9}$ (+1 балл)

Уравнение теплового баланса для жидкости, оставшейся в левой части, и перенесенного туда тела имеет вид:

$$2\rho \cdot V_T \cdot C_T \cdot T_2 + \rho \cdot \frac{V - V_T}{2} \cdot C \cdot T_1 = (2\rho \cdot V_T \cdot C_T + \rho \cdot \frac{V - V_T}{2} \cdot C) \cdot T_3 \quad (+3 \text{ балла})$$

Здесь учтено, что плотность тела вдвое выше плотности жидкости.

Таким образом, искомое отношение удельных теплоемкостей удовлетворяет уравнению

$$\frac{C_T}{C} = \frac{(V - V_T) \cdot (T_3 - T_1)}{4V_T \cdot (T_2 - T_3)} = \frac{2 \cdot (T_3 - T_1)}{(T_2 - T_3)} = \frac{2}{3} \quad (+3 \text{ балла})$$

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
13 марта 2016 г.
Решения и критерии оценки
9 класс

1. Когда на пластине из лёгкого пластика стояло три гири, то она плавала наполовину погружившись в воду. Когда поставили двенадцать гирь, то верхняя грань пластины оказалась вровень с поверхностью воды. Во сколько раз плотность пластика меньше плотности воды? Гири одинаковы.

Возможное решение

Пусть m масса гири, ρ_0 плотность воды, а ρ пластины. В первом случае выталкивающая сила уравнивает вес пласта и трёх гирь. Отсюда

$$\rho V + 3m = \rho_0 V/2,$$

где V – объём пластины. <1 балл выражением массы пластины, 1 балл выражение массы, вытесненной воды, 2 балла за условие равновесия >

Во втором случае удвоенная выталкивающая сила уравнивает вес пласта и 12 гирь, откуда

$$\rho V + 12m = \rho_0 V.$$

<1 балл выражение массы, вытесненной воды, 2 балла за условие равновесия >.

Исключая m и V из полученных соотношений, находим

$$\rho_0/\rho = 3 \text{ <3 балла>.}$$

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Выражение массы пластины	$M = \rho V$	1
2	Выражение массы вытесненной воды		
	А)первый случай	$M_1 = \rho_0 V/2$	1
	Б)второй случай	$M_2 = \rho_0 V$	1
3	Условие равновесия		
	А)первый случай	$\rho V + 3m = \rho_0 V/2$	2
	Б)второй случай	$\rho V + 12m = \rho_0 V$ (аналог)	2
4	Решение уравнения и ответ	$\rho_0/\rho = 3$	2+1

Комментарий: этапы решения могут быть объединены(тогда при правильном решении оценка проводится из суммарного балла за этапы) или наоборот выбраны более мелкие шаги (оценка за них не должна менять суммарный балл). Возможен вариант решения, когда прирост выталкивающей силы приравнивается весу 9 дополнительных гирь, откуда получается соотношение $9m = \rho_0 V/2$. Такое решение оценивается из 10 баллов за задачу.

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
13 марта 2016 г.
Решения и критерии оценки
9 класс

2. Шарики, находящиеся на одной вертикали, одновременно отпустили с высоты h и $10h$. Нижний после упругих столкновений с полом столкнулся с верхним шариком. Через какое время от момента, когда шарики отпустили, это произошло? Ускорение свободного падения g .

Возможное решение

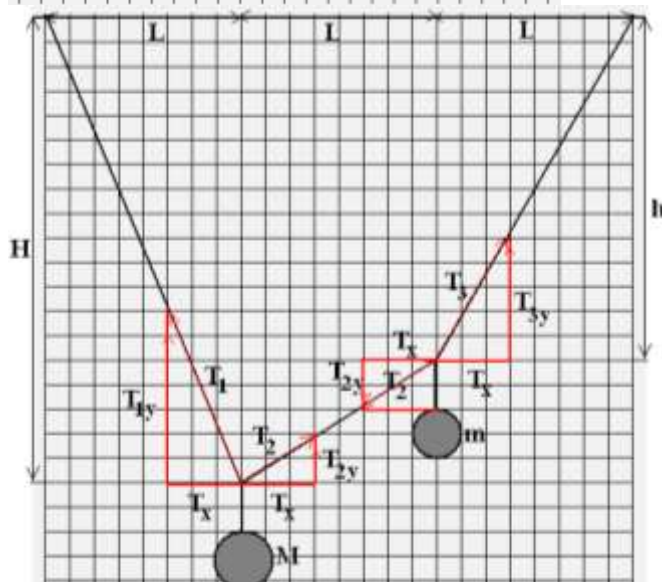
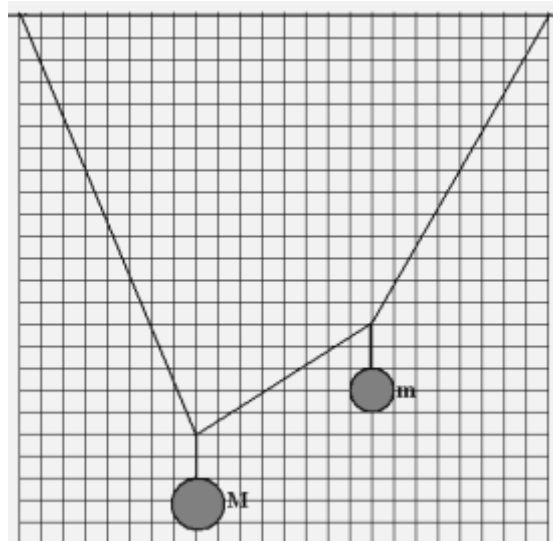
До удара о пол расстояние между шариками остаётся постоянным и равным $9h$. Время падения нижнего шарика с высоты h $t_1 = \sqrt{2h/g}$ <1>, такое же время он будет подниматься после отскока от пола до высоты h и опускаться до момента следующего удара с полом, который произойдёт через время $t_2 = 3\sqrt{2h/g}$ от начального момента <1>. За время t_2 верхний шарик ещё не ударится с нижним, он спустится на расстояние $H = gt_2^2/2 = 9h$ и окажется на высоте $10h - H = h$ над полом <1>. Скорость его в этот момент направлена вниз, $v = gt_2 = 3\sqrt{2gh}$ <1>. У нижнего шарика скорость перед отскоком $u = gt_1 = \sqrt{2gh}$, сразу после отскока она такая же по величине и направлена вверх <1>. Пусть столкновение шариков произойдёт через время τ от момента второго отскока, тогда из формул перемещения при равноускоренном движении с начальной скоростью получим условие встречи $h - v\tau - g\tau^2/2 = u\tau - g\tau^2/2$ <2>. Отсюда найдём $\tau = h/(u + v)$ <1>. Тогда искомое время $T = t_2 + \tau = (25/8) \sqrt{2h/g}$ <2>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Время падения нижнего шарика	$t_1 = \sqrt{2h/g}$	1
2	Время второго отскока от пола	$t_2 = 3t_1$	1
3	Положение верхнего шарика в этот момент	$H = gt_2^2/2 = 9h$, h над полом	1
4	Скорости шариков в этот момент	$v = gt_2 = 3\sqrt{2gh}$; $u = gt_1 = \sqrt{2gh}$	1+1
5	Условие встречи	$h - v\tau - g\tau^2/2 = u\tau - g\tau^2/2$	2
6	Нахождение времени τ от момента отскока	$\tau = h/(u + v)$	1
7	Нахождение искомого времени	$T = t_2 + \tau = (25/8) \sqrt{2h/g}$	2

