

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 5

1. На парашютиста массой $m = 80$ кг в начале прыжка действует сила сопротивления воздуха, вертикальная составляющая которой 400 Н, а горизонтальная 300 Н. Найдите ускорение парашютиста в начальный момент.

(10 баллов)

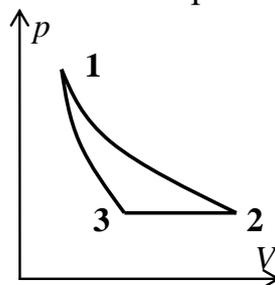
2. Атмосфера Венеры почти полностью состоит из углекислого газа. Температура у поверхности планеты около $t = 500^\circ\text{C}$, а давление около $p = 100$ атм. Какой объём должен иметь исследовательский зонд массой $m = 1$ т, чтобы плавать в нижних слоях атмосферы Венеры?

(10 баллов)

3. Теннисная ракетка движется навстречу мячу. В момент удара ракетка находится на высоте $h = 1,76$ м от поверхности корта, при этом скорости ракетки и мяча параллельны корту и равны соответственно $u = 2$ м/с (скорость ракетки) и $v = 1$ м/с (скорость мяча). Считая удар мяча по ракетке упругим, определите, долетит ли мяч до вертикальной стенки, расположенной на расстоянии $L = 2$ м от ракетки? Если долетит, то на какой высоте от поверхности корта мяч ударится о стенку? Мяч после удара о ракетку движется в направлении стенки; плоскость, в которой лежит траектория мяча, перпендикулярна стенке. Сопротивлением воздуха пренебречь.

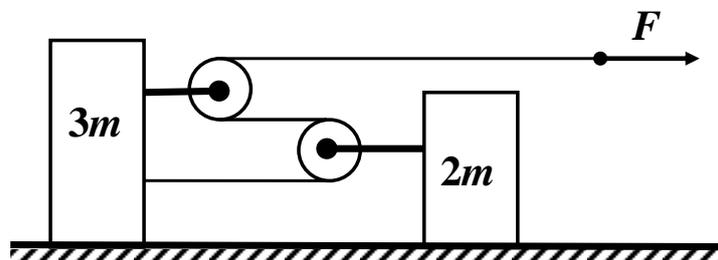
(15 баллов)

4. Тепловая машина, рабочим телом которой является гелий, совершает цикл (см. рисунок), состоящий из изотермы, адиабаты и изобары (какой из линий соответствует какой процесс, определите сами!). Чему равен КПД этого цикла, если известно, что модуль работы, совершаемой гелием, в изотермическом процессе в 3 раза больше, модуля работы, совершаемой в изобарном процессе.



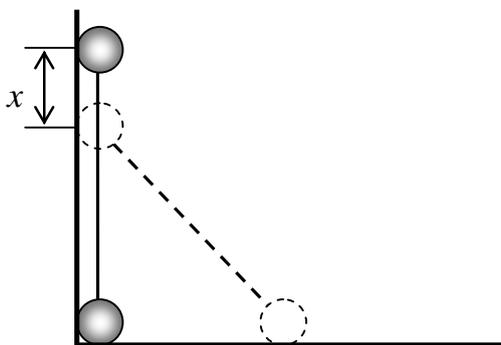
(15 баллов)

5. Механическая система, изображенная на рисунке, состоит из двух грузов массами $3m$ и $2m$, и двух очень легких блоков, прикрепленных к этим грузам соответственно. Система находится на гладкой горизонтальной поверхности. Нить тянут за свободный конец в горизонтальном направлении с силой F . С каким ускорением движется конец нити, к которому приложена эта сила? Считать, что нить невесома и нерастяжима, а не лежащие на блоках участки нити остаются горизонтальными в процессе поступательного движения грузов.



(25 баллов)

6. Два одинаковых маленьких шарика соединены невесомым жестким стержнем длиной $l = 60$ см. Стержень стоит вертикально вплотную к вертикальной плоскости (см. рисунок). При небольшом смещении нижнего шарика вправо на малое расстояние эта система приходит в движение в плоскости рисунка. Определите скорость нижнего шарика в момент, когда верхний шарик сместится по вертикальной плоскости вниз на расстояние $x = 10$ см. Считать, что при движении шарики не отрываются от плоскостей, трением пренебречь.



(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 5

1. На парашютиста массой $m = 80$ кг в начале прыжка действует сила сопротивления воздуха, вертикальная составляющая которой 400 Н, а горизонтальная 300 Н. Найдите ускорение парашютиста в начальный момент.

