

**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 2**

**1.** Резиновая шайба плавает в воде, оставаясь вертикальной. Масса шайбы 100 г, ее диаметр 6 см, толщина 4 см. Определите разницу давлений на нижнее и верхнее основания шайбы.

*(10 баллов)*

**2.** Моль гелия участвует в некотором термодинамическом процессе, в котором гелий совершает работу 200 Дж, а его внутренняя энергия уменьшается на 249 Дж. Чему равна теплоемкость этого процесса, если известно, что она не зависит от параметров состояния гелия? Универсальная газовая постоянная  $R = 8,3$  Дж/К.

*(10 баллов)*

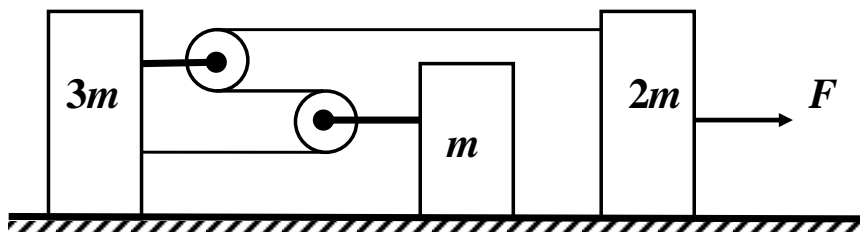
**3.** Два автомобиля А и В движутся по одной прямой дороге в одном направлении со скоростями  $V$  и  $2V$ . По другой прямой дороге едет мотоцикл С. При этом в течение всего времени движения мотоцикл находится в вершине равнобедренного треугольника АВС ( $AC = BC$ ). С какой скоростью движется мотоцикл, если угол между дорогами  $\alpha = 30^\circ$ .

*(15 баллов)*

**4.** Порция идеального газа в состоянии 1 занимает объем  $V_1$  при давлении  $p_1$  и абсолютной температуре  $T_1$ . Газ нагревают при постоянном объеме до состояния 2, в котором его абсолютная температура увеличилась в 2 раза. Затем происходит расширение газа при постоянном давлении до состояния 3, в котором объем газа равен  $4V_1$ . Из состояния 3 газ возвращается в состояние 1 по политропе, уравнение которой  $pV^n = const$ . Определите показатель политропы  $n$ . Постройте с учетом масштаба графики процесса 1-2-3-1 в координатах  $pV$  (давление  $p$  – по оси ординат, а объем  $V$  – по оси абсцисс) и  $Up$  (внутренняя энергия  $U$  – по оси ординат, а давление  $p$  – по оси абсцисс). Считайте внутреннюю энергию данной порции газа в состоянии 1 известной и равной  $U_1$ .

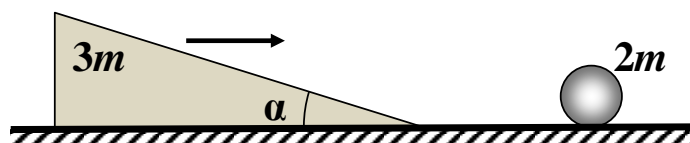
*(15 баллов)*

5. Механическая система, изображенная на рисунке, состоит из трех грузов массами  $3m$ ,  $m$  и  $2m$ , и двух очень легких блоков, прикрепленных к грузам  $3m$  и  $m$  соответственно. Система находится на гладкой горизонтальной поверхности. Какую горизонтальную силу  $F$ , нужно приложить к грузу массой  $2m$ , чтобы сила натяжения нити, пропущенной через блоки, составляла  $T = 1$  Н? Считать, что нить невесома и нерастяжима, а не лежащие на блоках участки нити остаются горизонтальными в процессе поступательного движения грузов.



(25 баллов)

6. Клин массы  $3m$  движется углом вперед по гладкой горизонтальной поверхности, как показано на рисунке. Клин упруго сталкивается с неподвижно лежащим на поверхности шаром массы  $2m$ . Чему равен угол  $\alpha$  наклона клина, если после столкновения скорость клина уменьшилась в 2 раза? Считать, что импульс клину передается только в горизонтальном направлении. Трение между шаром 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 2

1. Резиновая шайба плавает в воде, оставаясь вертикальной. Масса шайбы 100 г, ее диаметр 6 см, толщина 4 см. Определите разницу давлений на нижнее и верхнее основания шайбы.