Комментарий: этапы решения могут быть объединены (тогда при правильном решении оценка проводится из суммарного балла за этапы) или наоборот выбраны более мелкие шаги (оценка за них не должна менять суммарный балл). Скорости могут быть найдены иначе, например из сохранения энергии, а времена по перемещениям и средним скоростям. Любое полное и правильное решение оценивается из 10 баллов за задачу.

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
13 марта 2016 г.
Решения и критерии оценки
9 класс



3. К лёгкому шнуру, прикреплённому к потолку, привязали два груза. Найдите отношение их масс M/m по приведённому рисунку.

Возможное решение

Сумма сил, приложенных к узлу, к которому привязан груз, равна нулю $\langle 1 \rangle$. Это натяжения наклонных участков шнура и вертикальных нитей. Силы тяжести и уравнивающие их натяжения вертикальных нитей направлены по вертикали, из равновесия сил по горизонтали следует, что горизонтальная проекция у натяжений наклонных участков одинакова, обозначим её $T_x \langle 2 \rangle$.

Из равновесия сил по вертикали имеем $T_{1y} + T_{2y} = Mg$ для груза M и $T_{3y} - T_{2y} = mg$ для груза $m \langle 2 \rangle$. Вертикальные проекции натяжений наклонных участков T_{1y} , T_{2y} и T_{3y} выразим через T_x из условия, что соответствующие натяжения направлены вдоль участков шнура. $T_{1y} = T_x H/L$; $T_{2y} = T_x (H - h)/L$ и $T_{3y} = T_x h/L$ (см. рис) $\langle 3 \rangle$. Так как H 19 клеток, а $h = 14$, то

$$M/m = (2H - h)/(2h - H) = 8/3 \langle 3 \rangle.$$

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Указание на равновесие сил для узлов		1
2	Вывод о равенстве горизонтальных проекций натяжений		1
3	Равновесие сил по вертикали	$T_{1y} + T_{2y} = Mg$; $T_{3y} - T_{2y} = mg$	1+1
4	Выражение вертикальных проекций натяжений через горизонтальную	$T_{1y} = T_x H/L$; $T_{2y} = T_x (H - h)/L$ и $T_{3y} = T_x h/L$ (аналог)	1+1+1
5	Нахождение отношения масс	$M/m = (2H - h)/(2h - H) = 8/3$	2+1

Комментарий: Возможно проекции будут выражаться через синусы и косинусы углов наклона, в конечном счёте появятся тангенсы. Если для их нахождения «по клеточкам» использовать малые отрезки шнуров, то может появиться заметная ошибка. При 2% отклонении за числовой ответ 1 балл, при большем 0.

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
13 марта 2016 г.
Решения и критерии оценки
9 класс

4. В сосуд с нагревателем через промежутки времени $t_0 = 6$ мин опускают одинаковые порции снега с одинаковой, но неизвестной температурой. Первая порция растаяла и превратилась в воду с температурой 0°C через время $t = 5$ мин 20 сек, после чего температура воды выросла до $T_0 = 10^\circ\text{C}$ к моменту опускания второй порции снега. Вторая порция растаяла через меньшее, чем t время... третья ещё быстрее, а сотая – растаяла почти сразу. Объясните, почему так происходит. Какова температура воды перед опусканием сотой порции снега и сразу после того, как она растаяла, если временем теплообмена можно пренебречь? Тепловая мощность, передаваемая нагревателем воде и снегу, постоянна.

