Первый этап Всесибирской Открытой Олимпиады Школьников по физике 12 ноября 2023 г.

Решения и критерии оценки

9 класс

1. Когда лифт, равномерно движущийся вниз со скоростью υ = 5 м/с, достиг высоты H = 30 м, с него вбок (относительно лифта) столкнули мешок с песком. Через T_0 = 4 с столкнули второй мешок с песком. Чему равен интервал времени T между ударами мешков о землю? Считать ускорение свободного падения g =10 м/с^2, сопротивлением воздуха пренебречь.

Возможное решение

Расстояние h, которое пролетит мешок за время t после выталкивания: $h = vt + gt^2/2$ <1 балл> (начальная скорость обоих мешков равна скорости лифта <1 балл>). Решая это уравнение относительно t, получим время падения мешка с высоты h: $t = -\frac{v}{g} + \sqrt{\frac{v^2}{g^2} + \frac{2h}{g}}$ <2 балла> (второй корень меньше нуля, он не подходит). Таким образом, первый мешок упадет на землю через время

$$t_1 = -\frac{v}{g} + \sqrt{\frac{v^2}{g^2} + \frac{2H}{g}}$$

после того, как его вытолкнули <1 балл>. Второй мешок упадет на землю через время

$$t_2 = T_0 - \frac{v}{g} + \sqrt{\frac{v^2}{g^2} + \frac{2(H - vT_0)}{g}}$$

после того, как вытолкнули первый мешок <2 балла>. Время между ударами равно разности этих времен <1 балл>:

$$T = t_2 - t_1 = T_0 + \sqrt{\frac{v^2}{g^2} + \frac{2(H - vT_0)}{g}} - \sqrt{\frac{v^2}{g^2} + \frac{2H}{g}}$$

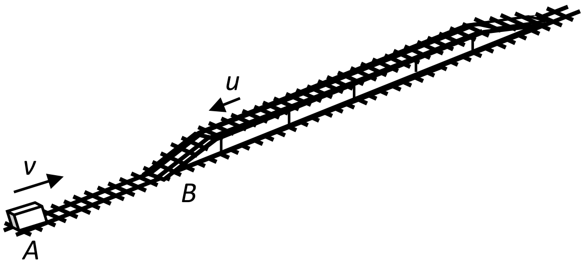
Подставив численные значения, получаем ответ: $T = 3$ с <1 балл>

Ответ: T=3 с.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Зависимость времени падения от высоты сброса	$t = -\frac{v}{g} + \sqrt{\frac{v^2}{g^2} + \frac{2h}{g}}$	4
2	Начальные скорости мешков	Равны скорости лифта	1
3	Время падения первого мешка	$t_1 = -\frac{v}{g} + \sqrt{\frac{v^2}{g^2} + \frac{2H}{g}}$	1
4	Время падения второго мешка	$t_2 = T_0 - \frac{v}{g} + \sqrt{\frac{v^2}{g^2} + \frac{2(H - vT_0)}{g}}$	2
5	Вычисление промежутка времени между падениями мешков	$T = t_2 - t_1 = 3$ с	2

2. Среди ранних утопических проектов железной дороги было предложение организовать встречное движение поездов, при котором один поезд движется поверх другого. Представим, что этот проект реализован, и в некоторый момент в пункте A находится дрезина, которая движется направо со скоростью v, а в пункте B – голова поезда, движущегося налево со скоростью u. Дрезина заезжает на поезд, движется поверх него с той же скоростью v (относительно установленных на поезде рельсов) и съезжает с него в пункте B. Определите среднюю скорость $< v >$ дрезины между пунктами A и B. Размерами дрезины пренебречь. Заметим, что $v > u$.



Возможное решение

За время t движения дрезины из A в B поезд проделывает путь $L = ut$ <2 балла>.

Время движения дрезины поверх поезда $t_2 = L / v = tu / v$ <2 балла>.

Скорость дрезины относительно земли при ее движении поверх поезда $v_1 = v - u$, и она таким образом проделывает путь $S_2 = v_1 t_2$ <2 балла>.

