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 7

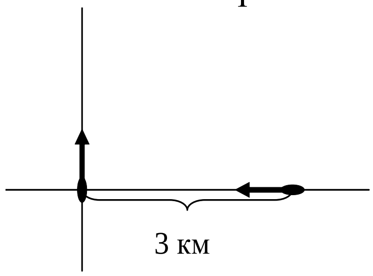
1. Поплавок находится на границе двух жидкостей. Плотность тяжелой жидкости в 3 раза больше плотности поплавка, а плотность легкой – в 2 раза меньше плотности поплавка. Какая часть объема поплавка погружена в тяжелую жидкость?

(10 баллов)

2. При изобарном охлаждении гелия выделилось Q = 200 Дж тепла. Какую работу совершил гелий при охлаждении?

(10 баллов)

3. По двум взаимно перпендикулярным дорогам движутся два автомобиля (см. рис.). В некоторый момент времени один автомобиль находится на перекрестке, а другой – на расстоянии 3 км от него. Скорости автомобилей одинаковы и не изменяются в процессе движения. Определите наименьшее расстояние между автомобилями.

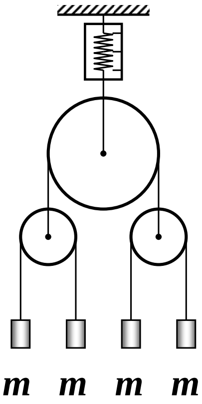


(15 баллов)

4. Предположим, что планету массой M и радиусом r окружает атмосфера постоянной плотности, состоящая из газа с молярной массой μ. Определите температуру T атмосферы на поверхности планеты, если толщина атмосферы равна h ($h << r$).

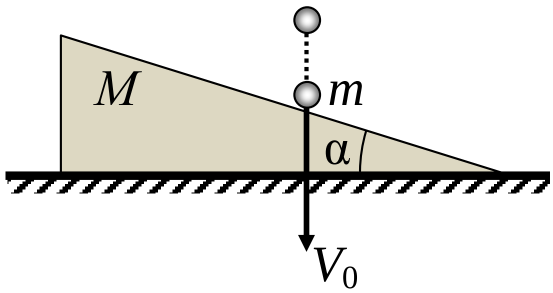
(15 баллов)

5. Механическая конструкция, состоящая из трех блоков и четырех грузов, подвешена к динамометру, как показано на рисунке. Массы грузов равны m. Блоки невесомы, нити невесомы и нерастяжимы, трение отсутствует. На какую величину изменятся показания динамометра, если на один из грузов сядет муха, масса которой равна $0{,}1m$? Считать, что колебания конструкции быстро затухают и после этого снимаются показания динамометра.



(25 баллов)

6. Клин массой M лежит на гладкой горизонтальной поверхности. На гладкую грань, составляющую с горизонтом угол $\alpha = 60°$, вертикально падает шарик массой $m = 4M$. 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.

Решение варианта 7

1. Поплавок находится на границе двух жидкостей. Плотность тяжелой жидкости в 3 раза больше плотности поплавка, а плотность легкой – в 2 раза меньше плотности поплавка. Какая часть объема поплавка погружена в тяжелую жидкость?

(MAX = 10 баллов)

Возможное решение

Обозначим $V_1 = xV$ - объем погруженной части поплавка в тяжелую жидкость, $V_2 = (1-x)V$ - объем погруженной части поплавка в легкую жидкость. Условие плавания: $mg = F_A = \rho_1 g V_1 + \rho_2 g V_2$,

где $m = \rho V$ - масса поплавка, ρ - его плотность, V – объем поплавка.

Используя, исходные данные задачи: $\rho_1 = 3\rho$, $\rho_2 = 0,5\rho$, получим

$$x = \frac{\rho - \rho_2}{\rho_1 - \rho_2} = \frac{\rho - 0,5\rho}{3\rho - 0,5\rho} = 0,2.$$

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 силы Архимеда	от 1 до 2 баллов
2	Записана связь массы и объема поплавка	1 балл
3	Записано условие плавания	от 1 до 2 баллов
4	Проведены необходимые алгебраические преобразования	от 1 до 3 баллов
5	Сделаны подстановки значений плотности и получен правильный числовой ответ	от 1 до 2 баллов

2. При изобарном охлаждении гелия выделилось Q = 200 Дж тепла. Какую работу совершил гелий при охлаждении?

(MAX = 10 баллов)

Возможное решение

Работа газа в изобарном процессе $A = p\Delta V = \nu R\Delta T$. Изменение внутренней энергии гелия (одноатомный газ) $\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$.

Первое начало ТД $|Q| = |\Delta U + A| = \frac{5}{2}\nu R|\Delta T| = \frac{5}{2}|A|$.

При изобарном охлаждении, газ сжимается и его работа $A < 0$. Тогда

$A = -\frac{2}{5}|Q| = -80$ Дж.