(МАХ = 10 баллов)

Возможное решение

$$ma = \sqrt{(F_{cy} - mg)^2 + F_{cx}^2} \Rightarrow a = \frac{\sqrt{(F_{cy} - mg)^2 + F_{cx}^2}}{m} = 6,25 \text{ м/с}^2.$$

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	Сделан рисунок, расставлены силы	1 балл
2	Записаны уравнения второго закона Ньютона по осям	По 2 балла за каждое уравнение – всего 4 баллов
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. Атмосфера Венеры почти полностью состоит из углекислого газа. Температура у поверхности планеты около $t = 500^\circ\text{C}$, а давление около $p = 100$ атм. Какой объём должен иметь исследовательский зонд массой $m = 1$ т, чтобы плавать в нижних слоях атмосферы Венеры?

(МАХ = 10 баллов)

Возможное решение

Условие плавания: $mg = \rho gV$, где ρ – плотность атмосферы, которая находится из

уравнения состояния. $p = \frac{\rho}{\mu} RT \Rightarrow V = \frac{mRT}{p\mu} = 14,6 \text{ м}^3$.

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	Записано условие плавания	от 1 до 2 баллов
2	Записано уравнение Менделеева-Клапейрона	от 1 до 3 баллов
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

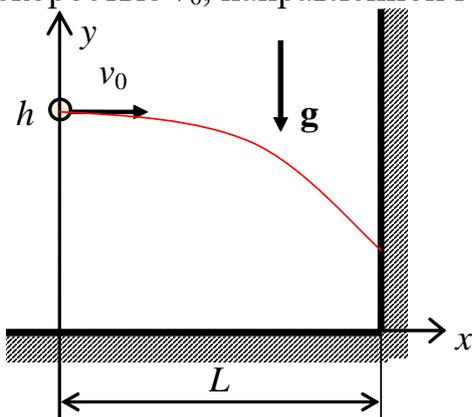
3. Теннисная ракетка движется навстречу мячу. В момент удара ракетка находится на высоте $h = 1,76$ м от поверхности корта, при этом скорости ракетки и мяча параллельны корту и равны соответственно $u = 2$ м/с (скорость ракетки) и $v = 1$ м/с (скорость мяча). Считая удар мяча по ракетке упругим, определите, долетит ли мяч до вертикальной стенки, расположенной на расстоянии $L = 2$ м от ракетки? Если долетит, то на какой высоте от поверхности корта мяч ударится о стенку? Мяч после удара о ракетку движется в направлении стенки; плоскость, в которой лежит траектория мяча, перпендикулярна стенке. Соппротивлением воздуха пренебречь.

(MAX = 15 баллов)

Возможное решение

1. Скорость мяча v_0 после упругого удара о ракетку можно получить, если воспользоваться законом сложения скоростей. Для этого сначала перейдем в систему отсчета, движущуюся со скоростью ракетки u . В этой системе отсчета, скорость мяча относительно ракетки равна $v_{отн} = v + u$. После упругого удара эта скорость меняет направление, но модуль ее в движущейся системе отсчета не изменится. Перейдем обратно в неподвижную систему отсчета, связанную с землей и получим $v_0 = v_{отн} + u = v + 2u = 5$ м/с (1-1).

2. Движение мяча после удара о ракетку – баллистическое движение с начальной скоростью v_0 , направленной горизонтально (см. рис).



Уравнения движения мяча в выбранных на рисунке осях координат:

$$\begin{cases} x = v_0 t, \\ y = h - \frac{gt^2}{2} \end{cases}$$

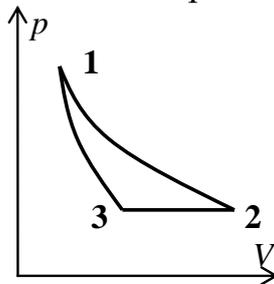
3. В момент удара о стенку $x = L$, тогда $t = \frac{L}{v_0}$ (3-1).

$$y = h - \frac{gL^2}{2v_0^2} = 1 \text{ м} \quad (3-2).$$

Критерии оценивания задачи 3.

