ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ФИЗИКА. 2025–2026 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС

ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Максимальный балл за работу – 50.

Задача 1. Вопросы 1-4

При расширении $\nu = 1$ моль идеального одноатомного газа в процессе, при котором $pVT = \text{const}$ (p – давление, V – объём, T – температура газа), им была совершена работа $A = 2{,}74$ кДж. Начальная температура газа $T_1 = 300$ К. Универсальная газовая постоянная $R = 8{,}31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль·К}}$.

1. Найдите конечную температуру газа T_2. Ответ дайте в кельвинах с точностью до целого числа. ***(3 балла)***

2. Найдите изменение внутренней энергии газа ΔU в процессе. Ответ дайте в килоджоулях с точностью до целого числа. ***(1 балл)***

3. Какое количество теплоты Q было подведено к газу в процессе? Ответ дайте в килоджоулях с точностью до сотых долей. ***(2 балла)***

4. Во сколько раз изменился объём газа при расширении в данном процессе? Ответ дайте с точностью до сотых долей. ***(5 баллов)***

Решение:
1. При помощи уравнения состояния идеального газа перепишем уравнение процесса:

$$\begin{cases} pVT = \text{const} \\ pV = \nu RT \end{cases} \rightarrow \nu RT^2 = \text{const} \rightarrow T = \text{const}.$$

Видим, что описанный в условии процесс является изотермическим, тогда конечная температура газа равна $T_2 = T_1 = 300$ К.

2. Изменение внутренней энергии в изотермическом процессе равно $\Delta U = 0$.

3. В соответствии с первым законом термодинамики,

$$Q = \Delta U + A = A = 2{,}74 \text{ кДж}.$$

4. Рассмотрим работу идеального газа в изотермическом процессе:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p(V)dV = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Отсюда получаем отношение объёмов:

$$\frac{V_2}{V_1} = e^{A/\nu RT} \approx 3{,}00.$$

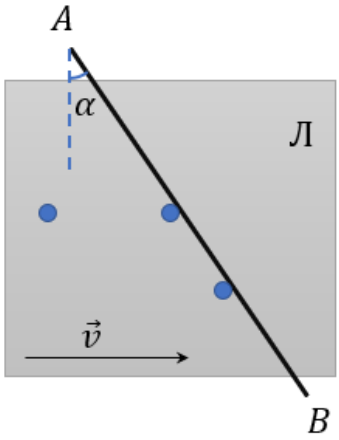
Матрица параметров и ответов к вариантам задачи 1

Вариант	T_1, К	A, кДж	Ответ на вопрос 1	Ответ на вопрос 2	Ответ на вопрос 3	Ответ на вопрос 4
1	300	2,74	300	0	2,74	3,00
2	350	2,90	350	0	2,90	2,71
3	400	3,54	400	0	3,54	2,90
4	450	5,08	450	0	5,08	3,89
5	500	5,38	500	0	5,38	3,65

Максимум за задачу 11 баллов.

Задача 2. Вопросы 5-6

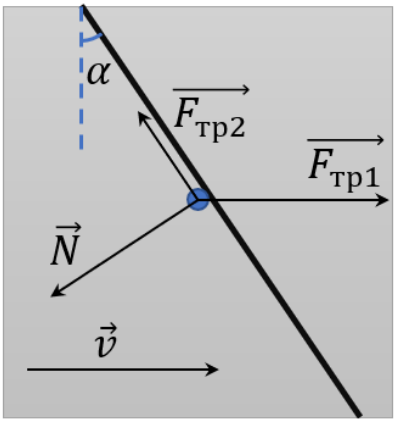
Для перемещения готовых изделий с ленты Л конвейера, движущегося горизонтально со скоростью $v = 1{,}5$ м/с, используется неподвижная горизонтальная направляющая перекладина AB, установленная чуть выше ленты и образующая угол α с перпендикуляром к направлению скорости ленты (на рис. вид сверху). Коэффициент трения изделий о ленту конвейера равен $\mu_1 = 0{,}40$, а о направляющую перекладину – $\mu_2 = 0{,}30$. Считайте, что движение деталей носит поступательный характер, то есть они не вращаются при трении о перекладину.