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	Записана формула для работы газа в изобарном процессе	1 балл
2	Записано уравнение состояния	1 балл
3	Записана формула для ΔU	1 балл
4	Проведены необходимые алгебраические преобразования и получена правильная формула для искомой величины	от 1 до 4 баллов
5	Установлено что $A < 0$	2 балла
	Проведен численный расчет и получен правильный ответ	1 балл

3. По двум взаимно перпендикулярным дорогам движутся два автомобиля (см. рис. 1). В некоторый момент времени один автомобиль находится на перекрестке, а другой – на расстоянии 3 км от него. Скорости автомобилей одинаковы и не изменяются в процессе движения. Определите наименьшее расстояние между автомобилями.

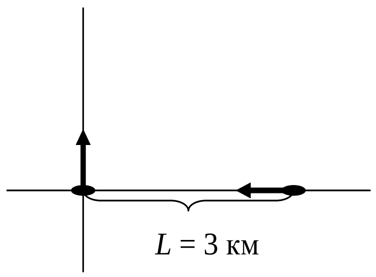


Рис.1

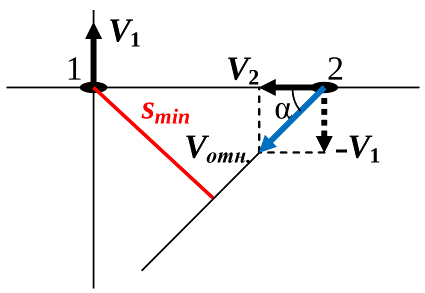


Рис.2

(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. $|\vec{V_1}| = |\vec{V_2}| = V$, то α = 45°. Из построений на рис. 2, получим; $s_{\min} = L \sin 45^\circ = 2{,}12$ 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. Предположим, что планету массой *M* и радиусом *r* окружает атмосфера постоянной плотности, состоящая из газа с молярной массой μ. Определите температуру *T* атмосферы на поверхности планеты, если толщина атмосферы равна *h* (*h* << *r*).

(MAX = 15 баллов)

Возможное решение

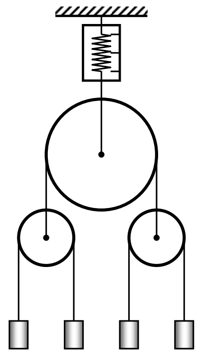
Ускорение свободного падения на поверхности планеты равно $g = \frac{GM}{r^2}$. Обозначим плотность атмосферы на этой планете через ρ. Т.к. плотность атмосферы постоянна и ее толщина *h* << *r*, то давление атмосферы на поверхность планеты равно $p = \rho g h$. С другой стороны, давление атмосферы можно найти, пользуясь уравнением состояния идеального газа: $p = \frac{\rho}{\mu} RT$. Сопоставляя обе формулы для давления *p*, получим

$$T = \frac{\mu g h}{R} \Rightarrow T = \frac{\mu G M h}{R r^2}.$$

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	Записана формулы для ускорения свободного падения	от 1 до 4 баллов
2	Записана формулы для гидростатического давления	от 1 до 3 баллов
3	Записано уравнение состояния идеального газа	от 1 до 3 баллов
4	Проведены необходимые алгебраические преобразования и получена правильная формула для искомой величины	от 1 до 5 баллов

5. Механическая конструкция, состоящая из трех блоков и четырех грузов, подвешена к динамометру, как показано на рисунке. Массы грузов равны m. Блоки невесомы, нити невесомы и нерастяжимы, трение отсутствует. На какую величину изменятся показания динамометра, если на один из грузов сядет муха, масса которой равна $0{,}1m$? Считать, что колебания конструкции быстро затухают и после этого снимаются показания динамометра.



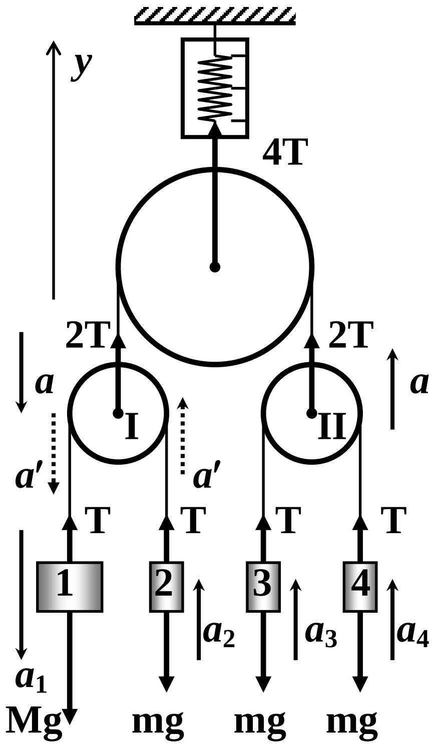
m m m m

(MAX = 25 баллов)

Возможное решение

Так как в начальном положении грузы не движутся, то динамометр показывает вес $P_1 = 4mg$.