	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	Рассмотрено упругое столкновение мяча с ракеткой и получен ответ для скорости мяча после удара v_0 .	от 1 до 5 баллов в зависимости от правильности и полноты решения
2	Записаны уравнения движения для координат мяча после удара о ракетку	по 1 баллу за каждое уравнение (всего 2 балла)
3а	Получена формула для времени движения мяча до стенки (3-1)	от 1 до 2 баллов
3б	Получена формула для высоты, на которой мяч ударился о стенку (3-2)	от 1 до 2 баллов
3в	Сделан вывод, что мяч долетит до стенки	2 балла
3	Проделан расчет и получено правильное числовое значение y (3-1)	от 1 до 2 баллов

4. Тепловая машина, рабочим телом которой является гелий, совершает цикл (см. рисунок), состоящий из изотермы, адиабаты и изобары (какой из линий соответствует какой процесс, определите сами!). Чему равен КПД этого цикла, если известно, что модуль работы, совершаемой гелием, в изотермическом процессе в 3 раза больше, модуля работы, совершаемой в изобарном процессе.



(МАХ = 15 баллов)

Возможное решение

Т.к., при адиабатическом расширении газ охлаждается, то из двух кривых, проведенных из одной точки 1, адиабата круче, чем изотерма (см. рисунок). Поэтому **12** – изотерма ($T_1 = T_2$), **31** – адиабата, **23** – изобара.

$$\text{КПД цикла равен } \eta = \frac{A_{\text{цикл}}}{Q_{\text{пол}}}, \quad (1)$$

$$\text{где работа за цикл } A_{\text{цикл}} = A_{12} + A_{23} + A_{31}, \quad (2)$$

Одноатомный газ гелий получает тепло только на изотерме 12 ($\Delta U_{12} = 0$),

$$Q_{\text{пол}} = Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = A_{12}. \quad (3)$$

$$A_{23} = -p_2(V_2 - V_3) = -\nu R\Delta T, \quad (4)$$

где $\Delta T = T_2 - T_3 = T_1 - T_3$.

$$\text{По условию } A_{12} = 3|A_{23}| = 3\nu R\Delta T. \quad (5)$$

$$\text{В адиабатном процессе 31 } A_{31} = -\Delta U_{31} = -\frac{3}{2}\nu R\Delta T. \quad (6)$$

$$\text{Тогда } A_{\text{цикл}} = 3\nu R\Delta T - \nu R\Delta T - \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{1}{2}\nu R\Delta T, \quad (7)$$

$$Q_{\text{пол}} = A_{12} = 3\nu R\Delta T. \quad (8)$$

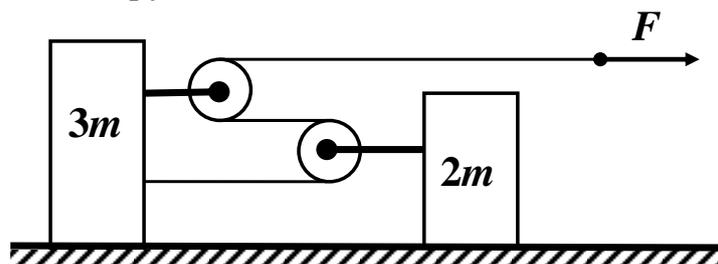
$$\Rightarrow \eta = \frac{\frac{1}{2}\nu R\Delta T}{3\nu R\Delta T} = \frac{1}{6}. \quad (9)$$

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	Приведено объяснение какая из двух кривых 12 или 13 – изотерма, а какая адиабата	от 1 до 2 баллов
2	Определены процессы, соответствующие каждой из линий	по 1 баллу за каждый процесс (максимум 3 балла)
3	Записана формула для КПД цикла (1)	1 балл
4	Записана формула (2) для вычисления работы за цикл	1 балл
5	Определено, что газ получает тепло на 12	1 балл
6	Посчитана работа в изобарном процессе 23 (формула (4))	от 1 до 2 баллов
7	Записана формула (5) для работы в изотермическом процессе 12	1 балл
8	Посчитана работа в адиабатном процессе 31 (формула (6))	от 1 до 2 баллов
9	Посчитана работа за цикл (7)	от 1 до 2 баллов
10	Записана формула для $Q_{\text{пол}}$. (8)	1 балл
11	Проделаны необходимые алгебраические преобразования и получено значение КПД	от 1 до 2 баллов

5. Механическая система, изображенная на рисунке, состоит из двух грузов массами $3m$ и $2m$, и двух очень легких блоков, прикрепленных к этим грузам соответственно. Система находится на гладкой горизонтальной поверхности. Нить тянут за свобод-

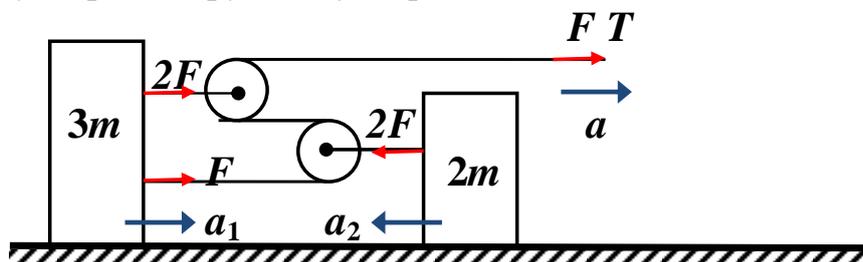
ный конец в горизонтальном направлении с силой F . С каким ускорением движется конец нити, к которому приложена эта сила? Считать, что нить невесома и нерастяжима, а не лежащие на блоках участки нити остаются горизонтальными в процессе поступательного движения грузов.



