Московский государственный технический университет

имени Н.Э.Баумана

Олимпиада школьников «Шаг в будущее»

Инженерное дело «Профессор Жуковский» ФИЗИКА   2 тур

2018-2019 учебный год

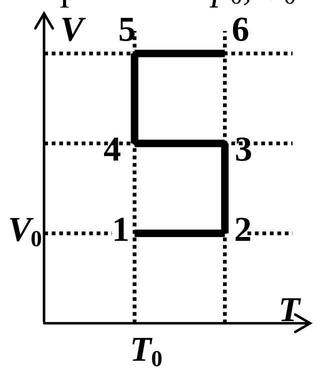
10 класс

Вариант 3

1. Плоскодонная баржа получила пробоину площадью S = 100 см^2, находящуюся в дне баржи на глубине h = 2 м. Определите, с какой силой нужно давить на пластырь, которым закрывают отверстие, чтобы сдержать напор воды. Весом пластыря пренебречь. Плотность воды ρ = 1000 кг/м^3.

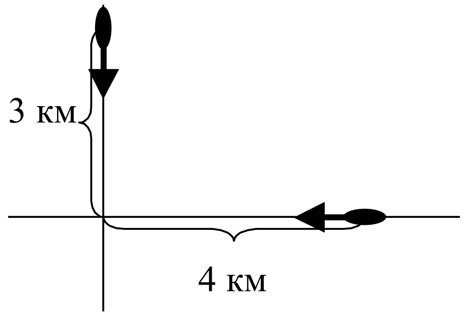
(10 баллов)

2. На листе в клеточку ученик 10-го класса нарисовал график изменения объема V идеального газа от его абсолютной температуры T в процессе 1–2–3–4–5–6, похожим на пятерку (см. рисунок). Считая массу газа постоянной, изобразите, соблюдая правильный масштаб, как будет выглядеть зависимость давления P от абсолютной температуры T для этого процесса. Значения давления, объема и температуры газа в состоянии 1 считайте известными и равными p_0, V_0 и T_0 соответственно.



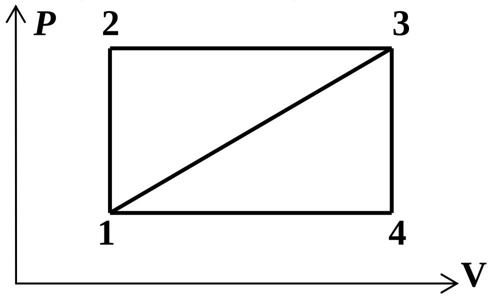
(10 баллов)

3. К перекрестку двух взаимно перпендикулярных дорог приближаются два автомобиля (см. рисунок). В некоторый момент времени один автомобиль находился на расстоянии 3 км, а другой – на расстоянии 4 км от перекрестка. Скорости автомобилей одинаковы и не изменяются в процессе движения. Определите наименьшее расстояние между автомобилями.



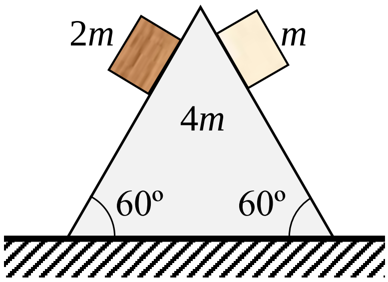
(15 баллов)

4. Коэффициент полезного действия цикла 1–2–3–1, представленного на рисунке, равен $\eta_1 = \frac{1}{11}$. Определите КПД цикла 1–3–4–1. Оба цикла совершаются с одним и тем же количеством некоторого (неизвестного) идеального газа.