Рассмотрим теперь систему грузов, изображенную на рисунке. Для удобства, перенумеруем грузы. Пусть массы грузов 2, 3 и 4 равны m, масса груза 1 – M. В данном варианте $M = 1{,}1m$. Запишем уравнения движения грузов.



$$\begin{cases} -T + Mg = Ma_1, \\ T - mg = ma_2, \\ T - mg = ma_3, \\ T - mg = ma_4. \end{cases} \Rightarrow a_2 = a_3 = a_4 = a.$$

Блок II (с грузами 3 и 4) поднимается с ускорением ***a***, соответственно блок I (с грузами 1 и 2) опускается с ускорением ***a***.

Найдем ускорение груза 1. Обозначим ***a′*** – ускорение грузов 1 и 2 относительно блока I.

Тогда $\vec{a_2} = \vec{a'} + \vec{a}$. Т.к. $\left|\vec{a_2}\right| = a$, то, проецируя это соотношение на ось y, получим $a' = a_2 + a = 2a$.

Для груза 1: $\vec{a_1} = \vec{a'} + \vec{a}$. $\Rightarrow a_1 = a' + a = 3a$. В результате система уравнений принимает вид:

$$\begin{cases} Mg - T = 3Ma, \\ T - mg = ma. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = \dfrac{(M-m)g}{3M+m}, \\ T = \dfrac{4Mmg}{3M+m}. \end{cases} \Rightarrow P_2 = 4T = \frac{16Mmg}{3M+m}.$$

При $M = 1{,}1m$, $P_2 = \dfrac{176}{43}mg$.

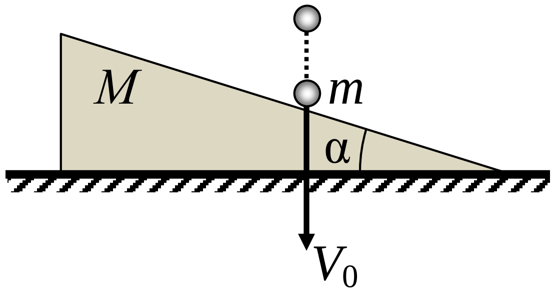
Тогда $\Delta P = P_2 - P_1 = \dfrac{176}{43}mg - 4mg = \dfrac{4}{43}mg$.

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	Получено выражение для P_1	от 1 до 2 баллов
2	Записаны уравнения динамики для грузов	для каждого груза от 1 до 2 баллов (максимум 8 баллов)
3	Получено уравнение связи ускорений	от 1 до 5 баллов
4	Проведены необходимые алгебраические преобразования и получена формула для P_2	от 1 до 5 баллов
5	Получена формула для ΔP	от 1 до 5 баллов

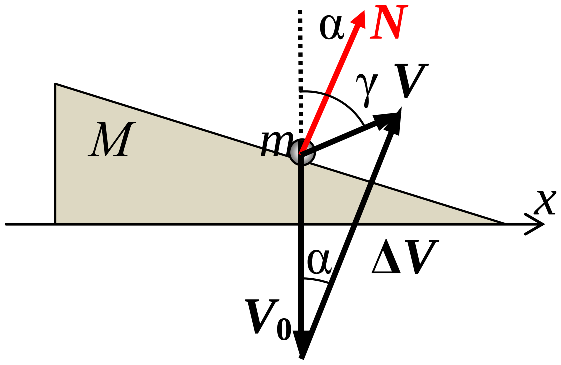
6. Клин массой M лежит на гладкой горизонтальной поверхности. На гладкую грань, составляющую с горизонтом угол α = 60°, вертикально падает шарик массой m =

4*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.



(MAX = 25 баллов)

Возможное решение



Т.к трение между клином и шариком отсутствует, то сила нормальной реакции $\vec{N}$ перпендикулярна наклонной грани клина (см. рис.). Из закона изменения импульса для шарика $m\overrightarrow{\Delta V} = \vec{N}\Delta t$ следует, что вектор $\overrightarrow{\Delta V} = \vec{V} - \overrightarrow{V_0}$ параллелен $\vec{N}$.

Для треугольника, образованного векторами $\vec{V}_0$, $\vec{V}$ и $\Delta\vec{V}$, запишем теорему синусов

$$\frac{V_0}{sin\gamma} = \frac{V}{sin\alpha}.$$

Поскольку удар между шариком и клином упругий, можно также записать законы сохранения энергии

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV^2}{2} + \frac{mu^2}{2}$$

и проекции импульса системы клин-шарик на горизонтальную ось *x*

mV_{0x}=mV_x +Mu.

Так как $mV_{0x} = 0$ и $mV_x = -mVsin(\alpha+\gamma) \Rightarrow mVsin(\alpha+\gamma) = Mu$.

Окончательно получим систему

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

Подставим значения масс и угла α, получим $u = V_0\dfrac{\sqrt{3}}{2}$.

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 $\Delta\vec{V}\ \square\ \vec{N}$	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	от 1 до 3 баллов
7	Сделаны подстановки масс и угла α и получен правильный ответ	от 1 до 2 баллов