До въезда на поезд дрезина проделывает путь $S_1 = v(t - t_2)$ <1 балл>.

Средняя скорость движения дрезины $< v >= \dfrac{S_1 + S_2}{t} = \dfrac{v^2 - u^2}{v}$.

Ответ: $< v >= \dfrac{v^2 - u^2}{v}$ <2 балла>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Утверждение: за время движения дрезины путь поезда равен	$L = ut$	2
2	Определение времени движения дрезины поверх поезда	$t_2 = L / v = tu / v$	2
3	Определение пути дрезины поверх поезда	$v_1 = v - u$, $S_2 = v_1 t_2$	2
4	Определение пути дрезины до встречи с поездом	$S_1 = v(t - t_2)$	1
5	Определение средней скорости	$< v >= \dfrac{S_1 + S_2}{t}$	1
6	Получение ответа	$< v >= \dfrac{v^2 - u^2}{v}$	2

3. В полную полулитровую термокружку с кипятком (температура около 100ºС) кидают небольшую щепотку раскаленных железных опилок. Какое количество молекул воды вылетит при этом в атмосферу? Вода через край кружки не переливается. Удельная теплота парообразования воды r = 2.3·10^6 Дж/кг. Масса опилок 23 грамма. Начальная температура опилок 300ºС. Удельная теплоемкость железа 500 Дж/кгК

Возможное решение

Так как температура воды равна температуре кипения, то все тепло, полученное от опилок, уходит на парообразование <1 балл>, уравнение теплового баланса:

$$cm(T_0 - T_1) + rM = 0,$$

здесь m и M – массы опилок и испарившейся волы, соответственно, T_0 – температура кипятка (она равна конечной температуре опилок <1 балл>), T_1 – начальная температура опилок, c – удельная теплоемкость железа <2 балла за уравнение>. Количество молекул воды равно: $N = N_A M/\mu$, здесь N_A – число Авогадро, μ – молярная масса воды <2 балла за уравнение + 2 балла за получение численного результата>.

$$N = N_A \frac{cm(T_1 - T_0)}{r\mu} = 3.3 \cdot 10^{22}$$

Данное число нужно сравнить с числом молекул, содержащихся в полулитре воды:

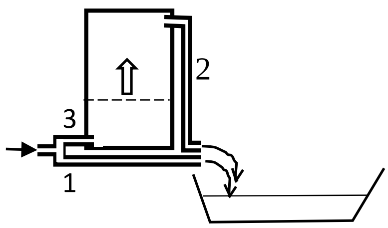
$N_{max} = \frac{N_A M_0}{\mu} = 1.66 \cdot 10^{25} > N$, (здесь M_0 – начальная масса воды в кружке), то есть вода испарится не вся (или можно сравнить массу испарившейся воды с массой воды, которая была изначально) <2 балла>.

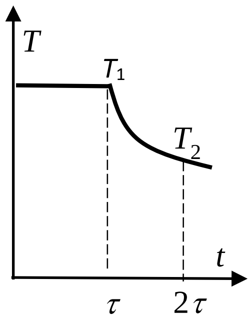
Ответ: 3.3·10^{22} молекул

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Утверждение: все тепло уходит на парообразование		1
2	Уравнение теплового баланса	$cm(T_0 - T_1) + rM = 0$	2
3	Определение конечной температуры опилок		1
4	Определение количества молекул воды	$N = N_A M/\mu$	2
5	Подстановка численных значений	$N = 3.3 \cdot 10^{22}$	2
6	Утверждение: количество испарившейся воды должно быть меньше изначального	$N_{max} = \frac{N_A M_0}{\mu} = 1.66 \cdot 10^{25} > N$	1
7	Подстановка численных значений для сравнения		1

4. Ванна наполняется водой, часть которой по трубе 1 поступает из водопровода, а другая часть – по трубе 2 из бака накопительного водонагревателя (см. рис.). Объем бака первоначально целиком заполнен горячей водой с температурой на ΔT выше водопроводной. На место вытекшей горячей воды по трубе 3 поступает водопроводная, которая с оставшейся горячей водой не перемешивается. Выходящая из водонагревателя вода остается горячей, пока граница горячей и холодной воды не поднимется до самого верха бака. График температуры воды в ванне в зависимости от времени от начала ее наполнения показан на рисунке. Объем воды в ванне через время τ равен V_0. Используя данные из рисунка, определите объем бака водонагревателя.