5. При каком минимальном угле $\alpha_{\min}$ изделия будут соскальзывать с ленты конвейера? Ответ дайте в градусах с точностью до целого числа. ***(4 балла)***

6. Перекладину устанавливают под углом $\alpha = 30°$. Считая перекладину достаточно длинной, а ленту достаточно широкой, найдите установившуюся скорость u движения изделий вдоль неё. Ответ дайте в см/с с точностью до целого числа. ***(7 баллов)***

Решение:



5. После установления контакта детали с направляющей на деталь в горизонтальной плоскости будут действовать две силы трения: $\overrightarrow{F_{тр1}}$ (со стороны ленты конвейера) и $\overrightarrow{F_{тр2}}$ (со стороны направляющей), а также сила реакции $\vec{N}$ со стороны направляющей.

Для снятия (соскальзывания) детали с конвейера необходимо, чтобы проекция силы трения $F_{тр1} = \mu_1 mg$ на направляющую была больше силы трения $F_{тр2} = \mu_2 N$ о направляющую (рис.). Рассмотрим переходный случай – момент начала движения детали вдоль направляющей:

$$\mu_1 mg \sin\alpha \geq \mu_2 N.$$

С учётом того, что сила реакции $N = \mu_1 mg \cos\alpha$, получаем

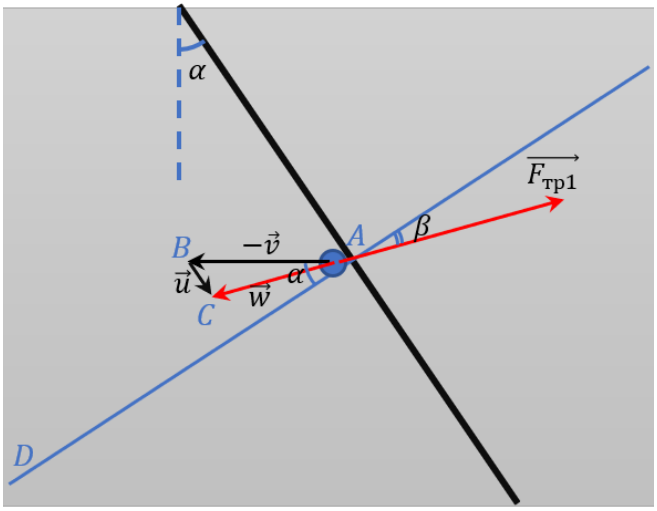
$$\operatorname{tg}\alpha \geq \mu_2.$$

Соответственно, для минимального угла α_{min} выбираем случай равенства:

$$\operatorname{tg}\alpha_{min} = \mu_2, \quad \alpha_{min} = 17°.$$

Обратите внимание, что данный результат не зависит от значения коэффициента трения μ_1, главное, чтобы он был отличен от нуля, иначе детали не смогут двигаться по конвейеру.

6. При выполнении условия $\alpha > \alpha_{min}$ детали будут скользить вдоль направляющей. Заметим, что по мере роста скорости $\vec{u}$ движения деталей вдоль направляющей вектор $\vec{w}$ скорости их проскальзывания относительно конвейера будет поворачиваться, «прижимаясь» к нормали AD. Вследствие этого будет поворачиваться и вектор силы трения $\overrightarrow{F_{тр1}}$ из начального положения «вдоль конвейера» до установившегося положения, при котором он будет составлять некоторый угол β с нормалью AD к направляющей (рис.).



Следовательно, в установившемся режиме

$$F_{тр1}\sin\beta = \mu_2 N = \mu_2 F_{тр1}\cos\beta \Rightarrow \operatorname{tg}\beta = \mu_2.$$

С другой стороны, из треугольника скоростей ABC по теореме синусов имеем:

$$\frac{u}{\sin(\alpha-\beta)} = \frac{v}{\sin\xi}, \text{ где } \xi = \frac{\pi}{2} + \beta.$$

Выражая отсюда $\operatorname{tg}\beta$, получаем

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{v\sin\alpha - u}{v\cos\alpha} = \mu_2$$

Окончательно для установившейся скорости u поступательного движения деталей вдоль направляющей получаем

$$u = v(\sin\alpha - \mu_2\cos\alpha) = 36\,\frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

