

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 8

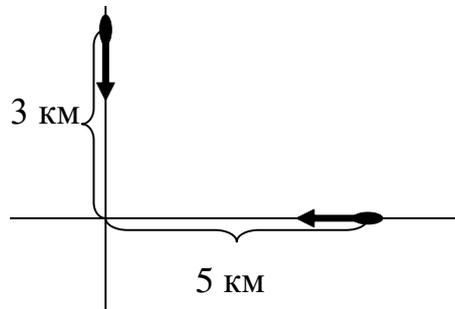
1. Плоскодонная баржа получила пробоину, находящуюся в дне баржи на глубине  $h = 2$  м. Отверстие заклеили пластырем. Чтобы сдержать напор воды, нужно давить на пластырь с силой, не меньшей  $F = 200$  Н. Чему равна площадь пробоины? Весом пластыря пренебречь. Плотность воды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

(10 баллов)

2. Какое количество тепла выделилось при изобарном охлаждении гелия, если известно, что внешние силы совершили над гелием работу 40 Дж?

(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 5 км от перекрестка. Скорости автомобилей одинаковы и не изменяются в процессе движения. Определите наименьшее расстояние между автомобилями.

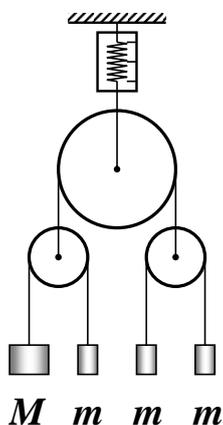


(15 баллов)

4. Атмосфера Венеры состоит в основном из углекислого газа  $\text{CO}_2$ , температура которого вблизи поверхности планеты  $T = 800$  К, а плотность  $\rho = 6,6$  г/л. Оцените запасы в кг углекислого газа на Венере, считая, что толщина атмосферы много меньше радиуса планеты  $r_{\text{В}} = 6300$  км. Масса Венеры в 1,23 меньше массы Земли, а радиус Венеры составляет 0,95 земного радиуса. Ускорение свободного падения на поверхности Земли  $g_{\text{З}} = 9,81$  м/с<sup>2</sup>. Молярная масса  $\text{CO}_2$   $\mu = 44$  г/моль. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,3$  Дж/К.

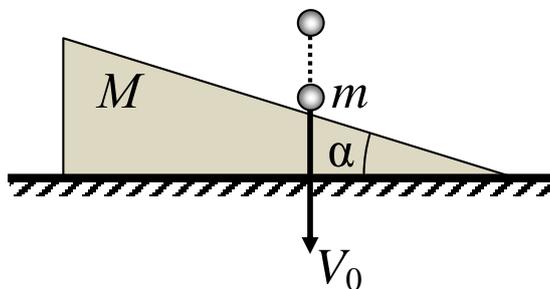
(15 баллов)

5. Механическая конструкция, состоящая из трех блоков и четырех грузов, подвешена к динамометру, как показано на рисунке. Массы грузов равны  $t$ . Механическая конструкция, состоящая из трех блоков и четырех грузов, подвешена к динамометру, как показано на рисунке. Массы трех грузов известны и равны  $t$ . Блоки невесомы, нити невесомы и нерастяжимы, трение отсутствует. Какой должна быть масса  $M$  четвертого груза, чтобы показания динамометра составляли  $5tg$ ? Считать, что колебания конструкции быстро затухают и после этого снимаются показания динамометра.



(25 баллов)

6. Клин массой  $M$  лежит на гладкой горизонтальной поверхности. На грань, составляющую с горизонтом угол  $\alpha = 30^\circ$ , вертикально падает шарик массой  $m = 2M$ . 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 (МАХ). Если задача отсутствует, то в таблице пишется Х.

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 МАХ.

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 8

1. Плоскодонная баржа получила пробоину, находящуюся в дне баржи на глубине  $h = 2$  м. Отверстие заклеили пластырем. Чтобы сдержать напор воды, нужно давить на пластырь с силой, не меньшей  $F = 200$  Н. Чему равна площадь пробоины? Весом пластыря пренебречь. Плотность воды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

(МАХ = 10 баллов)

Возможное решение

Избыточное давление воды на пробоину на глубине  $h$  равно  $p = \rho gh$ . Тогда :

$$S = \frac{F}{p} = \frac{F}{\rho gh} = 10^{-2} \text{ м}^2.$$

### Критерии оценивания задачи 1.

	Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются	Мах. 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. Какое количество тепла выделилось при изобарном охлаждении гелия, если известно, что внешние силы совершила над гелием работу 40 Дж?