Возможное решение

Следующие порции снега получают дополнительное тепло от нагретой воды, которой каждый раз становится всё больше, что и сокращает время таянья снега <1>.

Запишем уравнение теплового баланса для таянья первой порции массы m : $Nt = m(\lambda + c_{\text{л}}\Delta T_{\text{л}})$, полученное от нагревателя за время t тепло идёт на повышение температуры снега на $\Delta T_{\text{л}}$ до 0°C и на теплоту плавления снега (льда). Здесь $c_{\text{л}}$ удельная теплоёмкость снега, λ удельная теплота плавления, а N мощность нагревателя. <2>. Тепловой баланс на этапе нагрева воды от 0°C до T_0 : $N(t_0 - t) = cmT_0$, где c удельная теплоёмкость воды <1>. Отсюда получаем соотношение $(\lambda + c_{\text{л}}\Delta T_{\text{л}}) = cT_0t/(t_0 - t)$ <1>.

Так как тепла полученного за время t_0 как раз хватает на нагрев и таянье снега и нагрев образовавшейся воды до температуры T_0 , то в конце каждого промежутка температура воды перед опусканием новой порции, в том числе и сотой, $T_{\text{перед}} = T_0 = 10^\circ\text{C}$ <1>.

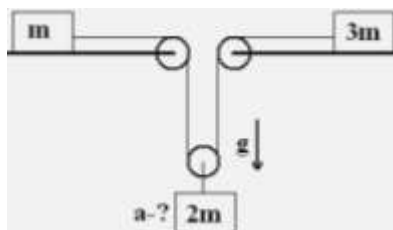
В условии указано, что время таянья сотой порции снега весьма мало, а тогда мала передача тепла от нагревателя за это время. Основное тепло поступает от массы воды $99m$ при начальной температуре T_0 и оно идёт на плавление снега и повышение температуры до искомой T . Отсюда уравнение теплового баланса $99mcT_0 = 100mcT + m(\lambda + c_{\text{л}}\Delta T_{\text{л}})$ <2>. Исключая $(\lambda + c_{\text{л}}\Delta T_{\text{л}})$, получим $99T_0 - T_0t/(t_0 - t) = 100T$ и окончательно $T = 9,1^\circ\text{C}$ <2>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Объяснение сокращения времени таянья		1
2	Тепловой баланс для таянья 1-й порции	$Nt = m(\lambda + c_{\text{л}}\Delta T_{\text{л}})$ аналог	2
3	Тепловой баланс для нагрева 1-й порции воды	$N(t_0 - t) = cmT_0$	1
4	Соотношение «теплот»	$(\lambda + c_{\text{л}}\Delta T_{\text{л}}) = cT_0t/(t_0 - t)$ аналог	1
5	Вывод о равенстве температур в конце цикла	$T_{\text{перед}} = T_0 = 10^\circ\text{C}$	1
6	Тепловой баланс для «мгновенного» таянья и нагрева	$99mcT_0 = 100mcT + m(\lambda + c_{\text{л}}\Delta T_{\text{л}})$	2
7	Уравнение для T и ответ	$99T_0 - T_0t/(t_0 - t) = 100T$; $T = 9,1^\circ\text{C}$	1+1

Комментарий: $(\lambda + c_{\text{л}}\Delta T_{\text{л}})$ в формуле можно не делить на части, но должно быть сказано, что это тепло идёт на нагрев и таянье снега. Если не указано, то максимум за 2-й этап 1 балл.

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
13 марта 2016 г.
Решения и критерии оценки
9 класс



5. Грузы масс m и $3m$ находятся на горизонтальном столе. Они связаны нерастяжимой нитью, проходящей через блоки на краях отверстия в столе и блок, на котором подвешен груз массы $2m$. Найдите ускорение груза массы $2m$, если трения нет, блоки и нить невесома, ускорение свободного падения g . Влиянием воздуха пренебречь.

Возможное решение

Второй закон Ньютона для указанных масс:

$$ma_1 = T \text{ <1>; } 3ma_3 = T \text{ <1>; } 2ma = 2mg - 2T \text{ <2>.}$$

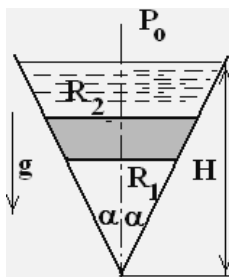
Связь ускорений из нерастяжимости нити $a = (a_1 + a_3)/2 \text{ <2>.}$

Решение уравнений и получение ответа $a = 0,4g \text{ <4>.}$

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Второй закон Ньютона для указанных масс		
а	Для m	$ma_1 = T$	1
б	Для $3m$	$3ma_3 = T$	1
в	Для $2m$	$2ma = 2mg - 2T$	2
2	Связь ускорений из нерастяжимости	$a = (a_1 + a_3)/2$	2
3	Решение уравнений и получение ответа	$a = 0,4g$	4

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
13 марта 2016 г.
Решения и критерии оценки
10 класс



1. Конический сосуд с углом раствора 2α герметично перекрыт пробкой массой m и радиусами оснований R_1 и R_2 . Под пробкой – воздух при атмосферном давлении P_0 и температуре T_0 , выше налита вода до уровня H от вершины конуса. До какой температуры T нужно нагреть воздух под пробкой, чтобы он стал выходить? Плотность воды ρ , ускорение свободного падения g .

Возможное решение

На пробку при отрыве её от стенки по вертикали вниз действует сила давления воды и сила тяжести mg , а вверх сила давления воздуха в сосуде, сила же со стороны стенки нулевая <1>.