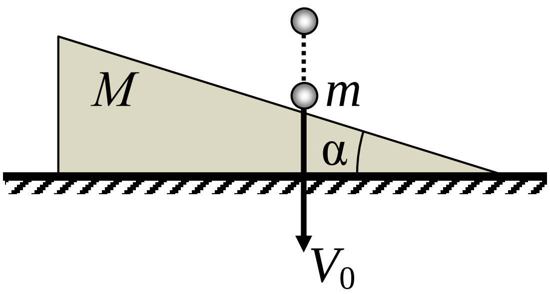
(15 баллов)

5. На гладкой горизонтальной поверхности находится гладкий клин массой $4m$, имеющий форму правильной треугольной призмы (см. рисунок). На клин осторожно поставили два гладких тела, массами $2m$ и m. Определите, в какую сторону, и с каким ускорением будет двигаться клин, если оба тела одновременно начнут скользить по его боковым поверхностям?



(25 баллов)

6. Клин массой M лежит на гладкой горизонтальной поверхности. На грань, составляющую с горизонтом угол α, вертикально падает шарик массой m. Скорость шарика в момент удара о клин равна V_0 (см. рис). Считая удар упругим, а время удара малым, определите скорость клина после удара. Трение между шариком и клином отсутствует.



(25 баллов)

Критерии оценивания задач.

За каждую задачу выставляется целое число баллов от 0 до максимального балла (MAX). Если задача отсутствует, то в таблице пишется X.

Если решение задачи содержит разрозненные записи, присутствует рисунок (хоть частично правильный) и одна — две правильные формулы, но решение, как таковое отсутствует или абсолютно неверное, то можно поставить 1 — 2 балла.

Если решение абсолютно верное, содержит все необходимые формулы и физические законы, имеет понятные пояснения, а также проведены необходимые математические преобразования и получен правильный ответ (ответы) – это MAX.

За отсутствие пояснений, ответа или единиц физических величин, но при правильном решении задачи, можно снять 1— 2 балла.

В случае если задача содержит правильный путь решения, но не доведена до ответа или получен неправильный ответ, при этом присутствуют отдельные правильные элементы решения, то оценивание провести по критериям, приведенным ниже после каждой задачи.

Верные решения задач могут отличаться от авторских. Также никакие критерии не могут быть всеобъемлющими. Во всех случаях, не предусмотренных критериями, просьба руководствоваться соображениями здравого смысла и педагогическим опытом эксперта.

Решения варианта 3

1. Плоскодонная баржа получила пробоину площадью S = 100 см^2, находящуюся в дне баржи на глубине h = 2 м. Определите, с какой силой нужно давить на пластырь, которым закрывают отверстие, чтобы сдержать напор воды. Весом пластыря пренебречь.

(MAX = 10 баллов)

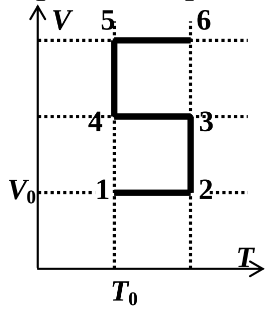
Возможное решение

Избыточное давление воды на пробоину на глубине h равно $p = \rho g h$. Тогда : $F = pS = \rho g h S = 200$ Н.

Критерии оценивания задачи 1.

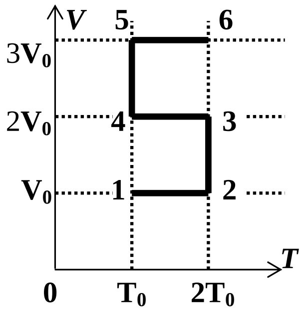
	Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются	**Max. балл ставится, когда данный элемент решения сделан верно и полно.**
1	Записана формула для давления	3 балла
2	Записана формула связи давление и силы	2 балла
3	Проведены необходимые алгебраические преобразования	от 1 до 3 баллов
4	Сделаны подстановки числовых значений и получен правильный числовой ответ	от 1 до 2 баллов

