

I (очный) этап Всесибирской открытой олимпиады школьников

Физика 12 ноября 2017 г.

Решения и критерии оценки 11 класс

Рекомендации для жюри

Каждая задача оценивается из 10 баллов. Участники олимпиады могут предложить полные и верные решения, отличные от приведённых ниже. За это они должны получить полный балл. Частичное решение или решение с ошибками оценивается, ориентируясь на этапы решения, приведённые в разбалловке. При этом верные выводы из ошибочных допущений не добавляют баллов. Если какой-то этап решения не полный, или частично правильный, то он оценивается частью баллов за этап. Если в решении участника олимпиады предложенные этапы объединены как один, то оценка проводится из суммарного балла. Наличие ответа без решения не оценивается. В решении в скобках могут быть указаны баллы, они повторяются в таблице разбалловки. Чтобы обеспечить сопоставимость результатов проверки, важно придерживаться этих рекомендаций и буквы и духа предложенных критериев оценки.

В любых вариантах полных и правильных решений обозначенные этапы могут быть представлены в другом порядке и с записью соотношений в другой форме. В комментариях могут быть указания на иные варианты решения или другие замечания, полезные при проверке.

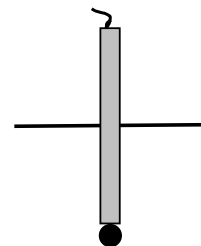
Для удобства работы жюри, каждая задача представлена на отдельной странице.

I (очный) этап Всесибирской открытой олимпиады школьников

Физика 12 ноября 2017 г.

Решения и критерии оценки 11 класс

1. В воде плавает тонкая свеча, изготовленная из очень легкого структурированного парафина. К нижней части свечи, чтобы она не опрокидывалась, прикреплен небольшой груз. В результате погруженной оказалась половина свечи. Свечу поджигают. Через какое время свеча полностью погрузится в воду, если за единицу времени сгорает масса α ? Плотность воды больше плотности парафина в 2,5 раза, масса свечи m . Считать, что свеча выгорает полностью, и массой стекающего по поверхности свечи расплавленного парафина пренебречь.



Возможное решение

1. Обозначим начальный объем свечи V , ее конечный объем V_X , объем груза $V_{ГР}$, плотность материала груза $\rho_{ГР}$, плотность воды ρ_B , по условию задачи плотность парафина равна $0,4 \rho_B < 1 \text{ балл} >$.
2. Приравнивание силы тяжести и силы Архимеда в начале процесса горения:
 $0,4\rho_B Vg + \rho_{ГР} V_{ГР}g = \rho_B Vg/2 + \rho_B V_{ГР}g$ (1) $< 2 \text{ балла} >$.
3. Приравнивание силы тяжести и силы Архимеда в конце процесса горения
 $0,4\rho_B V_Xg + \rho_{ГР} V_{ГР}g = \rho_B V_Xg + \rho_B V_{ГР}g$ (2) $< 3 \text{ балла} >$.
4. Вычитая из (1) (2), получим $V_X = V/6 < 2 \text{ балла} >$.
5. Следовательно, масса свечи уменьшилась на $5m/6$, а искомое время $t = 5m/6\alpha < 2 \text{ балла} >$.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Корректная постановка задачи		1
2	Баланс сил в начале горения свечи	$0,4\rho_B Vg + \rho_{ГР} V_{ГР}g = \rho_B Vg/2 + \rho_B V_{ГР}g$	2
3	Баланс сил в конце горения свечи	$0,4\rho_B V_Xg + \rho_{ГР} V_{ГР}g = \rho_B V_Xg + \rho_B V_{ГР}g$	3
4	Определение конечного объема свечи	$V_X = V/6$	2
5	Нахождение времени	$t = 5m/6\alpha$	2

I (очный) этап Всесибирской открытой олимпиады школьников

Физика 12 ноября 2017 г.

Решения и критерии оценки 11 класс

2. В вертикальный длинный цилиндрический сосуд с воздухом вставлен герметичный поршень массы M сечением S . Вначале поршень покоился. Поршню рывком сообщили направленную вверх скорость U_0 , которая при дальнейшем движении не изменялась. С какой массовой скоростью (в кг/с) надо подавать в цилиндр воздух, чтобы обеспечить такое движение поршня? Атмосферное давление P_0 . Трением пренебречь. Ускорение свободного падения g . Считать температуру постоянной и равной T_0 . Молярная масса воздуха μ , универсальная газовая постоянная R .