Рассчитаем силы. Давление воды на пробку $P_v = P_0 + \rho gh$, где $h = H - R_2 \cot \alpha$ <2>, умножив его на площадь найдем силу давления воды $(P_0 + \rho g(H - R_2 \cot \alpha))\pi R_2^2$ <1>. Сила давления воздуха снизу это $P\pi R_1^2$, где P его давление <1>. Отсюда условие равновесия при отрыве пробки: $mg + (P_0 + \rho g(H - R_2 \cot \alpha))\pi R_2^2 = P\pi R_1^2$. <1>

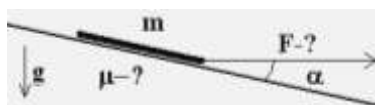
Из уравнения состояния газа и постоянства объёма имеем $P/P_0 = T/T_0$. <2>.

Откуда окончательно $T = T_0(mg/\pi R_2^2 + P_0 + \rho g(H - R_2 \cot \alpha)R_2^2/P_0 R_1^2)$. <2>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Указание действующих на пробку сил		1
2	Давление воды	$P_v = P_0 + \rho gh$, где $h = H - R_2 \cot \alpha$	1+1
3	Сила давления воды	$(P_0 + \rho g(H - R_2 \cot \alpha))\pi R_2^2$	1
4	Сила давления воздуха снизу	$P\pi R_1^2$	1
5	Условие равновесия	$mg + (P_0 + \rho g(H - R_2 \cot \alpha))\pi R_2^2 = P\pi R_1^2$	1
6	Отношения давлений и температур	$P/P_0 = T/T_0$. $V = \text{const}$	2
7	Нахождение искомой температуры	$T = T_0(mg/\pi R_2^2 + P_0 + \rho g(H - R_2 \cot \alpha)R_2^2/P_0 R_1^2)$	2

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
13 марта 2016 г.
Решения и критерии оценки
10 класс



2. На плоскости с углом наклона α лежит однородная линейка массы m . Её тянут по горизонтали за нить, привязанную к нижнему концу. При какой максимальной силе натяжения $F_{\max}$ линейка не оторвётся от плоскости? Найдите наименьший коэффициент трения $\mu_{\min}$ такой, что при этом линейка не будет и соскальзывать. Ускорение свободного падения g .

Возможное решение

Максимум силы – отсутствие поворота вокруг верхнего конца, из условия равновесия моментов сил: $F_{\max} \sin \alpha = (mg/2) \cos \alpha$, то есть $F_{\max} = (mg/2) \operatorname{ctg} \alpha$, при $F \leq (mg/2) \operatorname{ctg} \alpha$ нет поворота. <4>

Отсутствие проскальзывания $F \cos \alpha + mg \sin \alpha \leq \mu N$; $N = mg \cos \alpha - F \sin \alpha$;

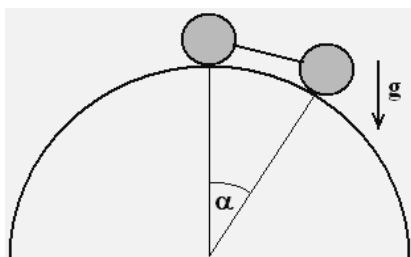
$\mu \geq (F \cos \alpha + mg \sin \alpha) / (mg \cos \alpha - F \sin \alpha)$ <3> при любых допустимых силах, то есть и при $F =$

$F_{\max} = (mg/2) \operatorname{ctg} \alpha$ <1>. Тогда $\mu \geq \operatorname{ctg} \alpha + 2 \operatorname{tg} \alpha$ или $\mu \geq \frac{1 + \sin^2 \alpha}{\cos \alpha}$; $\mu_{\min} = \operatorname{ctg} \alpha + 2 \operatorname{tg} \alpha$ <2>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Равновесие моментов сил	$F_{\max} \sin \alpha = (mg/2) \cos \alpha$; $F_{\max} = (mg/2) \operatorname{ctg} \alpha$	4
2	Отсутствие проскальзывания	$F \cos \alpha + mg \sin \alpha \leq \mu N$; $N = mg \cos \alpha - F \sin \alpha$; $\mu \geq (F \cos \alpha + mg \sin \alpha) / (mg \cos \alpha - F \sin \alpha)$	1+1 +1
3	Отсутствие проскальзывания при $F_{\max}$		1
4	Условие на μ	$\mu_{\min} = \operatorname{ctg} \alpha + 2 \operatorname{tg} \alpha$ или аналог	2

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
13 марта 2016 г.
Решения и критерии оценки
10 класс



3. Одинаковые шары массы m связаны натянутой нитью и находятся на сфере. Её радиус, проведённый к точке касания с верхним шаром, вертикален, а проведённый к точке касания с нижним, образует угол α с вертикалью. Найдите ускорения шаров и натяжение нити сразу после того, как отпустили верхний шар. Трения нет, ускорение свободного падения g .