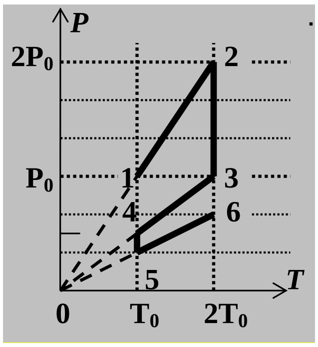
2. На листе в клеточку ученик 10-го класса нарисовал график изменения объема V идеального газа от его абсолютной температуры T в процессе 1–2–3–4–5–6, похожим на пятерку (см. рисунок). Считая массу газа постоянной, изобразите, соблюдая правильный масштаб, как будет выглядеть зависимость давления P от абсолютной температуры T для этого процесса. Значения давления, объема и температуры газа в состоянии 1 считайте известными и равными p_0, V_0 и T_0 соответственно.



(MAX = 10 баллов)

Возможное решение





Состояние	Параметры	Вычисления
1	P_0, V_0, T_0	
2	$P_0, V_0, 2T_0$	$\frac{P_2}{2T_0} = \frac{P_0}{T_0} \Rightarrow P_2 = 2P_0$
3	$P_3, 2V_0, 2T_0$	$P_3 \cdot 2V_0 = P_2 \cdot V_0 \Rightarrow P_3 = P_0$
4	$P_4, 2V_0, T_0$	$\frac{P_4}{T_0} = \frac{P_3}{2T_0} \Rightarrow P_4 = \frac{P_0}{2}$
5	$P_5, 3V_0, T_0$	$P_4 \cdot 2V_0 = P_5 \cdot 3V_0 \Rightarrow P_5 = \frac{P_0}{3}$
6	$P_6, 3V_0, 2T_0$	$\frac{P_6}{2T_0} = \frac{P_5}{T_0} \Rightarrow P_6 = \frac{2}{3} P_0$

Критерии оценивания задачи 2.

	Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются	**Max. балл ставится, когда данный элемент решения сделан верно и полно.**
1	Рассчитаны параметры состояний 2-6	По 1 баллу за правильный расчет каждого состояния – всего 5 баллов
2	Построены графики для каждого из процессов	По 1 баллу за правильное изображение каждого процесса – всего 5 баллов

3. К перекрестку двух взаимно перпендикулярных дорог приближаются два автомобиля (см. рис. 1). В некоторый момент времени один автомобиль находился на расстоянии 3 км, а другой – на расстоянии 4 км от перекрестка. Скорости автомобилей одинаковы и не изменяются в процессе движения. Определите наименьшее расстояние между автомобилями.

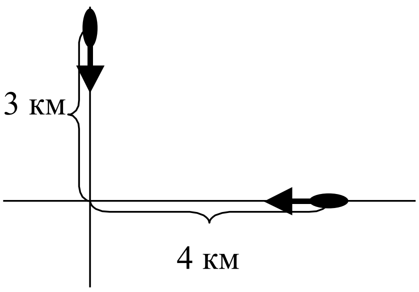


Рис.1

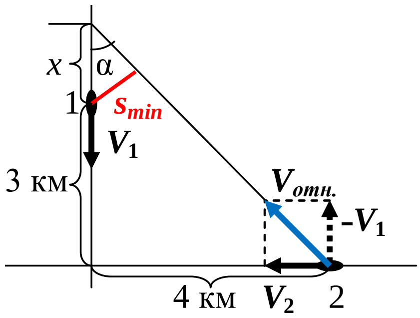


Рис.2

(MAX = 15 баллов)

Возможное решение

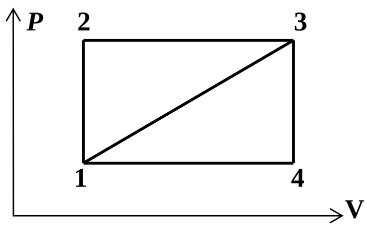
Обозначим скорости автомобилей $\vec{V}_1$ и $\vec{V}_2$ соответственно (см. рис. 2). В системе отсчета, движущейся со скоростью $\vec{V}_1$ автомобиль 1 неподвижен, а скорость второго равна $\vec{V}_{отн} = \vec{V}_2 - \vec{V}_1$. Т.к. $\left|\vec{V}_1\right| = \left|\vec{V}_2\right| = V$, то α = 45°. Из построений на рис. 2, получим x = 1 км; $s_{\min} = x \sin 45^\circ = 0,71$ км.