(МАХ = 10 баллов)

Возможное решение

Работа газа в изобарном процессе  $A = p\Delta V = \nu R\Delta T < 0$ . Изменение внутренней энергии гелия (одноатомный газ)  $\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T < 0$ .

Первое начало ТД  $Q = \Delta U + A = \frac{5}{2}\nu R\Delta T = \frac{5}{2}A = \frac{5}{2}A' = -100$  Дж.

Принимается также ответ с положительным знаком, если правильно понято, что речь идет о модуле выделившегося тепла.

### Критерии оценивания задачи 2.

	Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются	Мах. 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 $\Delta U$	1 балл
4	Проведены необходимые алгебраические преобразования и получена правильная формула для искомой величины	от 1 до 4 баллов
5	Установлено что $Q < 0$	2 балла
	Проведен численный расчет и получен правильный ответ	1 балл

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 5 км от перекрестка. Скорости автомобилей одинаковы и не изменяются в процессе движения. Определите наименьшее расстояние между автомобилями.

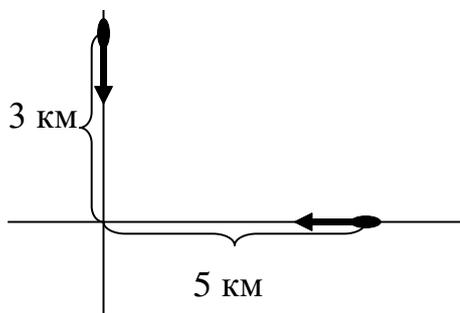


Рис.1

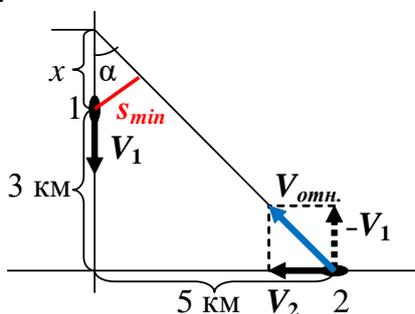


Рис.2

(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 вто-

рого равна  $\vec{V}_{\text{отн}} = \vec{V}_2 - \vec{V}_1$ . Т.к.  $|\vec{V}_1| = |\vec{V}_2| = V$ , то  $\alpha = 45^\circ$ . Из построений на рис. 2, получим  $x = 2$  км;  $s_{\text{min}} = x \sin 45^\circ = 1,41$  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).**

	<b>Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются</b>	<b>Мах. балл ставится, когда данный элемент решения сделан верно и полно.</b>
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.** Атмосфера Венеры состоит в основном из углекислого газа  $\text{CO}_2$ , температура которого вблизи поверхности планеты  $T = 800$  К, а плотность  $\rho = 6,6$  г/л. Оцените запасы в кг углекислого газа на Венере, считая, что толщина атмосферы много меньше радиуса планеты  $r_B = 6300$  км. Масса Венеры в 1,23 меньше массы Земли, а радиус Венеры составляет 0,95 земного радиуса. Ускорение свободного падения на поверхности Земли  $g_3 = 9,81$  м/с<sup>2</sup>. Молярная масса  $\text{CO}_2$   $\mu = 44$  г/моль. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,3$  Дж/К.

**(МАХ = 15 баллов)**

Возможное решение

Ускорение свободного падения на поверхности планеты вычисляется по  $g = \frac{GM}{r^2}$ .

Тогда ускорение свободного падения на поверхности Венеры равно

$$g_B = g_3 \cdot \frac{M_B}{M_3} \cdot \left(\frac{r_3}{r_B}\right)^2 = \frac{9,81}{1,23 \cdot (0,95)^2} = 8,84 \text{ м/с}^2.$$

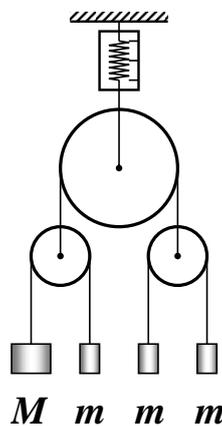
Массу атмосферы Венеры  $M$  найдем из выражения для давления вблизи его поверхности.

$$p = \frac{\rho}{\mu} RT = \frac{Mg_B}{4\pi r_B^2} \Rightarrow M = \frac{4\pi r_B^2 \rho RT}{\mu g_B} = 7,9 \cdot 10^{19} \text{ кг.}$$

### Критерии оценивания задачи 4.

	Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются	Мах. балл ставится, когда данный элемент решения сделан верно и полно.
1	Получена формула для вычисления ускорения свободного падения на поверхности Венеры	от 1 до 4 баллов
2	Записано уравнение состояния (связь давления и плотности) газа	1 балл
3	Записана формула, связывающая массу атмосферы с давлением	5 баллов
4	Проведены необходимые алгебраические преобразования и получена правильная формула для искомой величины	от 1 до 3 баллов
5	Проведен численный расчет и получен правильный ответ	от 1 до 2 баллов