Возможное решение

Так как начальная скорость нулевая, то поперечное (центростремительное) ускорение нулевое $\langle 0,5 \rangle$. Нить направлена по прямой, соединяющей центры шаров $\langle 0,5 \rangle$. При движении шаров по сфере скорости и продольные ускорения их центров равны; $a = dv/dt \langle 1 \rangle$. Тогда 2-й закон Ньютона для верхнего шарика $ma = T \cos(\alpha/2)$, где T натяжение нити $\langle 2 \rangle$; а для нижнего $ma = mg \sin \alpha - T \cos(\alpha/2) \langle 2 \rangle$. Отсюда ускорение $a = (g/2) \sin \alpha \langle 2 \rangle$, а натяжение $T = mg \sin \alpha / 2 \cos(\alpha/2) = mg \sin(\alpha/2) \langle 2 \rangle$.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Равенство нулю поперечного ускорения		0,5
2	Направление нити		0,5
3	Равенство продольных ускорений	$a = dv/dt$	1
4	2-й закон Ньютона для верхнего и нижнего шариков	$ma = T \cos(\alpha/2); ma = mg \sin \alpha - T \cos(\alpha/2)$	2+ 2
	Нахождение ускорения	$a = (g/2) \sin \alpha$	2
	Нахождение натяжения	$T = mg \sin \alpha / 2 \cos(\alpha/2) = mg \sin(\alpha/2)$	2

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
13 марта 2016 г.
Решения и критерии оценки
10 класс

4. Снег с температурой $t_1 = -10^\circ\text{C}$ опустили в сосуд с нагревателем. Через время, равное $\tau_1 = 4$ минуты, снег растаял и превратился в воду с температурой $t_0 = 0^\circ\text{C}$, а ещё через время $\tau_2 = 57$ сек – температура воды выросла до $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Найдите удельную теплоёмкость снега c_1 , если удельная теплоёмкость воды $c_2 = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/кг $\cdot^\circ\text{C}$, а удельная теплота плавления $\lambda = 334 \cdot 10^3$ Дж/кг. Тепловая мощность, передаваемая нагревателем воде и снегу, постоянна.

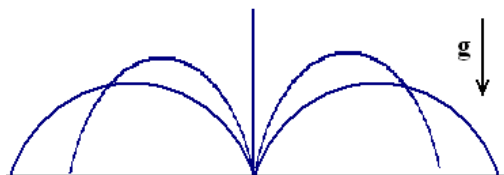
Возможное решение

Поступившее за время τ_1 от нагревателя тепло $N\tau_1$, где N его мощность, $\langle 1 \rangle$ идёт на повышение температуры снега от t_1 до t_0 и на плавление снега. Уравнение теплового баланса на этом этапе: $M(c_1(t_0 - t_1) + \lambda) = N\tau_1$, где M масса снега $\langle 3 \rangle$. Поступившее за время τ_2 тепло идёт на нагрев воды от t_0 до t_2 , так что $Mc_2(t_2 - t_0) = N\tau_2$ $\langle 2 \rangle$. Исключая M и N находим теплоёмкость $c_1 = c_2(t_2 - t_0)\tau_1 / (t_0 - t_1)\tau_2 - \lambda / (t_0 - t_1) \cong 2 \cdot 10^3$ Дж/кг $\cdot^\circ\text{C}$ $\langle 3+1 \rangle$.

Разбалловка по этапам

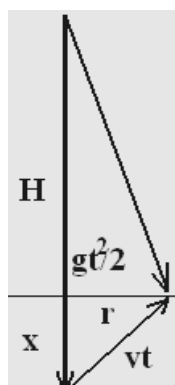
	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Выражение поступившего от нагревателя тепла через время и мощность	$Q = N\tau$	1
2	Тепловой баланс за время τ_1	$M(c_1(t_0 - t_1) + \lambda) = N\tau_1$	3
3	Тепловой баланс за время τ_2	$Mc_2(t_2 - t_0) = N\tau_2$	2
4	Нахождение выражения для c_1 ; число	$c_1 = c_2(t_2 - t_0)\tau_1 / (t_0 - t_1)\tau_2 - \lambda / (t_0 - t_1) \cong 2 \cdot 10^3$ Дж/кг $\cdot^\circ\text{C}$	3+1

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
13 марта 2016 г.
Решения и критерии оценки
10 класс



5. Капли воды разбрызгивателя летят во все стороны с одинаковой скоростью v . Насколько нужно поднять разбрызгиватель с уровня земли, чтобы увеличить площадь полива вдвое при прежней скорости вылета? Ускорение свободного падения g , влиянием воздуха пренебречь.

Возможное решение



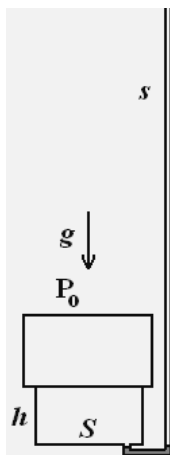
Вектор перемещения капли за время полёта t $\mathbf{L} = \mathbf{gt}^2/2 + \mathbf{vt}$, g ускорение падения, v начальная скорость $\langle 1 \rangle$. Рис. отвечает ситуации, когда у v положительная проекция на вертикаль, тогда $gt^2/2 = H + x$, где x проекция $\mathbf{vt}$ на вертикаль, а H высота разбрызгивателя над землёй $\langle 1 \rangle$. Отрицательной проекции отвечает отрицательное x . Расстояние r , пройденное по горизонтали, выразим через теорему Пифагора: $r^2 = (vt)^2 - x^2 \langle 1 \rangle$. Выразим время через x : $t^2 = 2(H + x)/g \langle 1 \rangle$. Тогда $r^2 = 2v^2(H + x)/g - x^2 \langle 1 \rangle$. Площадь полива определяется максимальным значением r^2 , которое выражено квадратным трёхчленом по x . Приведением к полному квадрату, использованием симметрии параболы, с помощью ли производной можно найти максимальное значение: $r_{\max}^2 = 2v^2H/g + v^4/g^2 \langle 2 \rangle$. Если получить выражение r^2 через t , то это будет квадратный полином от t^2 с аналогичным исследованием на максимум. Исходная площадь S отвечает $r_0 = v^2/g$ ($H = 0!$) $\langle 1 \rangle$. Удвоение площади $r^2 = 2r_0^2$ даёт решение для $H = v^2/2g \langle 2 \rangle$.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Выражение для вектора перемещения	$\mathbf{L} = \mathbf{gt}^2/2 + \mathbf{vt}$	1
2	Связь H и x со временем полёта	$gt^2/2 = H + x$	1
3	Нахождение перемещения по горизонтали	$r^2 = (vt)^2 - x^2$	1
4	Нахождение времени через x	$t^2 = 2(H + x)/g$	1
5	Получение зависимости r^2 от x	$r^2 = 2v^2(H + x)/g - x^2$	1
6	Нахождение максимума r^2	$r_{\max}^2 = 2v^2H/g + v^4/g^2$	2
7	Исходная площадь отвечает $r_{\max}^2$ при $H = 0$	$r_0 = v^2/g$	1
	Нахождение H из удвоения площади	$r^2 = 2r_0^2$; $H = v^2/2g$	2

