Заключительный этап Всесибирской открытой олимпиады школьников

Физика, 5 марта 2017 г.

Задачи для 7 класса с возможными решениями (максимум – 10 баллов)

1) У школьника Пети были два одинаковых ведра – первое с водой, а второе – с картошкой. Петя взвесил ведра вместе с содержимым и получил значения масс 9 кг для первого и 5.8 кг для второго, соответственно. Затем из ведра с водой он аккуратно перелил половину воды в ведро с картошкой. При этом оказалось, что картошка полностью покрыта водой, а уровень воды в этом ведре стал таким же, как раньше был в ведре с водой. Теперь он опять взвесил второе ведро и получил значение его массы 9.8 кг. Определите по этим данным собственную плотность картофеля. Считать, что плотность воды равна 1000 кг/м^3.

Решение. Если объем воды равен V, то перелито было V/2 (+1 балл), а масса перелитой воды составляет 4 кг, т.е. V= 8 л (+ 1 балл). Так как оставшаяся вода имеет ту же массу, то это означает, что масса ведра составляет 1 кг (+ 1 балл). Сумма объемов картофеля и перелитой воды, согласно условию, равна V, т.е. объем картофеля равен V/2=4 л (+ 2 балла).
Зная массу ведра, находим собственную массу картофеля – m=4.8 кг (+ 2 балла). Таким образом, плотность картофеля равна $\rho=2m/V=1.2$ кг/л=1200 кг/м^3 (+ 3 балла).

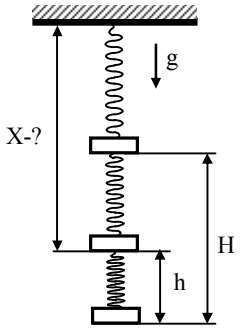
2) На вершине горы и у её подножия стоят два замка. Из этих замков одновременно выбежали два гонца с посланиями соседям. К моменту встречи гонец сверху пробежал вдвое больше, чем гонец из нижнего замка. При встрече гонцы обменялись письмами и побежали обратно, каждый в свой замок. В каждом замке по полчаса сочиняли ответ и снова отправили гонцов с посланиями по той же дороге. Какую часть дороги вниз пробежит гонец из верхнего замка к моменту новой встречи? Считать, что гонцы обладают одинаковыми физическими возможностями, и при движении по склону горы в одну сторону их скорость не изменяется.

Решение. Обозначим L длину дороги от нижнего замка до места первой встречи. Тогда, согласно условию задачи, гонец, который бежал вниз по склону, пробежал 2L, т.е. скорость гонца вниз по склону вдвое больше, чем того же гонца, когда он бежит вверх по склону (+ 2 балла).

Ответ на вопрос задачи не зависит от того, как долго писались ответы, главное, что задержка на это время одинакова для обоих гонцов (+ 1 балл). Представим, что ответы были написаны мгновенно. Тогда гонец из нижнего замка выбежит с ответом в тот момент, когда второй гонец отбежал от места первой встречи на расстояние L/2 (+1 балла). Вверх по склону они бегут с одной и той же скоростью, т.е. между ними будет расстояние 3L/2 до тех пор, пока гонец сверху не добежит до своего замка (+ 2 балла). Так как времени на ответ тратится по предположению, этот гонец сразу побежит вниз,. Исходя из известного соотношения скоростей бега вверх и вниз, этот отрезок (3L/2) будет разделен точкой встречи в отношении 1(снизу):2(сверху), т.е. верхний успеет пробежать L вниз по склону (+ 2 балла), т.е. он пробежит треть длины дороги (+2 балла за ответ в соответствии с вопросом задачи).

Если не считать, что время на составление ответа равно нулю, то все равно получится, что в момент начала движения гонца с ответом из верхнего замка гонец из нижнего замка будет находиться на расстоянии 3L/2 от него.

3) У Пети было много одинаковых пружин и грузов. Он соорудил «гирлянду» из трех пружин и трех грузов (см рис.). Самый нижний груз был на **h** ниже среднего, и на расстояние **H** ниже самого верхнего. На каком расстоянии **X** от потолка висит средний груз? Размерами грузов пренебречь.



Решение. Обозначим длину нерастянутой пружины L, ее жесткость *k*, массу груза *M*, считаем, что пружина невесома. Тогда, по закону Гука, для нижней пружины справедливо соотношение **h**=L+*Mg/k* (+1 балл).

Длина второй растянутой пружины будет равна L+*2Mg/k* (+ 1 балл), так как на ней висит два груза.

Поскольку H=2L+*3Mg/k* (+2 балла), то получаем, что *Mg/k*=H-2·h (+ 2 балла).

(Аналогичными преобразованиями уравнений для h и H можно получить и другие соотношения, например, 3h-H=L, которые также можно использовать для решения задачи).

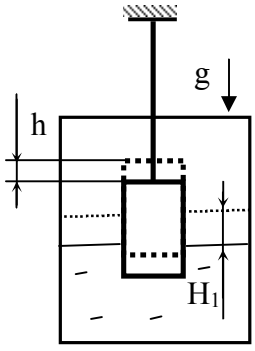
Искомое расстояние равно X=(L+3·Mg/k)+(L+2·Mg/k)=2L+5Mg/k (+ 2 балла).

Подставляя полученные выше выражения, получаем

X=H+2·(H-2·h)=3H-4h (+ 2 балла)

Отметим, что наличие у пружин массы на ответ не влияет, так как это эквивалентно увеличению массы каждого груза.

4) На длинном резиновом жгуте висит однородный брусок, погруженный в жидкость на b=5 см, что составляет треть длины его вертикального ребра (см. рисунок). В сосуд доливают жидкость так, что её уровень поднимается на H_1=3 см. Брусок при этом поднимается на h= 2 см. Найдите, насколько еще поднимется брусок, если уровень воды дополнительно поднимется на H_2=7 см. Плотность жидкости вдвое больше плотности бруска. Жгут считать невесомым, ориентацию бруска – неизменной.



Решение. Условие равновесия бруска всегда имеет вид $F_{упр}+F_A=F_T$, где $F_{упр}$ - величина силы натяжения жгута, F_A- величина выталкивающей силы, F_T – величина силы тяжести, действующей на груз.

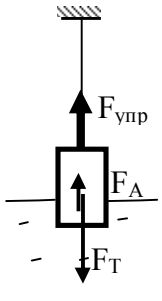
Отметим, что сила упругости со стороны жгута не может быть направлена вниз, этим жгут отличается от пружины. Если ввести обозначение $\rho_Ж$ для плотности жидкости, S для площади сечения нижней грани бруска, X_0 для начального растяжения жгута и ***k*** для его жесткости, то в начальном положении условие равновесия запишется в виде

$\boldsymbol{k}X_0+\rho_Ж gSb=F_T$ (+1 балл)

Для поднятого положения $\boldsymbol{k}(X_0-h)+\rho_Ж gS(b+H_1-h)=F_T$ (+2 балла).

Так как масса бруска не изменяется, то получаем уравнение $\boldsymbol{k}h=\rho_Ж gS(H_1-h)$,

т.е. $\dfrac{k}{\rho_Ж gS}=\dfrac{H_1}{h}-1=0.5$ (+2 балла).



Это соотношение между смещениями уровня воды и положения бруска верно до той поры, пока жгут остается в растянутом положении. Из этих же уравнений, пользуясь условием на отношение плотностей бруска и жидкости ($\rho_Б:\rho_Ж$ =1:2) и долю погруженной части (1/3), можно получить, что $\dfrac{k}{\rho_Ж gS}X_0+b=3b\cdot\dfrac{\rho_Б}{\rho_Ж}$, т.е. X_0=b=5 см (+1 балл). Значит, жгут перестанет быть растянутым в тот момент, когда его длина сократится еще на 3 см, т.е. уровень воды поднимется еще на 4.5 см (+ 1 балл). Далее брусок будет смещаться вместе жидкостью (+ 1 балл), плавая в ней, т.е. его искомое добавочное смещение составит 5.5 см (+2 балла).

