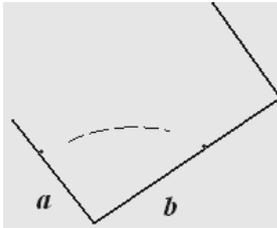


Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
11 класс



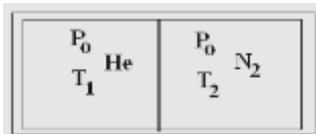
1. В прямоугольной коробке шарик прыгает туда и назад по одной и той же траектории, ударяясь о левую стенку и дно в точках на расстояниях a и b от нижнего угла коробки. Каково время между последовательными ударами шарика? Ускорение свободного падения g .



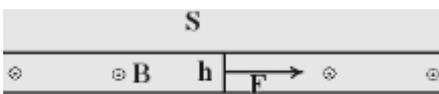
2. На горизонтальном столе лежат n бусин массой m каждая, нанизанные на нерастяжимую нить. Нить не провисает и угол между любыми соседними отрезками 120° . Первая и последняя бусины привязаны к нити, через остальные нить может свободно проскальзывать. Первую бусину стали тянуть с силой F вдоль первого 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?



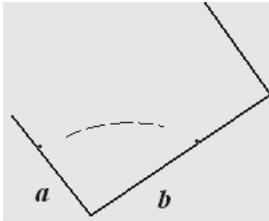
4. Посередине теплоизолированного цилиндра стоит поршень. Слева от него – гелий при температуре T_1 и давлении P_0 , справа – азот при температуре T_2 и таком же давлении. Каким станет давление газов после установления теплового равновесия? У гелия в объёме V при давлении P внутренняя энергия $U_1 = (3/2)PV$, 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° . 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° 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 $a \cos 60^\circ = a/2$; предпоследний и все остальные, кроме первого сокращаются на $2a \cos 60^\circ = a$, а первый отрезок удлиняется на $A - a \cos 60^\circ = A - a/2$. <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

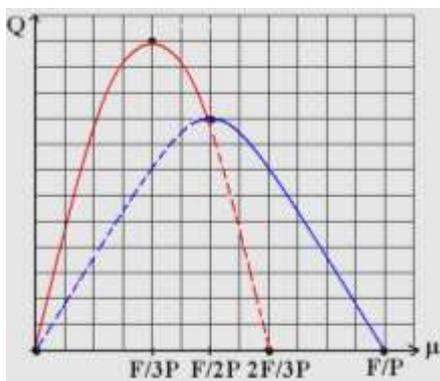
Заключительный этап
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике
5 марта 2017 г.
Решения и критерии оценки
11 класс



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 $F < \mu P$ груз не стронется, то есть при $\mu > F/P$ нет выделения тепла $\langle 0,5 \rangle$.
2. Найдём смещение x_1 вправо при $F > \mu P$. При медленном изменении «тянущей» силы успевают 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 $x_1 = (F - \mu P)/k \langle 0,5 \rangle$.
3. Работа силы трения приведёт к выделению тепла $Q_1 = \mu P x_1 = \mu P(F - \mu P)/k \langle 1 \rangle$.
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 $\mu > F/2P$. Полное выделение тепла ограничится $Q_1 = \mu P x_1 = \mu P(F - \mu P)/k \langle 1 \rangle$.
5. При $kx_1 > \mu P$ груз смещается влево, тогда $\mu < F/2P \langle 0,5 \rangle$.
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 уравнивает силу трения, направленную вправо $\langle 0,5 \rangle$.
7. Перемещение влево равно $x_1 - x_2$, а выделившееся из-за трения добавочно тепло $Q_2 = \mu P(x_1 - x_2) = P^2 \mu(F/P - 2\mu)/k \langle 1 \rangle$, а суммарное выделение тепла $Q = Q_1 + Q_2 = P^2 \mu(2F/P - 3\mu)/k \langle 1 \rangle$.

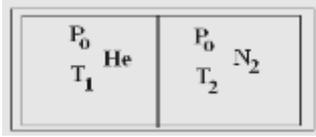


8. Слева приведён график зависимости Q от μ , в указанных выше диапазонах. Он состоит из красного сплошного куса параболы $Q = P^2 \mu(2F/P - 3\mu)/k$ переходящего в синий сплошной кусок параболы $Q_1 = \mu P(F - \mu P)/k$. Из исследования квадратичных зависимостей находим, что наибольшее Q отвечает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

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Граничное μ для «покоя»	$\mu > F/P$ ($Q = 0$)	0,5
2	Смещение вправо	$x_1 = (F - \mu P)/k$ ($\mu < F/P$)	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	$kx_1 < \mu P$ ($\mu > F/2P$). $Q = Q_1 = \mu P x_1 = \mu P(F - \mu P)/k$	1
5	Условие смещения влево	$kx_1 > \mu P$; $\mu < F/2P$	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 $\mu = F/3P$; $Q_{\max} = F^2/3k$	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_0 , 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

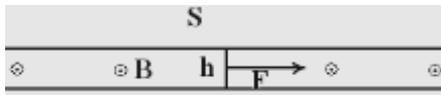
1. В конечном состоянии давление P слева и справа одинаково, а объёмы изменятся. Из сохранения энергии: $(3/2)PV_1 + (5/2)PV_2 = (3/2)P_0V_0 + (5/2)P_0V_0$. <2>
2. Неизменность суммарного объёма $V_1 + V_2 = 2V_0$. <1>
3. Уравнения состояния идеального газа в применении к начальному состоянию, а именно $P_0V_0 = \nu_1RT_1$ и $P_0V_0 = \nu_2RT_2$ 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 $V_1 = 2T_2V_0/(T_1 + T_2)$ и $V_2 = 2T_1V_0/(T_1 + T_2)$ <2>
6. И после подстановки в уравнение энергетического баланса находим искомое давление $P = 4(T_1 + T_2)P_0/(5T_1 + 3T_2)$ <2>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Сохранение энергии	$(3/2)PV_1 + (5/2)PV_2 = (3/2)P_0V_0 + (5/2)P_0V_0$	2
2	Неизменность суммарного объёма	$V_1 + V_2 = 2V_0$	1
3	Связь числа молей с температурами	$P_0V_0 = \nu_1RT_1$; $P_0V_0 = \nu_2RT_2$; $\nu_2/\nu_1 = T_1/T_2$.	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	$V_1 = 2T_2V_0/(T_1 + T_2)$ и $V_2 = 2T_1V_0/(T_1 + T_2)$	2
6	Нахождение P	$P = 4(T_1 + T_2)P_0/(5T_1 + 3T_2)$	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 $q = CvBh = \epsilon_0 vBS$ (C ёмкость системы) <1>.
5. С другой стороны напряжённость электрического поля $E = q/\epsilon_0 S$, откуда $E = vB$, $v = E/B$ <2>.
6. Из полученного ранее соотношения $mv = Ft - qhB$ получаем уравнение для E ($q = \epsilon_0 ES$): $mE/B = Ft - \epsilon_0 EBhS$ <2>
7. Окончательно $E = BFt/(m + \epsilon_0 B^2 hS)$ <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	$vBh = U$; $q = CvBh = \epsilon_0 vBS$	1
5	Напряжённость электрического поля и её связь со скоростью	$E = q/\epsilon_0 S$; $E = vB$, $v = E/B$	2
6	Получение уравнения для E	$mv = Ft - qhB \Rightarrow mE/B = Ft - \epsilon_0 EBhS$	2
7	Ответ	$E = BFt/(m + \epsilon_0 B^2 hS)$	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 этапы 1-3 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.