Комментарий: Будут встречаться разные варианты решения с другой группировкой и последовательностью этапов. Скажем, при заданных H и r получим квадратное уравнение для x или t^2 . При отсутствии решений – r недостижимо, при двух решениях в r можно попасть двумя путями, $r_{\max}$ отвечает случаю, когда решение одно, то есть когда совпадают корни, а дискриминант квадратного уравнения нулевой. Отсюда получается $r_{\max}^2 = 2v^2H/g + v^4/g^2$. В качестве варьируемой переменной может использоваться угол вылета или его тангенс и т. д.

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
13 марта 2016 г.
Решения и критерии оценки
11 класс



1. Цилиндр высоты $h = 0,1$ м и сечения $S = 0,1$ м² герметично закрыт плитой массы $M = 1$ т с центром масс на оси цилиндра. От цилиндра отходит высокая трубка сечения $s = 1$ см². Её горизонтальный участок заполнен водой, а весь объём цилиндра – воздухом. В трубку по стенке вливают воду. При какой массе налитой воды воздух начнёт выходить из цилиндра? Атмосферное давление $P_0 = 10^5$ Па, температура неизменна, ускорение свободного падения $g \cong 10$ м/с², плотность воды $\rho = 1$ г/см³.

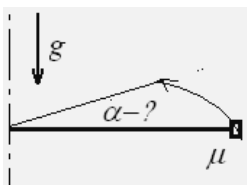
Возможное решение

При отрыве сила давления воздуха в цилиндре, действующая на плиту снизу, PS уравнивает силу давления атмосферного воздуха P_0S и силу тяжести: $PS = Mg + P_0S$ <1>. Обозначим x высоту слоя жидкости в цилиндре при давлении воздуха в нём P . Исходно давление воздуха в цилиндре равно атмосферному, иначе горизонтальный столбик воды не был бы в равновесии <1>. При неизменной температуре произведение давления на объём постоянно и $P_0Sh = PS(h - x) = (Mg + P_0S)(h - x)$ <1>. Отсюда $x = Mgh/(Mg + P_0S)$ <1>. На уровне x давление воды в трубке равно давлению P воздуха в цилиндре <1>. С другой стороны оно равно атмосферному давлению плюс давление столбика воды высоты H над этим уровнем $P = P_0 + \rho gH$ <1>. Откуда $\rho gH = Mg/S$ и $\rho H = M/S$ <1>. Полная масса налитой воды складывается из массы столба жидкости высоты x в цилиндре и в трубке и столбика высоты H в трубке $m = \rho(x(S + s) + Hs)$ <1>. После подстановок имеем: $m/M = \rho hg(S + s)/(Mg + P_0S) + s/S \cong 6 \cdot 10^{-3}$ и $m = 6$ кг <1+1>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Равновесие сил при отрыве	$PS = Mg + P_0S$	1
2	Равенство исходного давления P_0		1
3	Условие неизменности температуры	$P_0Sh = PS(h - x) = (Mg + P_0S)(h - x)$	1
4	Нахождение уровня воды в цилиндре	$x = Mgh/(Mg + P_0S)$	1
5	Равенство давления воды на уровне x в трубке давлению воздуха внутри	$P = P_0 + \rho gH$	1+1
6	Следствие для H	$\rho gH = Mg/S$ и $\rho H = M/S$	1
7	Нахождение искомой массы воды	$m = \rho(x(S + s) + Hs)$; $m/M = \rho hg(S + s)/(Mg + P_0S) + s/S \cong 6 \cdot 10^{-3}$ и $m = 6$ кг	1+2

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
13 марта 2016 г.
Решения и критерии оценки
11 класс



2. На конец спицы надето небольшое кольцо, коэффициент трения его со спицей μ . Спицу начинают вращать в горизонтальной плоскости, так что скорость конца с кольцом растёт пропорционально времени: $v = at$, a задано. На какой угол повернётся спица к моменту срыва с неё кольца? Ускорение свободного падения g .