Если приводится ответ, формально соответствующий замене жгута пружиной (14/3 см), то, при наличии верных условий равновесия, ставится 5 баллов. Если в качестве решения приводится только пропорция вида $H_2/x= H_1/h$, то ставится 1 балл.

Заключительный этап Всесибирской открытой олимпиады школьников

Физика, 5 марта 2017

Задачи для 8 класса с возможными решениями (максимум – 10 баллов)

1) Рассеянный лаборант наполнил жидкостью два одинаковых сосуда, поставил их на две включенных плитки и ушел. Когда через 20 минут лаборант вернулся, часть жидкости в сосуде, стоявшем на плитке №1, уже испарилась, а второй сосуд был еще полным. Он убрал кипящий сосуд, поставил на его место сосуд с плитки №2 и опять ушел. Вернувшись через 15 минут, он обнаружил, что теперь из второго сосуда выкипело столько жидкости, сколько из первого в прошлый раз. Найдите отношение мощностей плиток, если теплообменом с окружающей средой и испарением жидкости ниже температуры кипения можно пренебречь.

Решение. Если решать прямолинейно, то сначала обозначим как T_0, T_K и T_1 температуру жидкости в начале нагрева, температуры кипения и температуру жидкости в сосуде на плитке №2 через 20 минут после начала нагрева, соответственно; N_1 и N_2 мощности плиток №1 и №2, соответственно (надо найти отношение N_1/N_2); t_1=20 мин, t_2=15 минут; M – масса жидкости в полном сосуде, m – масса *испарившейся* жидкости на плитке №1 к истечению 20 мин, C – удельная теплоемкость жидкости, r – удельная теплота парообразования. Тогда уравнения теплового баланса для разных промежутков времени имеют вид

(1) $M\cdot C(T_K-T_0)+m\cdot r=N_1\cdot t_1$ (+1 балл)

(2) $M\cdot C(T_1-T_0)=N_2\cdot t_1$ (+1 балл)

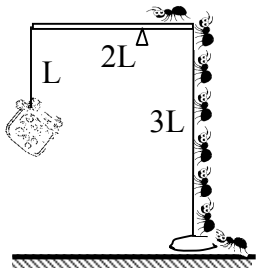
(3) $M\cdot C(T_K-T_1)+m\cdot r=N_1\cdot t_2$ (+1 балл)

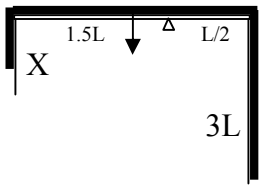
Складывая уравнения (2) и (3) получаем уравнение $M\cdot C(T_K-T_0)+m\cdot r=N_2\cdot t_1+ N1\cdot t2$

Таким образом, $N_2\cdot t_1+ N_1\cdot t_2= N_1\cdot t_1$ (+ 3 балла*). Это уравнение может быть получено и без явного выписывания уравнений (1)-(3), так как конечное состояние воды в разных сосудах одинаково.* Преобразуя, получаем $N_1/N_2=t_1/(t_1-t_2)$ (+2 балла).

Ответ имеет вид $N_1/N_2=4$ (+ 2 балла за ответ).

2) Во время каникул на даче Петя изучал условия равновесия рычага с отношением плеч 1:3. На длинное плечо он с помощью нитки подвесил банку с остатками варенья, а к другому плечу для равновесия прикрепил камень, который почти касался пола. Когда Петя ушел, муравьи из большого муравейника стали один за другим ползти к банке: сначала на камень, затем по нити, стержню и т.д. Сколько муравьев сможет подряд заползти на Петину конструкцию, если муравьи одинаковы и ползут строго друг за другом? Считать, что на каждого муравья приходится отрезок длины ***H***. Стержень имеет длину 2***L***, много большую, чем ***H***, длины нитей указаны на рисунке. Трением в оси (точке крепления) рычага и размером камня пренебречь.





Решение. Поскольку вся система находилась в равновесии (причем независимо от однородности и веса стержня), а трение пренебрежимо мало, то при заползании первого же муравья камень начнет касаться пола. А когда с другой стороны от оси рычага будет достаточно муравьев для нарушения равновесия, то он поднимется на некоторую высоту и муравьи больше не смогут на него забраться (+2 балла).

Муравьи одинаковы, поэтому масса всех муравьев будет пропорциональна длине тех отрезков, которые они заполняют. Пусть X – длина участка короткой нити, на которой висит банка (очевидно, что в момент отрыва камня от пола $0<X<L$). Тогда масса муравьев, которая заполняет этот отрезок, равняется $m\cdot X/H$ (+1 балл).

Новое условие равновесия системы будет определяться наличием муравьев и, когда камень уже не касается пола, будет иметь вид

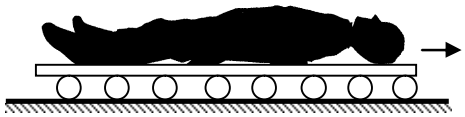
$(m\cdot X/H)\cdot 3L/2+(m\cdot 2L/H)\cdot L/2=(m\cdot 3L/H)\cdot L/2$ (+3 балла).

Здесь учтено, что центр масс цепочки муравьев на стержне находится на расстоянии L/2 от оси рычага. Таким образом, $X\cdot 3L+2L\cdot L=3L\cdot L$, т.е. $X=L/3$ (+ 1 балл).

Полное число муравьев, при котором камень вернется в прежнее положение – оторвется от пола, будет равно $(2L+3L+X)/H=16L/3H$ (+ 3 балла).

Более точный вариант ответа – если пренебречь муравьями, ползущими по маленькому камню, то число муравьев должно быть целым и превышать величину 16L/3H.

3) Лилипуты тащат спящего на доске Гулливера по ровной дороге, подкладывая под доску одинаковые маленькие цилиндрические катки. Когда один каток выкатывается сзади, спереди надо класть новый. Всего под доской должно находиться не менее 40 катков. С какой максимальной скоростью может двигаться доска с Гулливером, если у лилипутов всего 45 годных катков, а скорость, с которой лилипуты могут передвигать свободный каток, равна V=25 см/сек?



Решение: Чем больше свободных катков, тем быстрее можно двигать доску, так как больше времени можно перетаскивать каток к началу доски. Обозначим искомую скорость доски относительно земли W. В системе отсчета, связанной с доской, N=40 катков двигается назад со скоростью W/2 (скорости центров катков, + 2 балла), а остальные M=5 двигаются вперед со скоростью (V-W) (+ 1 балл). Такое движение сохраняется долго, поэтому на каждый каток, проехавший относительно доски назад, должен приходиться ровно один каток, проехавший вперед (+ 2 балла). Расстояние между центрами катков под доской равно L/N, а между катками, переносимыми вперед, L/M. Таким образом, получаем уравнение

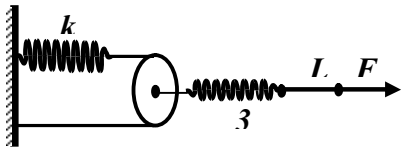
$\frac{(L/N)}{(W/2)} = \frac{(L/M)}{(V-W)}$ или NW/2=(V-W)M (+ 3 балла).

Отсюда следует, что $W = V \cdot \frac{2M}{2M+N}$=5 см/сек (+ 2 балла).

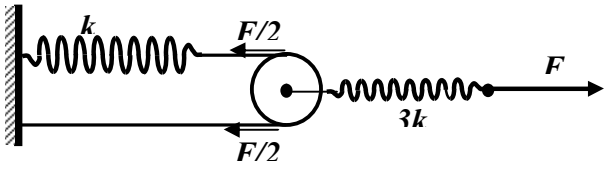
Другой вариант: время высвобождения нового катка T=(L/N)/(W/2), и за это время каток, который высвободился M раз тому назад, должен быть вначале доски, т.е. V·MT=L+W·TM. Подставляя выражение для T, получаем тот же ответ.

Формально правильное значение может быть получено делением скорости перетаскивания катка на число свободных катков. Однако абсурдность такого рассуждения очевидна на примере 1-го свободного катка. За такой вариант «решения» ставился 0 баллов (если нет каких-либо иных верных элементов решения).