1. Начальное равновесие поршня $P = P_0 + Mg/S$ (1) <1 балл>.
2. Это давление должно сохраняться, чтобы скорость поршня в дальнейшем не изменялась <1 балл>.
3. Пусть начальная высота воздушного столба под поршнем L . Объем столба будет меняться со временем $V = (L + U_0t)S$ (2) <2 балла>.
4. Уравнение состояния газа массы m : $PV = m \frac{RT_0}{\mu}$ (3) <2 балла>.
5. Подставляя (1), (2) в (3) $m = \frac{\mu PV}{RT_0} = \frac{\mu(P_0 + Mg/S)S(L + U_0t)}{RT_0}$ (4) <2 балла>.
6. Из линейной зависимости от времени массы m (4) получим скорость изменения массы воздуха под поршнем $\frac{\mu(P_0 + Mg/S)SU_0}{RT_0}$ <2 балла>.

Разбалловка по этапам

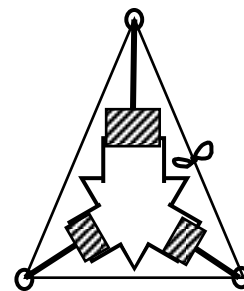
	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Получение условия начального равновесия поршня	$P = P_0 + Mg/S$	1
2	Получение условия сохранения скорости поршня		1
3	Нахождение изменения объема	$V = (L + U_0t)S$	2
4	Запись уравнения состояния газа	$PV = m \frac{RT_0}{\mu}$	2
5	Получение уравнения на массу	$m = \frac{\mu PV}{RT_0} = \frac{\mu(P_0 + Mg/S)S(L + U_0t)}{RT_0}$	2
6	Получение ответа	$\frac{\mu(P_0 + Mg/S)SU_0}{RT_0}$	2

I (очный) этап Всесибирской открытой олимпиады школьников

Физика 12 ноября 2017 г.

Решения и критерии оценки 11 класс

3. Изображенное на рисунке заполненное воздухом пневматическое устройство содержит три цилиндра с подвижными поршнями, выставленными под углами 120° друг относительно друга. Два поршня имеют площадь поперечного сечения s_1 и один s_2 ($s_2 > s_1$). Для транспортировки цилиндры стянули веревкой, продетой через кольца жестко соединенных с поршнями стержней (штоков). При каком отношении площадей s_2/s_1 удастся закрепить поршни таким образом? Трением между веревкой и отверстиями в штоках и между поршнями и стенками цилиндров пренебречь.



Возможное решение

1. Пусть избыточное давление в устройстве P . Для равновесия необходимо, чтобы $Ps_2 = F_2$ и $Ps_1 = F_1$, где F_2 и F_1 проекции на ось штока соответствующего поршня действующей со стороны веревки силы <1 балл>.
2. Пусть половина верхнего угла треугольника α . Тогда $F_2 = 2T \cos \alpha$ <2 балла>.
3. Аналогичная проекция для нижнего поршня $F_1 = T \cos 30^\circ + T \cos(60^\circ - \alpha)$ <2 балла>.
4. Отношение $\frac{F_2}{F_1} = \frac{2 \cos \alpha}{\cos 30^\circ + \cos(60^\circ - \alpha)}$. Чем меньше α , тем больше числитель и меньше знаменатель <2 балла>.
5. При $0^\circ < \alpha < 30^\circ$ (по строению устройства), поэтому $1 < \frac{F_2}{F_1} < \frac{4}{\sqrt{3} + 1}$. Если $1 < \frac{Ps_2}{Ps_1} < \frac{4}{\sqrt{3} + 1}$, то при стягивании веревки будет достигнут угол α , обеспечивающий равновесие <1 балл>.
6. Если увеличить верхний (по рисунку) угол, который обеспечивал равновесие (см. выше п.5) то вследствие неравенств $F_2 < Ps_2$, $F_1 > Ps_1$ верхний поршень будет выдвигаться, уменьшая угол. Если верхний угол уменьшить, то неравенства поменяют знак, и верхний поршень будет вдвигаться, увеличивая угол. Следовательно, найденное равновесие устойчиво <2 балла>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Запись условия равновесия	$Ps_2 = F_2, Ps_1 = F_1$	1
2	Определение силы, действующей на верхний поршень	$F_2 = 2T \cos \alpha$	2

I (очный) этап Всесибирской открытой олимпиады школьников

Физика 12 ноября 2017 г.