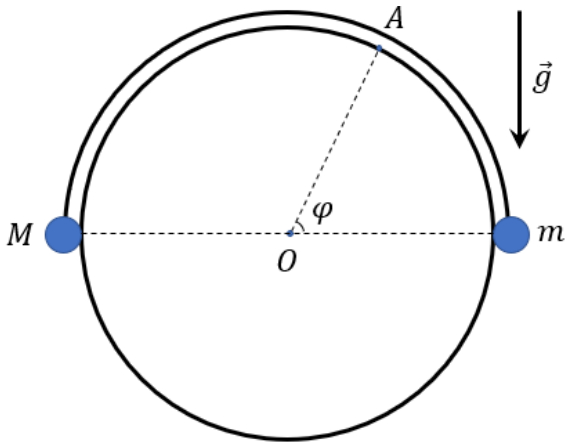
Матрица параметров и ответов к вариантам задачи 2

Вариант	v, м/с	μ_1	μ_2	Ответ на вопрос 5	Ответ на вопрос 6
1	1,5	0,40	0,30	17	36
2	1,9	0,60	0,45	24	21
3	1,2	0,80	0,20	11	39
4	1,3	0,50	0,40	22	20
5	1,4	0,30	0,10	6	58

Максимум за задачу 11 баллов.

Задача 3. Вопросы 7-9

На гладкий горизонтально расположенный цилиндр радиусом $R = 1{,}3$ см накинута лёгкая нерастяжимая нить, к концам которой прикреплены два маленьких шарика массами m и M ($m < M$). В начальный момент шарики находятся на одном уровне с осью цилиндра (см. рис.). Нить с шариками начинает соскальзывать с цилиндра из состояния покоя. Когда угол между горизонталью и направлением от оси цилиндра на лёгкий шарик стал равен $\varphi = 1{,}0$ рад, лёгкий шарик перестал давить на цилиндр. Ускорение свободного падения $g = 10\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.



7. Определите отношение масс шариков $\frac{M}{m}$. Ответ дайте с точностью до сотых долей. ***(4 балла)***

8. Какой угол φ' образует с горизонталью направление от оси цилиндра на лёгкий шарик в тот момент, когда сила давления лёгкого шарика на цилиндр максимальна? Ответ дайте в радианах с точностью до сотых долей. ***(4 балла)***

9. Какова скорость v' лёгкого шарика при прохождении им положения, в котором он действует на цилиндр с максимальной силой? Ответ дайте в см/с с точностью до целого числа. ***(2 балла)***

Решение:

7. Рассмотрим систему в тот момент, когда шарик меньшей массы m находится в точке A. К этому моменту времени шарик большей массы M опустился на расстояние $h = R\varphi$.

Нить нерастяжима, значит, модули скоростей v_1 и v_2 шариков до момента отрыва от поверхности более лёгкого шарика одинаковы ($v_1 = v_2 = v$).

Тогда по закону сохранения энергии:

$$-MgR\varphi + mgR\sin\varphi + \frac{mv^2}{2} + \frac{Mv^2}{2} = 0.$$

Отсюда получаем:

$$v^2(\varphi) = \frac{2gR}{m+M}(M\varphi - m\sin\varphi).$$

Шарик массой m в точке A не оказывает давления на поверхность цилиндра. Значит, сила нормальной реакции опоры в данной точке равна нулю.

Запишем второй закон Ньютона для лёгкого шарика в проекции на ось, направленную к оси цилиндра, в произвольный момент:

$$mg\sin\varphi - N(\varphi) = m\frac{v^2(\varphi)}{R},$$

отсюда

$$N(\varphi) = mg\sin\varphi - m\frac{v^2(\varphi)}{R} = g\frac{3m^2\sin\varphi + mM\sin\varphi - 2mM\varphi}{m+M}.$$

Подставив нулевое значение для силы нормальной реакции опоры в предыдущее выражение, получим ответ: $\frac{M}{m} = \frac{3\sin\varphi}{2\varphi - \sin\varphi} = 2{,}18.$

8. В момент, когда более лёгкий шар оказывает максимальное давление на поверхность цилиндра, функция $N(\varphi)$ достигает своего максимального значения, следовательно, производная $\frac{dN}{d\varphi}(\varphi') = g\frac{3m^2\cos\varphi' + mM\cos\varphi' - 2mM}{m+M} = 0.$ Отсюда получаем:

$$\cos\varphi' = \frac{2mM}{3m^2+mM} \to \varphi' = \arccos\left(\frac{2M/m}{3+M/m}\right) = 0{,}57 \text{ рад}.$$