4) Имеется две разные пружины, блок и нерастяжимые нити, соединенные так, как показано на рисунке. К свободному концу пружины с жесткостью 3***k*** прикладывают силу и медленно ее увеличивают. Какого значения достигнет эта сила, когда точка ее приложения сместится на расстояние ***L***? Блок поворачивается вокруг своей оси без трения.

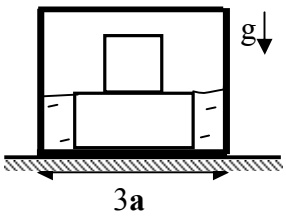


Решение. При медленном увеличении силы до искомого значения ***F*** пружина с жесткостью 3***k*** растянется на ***F/3k*** (+1 балл). Из условия медленности движения блока следует, что натяжение охватывающей его нити составляет **F**/2 (+ 2 балла). Значит, растяжение менее жесткой пружины равно ***F/2k*** (+1 балл). Смещение оси блока в результате такого растяжения с одной стороны блока составляет ***F/4k*** (+2 балла).

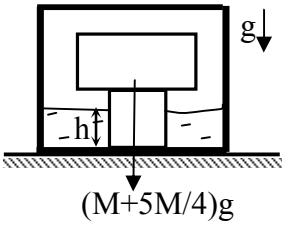


По условию, полное смещение правого конца пружины жесткостью 3***k*** составляет ***L= F/3k*** + ***F/4k*** (+ 2 балла). Таким образом, ***F=12kL/7*** (+2 балла).

5) Деревянный «грибок» состоит из «ножки», сделанной из кубика с ребром **a**, и «шляпки», имеющей вид параллелепипеда 2**a**×2**a**×**a**. Масса грибка равна **M**. Этот грибок кладут на «шляпку» в бак с плоским квадратным дном размерами 3**a**×3**a**. В бак медленно наливают воду. Как только шляпка полностью погрузилась в воду, грибок поплыл, чуть-чуть оторвавшись от дна. Плававший грибок переворачивают ножкой вниз и опускают назад в воду. С какой силой грибок будет теперь давить на дно бака?



Решение. Из условия следует, что уровень воды в момент отрыва грибка от дна был равен **a**. Это значит, что к этому моменту объем налитой в бак воды составил $5\mathbf{a}^3$ (+1 балл). Хотя из условия также следует, что вода подтекала под шляпку (иначе бы грибок не всплыл), но толщина этого слоя воды под грибком очень мала.



Можно решать эту задачу разными способами, например, путем расчета по закону Архимеда выталкивающей силы в новом положении грибка.

В приводимом решении используется то, что суммарная сила, действующая на дно бака со стороны грибка и налитой воды (F_B), равна сумме сил тяжести, действующих на эти два тела. Согласно закону Архимеда, вес воды в объеме погруженной шляпки ($4\mathbf{a}^3$), равен Mg (+1), т.е. масса залитой жидкости составляет 5M/4 (+1).

Получаем уравнение $(M+5M/4)g= F_B+ F_Г$ (+2 балла), где $F_Г$ - *искомая сила*, действующая на дно со стороны ножки грибка.

Вследствие постоянства объема воды, после переворачивания грибка и установки его на дно, уровень воды в баке составит $h=5\mathbf{a}^3/(9\mathbf{a}^2 - \mathbf{a}^2)=5\mathbf{a}/8$ (+1 балл).

Надо учитывать, что вода под грибок подтекает, т.е. давление воды равномерно распределено практически по всей площади дна $9\mathbf{a}^2$ (если поставить грибок в воду, а потом ее слить, то дно грибка все равно будет мокрым!). При этом поверхности ножки грибка и дна сосуда непосредственно соприкасаются на очень малой площади, как это характерно для твердых тел.

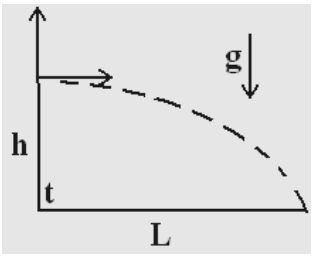
Сила F_B, действующая на дно со стороны воды, может быть рассчитана, исходя из гидростатического давления на дно: $F_B=\rho gh\cdot 9\mathbf{a}^2$. Здесь ρ плотность, h - уровень жидкости, считая от дна (+1 балл). Получаем, $F_B=\rho g5\mathbf{a}/8\cdot 9\mathbf{a}^2=(\rho 5\mathbf{a}^3)g\cdot 9/8= =45Mg/32$ (+1 балл).

Таким образом, грибок будет давить на дно бака с силой

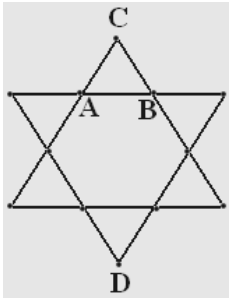
$F_Г=27Mg/32$ (+2 балла).

Если при решении фактически принято, что вода под ножку не подтекает, и сила взаимодействия ножки и дна равна Mg, то ставится 3 балла.

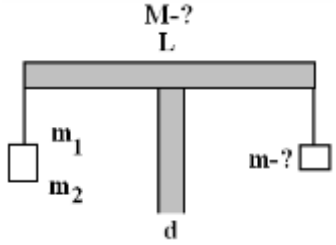
Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
9 класс



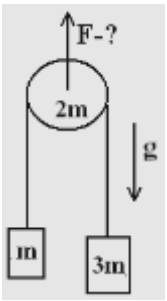
1. Мяч, брошенный вертикально вверх с высоты h, упал на пол через время t. На каком расстоянии L по горизонтали он ударится об пол, если его бросить с той же высоты и с той же начальной скоростью, но направленной горизонтально? Ускорение свободного падения g. Влиянием воздуха пренебречь.



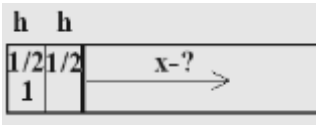
2. Два одинаковых равносторонних проволочных треугольника спаяли так, что получилась симметричная шестиконечная звезда. Подключённый к точкам A и B омметр показал сопротивление r. Что покажет омметр при подключении его к точкам C и D?



3. На вертикальном бруске толщины d = 2 см лежит симметрично однородный горизонтальный брусок длины L = 20 см. К правому концу горизонтального бруска на лёгкой нити подвесили груз, а к левому – гири. Найдите массу груза и массу горизонтального бруска, если равновесие сохраняется при суммарной массе гирь от m_1 = 22 г до m_2 = 107 г, а вне этого интервала масс перевешивают или груз, или гири.



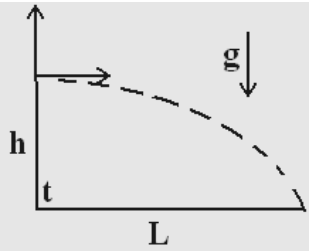
4. Грузы массой m и 3m связаны лёгкой нерастяжимой нитью, перекинутой через блок массой 2m. Блок тянут вверх с вертикальной силой F. Найдите наибольшее значение F, при котором нить не оборвётся, если разрыв происходит при натяжении нити T. Трения нет.



5. Цилиндрический сосуд закрыт подвижным поршнем, который находится на расстоянии 2h от его дна. На расстоянии h от дна сосуд перегорожен закрепленной мембраной, которая свободно пропускает молекулы водорода и непроницаема для молекул кислорода. В сосуде находится 1 г газообразного водорода, а объем между мембраной и дном содержит 1 г газообразного кислорода. Между мембраной и поршнем кислорода нет. Насколько нужно сместить поршень вправо, чтобы в объёме между дном сосуда и мембраной число молекул водорода стало вдвое больше числа молекул кислорода? Масса молекулы кислорода в 16 раз больше массы молекулы водорода. Газ равномерно заполняет доступный ему объём.

Задача не считается решённой, если приводится только ответ!
Желаем успеха!

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
9 класс



1. Мяч, брошенный вертикально вверх с высоты h, упал на пол через время t. На каком расстоянии L по горизонтали он ударится об пол, если его бросить с той же высоты и с той же начальной скоростью, но направленной горизонтально? Ускорение свободного падения g. Влиянием воздуха пренебречь.