(МАХ = 10 баллов)

Возможное решение

Запишем условие равновесия шайбы:  $pS = p_0S + mg$ , где  $p$  – давление жидкости на нижнее основание банки,  $p_0$  – атмосферное давление. Тогда разность давлений

$$\Delta p = \frac{mg}{S} = \frac{4mg}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,1 \cdot 10}{3,14 \cdot 0,06^2} = 354 \text{ Па.}$$

### 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	Записано условие равновесия шайбы	от 1 до 5 баллов
2	Проведены необходимые алгебраические преобразования	от 1 до 3 баллов
3	Сделаны подстановки числовых значений и получен правильный числовой ответ	от 1 до 2 баллов

2. Моль гелия участвует в некотором термодинамическом процессе, в котором гелий совершает работу 200 Дж, а его внутренняя энергия уменьшается на 249 Дж. Чему равна теплоемкость этого процесса, если известно, что она не зависит от параметров состояния гелия? Универсальная газовая постоянная  $R = 8,3 \text{ Дж/К}$ .

(МАХ = 10 баллов)

Возможное решение

Теплоемкость находим по формуле  $C = \frac{Q}{\Delta T}$ , где  $Q = \Delta U + A$ . Для 1 моля гелия  $\Delta U = \frac{3}{2}R\Delta T$ ,

$\Rightarrow \Delta T = \frac{2\Delta U}{3R}$ . Получим окончательную формулу.

$C = \frac{3(\Delta U + A)R}{2\Delta U}$ . Следует учесть, что внутренняя энергия уменьшается, поэтому в формулу

подставляем  $\Delta U = -249$  Дж.

Численный расчет  $C = \frac{3(-249 + 200) \cdot 8,3}{2 \cdot (-249)} = 2,45$  Дж/К или Дж/(моль·К).

**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 теплоемкости (молярной теплоемкости)	1 балл
2	Записано первое начало ТД	1 балл
3	Записана формула для $\Delta U$	1 балл
4	Установлено что $\Delta U < 0$	2 балла
5	Проведены необходимые алгебраические преобразования и получена правильная формула для искомой величины	от 1 до 3 баллов
6	Проведен численный расчет и получен правильный ответ	от 1 до 2 баллов

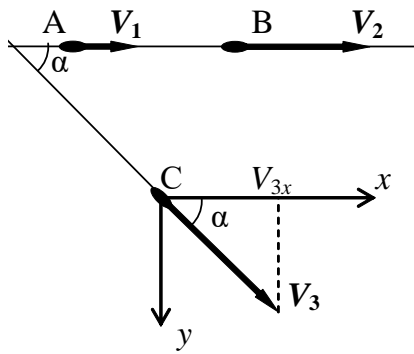
**3.** Два автомобиля А и В движутся по одной прямой дороге в одном направлении со скоростями  $V$  и  $2V$ . По другой прямой дороге едет мотоцикл С. При этом в течение всего времени движения мотоцикл находится в вершине равнобедренного треугольника ABC ( $AC = BC$ ). С какой скоростью движется мотоцикл, если угол между дорогами  $\alpha = 30^\circ$ .

**(МАХ = 15 баллов)**

Возможное решение

Разложим скорость мотоцикла С по осям  $x$  и  $y$  (см. рис.). Чтобы треугольник ABC оставался равнобедренным, проекция скорости мотоцикла должна быть равна  $V_{3x} = \frac{V_1 + V_2}{2}$ . Тогда

$$V_3 = \frac{V_{3x}}{\cos \alpha} = \frac{V_1 + V_2}{2 \cos \alpha} = \frac{V + 2V}{2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}} = V\sqrt{3}.$$



### Критерии оценивания задачи 3.

	Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются	Мак. балл ставится, когда данный элемент решения сделан верно и полно.
1	Записаны уравнения движения или закон сложения скоростей, т.е уравнения необходимые для решения задачи	1 балл
2	Получена формула для проекции скорости мотоцикла на направление первой дороги	от 1 до 10 баллов
3	Получена формула для скорости мотоцикла	от 1 до 2 баллов
	Сделаны подстановки значений скоростей и угла $\alpha$ и получен правильный ответ	от 1 до 2 баллов