Решения и критерии оценки 11 класс

3	Определение силы, действующей на нижний поршень	$F_1 = T \cos 30^\circ + T \cos(60^\circ - \alpha)$	2
4	Фиксация монотонной зависимости от угла α отношения сил, действующих на верхний и нижний поршень	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{2 \cos \alpha}{\cos 30^\circ + \cos(60^\circ - \alpha)}$,	2
5	Определения диапазона отношения сил, действующих на верхний и нижний поршень	$0^\circ < \alpha < 30^\circ, 1 < \frac{F_1}{F_2} < \frac{4}{\sqrt{3}+1}$, $1 < \frac{Ps_2}{Ps_1} < \frac{4}{\sqrt{3}+1}$	1
6	Анализ устойчивости равновесия		2

Комментарий: Может понадобиться удлинить верхний шток, но это не является проблемой. Ответ: $1 < \frac{s_2}{s_1} < \frac{4}{\sqrt{3}+1}$.

I (очный) этап Всесибирской открытой олимпиады школьников

Физика 12 ноября 2017 г.

Решения и критерии оценки 11 класс

4. Пучок неизвестных частиц проходит через камеру, содержащую воздух с парами воды. Некоторые частицы выбивают ядра атомов из молекул. Измерения показали, что максимальные кинетические энергии выбитых ядер водорода в 4 раза больше, чем у выбитых ядер азота. Найти массу частиц, считая удары упругими и пренебрегая силами, удерживающими ядра в молекулах. Движением ядер до удара можно пренебречь. Массу ядра водорода принять равной 1, а ядра азота – 14 атомных единиц массы.

Возможное решение

1. Обозначаем массу неизвестной частицы в атомных единицах m . Максимальная энергия неподвижного ядра массы M после взаимодействия с частицей приобретает при лобовом упругом соударении $\langle 2 \text{ балл} \rangle$.
2. Из законов сохранения $mV = mv + Mu, \frac{mV^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{Mu^2}{2} \langle 2 \text{ балла} \rangle$.
3. Получаем $u = \frac{2mV}{M+m}, \frac{Mu^2}{2} = 2M \frac{m^2V^2}{(M+m)^2} \langle 2 \text{ балла} \rangle$.
4. Сравниваем энергии водорода и азота ($M = 14$): $1 \cdot \frac{m^2V^2}{(1+m)^2} = 4 \cdot 14 \cdot \frac{m^2V^2}{(14+m)^2}$, откуда $14 + m = 2\sqrt{14} \cdot (1 + m) \langle 3 \text{ балла} \rangle$.
5. $m = \frac{14 - 2\sqrt{14}}{2\sqrt{14} - 1} = 1.00515$ атомных единиц массы. $\langle 1 \text{ балл} \rangle$.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Указание условия максимальной энергии при лобовом столкновении		2
2	Запись ЗСЭ	$mV = mv + Mu, \frac{mV^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{Mu^2}{2}$	2
3	Определение скорости	$u = \frac{2mV}{M+m}, \frac{Mu^2}{2} = 2M \frac{m^2V^2}{(M+m)^2}$	2
4	Проведение сопоставления энергий водорода и азота	$1 \cdot \frac{m^2V^2}{(1+m)^2} = 4 \cdot 14 \cdot \frac{m^2V^2}{(14+m)^2}$ $14 + m = 2\sqrt{14} \cdot (1 + m)$	3
5	Получение ответа	$m = \frac{14 - 2\sqrt{14}}{2\sqrt{14} - 1} = 1.00515$	1

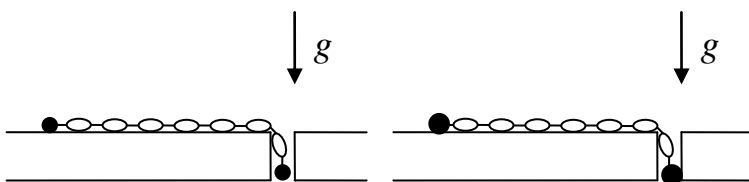
Комментарий: Масса неизвестных частиц очень близка к массе протона (в задаче описана, с некоторыми упрощениями, постановка опытов Чедвика, открывшего в 1932 г. нейтрон именно путем сравнения энергий отдачи ядер азота и водорода).