Возможное решение

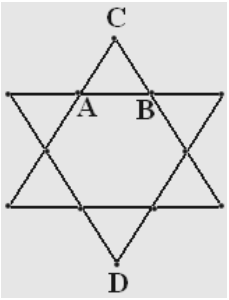
1. Рассмотрим движение по вертикали при броске мяча вверх. Из формулы перемещения при прямолинейном равноускоренном движении с ненулевой начальной скоростью получим $gt^2/2 - vt = h$ <2>
2. Отсюда находим величину начальной скорости $v = gt/2 - h/t$ <2>
3. Во втором случае падение по вертикали происходит с ускорением g и нулевой начальной скоростью, тогда $gT^2/2 = h$ и $T = \sqrt{2h/g}$. <2>
4. Скорость движения по горизонтали постоянна и тогда $L = vT$ <2>
5. Откуда после подстановок получаем ответ $L = vT = (gt/2 - h/t)\sqrt{2h/g}$ <2>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Выражение перемещения по вертикали при броске вверх	$gt^2/2 - vt = h$	2
2	Нахождение начальной скорости	$v = gt/2 - h/t$	2
3	Нахождение времени падения при горизонтальном броске	$gT^2/2 = h$ и $T = \sqrt{2h/g}$.	2
4	Постоянство горизотальной скорости и выражение перемещения по горизонтали	$L = vT$	2
5	Ответ	$L = vT = (gt/2 - h/t)\sqrt{2h/g}$	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). На 1 и 2 этапе может быть перепутан знак, тогда суммарно за два этапа 1 балл, а за ответ 0.

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
9 класс



2. Два одинаковых равносторонних проволочных треугольника спаяли так, что получилась симметричная шестиконечная звезда. Подключённый к точкам A и B омметр показал сопротивление r. Что покажет омметр при подключении его к точкам C и D?

Возможное решение

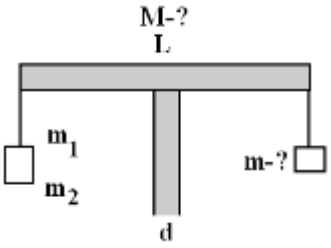
1. В первом варианте подключения имеем 5 последовательно соединённых треугольничков, параллельно которым подключён один треугольничек. <1>
2. Если сопротивление одной стороны треугольничка R, то его сопротивление $R_1 = 2R \cdot R/(2R + R) = 2R/3$. <2>
3. Сопротивление $r = 5R_1 \cdot R_1/(5R_1 + R_1) = 10R/18$. <2>
4. Во втором варианте подключения ток от A к B нулевой, поэтому отрезок AB можно выкинуть, не меняя токи в схеме. Выкинуть можно и сторону треугольничка, лежащую против угла D. <1>
5. Тогда получаются два одинаковых параллельно соединёных сопротивления, каждое из которых состоит из двух последовательно соединённых треугольничков и двух последовательно соединённых с ними сторон. <1>
6. Отсюда для сопротивления во втором случае имеем $x = ½(2R + 4R/3) = 5R/3$ <2>
7. Сравнивая это с выражение для r, получаем $x = 3r$! <1>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Анализ первого варианта подключения		1
2	Нахождение сопротивления R_1	$R_1 = 2R \cdot R/(2R + R) = 2R/3$	2
3	Нахождение сопротивления r	$r = 5R_1 \cdot R_1/(5R_1 + R_1) = 10R/18$	2
4	«Удаление» отрезков с нулевым током		1
5	Анализ второго варианта подключения		1
6	Нахождение сопротивления x	$x = ½(2R + 4R/3) = 5R/3$	2
7	Нахождение связи x с r	$x = 3r$	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). 1 и 5 этапы это указания что с чем последовательно или параллельно соединено. Без эквивалента этих этапов решение будет необоснованным.

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
9 класс



3. На вертикальном бруске толщины d = 2 см лежит симметрично однородный горизонтальный брусок длины L = 20 см. К правому концу горизонтального бруска на лёгкой нити подвесили груз, а к левому – гири. Найдите массу груза и массу горизонтального бруска, если равновесие сохраняется при суммарной массе гирь от m_1 = 22 г до m_2 = 107 г, а вне этого интервала масс перевешивают или груз, или гири.

Возможное решение

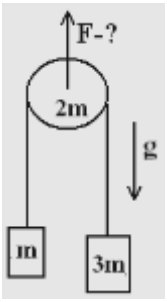
1. При массе гирь, меньшей m_1, поворот происходит вокруг правого ребра вертикального бруска. <1>
2. Условие равновесия в граничном случае $m_1(L + d)/2 = m(L – d)/2 – Md/2$. <2>
3. При массе гирь, большей m_2, поворот происходит вокруг левого ребра вертикального бруска. <1>
4. Условие равновесия в граничном случае $m_2(L – d)/2 = m(L + d)/2 + Md/2$. <2>
5. Отсюда $m = (m_2 + m_1)/2 – (m_2 – m_1)d/2L \cong 60$ г; <2>
6. $M = (m_2 – m_1)(L^2 + d^2)/2Ld – (m_2 + m_1) \cong 300$ г. <2>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Указание оси поворота в сторону груза		1
2	Равновесие моментов сил для этой оси	$m_1(L + d)/2 = m(L – d)/2 – Md/2.$	2
3	Указание оси поворота в сторону гирь		1
4	Равновесие моментов сил для этой оси	$m_2(L – d)/2 = m(L + d)/2 + Md/2$	2
5	Нахождение массы груза	$m = (m_2 + m_1)/2 – (m_2 – m_1)d/2L \cong 60$ г	2
6	Нахождение массы бруска	$M =(m_2–m_1)(L^2+d^2)/2Ld–(m_2+m_1) \cong 300$ г	2

Комментарий: Возможно участники исходные соотношения будут записывать сразу с числами, если они правильны и пояснены, то оценка не снижается. В пунктах 5 и 6 при правильном выражении в общем виде и отклонении в числе на 2% и более по 1 баллу.

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
9 класс



4. Грузы массой m и 3m связаны лёгкой нерастяжимой нитью, переброшенной через блок массой 2m. Блок тянут вверх с вертикальной силой F. Найдите наибольшее значение F, при котором нить не оборвётся, если разрыв происходит при натяжении нити T. Трения нет.

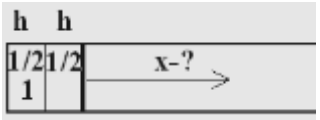
Возможное решение

1. Из нерастяжимости нити $2a_2 = a_1 + a_3$. <2>
2. Из второго закона Ньютона в применении к m: $ma_1 = T - mg$; <1>
3. в применении к 3m: $3ma_3 = T - 3mg$; <1>
4. в применении к 2m: $2ma_2 = F - 2T - 2mg$. <2>
5. Исключая ускорения, находим $F = 10T/3$. <2+2>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Связь ускорений из нерастяжимости нити	$2a_2 = a_1 + a_3$	2
2	Второй закон Ньютона для m	$ma_1 = T - mg$	1
3	Второй закон Ньютона для 3m	$3ma_3 = T - 3mg$	1
4	Второй закон Ньютона для 2m	$2ma_2 = F - 2T - 2mg$	2
5	Решение уравнений и получение ответа	$F = 10T/3$	2+2

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
9 класс



5. Цилиндрический сосуд закрыт подвижным поршнем, который находится на расстоянии 2h от его дна. На расстоянии h от дна сосуд перегорожен закрепленной мембраной, которая свободно пропускает молекулы водорода и непроницаема для молекул кислорода. В сосуде находится 1 г газообразного водорода, а объем между мембраной и дном содержит 1 г газообразного кислорода. Между мембраной и поршнем кислорода нет. Насколько нужно сместить поршень вправо, чтобы в объёме между дном сосуда и мембраной число молекул водорода стало вдвое больше числа молекул кислорода? Масса молекулы кислорода в 16 раз больше массы молекулы водорода. Газ равномерно заполняет доступный ему объём.