(MAX = 25 баллов)

Возможное решение

Расставим силы (см.рис) и получим уравнения динамики для каждого груза, а также уравнение связи ускорений грузов и ускорение конца нити a .

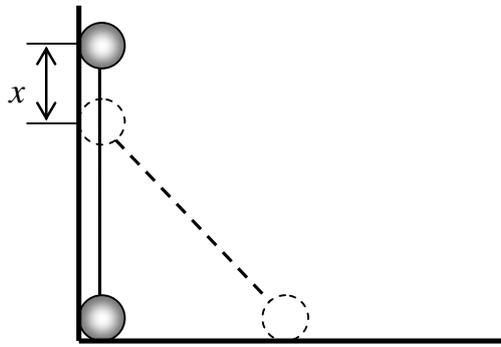


$$\begin{cases} 3F = 3ma_1, \\ 2F = 2ma_2, \\ a = 3a_1 + 2a_2. \end{cases} \Rightarrow a = \frac{5F}{m}.$$

Критерии оценивания задачи 5.

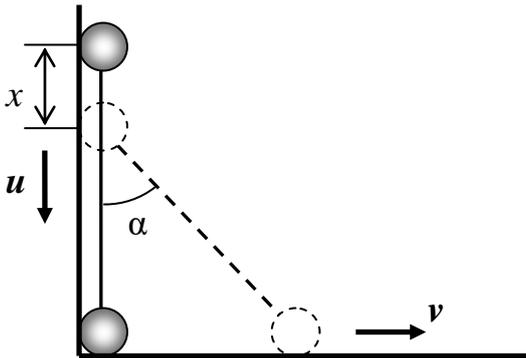
	Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются	Мах. балл ставится, когда данный элемент решения сделан верно и полно.
1	Сделан рисунок и расставлены силы, действующие на каждый груз	от 1 до 3 баллов
2	Записаны уравнения динамики для грузов	для каждого груза от 1 до 3 баллов (максимум 6 баллов)
3	Получено уравнение связи ускорений	от 1 до 10 баллов
4	Проведены необходимые алгебраические преобразования и получена формула для a	от 1 до 6 баллов

6. Два одинаковых маленьких шарика соединены невесомым жестким стержнем длиной $l = 60$ см. Стержень стоит вертикально вплотную к вертикальной плоскости (см. рисунок). При небольшом смещении нижнего шарика вправо на малое расстояние эта система приходит в движение в плоскости рисунка. Определите скорость нижнего шарика в момент, когда верхний шарик сместится по вертикальной плоскости вниз на расстояние $x = 10$ см. Считать, что при движении шарики не отрываются от плоскостей, трением пренебречь.



(MAX = 25 баллов)

Возможное решение



1. Обозначим массу шарика m , скорости верхнего и нижнего шариков u и v соответственно (см. рис.). Запишем закон сохранения энергии.

$$mg(l-x) + \frac{mu^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = mgl, \quad (1), \quad \Rightarrow u^2 + v^2 = 2gx.$$

2. Запишем условие жесткости стержня:

$$u \cos \alpha = v \sin \alpha \quad (2), \quad \Rightarrow u = v \operatorname{tg} \alpha.$$

3. Подставляя уравнение (2) в (1), получим $v = \cos \alpha \sqrt{2gx}$.

$$4. \quad \cos \alpha = \frac{l-x}{l} \quad (4)$$

5. Запишем окончательную формулу и проведем численный расчет.

$$v = \frac{l-x}{l} \sqrt{2gx} = 1,2 \text{ м/с.}$$

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 сохранения	от 1 до 5 баллов
2	Записано условие жесткости стержня	от 1 до 5 баллов
3	Записана геометрическая связь (4)	от 1 до 5 баллов
4	Сделаны необходимые алгебраические преобразования и получена формула для v	от 1 до 8 баллов
5	Проделан расчет и получено правильное числовое значение	от 1 до 2 баллов