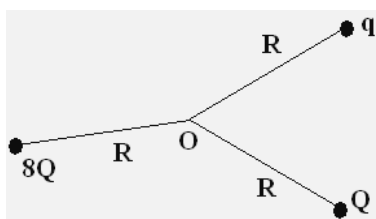
Возможное решение

Пусть проекция силы нормального давления на направление скорости N_x , из 2-го закона Ньютона для продольного ускорения имеем: $N_x = ma$ <1>. По вертикали ускорение нулевое, поэтому проекция силы нормального давления на вертикаль уравнивает силу тяжести $N_y = mg$ <1>. Центробежное ускорение v^2/R обеспечивает сила трения f : $f = mv^2/R$ <2>. Условие срыва достижение силы трения максимального значения $f_{\max} = \mu N$ <1>, где $N^2 = N_x^2 + N_y^2$ <1>. Связь скорости с пройденным путём $s = R\alpha$, а значит и углом поворота, можно найти из кинематики или из равенства приращения кинетической энергии работе силы: $v^2 = 2aR\alpha$ <2>. Окончательно $\alpha = (\mu/2)\sqrt{(g/a)^2 + 1}$ <2>.

Разбалловка по этапам

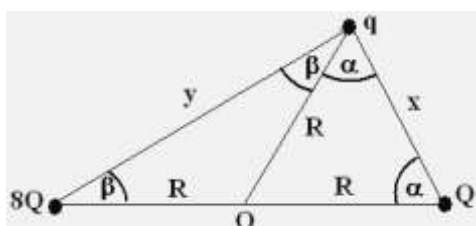
	Этапы решения	соотношения	Балл
1	2-й закон Ньютона в проекции на скорость	$N_x = ma$	1
2	Равновесие по вертикали	$N_y = mg$	1
3	2-й закон Ньютона в проекции на «радиус»	$f = mv^2/R$, f сила трения	2
4	Условие срыва	$f_{\max} = \mu N$	1
5	Нахождение N по проекциям	$N^2 = N_x^2 + N_y^2$	1
6	Связь скорости с углом поворота	$v^2 = 2aR\alpha$	2
7	Нахождение искомого угла	$\alpha = (\mu/2)\sqrt{(g/a)^2 + 1}$	2

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
13 марта 2016 г.
Решения и критерии оценки
11 класс



3. Три нити равной длины R связаны в одной точке O . На концах нитей – одноимённые заряды $8Q$, Q и q . Каковы расстояния между этими зарядами в равновесии, если заряд q пренебрежимо мал в сравнении с Q ? Система находится на горизонтальной плоскости без трения.

Возможное решение



Ввиду малости q силами со стороны этого заряда при рассмотрении равновесия зарядов $8Q$ и Q пренебрегаем $\langle 0,5 \rangle$. Натяжения соответствующих нитей уравнивают кулоновскую силу отталкивания, направленную по прямой, соединяющей заряды, по этой прямой тогда направлены и нити $\langle 1 \rangle$. Тогда расстояние z между зарядами $8Q$ и Q равно $2R \langle 0,5 \rangle$.

«Большие» заряды стремятся оказаться как можно дальше!

Обозначим расстояния от q до Q и $8Q$ через x и y . Раз сумма углов при общей вершине в точке O у равнобедренных треугольников с основаниями x и y равна 180° , то угол $\alpha + \beta$ между отрезками x и y равен 90° ! То есть треугольник со сторонами x , y и $z = 2R$ прямоугольный, а $x^2 + y^2 = z^2 \langle 2 \rangle$.

Заряд q будет в равновесии, если сумма векторов кулоновских сил и натяжения нити равна нулю. Поскольку натяжение нити направлено по ней от q к O , то проекции кулоновских сил на направление перпендикулярное нити уравниваются: $(kqQ/x^2)\sin\alpha = (8kqQ/y^2)\sin\beta \langle 2 \rangle$. Заметим, что $\sin\alpha = y/z$; $\sin\beta = x/z \langle 1 \rangle$. После подстановки в условие равновесия получим $q/x^3 = 8q/y^3$, а то есть $y = 2x \langle 1 \rangle$. Учитывая, что $x^2 + y^2 = z^2$, находим $x = z/\sqrt{5} = 2R/\sqrt{5}$; $y = 2z/\sqrt{5} = 4R/\sqrt{5} \langle 2 \rangle$.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Равновесие «больших» зарядов при $q \rightarrow 0$	$z = 2R$	0,5+1+0,5
2	Вывод, что треугольник со сторонами x , y , z прямоугольный	$x^2 + y^2 = z^2$	2
3	Равновесие заряда q , равенство поперечных нити проекций кулоновских сил	$(kqQ/x^2)\sin\alpha = (8kqQ/y^2)\sin\beta$	2
4	Выражения для синусов	$\sin\alpha = y/z$; $\sin\beta = x/z$	1
5	Нахождение связи x и y	$q/x^3 = 8q/y^3$, а то есть $y = 2x$	1
6	Нахождение x и y	$x = z/\sqrt{5} = 2R/\sqrt{5}$; $y = 2z/\sqrt{5} = 4R/\sqrt{5}$	2

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
13 марта 2016 г.
Решения и критерии оценки
11 класс

$2T_0$	T_0	
V_0	V_0	P_0
He	He	

4. В длинном горизонтальном теплоизолированном цилиндре находится гелий при атмосферном давлении. Левый отсек объёмом V_0 перекрыт закреплённой теплопроводящей перегородкой, начальная температура гелия в нём $2T_0$. Правый отсек с начальным объёмом V_0 перекрыт справа подвижным теплоизолирующим поршнем, начальная температура гелия в нём T_0 . Каким станет объём второго отсека после установления равновесия, если передачей тепла от гелия цилиндру, поршню и перегородке можно пренебречь?