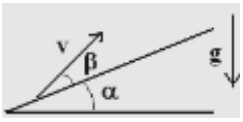
Возможное решение

1. Исходно в объёме между дном и мембраной находится 0,5 г водорода и столько же в равном ему объёме между мембраной и поршнем. Из соотношения масс молекул получаем, что число молекул водорода в первом отсеке в 8 раз больше числа молекул водорода. <2>
2. Поэтому после перемещения поршня и равномерного распределения водорода по всему доступному ему объёму число молекул водорода в первом отсеке должно сократиться в 4 раза, чтобы достичь заданного соотношения числа молекул <2>.
3. Тогда в 4 раза должна уменьшиться плотность водорода: $\rho = \rho_o/4$ <2>.
4. Из сохранения массы и равенства плотности водорода по всему объёму имеем: $2\rho_o Sh = \rho S(2h + x)$ <2>.
5. Откуда искомое смещение поршня $x = 6h$ <2>.

Разбалловка по этапам

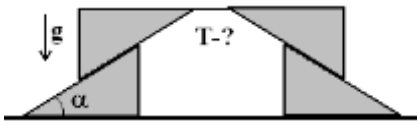
	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Нахождение начального отношения числа молекул в 1-м отсеке	$N_H/N_O = 8$	2
2	Условие достижения заданного отношения	$N = 2N_O = N_H/4$	2
3	Отношение конечной и начальной плотности водорода	$\rho = \rho_o/4$	2
4	Неизменность суммарной массы водорода	$2\rho_o Sh = \rho S(2h + x)$	2
5	Решение уравнений и получение ответа	$x = 6h$	2

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
10 класс

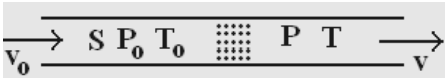


1. Плоскость образует угол α с горизонталью. С неё бросают вверх по склону мешок с песком со скоростью v под углом β к плоскости. Какое время t_1 мешок будет лететь по воздуху? Какое время t_2 он будет скользить по плоскости до возвращения в исходную точку? Трения с плоскостью нет, ускорение свободного падения g, воздействием воздуха пренебречь.

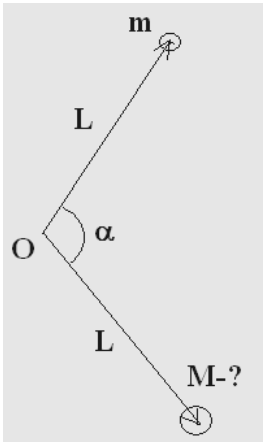
2. Положительные заряды Q_1 и Q_2 закреплены на расстоянии L. К ним привязаны концы непроводящей нити, продетой через небольшое невесомое колечко с зарядом того же знака. При какой длине нити она образует прямой угол в состоянии равновесия? Трения нет.



3. На горизонтальном столе стоит симметричная фигура из четырёх одинаковых клиньев с углом α при основании и массой m каждый. Верхние клинья связаны нерастяжимой нитью, а нижние удерживают неподвижными. Найдите натяжение нити, после того как нижние клинья отпустили. Трения нет, ускорение свободного падения g.



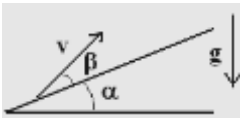
4. Воздух с примесью угарного газа стационарно протекает по трубе сечения S. При прохождении слоя пористого катализатора угарный газ окисляется кислородом воздуха и превращается в углекислый газ в результате реакции: $2CO + O_2 = 2CO_2$. Какое количество молей угарного газа за единицу времени вступает в реакцию? Давление, температура и скорость воздуха на входе P_o, T_o и v_o, а на выходе P, T и v.



5. Двигающаяся по горизонтальному столу шайба массы m налетает на вторую исходно неподвижную шайбу. После упругого столкновения шайбы останавливаются на одинаковом расстоянии L от точки удара. Угол между перемещениями шайб α. Найдите массу M второй шайбы, если коэффициент трения шайб со столом одинаков и равен μ. Какова величина скорости первой шайбы перед моментом удара? Ускорение свободного падения g.

Задача не считается решённой, если приводится только ответ!
Желаем успеха!

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
10 класс



1. Плоскость образует угол α с горизонталью. С неё бросают вверх по склону мешок с песком со скоростью v под углом β к плоскости. Какое время t_1 мешок будет лететь по воздуху? Какое время t_2 он будет скользить по плоскости до возвращения в исходную точку? Трения с плоскостью нет, ускорение свободного падения g, воздействием воздуха пренебречь.

Возможное решение

1. Рассмотрим движение в проекциях вдоль плоскости и по нормали к ней. В полёте ускорение вдоль $g\sin\alpha$, а по нормали $g\cos\alpha$. <1>
2. Начальная составляюшая скорости по нормали равна $v\sin\beta$ <1>
3. Поскольку перемещение по нормали за время полёта t_1 будет равно нулю, то $v\sin\beta\cdot t_1 - g\cos\alpha\cdot t_1^2/2 = 0$ и $t_1 = 2v\sin\beta/g\cos\alpha$. <2>
4. При отсутствии трения при ударе мешка с песком погасится нормальная к плоскости составляющая скорости, а составляющие скорости и ускорения вдоль плоскости не изменятся. <1>
5. Поскольку начальная составляюшая скорости вдоль плоскости $v\sin\beta$, а ускорение $g\sin\alpha$, то полное время движения до возвращения в исходную точку равно $T = 2v\cos\beta/g\sin\alpha$. <1 + 2>
6. Поскольку $T = t_1 + t_2$, то $t_2 = (2v/g)(\cos\beta/\sin\alpha - \sin\beta/\cos\alpha)$. <2>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Ускорение вдоль и поперёк плоскости	Вдоль $g\sin\alpha$, по нормали $g\cos\alpha$.	1
2	Начальная скорость по нормали	$v_n = v\sin\beta$	1
3	Нахождение t_1	$v\sin\beta\cdot t_1 - g\cos\alpha\cdot t_1^2/2 = 0$; $t_1 = 2v\sin\beta/g\cos\alpha$.	2
4	Отсутствие вляния удара на движение вдоль плоскости (трения нет!)		1
5	Нахождение T	$T = 2v\cos\beta/g\sin\alpha$.	1+2
6	Нахождение t_2	$T = t_1 + t_2$; $t_2 = (2v/g)(\cos\beta/\sin\alpha - \sin\beta/\cos\alpha)$ (аналог)	2

Комментарий: Возможно участники будут находить t_2 другим образом, найдут скорость после удара, а затем из условия возвращения получат выражение для t_2. Если всё сделают правильно, то должны получить полный балл. В целом за t_1 4 балла, за t_2 6.

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
10 класс

2. Положительные заряды Q_1 и Q_2 закреплены на расстоянии L. К ним привязаны концы непроводящей нити, продетой через небольшое невесомое колечко с зарядом того же знака. При какой длине нити она образует прямой угол в состоянии равновесия? Трения нет.

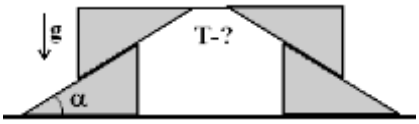
Возможное решение

1. Пусть расстояния от колечка до первого заряда l_1, до второго l_2. По теореме Пифагора $l_1^2 + l_2^2 = L^2$. <1>.
2. Трения нет, поэтому натяжение вдоль нити везде одинаково. <2>.
3. Из равновесия бусинки получаем, что силы электростатического отталкивания, направленные вдоль отрезков нити, равны натяжениям на этих отрезках нити <2>.
4. А так как натяжения по обе стороны колечка одинаковы, то силы электростатического отталкивания равны между собой <2>.
5. Отсюда имеем $\frac{Q_1}{l_1^2} = \frac{Q_2}{l_2^2}$ <1>.
6. Получаем уравнения для $l_1{}^2$ и $l_2{}^2$, из решения которых находим $l = l_1 + l_2 = L\frac{\sqrt{Q_1} + \sqrt{Q_2}}{\sqrt{Q_1 + Q_2}}$. <2>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Связь расстояний l_1, l_2 и L	$l_1^2 + l_2^2 = L^2$	1
2	Равенство натяжений слева и справа		2
3	Вывод равенства сил отталкивания натяжениям		2
4	Равенство сил отталкивания		2
5	Связь расстояний l_1, l_2 и зарядов	$\frac{Q_1}{l_1^2} = \frac{Q_2}{l_2^2}$	1
6	Нахождение l	$l = l_1 + l_2 = L\frac{\sqrt{Q_1} + \sqrt{Q_2}}{\sqrt{Q_1 + Q_2}}$.	2

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
10 класс



3. На горизонтальном столе стоит симметричная фигура из четырёх одинаковых клиньев с углом α при основании и массой m каждый. Верхние клинья связаны нерастяжимой нитью, а нижние удерживают неподвижными. Найдите натяжение нити, после того как нижние клинья отпустили. Трения нет, ускорение свободного падения g.