I (очный) этап Всесибирской открытой олимпиады школьников

Физика 12 ноября 2017 г.

Решения и критерии оценки 11 класс

5. У растянутой на столе массивной цепочки один конец находится возле дырки. К концам цепочки прицепили одинаковые небольшие гири так, что одна гиря свесилась в дырку. После того, как цепочку отпустили, она стала соскальзывать в дырку стола. Чтобы уменьшить время соскальзывания, первоначальные гири заменили на гири удвоенной массы и эксперимент повторили. Правильно ли сделали? Обоснуйте свой ответ. Трением пренебречь.



Возможное решение

1. Пусть длина цепочки L , ее масса m , масса гирьки M . Из закона сохранения энергии получим зависимость скорости цепочки с гирьками U_1 от длины «свешивающейся» части x

$$m \frac{U_1^2}{2} + 2M \frac{U_1^2}{2} = m \frac{x}{L} g \frac{x}{2} + Mgx \quad (1) <3 \text{ балла}>.$$

2. Из (1)
$$U_1 = \sqrt{\frac{mg \left(\frac{x}{L}\right) x + 2Mgx}{m + 2M}} = \sqrt{\frac{gx^2}{L} + \frac{2Mgx \left(1 - \frac{x}{L}\right)}{m + 2M}} \quad (2) <2 \text{ балла}>.$$

3. Скорость цепочки с гирьками удвоенной массы при том же значении x

$$U_2 = \sqrt{\frac{gx^2}{L} + \frac{4Mgx \left(1 - \frac{x}{L}\right)}{m + 4M}} \quad (3) <1 \text{ балл}>.$$

4. Все члены в подкоренных выражениях (2) и (3) положительны. 1-е члены в выражениях тождественны. Запишем отношения 2-го члена в

$$(3) \text{ к соответствующему в (2)} \quad \frac{4M(m+2M)}{2M(m+4M)} = \frac{4m+8M}{2m+8M} > 1. \text{ То есть } U_2 > U_1$$

для любых одинаковых x <2 балла>.

5. Отсюда следует, что при одинаковом малом приращении Δx соответствующее малое время для цепочки с гирьками удвоенной

$$\text{массы } \Delta t_2 \text{ будет меньше, так как } \Delta t_1 = \frac{\Delta x}{U_1} > \Delta t_2 = \frac{\Delta x}{U_2} <1 \text{ балл}>.$$

6. Ввиду произвольности x полное время соскальзывания цепочки с гирьками удвоенной массы будет меньше <1 балл>.

Разбалловка по этапам

Этапы решения	соотношения	Балл
---------------	-------------	------

I (очный) этап Всесибирской открытой олимпиады школьников

Физика 12 ноября 2017 г.

Решения и критерии оценки 11 класс

1	Запись закона сохранения энергии	$m \frac{U_1^2}{2} + 2M \frac{U_1^2}{2} = m \frac{x}{L} g \frac{x}{2} + Mgx$	3
2	Получение скорости цепочки	$U_1 = \sqrt{\frac{mg\left(\frac{x}{L}\right)x + 2Mgx}{m + 2M}} = \sqrt{\frac{gx^2}{L} + \frac{2Mgx\left(1 - \frac{x}{L}\right)}{m + 2M}}$	2
3	Получение скорости цепочки с гирьками удвоенной масс	$U_2 = \sqrt{\frac{gx^2}{L} + \frac{4Mgx\left(1 - \frac{x}{L}\right)}{m + 4M}}$	1
4	Вывод соотношения: $U_2 > U_1$	$\frac{4M(m + 2M)}{2M(m + 4M)} = \frac{4m + 8M}{2m + 8M} > 1$	2
5	Получение времен соскальзывания	$\Delta t_1 = \frac{\Delta x}{U_1} > \Delta t_2 = \frac{\Delta x}{U_2}$	1
6	Общий вывод		1