4. Порция идеального газа в состоянии 1 занимает объем  $V_1$  при давлении  $p_1$  и абсолютной температуре  $T_1$ . Газ нагревают при постоянном объеме до состояния 2, в котором его абсолютная температура увеличилась в 2 раза. Затем происходит расширение газа при постоянном давлении до состояния 3, в котором объем газа равен  $4V_1$ . Из состояния 3 газ возвращается в состояние 1 по политропе, уравнение которой  $pV^n = const$ . Определите показатель политропы  $n$ . Постройте с учетом масштаба графики процесса 1-2-3-1 в координатах  $pV$  (давление  $p$  – по оси ординат, а объем  $V$  – по оси абсцисс) и  $Up$  (внутренняя энергия  $U$  – по оси ординат, а давление  $p$  – по оси абсцисс). Считайте внутреннюю энергию данной порции газа в состоянии 1 известной и равной  $U_1$ .

(MAX = 15 баллов)

Возможное решение

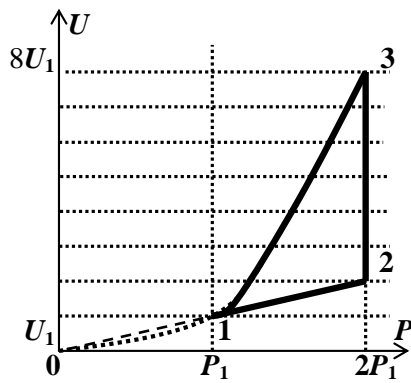
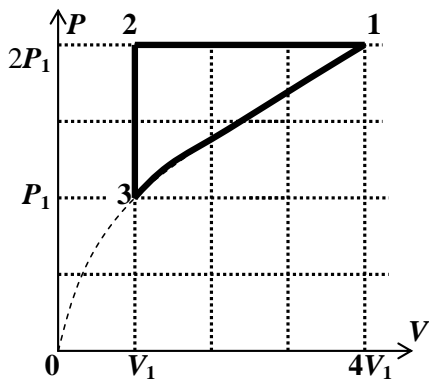
1) Посчитаем параметры каждого состояния (см.таблицу)

Состояние	Параметры	Вычисления
1	$p_1, V_1, T_1$	
2	$2p_1, V_1, 2T_1$	$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_1}{T_1} \Rightarrow p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 2p_1$
3	$2p_1, 4V_1, 8T_1$	$\frac{V_3}{T_3} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow T_3 = \frac{4V_1}{V_1} \cdot 2T_1 = 8T_1$

2) Найдем  $n$ .  $p_3 V_3^n = p_1 V_1^n$ ,  $\Rightarrow 2p_1 (4V_1)^n = p_1 V_1^n$ ,  $\Rightarrow n = -\frac{1}{2}$ . Тогда уравнение процесса 31

$$p \sim \sqrt{V} \text{ или } p \sim \sqrt[3]{T} \sim \sqrt[3]{U} \Rightarrow U \sim p^3.$$

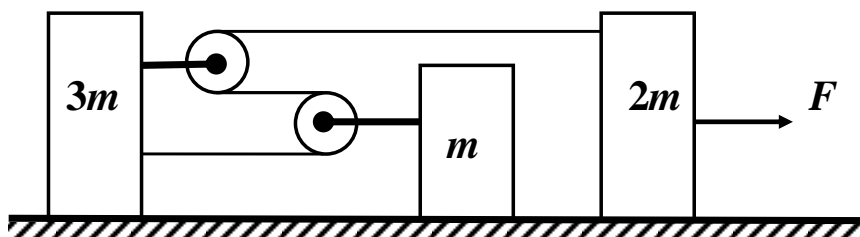
3) На рисунках приведены графики процесса 1-2-3-1 в координатах  $pV$  и  $Up$ .



#### 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	Рассчитаны параметры состояний 2 и 3	По 1 баллу за правильный расчет параметров каждого состояния – всего 2 балла
2	Получено значение $n$	от 1 до 3 баллов
3	Получена зависимость $p(V)$ для 3-1	1 балл
4	Указана связь внутренней энергии и температуры	1 балл
5	Получена зависимость $U(p)$ для 3-1	2 балла
	Построены графики цикла 1-2-3-1	По 3 балла за каждый график – всего 6 баллов