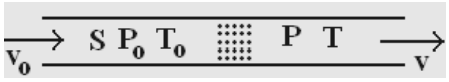
Возможное решение

1. Верхние клинья опускаются вертикально вниз с некоторым ускорением A, нижние клинья двигаются навстречу по горизонтали с некоторым ускорением *a*. Из условия соприкосновения имеем $A = a\,\mathrm{tg}\alpha$ <2>.
2. Ускорение по горизонтали верхних клиньев нулевое, тогда натяжение нити уравновешивается горизонтальной составляющей силы нормального давления N со стороны нижнего клина: $T = N\sin\alpha$ <2>
3. Из 2-го закона Ньютона для нижнего клина имеем $ma = N\sin\alpha$ <2>;
4. Из 2-го закона Ньютона для верхнего клина имеем $mA = mg - N\cos\alpha$ <2>
5. Исключая ускорения, находим $T = mg\sin\alpha\cos\alpha$ <2>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Связь ускорений	$A = a\,\mathrm{tg}\alpha$	2
2	Связь натяжения с силой N	$T = N\sin\alpha$	2
3	2-й закон Ньютона для нижнего клина	$ma = N\sin\alpha$	2
4	2-й закон Ньютона для верхнего клина	$mA = mg - N\cos\alpha$	2
5	Нахождение T (вывод, ответ)	$T = mg\sin\alpha\cos\alpha$ (аналог)	1+1

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
10 класс



4. Воздух с примесью угарного газа стационарно протекает по трубе сечения S. При прохождении слоя пористого катализатора угарный газ окисляется кислородом воздуха и превращается в углекислый газ в результате реакции: $2CO + O_2 = 2CO_2$. Какое количество молей угарного газа за единицу времени вступает в реакцию? Давление, температура и скорость воздуха на входе P_o, T_o и v_o, а на выходе P, T и v.

Возможное решение

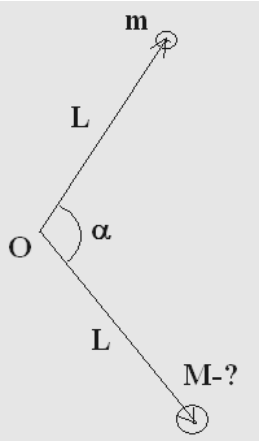
1. Из уравнения состояния идеального газа ($PV = \nu RT$) найдём число молей воздуха ν_o приходящего к слою катализатора за время t, и число молей воздуха ν, выходяшего за это время из слоя. <2>
2. Поступивший объём $V_o = v_o St$ и тогда $\nu_o = P_o v_o St/RT_o$. Аналогично получаем $\nu = PvSt/RT$. <2+2>
3. Из уравнения реакции находим, что на каждый моль прореагировавшего CO общее число молей газа сокращается на полмоля. Таким образом, если ν_1 число молей CO, вступивших в реакцию за время t, то $\nu_1 = 2(\nu_o - \nu)$. <2>
4. Тогда искомая величина $\nu_1/t = 2(S/R)(P_o v_o/T_o - Pv/T)$. <2>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Идея использовать уравнение состояния для рассчёта числа молей		2
2	Нахождение числа молей через параметры на входе и выходе	$\nu_o = P_o v_o St/RT_o$; $\nu = PvSt/RT$	2+2
3	Вывод связи ν_1, ν_o и ν	$\nu_1 = 2(\nu_o - \nu)$	2
4	Получение ответа	$\nu_1/t = 2(S/R)(P_o v_o/T_o - Pv/T)$.	2

Комментарий: Все соотношения могут быть сразу отнесены к единице времени. Оценка та же.

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
10 класс



5. Двигающаяся по горизонтальному столу шайба массы m налетает на вторую исходно неподвижную шайбу. После упругого столкновения шайбы останавливаются на одинаковом расстоянии L от точки удара. Угол между перемещениями шайб α. Найдите массу M второй шайбы, если коэффициент трения шайб со столом одинаков и равен μ. Какова величина скорости первой шайбы перед моментом удара? Ускорение свободного падения g.

Возможное решение

1. Поскольку $v^2 = 2\mu gL$, то скорости шайб после удара одинаковы <2>.
2. Из сохранения импульса имеем $m^2u^2 =(m^2 + M^2 + 2mM\cos\alpha)v^2$ <3>.
3. Из сохранения энергии для упругого удара $mu^2 =(m + M)v^2$ <1>.
4. Разделив первое равенство на второе, исключаем скорости и находим массу второй шайбы $M = m(1 – 2\cos\alpha)$ <2>.
5. Из сохранения энергии для искомой скорости u находим

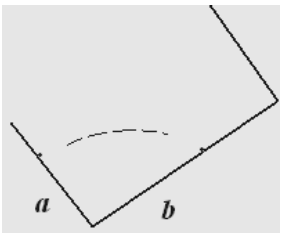
$u^2 = 2(1 – \cos\alpha)v^2 = 4(1 – \cos\alpha)\mu gL$ и $u = 2\sin(\alpha/2)\sqrt{2\mu gL}$ <2>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Вывод о равенстве скоростей шайб после удара	$v^2 = 2\mu gL$	2
2	Использование сохранения импульса	$m^2u^2 =(m^2 + M^2 + 2mM\cos\alpha)v^2$ (аналог)	3
3	Использование сохранения энергии	$mu^2 =(m + M)v^2$	1
4	Нахождение M	$M = m(1 – 2\cos\alpha)$	2
5	Нахождение начальной скорости (вывод, ответ)	$u^2 = 2(1 – \cos\alpha)v^2 = 4(1 – \cos\alpha)\mu gL$; $u = 2\sin(\alpha/2)\sqrt{2\mu gL}$ (аналог)	1+1

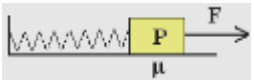
Комментарий: 2-й этап: указание на сохранение импульса 1 балл, сложение векторов или рассмотрение проекций 1 балл, получение окончательного соотношения или его эквивалента 1 балл.

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
11 класс

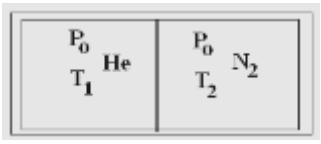


1. В прямоугольной коробке шарик прыгает туда и назад по одной и той же траектории, ударяясь о левую стенку и дно в точках на расстояниях a и b от нижнего угла коробки. Каково время между последовательными ударами шарика? Ускорение свободного падения g.

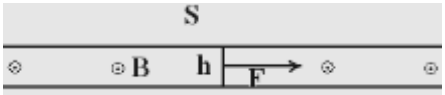
2. На горизонтальном столе лежат n бусин массой m каждая, нанизанные на нерастяжимую нить. Нить не провисает и угол между любыми соседними отрезками 120°. Первая и последняя бусины привязаны к нити, через остальные нить может свободно проскальзывать. Первую бусину стали тянуть с силой F вдоль первого отрезка нити. Найдите величину ускорения каждой из бусин и укажите их направления в начале движения. Трения со столом нет.



3. Груз веса P стоит на горизонтальной опоре и связан со стенкой недеформированной пружиной жёсткости k. Его начинают тянуть вправо с силой, медленно растущей от 0 до F. Затем эту силу, не меняя направления, медленно уменьшают до 0. Найдите выделившееся тепло в зависимости от коэффициента трения μ груза с опорой. При каком μ выделится наибольшее тепло и чему оно равно?