Возможно также аналитическое решение. Для этого следует записать расстояние $s(t)$ между автомобилями и исследовать полученную квадратичную функцию на экстремум.

Критерии оценивания задачи 3 (в скобках критерии оценивания аналитического решения).

	Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются	**Max. балл ставится, когда данный элемент решения сделан верно и полно.**
1	Записан закон сложения скоростей (Записана формула для расстояния между автомобилями $s^2 = x_2^2 + y_1^2$)	от 1 до 2 баллов
2	Сделаны необходимые геометрические построения (записаны аналитические формулы для $x_2(t)$ и $y_1(t)$, получено выражение для $s^2(t)$)	от 1 до 6 баллов
	Получено выражение для минимального расстояния	от 1 до 5 баллов
	Получен числовой ответ	от 1 до 2 баллов

4. Коэффициент полезного действия цикла 1–2–3–1, представленного на рисунке, равен $\eta_1 = \dfrac{1}{11}$. Определите КПД цикла 1–3–4–1. Оба цикла совершаются с одним и тем же количеством некоторого (неизвестного) идеального газа.



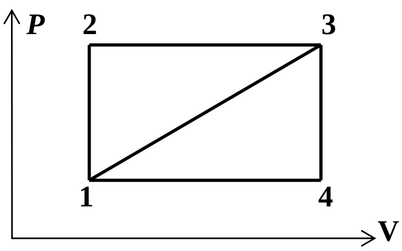
(MAX = 15 баллов)

Возможное решение

Обозначим через A работу за цикл 1-2-3-1. Точно такая же работа совершается за цикл 1-3-4-1. В цикле 1-2-3-1 полученное тепло $Q_{пол} = Q_{12} + Q_{23}$, а отданное $Q_{отд} = |Q_{31}|$. Тогда $A = Q_{пол} - Q_{отд}$.

В цикле 1-3-4-1 полученное тепло $Q'_{пол} = Q_{13} = |Q_{31}| = Q_{отд}$, отданное тепло $Q'_{отд} = |Q_{34}| + |Q_{41}|$, $A = Q'_{пол} - Q'_{отд}$.

КПД циклов 1-2-3-1 η_1 и 1-3-4-1 η_2 вычисляются по формулам:



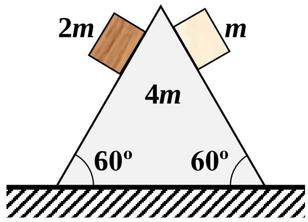
$$\begin{cases} \eta_1 = \dfrac{A}{Q_{пол}} = \dfrac{A}{A + |Q_{31}|}, \Rightarrow \dfrac{1}{\eta_1} = 1 + \dfrac{|Q_{31}|}{A} \Rightarrow \\ \eta_2 = \dfrac{A}{Q'_{пол}} = \dfrac{A}{|Q_{31}|}, \qquad \Rightarrow \dfrac{|Q_{31}|}{A} = \dfrac{1}{\eta_1} - 1 = \dfrac{1-\eta_1}{\eta_1}. \end{cases}$$

Тогда кпд цикла 1-3-4-1 выражается через кпд цикла 1-2-3-1. $\eta_2 = \dfrac{\eta_1}{1-\eta_1} = \dfrac{1}{10}$.

Критерии оценивания задачи 4.

	Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются	**Max. балл ставится, когда данный элемент решения сделан верно и полно.**
1	Записаны формулы для $Q_{пол}$ и $Q_{отд}$ для обоих циклов	по 1 баллу за каждую формулу – всего 4 балла
2	Записана формулы для КПД обоих циклов	по 2 балла за каждую формулу – всего 4 балла
3	Проведены необходимые алгебраические преобразования и получена правильная формула для искомой величины	от 1 до 5 баллов
4	Сделаны подстановки числовых значений и получен правильный числовой ответ	от 1 до 2 баллов

5. На гладкой горизонтальной поверхности находится гладкий клин массой $4m$, имеющий форму правильной треугольной призмы (см. рисунок). На клин осторожно поставили два гладких тела, массами $2m$ и m. Определите, в какую сторону, и с каким ускорением будет двигаться клин, если оба тела одновременно начнут скользить по его боковым поверхностям?



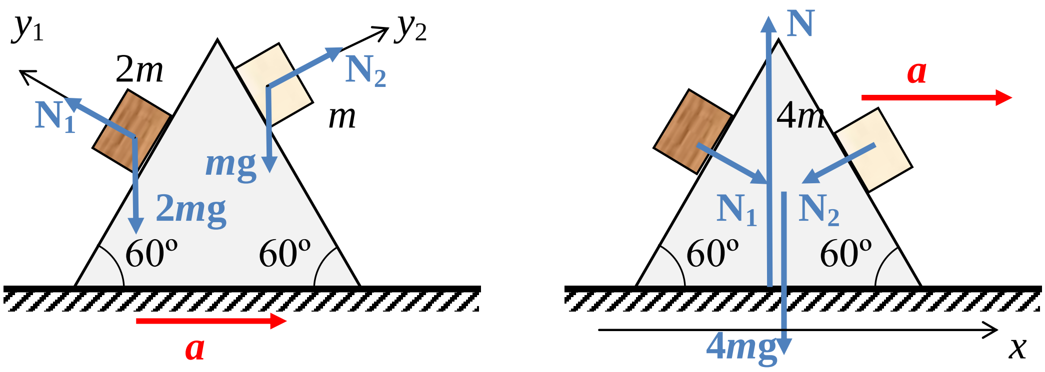
(MAX = 25 баллов)

Возможное решение

Очевидно, что клин движется вправо. Пусть ускорение клина равно a. Запишем уравнения динамики для обоих тел (см. рисунок)

$y_1: N_1 - 2mg\cos 60^\circ = -2ma\sin 60^\circ$, **(2-1)**

$y_2: N_2 - mg\cos 60^\circ = ma\sin 60^\circ$. **(2-2)**



Этих двух уравнений достаточно для нахождения сил давления на клин, которые равны N_1 и N_2.

Тогда $N_1 = mg - ma\sqrt{3}$, **(2-3)**

$N_2 = \frac{1}{2}mg + ma\frac{\sqrt{3}}{2}$. **(2-4)**

Уравнение движения клина в проекции на ось x:

$x: N_1\sin 60^\circ - N_2\sin 60^\circ = 4ma$. **(2-5)**

Подставим в (2-5) формулы для N_1 и N_2 из (2-3) и (2-4) и найдем ускорение клина $a = \frac{\sqrt{3}}{25}g = 0{,}68$ м/с^2.

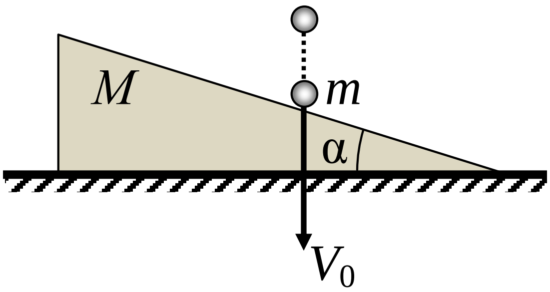
Ответ. Клин движется вправо с ускорением $a = \frac{\sqrt{3}}{25}g = 0{,}68$ м/с^2.

Критерии оценивания задачи 5.

	Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются	**Max. балл ставится, когда данный элемент решения сделан верно и полно.**
1	Сделан рисунок и правильно расставлены все силы, действующие на оба тела и на клин	от 1 до 3 баллов в зависимости от правильности и полноты рисунка

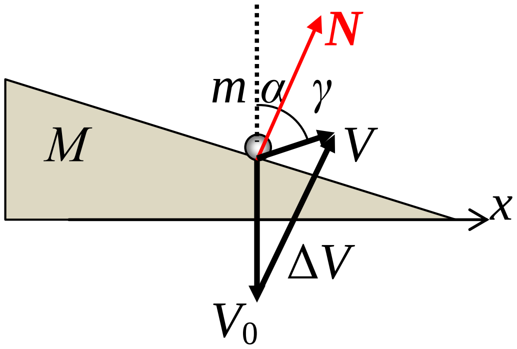
2	Установлено, что клин движется вправо	от 1 до 2 баллов в зависимости от полноты объяснений
3	Записаны уравнения динамики для каждого тела (2-1) и (2-2) или аналогичные при выборе других осей	по 2 балла для каждого тела (всего 4 балла)
4	Получены выражения сил давления каждого тела, в зависимости от ускорения клина (2-3), (2-4)	по 2 балла за каждую формулу (всего 4 балла)
5	Записаны уравнения динамики для клина (2-5) или аналогичные при выборе других осей	от 1 до 2 баллов
6	Сделаны необходимые алгебраические преобразования и получена формула для ускорения a клина	от 1 до 8 баллов в зависимости от правильности и полноты решения
7	Проведен правильный численный расчет и записан числовой ответ	от 1 до 2 баллов

6. Клин массой M лежит на гладкой горизонтальной поверхности. На грань, составляющую с горизонтом угол α, вертикально падает шарик массой m. Скорость шарика в момент удара о клин равна V_0 (см. рис). Считая удар упругим, а время удара малым, определите скорость клина после удара. Трение между шариком и клином отсутствует.



(MAX = 25 баллов)

Возможное решение



Т.к. трение между шариком и клином отсутствует, то сила взаимодействия шарика и клина $\vec{N}$ перпендикулярна наклонной грани клина (см. рисунок). Из закона изменения импульса для шарика $m\Delta\vec{V} = \vec{N}\Delta t$, следует, что вектор изменения импульса $\Delta\vec{V} = \vec{V} - \vec{V_0}$ параллелен $\vec{N}$. Запишем теорему синусов для треугольника, образованного векторами $\vec{V}_0$, $\vec{V}$ и $\Delta\vec{V}$, а также законы сохранения энергии и проекции импульса на ось x при упругом ударе.

$$
\begin{cases}
\dfrac{V_0}{sin\gamma} = \dfrac{V}{sin\alpha}, \\
\dfrac{mV_0^2}{2} = \dfrac{mV^2}{2} + \dfrac{mu^2}{2}, \Rightarrow u = \dfrac{mV_0 \sin 2\alpha}{M + m\sin^2\alpha}. \\
mV\sin(\alpha+\gamma) = Mu.
\end{cases}
$$

Критерии оценивания задачи 6.

	Решение содержит следующие верные элементы решения. **Баллы за каждый верный элемент решения суммируются**	**Max. балл ставится, когда данный элемент решения сделан верно и полно.**
1	Записан закон изменения импульса для шарика	от 1 до 2 баллов
2	Установлено, что $\Delta\vec{V} \parallel \vec{N}$	5 баллов
3	Получена связь скоростей шарика до и после столкновения	от 1 до 5 баллов
4	Записан закон сохранения энергии при столкновении	от 1 до 3 баллов
5	Записан закон сохранения проекции импульс системы на горизонт.направление	от 1 до 5 баллов
6	Проведены необходимые алгебраические преобразования и получена искомая величина	от 1 до 5 баллов