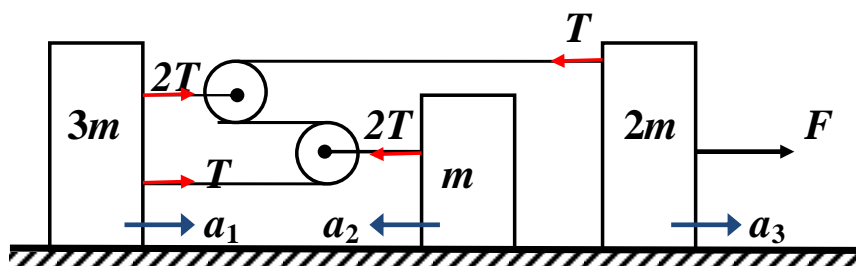
5. Механическая система, изображенная на рисунке, состоит из трех грузов массами  $3m$ ,  $m$  и  $2m$ , и двух очень легких блоков, прикрепленных к грузам  $3m$  и  $m$  соответственно. Система находится на гладкой горизонтальной поверхности. Какую горизонтальную силу  $F$ , нужно приложить к грузу массой  $2m$ , чтобы сила натяжения нити, пропущенной через блоки, составляла  $T = 1$  Н? 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.

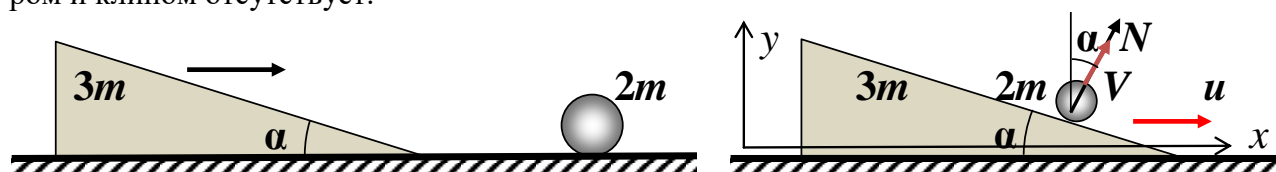


$$\begin{cases} 3T = 3ma_1, \\ 2T = ma_2, \\ F - T = 2ma_3, \\ a_3 - 3a_1 - 2a_2 = 0. \end{cases} \Rightarrow F = 15T = 15 \text{ Н.}$$

### 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 2 баллов (максимум 6 баллов)
3	Получено уравнение связи ускорений	от 1 до 9 баллов
4	Проведены необходимые алгебраические преобразования и получена формула для $T$	от 1 до 5 баллов
6	Проведен численный расчет и получен правильный ответ	от 1 до 2 баллов

6. Клин массы  $3m$  движется углом вперед по гладкой горизонтальной поверхности, как показано на рисунке. Клин упруго сталкивается с неподвижно лежащим на поверхности шаром массы  $2m$ . Чему равен угол  $\alpha$  наклона клина, если после столкновения скорость клина уменьшилась в 2 раза? Считать, что импульс клину передается только в горизонтальном направлении. Трение между шаром и клином отсутствует.



(MAX = 25 баллов)

### Возможное решение

Т.к. трение между шариком и клином отсутствует, то во время столкновения на шар со стороны клина действует сила  $N$ , перпендикулярная поверхности клина, поэтому шар приобретает скорость  $V$  под углом  $\alpha$  к вертикали (см. рис). Скорость клина после столкновения обозначим  $u$ . Запишем закон сохранения энергии и закон сохранения импульса в проекции на горизонтальную ось  $x$ .

$$\begin{cases} \frac{3mv^2}{2} = \frac{2mv^2}{2} + \frac{3mu^2}{2}, \\ 3mv = 2mv \sin \alpha + 3mu. \end{cases}$$

Подставляя  $u = \frac{v}{2}$ , и выполняя необходимые алгебраические преобразования, получим

$$\sin^2 \alpha = \frac{1}{2} \Rightarrow \alpha = 45^\circ.$$

### Критерии оценивания задачи 6.

	<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	Установлено, что скорость шарика после столкновения $\vec{V} \perp \vec{N}$	5 баллов
2	Записан закон сохранения энергии при столкновении	от 1 до 2 баллов
3	Записан закон сохранения проекции импульс системы на горизонт.направление	от 1 до 5 баллов
4	Записана связь $u$ и $v$	1 балл
5	Проведены необходимые алгебраические преобразования и получено тригонометрическое уравнение для $\alpha$	от 1 до 7 баллов
6	Приведено решение тригонометрического уравнения и получен правильный ответ	от 1 до 5 баллов