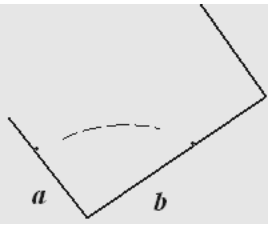
4. Посередине теплоизолированного цилиндра стоит поршень. Слева от него – гелий при температуре T_1 и давлении P_o, справа – азот при температуре T_2 и таком же давлении. Каким станет давление газов после установления теплового равновесия? У гелия в объёме V при давлении P внутренняя энергия $U_1 = (3/2)PV$, у азота $U_2 = (5/2)PV$. Передачей тепла цилиндру и поршню и трением между ними пренебречь.



5. Параллельные пластины площади S с малым зазором h между ними соединены перемычкой. Систему стали тянуть с постоянной силой F, направленной вправо. Магнитное поле между пластинами перпендикулярно плоскости рисунка не меняется и равно B. Суммарная масса пластин и перемычки m, их электрические сопротивления нулевые. Найдите напряжённость электрического поля, возникающего в зазоре через время t от начала движения. Силой тяжести пренебречь.

Задача не считается решённой, если приводится только ответ!
Желаем успеха!

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
11 класс



1. В прямоугольной коробке шарик прыгает туда и назад по одной и той же траектории, ударяясь о левую стенку и дно в точках на расстояниях a и b от нижнего угла коробки. Каково время между последовательными ударами шарика? Ускорение свободного падения g.

Возможное решение

1. Происходит движение туда и назад по той же траектории, поэтому скорости шарика перед ударом и сразу после перпендикулярны дну и стенке. <2>.
2. Рассмотрим движение в системе координат, где ось X направлена вдоль наклонённого дна коробки, а Y по нормали к дну вдоль левой стенки. Движение по этим осям равноускоренное, ускорение задаётся проекциями ускорения g на эти оси g_x и g_y. <2>
3. Выберем за нулевой момент отскока шарика от дна, тогда начальная скорость по оси X нулевая и перемещение по горизонтали за искомое время $g_x t^2/2 = b$. <1>
4. Для перемещения по оси Y за это же время $vt - g_y t^2/2 = a$, где v начальная скорость по Y. В момент удара о стенку скорость по Y обращается в 0, то есть $v - g_y t = 0$ и тогда $g_y t^2/2 = a$. <2>.
5. Воспользуемся тем, что $g^2 = g_x^2 + g_y^2$ для исключения неизвестных проекций g и получим соотношение $g^2 t^4/4 = a^2 + b^2$. <2>
6. И окончательно $t = [4(a^2 + b^2)/g^2]^{1/4}$. <1>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Направление скоростей при ударах		2
2	Характер движения вдоль и поперёк дна коробки		2
3	Связь перемещения по X с g_x	$g_x t^2/2 = b$	1
4	Связь перемещения по Y с g_y	$vt - g_y t^2/2 = a$; $v - g_y t = 0$; $g_y t^2/2 = a$	2
5	Исключение проекций g	$g^2 = g_x^2 + g_y^2$; $g^2 t^4/4 = a^2 + b^2$	2
6	Нахождение t	$t = [4(a^2 + b^2)/g^2]^{1/4}$.	1

Комментарий: Этапы 3 и 4 могут быть рассмотрены от момента удара со стенкой, с естественной перестановкой выкладок, а тогда и баллов. В любом случае получение соотношений $g_x t^2/2 = b$ и $g_y t^2/2 = a$ суммарно оценивается в 3 балла. Если участники введут угол наклона дна α, то полное решение будет содержать по сути те же этапы, но выраженные иначе. Скажем, исключению проекций отвечает исключение α. Возможно решение в векторной форме.

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
11 класс

2. На горизонтальном столе лежат n бусин массой m каждая, нанизанные на нерастяжимую нить. Нить не провисает и угол между любыми соседними отрезками 120^o. Первая и последняя бусины привязаны к нити, через остальные нить может свободно проскальзывать. Первую бусину стали тянуть с силой F вдоль первого отрезка нити. Найдите величину ускорения каждой из бусин и укажите их направления в начале движения. Трения со столом нет.

Возможное решение

1. При отсутствии трения между бусинами и нитью натяжение нити T одинаково вдоль всей нити. <0,5>.
2. Сумма сил, приложенная к первой бусине, равна F – T, и направлена она вдоль первого отрезка нити влево. <0,5>.
3. Сумма сил, приложенных ко второй, третьей и n – 1 бусинам, получается векторной суммой одинаковых по модулю натяжений, направленных под углом 120^o друг к другу. Эта сумма равна по модулю T. <1>.
4. Для верхних бусин суммарная сила направлена вниз по биссектрисе угла, для нижних – направлена вверх. <1>.
5. Для последней n-й бусины сила также равна T и направлена она вдоль последнего отрезка нити влево <0,5>.
6. Ускорения бусин направлены так же, как и указанные силы, а из 2-го закона Ньютона следует, что ускорения всех бусин, кроме первой одинаковы по величине, раз силы одинаковы по величине: $ma = T$ <1>.
7. Для ускорения A первой бусины имеем $mA = F – T$. <1>.
8. Суммарная длина отрезков нити неизменна. Найдём отсюда связь ускорений A и a. (Они связаны так же как перемещения за малый промежуток времени, когда изменением направлений можно пренебречь.) Последний отрезок нити сокращается с правого конца на a, а с левого на $a\cos 60^o = a/2$; предпоследний и все остальные, кроме первого сокращаются на $2a\cos 60^o = a$, а первый отрезок удлиняется на $A – a\cos 60^o = A – a/2$. <1,5>.
9. Отсюда находим, что $A = (n – 1)a$. <1>.
10. Обращаясь к уравнениям $ma = T$ и $mA = F – T$, находим, что $m(A + a) = F$, а тогда $a = F/nm$ и $A = F(n – 1)/nm$. <2>.

Разбалловка по этапам

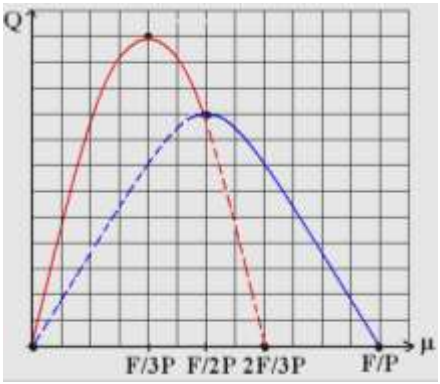
	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Равенство натяжений вдоль всей нити		0,5
2	Суммарная сила для первой бусины	$F – T$	0,5
3	Суммарная сила для остальных бусин	T	1
4	Направление сил для бусин в вершинах углов		1
5	Направление силы для последней бусины		0,5
6	Вывод о равенстве ускорений	$ma = T$	1
7	2-й закон Ньютона для 1-й бусины	$mA = F – T$	1
8	Рассмотрение изменений длин отрезков нити		1,5
9	Связь A и a из нерастяжимости нити	$A = (n – 1)a$	1
10	Нахождение ускорений	$a = F/nm$ и $A = F(n – 1)/nm$.	2

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
11 класс

3. Груз веса P стоит на горизонтальной опоре и связан со стенкой недеформированной пружиной жёсткости k. Его начинают тянуть вправо с силой, медленно растущей от 0 до F. Затем эту силу, не меняя направления, медленно уменьшают до 0. Найдите выделившееся тепло в зависимости от коэффициента трения μ груза с опорой. При каком μ выделится наибольшее тепло и чему оно равно?