**5.** Механическая конструкция, состоящая из трех блоков и четырех грузов, подвешена к динамометру, как показано на рисунке. Массы грузов равны  $m$ . Механическая конструкция, состоящая из трех блоков и четырех грузов, подвешена к динамометру, как показано на рисунке. Массы трех грузов известны и равны  $m$ . Блоки невесомы, нити невесомы и нерастяжимы, трение отсутствует. Какой должна быть масса  $M$  четвертого груза, чтобы показания динамометра составляли  $5mg$ ? Считать, что колебания конструкции быстро затухают и после этого снимаются показания динамометра.

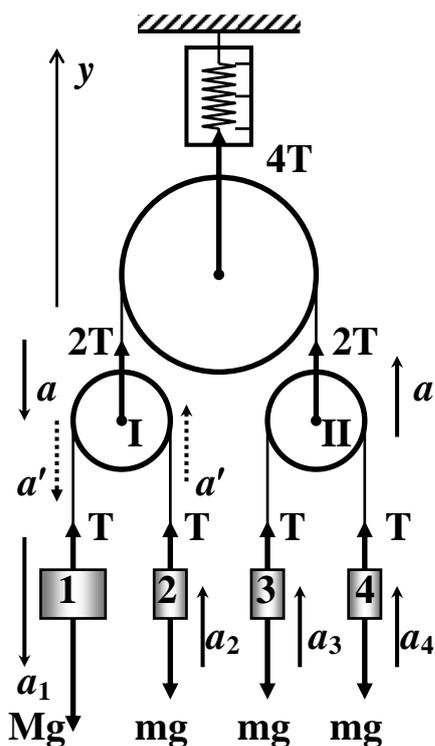


**(MAX = 25 баллов)**

#### 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 –  $M$ . 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.  $|\vec{a}_2| = a$ , 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:

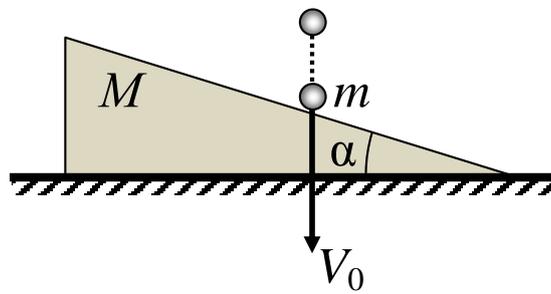
$$\begin{cases} Mg - T = 3Ma, \\ T - mg = ma. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = \frac{(M - m)g}{3M + m}, \\ T = \frac{4Mmg}{3M + m}. \end{cases} \Rightarrow P_2 = 4T = \frac{16Mmg}{3M + m}.$$

По условию  $P_2 = 5mg \Rightarrow \frac{16Mmg}{3M + m} = 5mg, \Rightarrow M = 5m.$

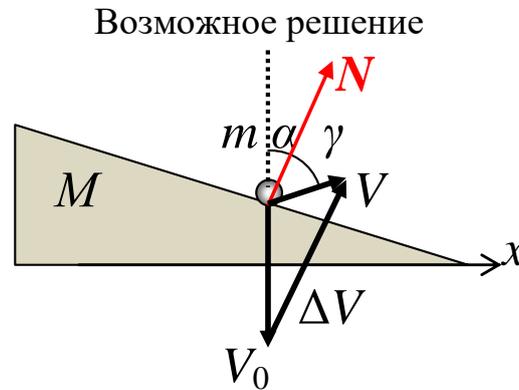
### Критерии оценивания задачи 5.

	Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются	Мах. балл ставится, когда данный элемент решения сделан верно и полно.
1	Записаны уравнения динамики для грузов	для каждого груза от 1 до 2 баллов (максимум 8 баллов)
2	Получено уравнение связи ускорений	от 1 до 5 баллов
3	Проведены необходимые алгебраические преобразования и получена формула для $P_2$	от 1 до 5 баллов
4	Записано условие для $P_2$	1 балл
5	Получена формула для $M$	от 1 до 6 баллов

6. Клин массой  $M$  лежит на гладкой горизонтальной поверхности. На грань, составляющую с горизонтом угол  $\alpha = 30^\circ$ , вертикально падает шарик массой  $m = 2M$ . 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)



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.

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

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

### Критерии оценивания задачи 6.

	Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются	Мах. 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 $\Delta\vec{V} \perp \vec{N}$	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 $\alpha$ и получен правильный ответ	от 1 до 2 баллов