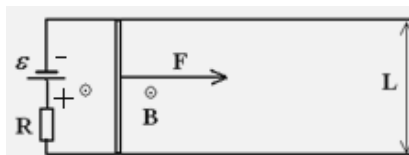
Возможное решение

Из уравнения состояния газа находим, что число молей в правом отсеке вдвое больше, чем в левом, в левом ν и 2ν в правом $\langle 1 \rangle$. Тепло, переданное из левого отсека, равно убыли внутренней энергии: $Q = (3/2)\nu R(2T_0 - T)$, здесь T температура после установления теплового равновесия $\langle 2 \rangle$. Полученное газом в правом отсеке тепло от газа в левом идёт на прирост внутренней энергии $\Delta U = (3/2)2\nu R(T - T_0)$ $\langle 1 \rangle$ и на совершение работы $A = P_0(V - V_0) = 2\nu R(T - T_0)$, последнее получено из уравнения состояния $\langle 2 \rangle$. Тогда суммарно $Q = (3/2)2\nu R(T - T_0) + 2\nu R(T - T_0)$ $\langle 1 \rangle$. Отсюда находим $T = 16T_0/13$ $\langle 1 \rangle$. При изобарическом расширении объём пропорционален температуре и $V = 16V_0/13$ $\langle 2 \rangle$.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Отношение числа молей газа в отсеках	1:2	1
2	Нахождение отданного тепла	$Q = (3/2)\nu R(2T_0 - T)$,	2
3	Нахождение полученного тепла	$Q = \Delta U + A = (3/2)2\nu R(T - T_0) + 2\nu R(T - T_0)$	1+2+1
4	Нахождение конечной температуры	$T = 16T_0/13$	1
5	Нахождение искомого объёма	$V = 16V_0/13$	2

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
13 марта 2016 г.
Решения и критерии оценки
11 класс



5. Идеальная батарея с эдс ε через резистор с сопротивлением R подключена к длинным параллельным проводам, замкнутым подвижной массивной перемычкой длины L . Система находится в однородном магнитном поле B , перпендикулярном плоскости рисунка. В момент, когда скорость перемычки равна нулю, её начинают тянуть вправо с силой F . Укажите диапазон изменения тепловой мощности, выделяющейся на резисторе при движении перемычки. Сопротивлением проводов и перемычки пренебречь, трения нет.

Возможное решение

Мощность, выделяющаяся на резисторе, $N = RI^2$, где I ток в цепи $\langle 1 \rangle$. При движении перемычки со скоростью v в магнитном поле наводится эдс индукции, по закону Фарадея $\mathcal{E}_i = -d\Phi/dt = -vBL \langle 1 \rangle$. Полная эдс $\mathcal{E} - vBL$, и тогда ток $I = (\mathcal{E} - vBL)/R \langle 1 \rangle$.

Определим диапазон изменения N , выяснив как меняется скорость. Пусть масса перемычки m , тогда для её ускорения $a = dv/dt$ из 2-го закона Ньютона с учётом магнитной силы ILB имеем: $ma = F + ILB \langle 1 \rangle$. Начальная скорость 0, начальный ток $I_0 = \mathcal{E}/R$, начальное ускорение положительно $\langle 1 \rangle$. Скорость начинает нарастать, по мере роста скорости ток монотонно уменьшается от I_0 до нуля $\langle 1 \rangle$. В этот момент ускорение положительно и равно F/m . Поэтому скорость продолжает расти, а ток становится отрицательным. Ускорение продолжает уменьшаться и при некоторой скорости обращается в 0, что отвечает движению с установившейся скоростью $\langle 1 \rangle$. При это достигается наибольшее по модулю значение тока, раз $a = 0$, то $I_k = -F/LB \langle 1 \rangle$.

Итак мощность $N = RI^2$ сначала убывает от значения $N_0 = \mathcal{E}^2/R$ до нуля, затем нарастает от нуля до $N_k = (F/LB)^2 R$ при установившихся скорости и токе $I_k = -F/LB \langle 2 \rangle$.

(При $R < \mathcal{E}BL/F$ максимум мощности $N_0 = \mathcal{E}^2/R$, иначе максимум $N_k = (F/LB)^2 R$.)

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Связь мощности и тока	$N = RI^2$	1
2	Эдс индукции	$\mathcal{E}_i = -d\Phi/dt = -vBL$	1
3	Связь тока и скорости	$I = (\mathcal{E} - vBL)/R$	1
4	2-й закон Ньютона для перемычки	$ma = F + ILB$	1
5	Начальный ток	$I_0 = \mathcal{E}/R$	1
6	Уменьшение тока до 0		1
7	Изменения знака тока с ростом скорости, установившееся движение $a = 0$		1
8	Ток, при установившемся движении	$I_k = -F/LB$ из $a = 0$	1
9	Указание диапазона для мощности	От $N_0 = \mathcal{E}^2/R$ до 0 до $N_k = (F/LB)^2 R$	2

Комментарий: При другой полярности батареи или другом направлении B начальное ускорение только при $R > \mathcal{E}BL/F$ направлено по направлению силы F . Тогда мощность монотонно возрастает от N_0 до N_k , не обращаясь в нуль. Если $R < \mathcal{E}BL/F$, то перемычка начнёт двигаться влево и если хватит расстояния для установления $a \cong 0$, то мощность монотонно убывает от N_0 до N_k . За полное решение в этом случае суммарный балл 9. Если рассмотрено движение только в одну сторону, то 8 баллов.