Возможное решение

1. Сила трения при проскальзывании равна μP и направлена против смещения груза. Если F < μP груз не стронется, то есть при μ > F/P нет выделения тепла <0,5>.
2. Найдём смещение x_1 вправо при F > μP. При медленном изменении «тянущей» силы успевает установиться равновесие, а ускорением можно пренебречь. Из равновесия при достижении конечного значения F имеем: $kx_1 + \mu P = F$, здесь kx_1 упругая сила, а μP сила трения, также направленная влево. Отсюда смещение вправо $x_1 = (F - \mu P)/k$ <0,5>.
3. Работа силы трения приведёт к выделению тепла $Q_1 = \mu P x_1 = \mu P(F - \mu P)/k$ <1>.
4. Если уменьшать тянущую силу до нуля, то груз останется в точке x_1 и не будет смещаться влево при $kx_1 < \mu P$, то есть при μ > F/2P. Полное выделение тепла ограничится $Q_1 = \mu P x_1 = \mu P(F - \mu P)/k$ <1>.
5. При $kx_1 > \mu P$ груз смещается влево, тогда μ < F/2P <0,5>.
6. Когда тянущая сила дойдёт до нуля, то груз, двигаясь влево, остановится при растяжении пружины x_2. Тогда упругая сила $kx_2 = \mu P$, она уравновешивает силу трения, направленную вправо <0,5>.
7. Перемещение влево равно $x_1 - x_2$, а выделившееся из-за трения добавочно тепло $Q_2 = \mu P(x_1 - x_2) = P^2\mu(F/P - 2\mu)/k$ <1>, а суммарное выделение тепла $Q = Q_1 + Q_2 = P^2\mu(2F/P - 3\mu)/k$ <1>.

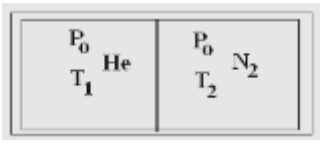


8. Слева приведён график зависимости Q от μ, в указанных выше диапазонах. Он состоит из красного сплошного куска параболы $Q = P^2\mu(2F/P - 3\mu)/k$ переходящего в синий сплошной кусок параболы $Q_1 = \mu P(F - \mu P)/k$. Из исследования квадратичных зависимостей находим, что наибольшее Q отвечает μ = F/3P <2>, а наибольшее значение $Q_{max} = F^2/3k$ <2>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Граничное μ для «покоя»	μ > F/P (Q = 0)	0,5
2	Смещение вправо	$x_1 = (F - \mu P)/k$ (μ < F/P)	0,5
3	Тепло при смещении вправо	$Q_1 = \mu P x_1 = \mu P(F - \mu P)/k$	1
4	Застой в крайне правом положении	$kx_1 < \mu P$ (μ>F/2P). $Q = Q_1 = \mu P x_1 = \mu P(F - \mu P)/k$	1
5	Условие смещения влево	$kx_1 > \mu P$; μ < F/2P	0,5
6	Нахождение x_2	$kx_2 = \mu P$	0,5
7	Суммарное тепло при смещении влево	$Q_2 = \mu P(x_1 - x_2) = P^2\mu(F/P - 2\mu)/k$; $Q = Q_1 + Q_2 = P^2\mu(2F/P - 3\mu)/k$	1+1
8	Анализ зависимости Q от μ	Q_{max} при μ = F/3P; $Q_{max} = F^2/3k$	2+2

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
11 класс



4. Посередине теплоизолированного цилиндра стоит поршень. Слева от него – гелий при температуре T_1 и давлении P_o, справа – азот при температуре T_2 и таком же давлении. Каким станет давление газов после установления теплового равновесия? У гелия в объёме V при давлении P внутренняя энергия $U_1 = (3/2)PV$, у азота $U_2 = (5/2)PV$. Передачей тепла цилиндру и поршню и трением между ними пренебречь.

Возможное решение

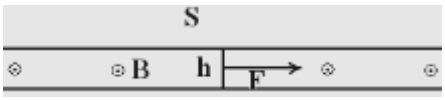
1. В конечном состоянии давление P слева и справа одинаково, а объёмы изменятся. Из сохранения энергии: $(3/2)PV_1 + (5/2)PV_2 = (3/2)P_oV_o + (5/2)P_oV_o$. <2>
2. Неизменность суммарного объёма $V_1 + V_2 = 2V_o$.<1>
3. Уравнения состояния идеального газа в применении к начальному состоянию, а именно $P_oV_o = \nu_1RT_1$ и $P_oV_o = \nu_2RT_2$ дают отношение числа молей $\nu_2/\nu_1 = T_1/T_2$. <1>
4. В применении к конечному состоянию (температуры слева и справа равны) уравнения состояния $PV_1 = \nu_1RT$ и $PV_2 = \nu_2RT$ дают отношение объёмов $V_2/V_1 = \nu_2/\nu_1$, а тогда $V_2/V_1 = T_1/T_2$. <2>
5. Отсюда находим конечные объёмы $V_1 = 2T_2V_o/(T_1 + T_2)$ и $V_2 = 2T_1V_o/(T_1 + T_2)$ <2>
6. И после подстановки в уравнение энергетического баланса находим искомое давление $P = 4(T_1 + T_2)P_o/(5T_1 + 3T_2)$ <2>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Сохранение энергии	$(3/2)PV_1 + (5/2)PV_2 = (3/2)P_oV_o + (5/2)P_oV_o$	2
2	Неизменность суммарного объёма	$V_1 + V_2 = 2V_o$	1
3	Связь числа молей с температурами	$P_oV_o = \nu_1RT_1$; $P_oV_o = \nu_2RT_2$; $\nu_2/\nu_1 = T_1/T_2$.	1
4	Отношение конечных объёмов	$PV_1 = \nu_1RT$;$PV_2 = \nu_2RT$; $V_2/V_1 = \nu_2/\nu_1 = T_1/T_2$	2
5	Нахождение конечных объёмов	$V_1 = 2T_2V_o/(T_1 + T_2)$ и $V_2 = 2T_1V_o/(T_1 + T_2)$	2
6	Нахождение P	$P = 4(T_1 + T_2)P_o/(5T_1 + 3T_2)$	2

Комментарий: В решениях участников порядок рассмотрения может быть другой и по другому использоваться уравнение состояния. Отметим, что правильное окончательное выражение для конечного давления маловероятно получить случайной компенсацией ошибок.

Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
11 класс



5. Параллельные пластины площади S с малым зазором h между ними соединены перемычкой. Систему стали тянуть с постоянной силой F, направленной вправо. Магнитное поле между пластинами перпендикулярно плоскости рисунка не меняется и равно B. Суммарная масса пластин и перемычки m, их электрические сопротивления нулевые. Найдите напряжённость электрического поля, возникающего в зазоре через время t от начала движения. Силой тяжести пренебречь.

Возможное решение

1. На систему действует сила F и магнитная сила IhB, где I ток в перемычке <1>.
2. По 2-му закону Ньютона $mdv/dt = F - IhB$ <1>.
3. Поскольку $I = dq/dt$, то $mv = Ft - qhB$ <1>, где q заряд нижней пластины.
4. При отсутствии сопротивления эдс vBh равно напряжению на плоском конденсаторе, тогда $q = CvBh = \varepsilon_o vBS$ (C ёмкость системы) <1>.
5. С другой стороны напряжённость электрического поля $E = q/\varepsilon_o S$, откуда $E = vB$, $v = E/B$ <2>.
6. Из полученного ранее соотношения $mv = Ft - qhB$ получаем уравнение для E ($q = \varepsilon_o ES$): $mE/B = Ft - \varepsilon_o EBhS$ <2>
7. Окончательно $E = BFt/(m + \varepsilon_o B^2 hS)$ <2>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Наличие магнитной силы	IhB	1
2	2-й закон Ньютона	$mdv/dt = F - IhB$	1
3	Вывод связи импульса и заряда	$mv = Ft - qhB$	1
4	Нахождение заряда по эдс	$vBh = U$; $q = CvBh = \varepsilon_o vBS$	1
5	Напряжённость электрического поля и её связь со скоростью	$E = q/\varepsilon_o S$; $E = vB$, $v = E/B$	2
6	Получение уравнения для E	$mv = Ft - qhB \Rightarrow mE/B = Ft - \varepsilon_o EBhS$	2
7	Ответ	$E = BFt/(m + \varepsilon_o B^2 hS)$	2

Комментарий: Возможны другие варианты решения. Скажем, при нулевом удельном сопротивлении суммарная сила, действующая на носитель тока нулевая. Откуда $E = vB$ и заряд можно найти другим способом. Могут встретиться решения, где участники будут находить ускорение, а через него доберутся и до E. Если они не учтут магнитную силу, то за этапы1-3 0 баллов, за этап 6 с соотношением $mE/B = Ft$ 1 балл и ответ $E = BFt/m$ 1 балл, а в сумме не больше 5 баллов.