Возможное решение

Предположим, что искомый объем V, температура холодной воды T_c, горячей $T_h = T_c + \Delta T$, график показывает, что в момент времени τ накопленная горячая вода кончилась <2 балла>.

В момент времени τ в ванну поступило V горячей воды и $V_0 - V$ холодной. Уравнение теплового баланса $c\rho V(T_1 - T_h) + c\rho(V_0 - V)(T_1 - T_c) = 0$, где c и ρ – соответственно, удельная теплоемкость и плотность воды <3 балла>.

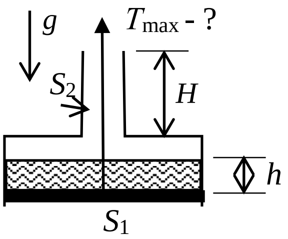
Аналогичное уравнение для 2τ: $c\rho V(T_2 - T_h) + c\rho(2V_0 - V)(T_2 - T_c) = 0$ <2 балла>.

Решая уравнения, получаем: $T_c = 2T_2 - T_1$ и ответ.

Ответ: $V = 2V_0 \frac{T_1 - T_2}{\Delta T}$ <3 балла>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Утверждение: в момент времени τ горячая вода кончилась		2
2	Уравнение теплового баланса для интервала <0, τ>	$c\rho V(T_1 - T_h) + c\rho(V_0 - V)(T_1 - T_c) = 0$	3
3	Уравнение теплового баланса для интервала < τ,2 τ>	$c\rho V(T_2 - T_h) + c\rho(2V_0 - V)(T_2 - T_c) = 0$	2
4	Получение ответа	$V = 2V_0 \frac{T_1 - T_2}{\Delta T}$	3



5. Устройство, состоящее из двух коаксиально расположенных цилиндров (оси симметрии этих цилиндров совпадают), соединенных между собой кольцом, приваренным к их торцам, закреплено вертикально (см. рис.). Нижний цилиндр площадью S_1 перекрыт снизу легким поршнем, который удерживается нитью. Над поршнем находится слой жидкости толщиной h и плотностью ρ. Причем $h S_1 > H S_2$, где H – высота тонкого цилиндра, S_2 – площадь его сечения. Поршень начинают медленно поднимать. Определите максимальное натяжение $T_{\max}$ нити до момента упора поршня в кольцо. Ускорение свободного падения g. Трения нет.

Возможное решение

Равновесие поршня определяется балансом силы натяжения нити T и силы давления жидкости, действующих на поршень: $T = PS_1$. Давление жидкости $P = \rho g h_t$, где h_t - высота столба жидкости над поршнем <3 балла>. Оно достигнет максимального значения при наибольшем h_t<1 балл>.

При выливании воды эта высота будет уменьшаться – максимальное значение она примет, когда кромка столба жидкости достигнет края верхнего цилиндра <2 балла>.

Найдем эту высоту из условия сохранения объема жидкости $S_2 H + S_1(h_{max} - H) = S_1 h$ <2 балла>, откуда $h_{max} = h + H(1 - \frac{S_2}{S_1})$.

Ответ: $T_{max} = \rho g(S_1(h + H) - S_2 H)$ <2 балла>

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	Соотношения	Балл
1	Формулировка условия равновесия поршня	$T = P \cdot S_1$, $P = \rho g h_t$	3
2	Утверждение: максимум силы при максимуме высоты		1
3	Обоснованное утверждение: максимум высоты при достижении столбом жидкости верхнего края сосуда		2
4	Формулировка условия сохранения объема жидкости	$S_2 H + S_1(h_{max} - H) = S_1 h$	2
5	Получение ответа	$T_{max} = \rho g(S_1(h + H) - S_2 H)$	2