9. Скорость шарика в этот момент определим из выражения:

$$v(\varphi') = \sqrt{\frac{2gR}{1+\frac{M}{m}}\left(\frac{M}{m}\varphi' - \sin\varphi'\right)} = 24\,\frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

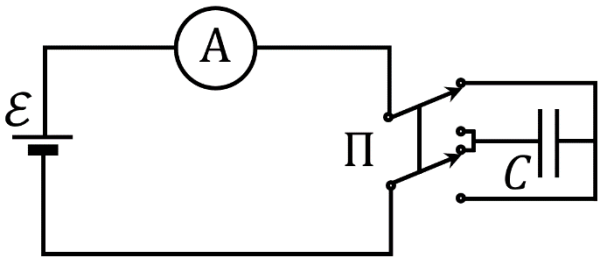
Матрица параметров и ответов к вариантам задачи 3

Вариант	R, см	φ, рад	Ответ на вопрос 7	Ответ на вопрос 8	Ответ на вопрос 9
1	1,3	1,0	2,18	0,57	24
2	1,42	1,4	1,63	0,79	25
3	4,43	1,15	1,97	0,65	45
4	2,74	1,35	1,70	0,76	35
5	4,66	0,66	2,60	0,38	40

Максимум за задачу 10 баллов.

Задача 4. Вопросы 10-13

Электрическая цепь состоит из источника ЭДС с пренебрежимо малым сопротивлением, конденсатора ёмкостью $C = 300$ мкФ, стрелочного амперметра с сопротивлением $R_A = 5$ Ом и переключателя П,



способного очень быстро менять полярность подключения конденсатора в цепи. Полярность меняется с частотой $\nu = 10$ Гц, при этом показания амперметра составляют $I = 100$ мА, а стрелка прибора практически не дрожит. Считайте, что показания стрелочного амперметра определяются средней величиной силы тока в цепи.

10. Какова ЭДС $\mathcal{E}$ источника? Ответ дайте в вольтах с точностью до десятых долей. ***(3 балла)***

11. Какой заряд q проходит через источник за время между двумя последовательными переключениями полярности? Ответ дайте в милликулонах с точностью до десятых долей. ***(2 балла)***

12. Какую среднюю мощность P развивает при таком режиме работы источник ЭДС? Ответ дайте в ваттах с точностью до сотых долей. ***(3 балла)***

13. Каковы были бы показания I' амперметра тепловой системы с таким же сопротивлением? Считайте, что показания амперметра тепловой системы определяются средней тепловой мощностью электрического тока, выделяющейся на сопротивлении амперметра. Ответ дайте в миллиамперах с точностью до целого числа. ***(4 балла)***

Решение:

10-11. За время между переключениями $T = \frac{1}{\nu} = 0{,}1$ с конденсатор успевает практически полностью перезарядиться (характерное время для цепи с конденсатором и резистором составляет $\tau = R_A C = 0{,}0015$ с, что существенно меньше рассчитанного T). При каждом переключении по цепи протекает заряд $q = 2C\mathcal{E}$, средний ток при этом составляет $I_1 = \frac{2C\mathcal{E}}{T} = 2C\mathcal{E}\nu$.

Выразим ЭДС из полученного соотношения:

$$\mathcal{E} = \frac{I}{2C\nu} = 16{,}7 \text{ В}.$$

Заряд, проходящий по цепи за время одного переключения, тогда равен

$$q = \frac{I}{\nu} = 10{,}0 \text{ мКл}.$$

12. При каждом переключении источник ЭДС совершает работу $A = \mathcal{E}q = \frac{I^2}{2C\nu^2}$, тогда средняя мощность источника равна

$$P = A\nu = \frac{I^2}{2C\nu} = 1{,}67 \text{ Вт}.$$

13. Энергия конденсатора после каждого переключения одна и та же, значит, вся работа источника ЭДС переходит в тепло. За единицу времени в амперметре тепловой системы в среднем выделилась бы в виде тепла

энергия $\frac{I^2}{2C\nu}$, и показание амперметра тепловой системы I' можно найти из соотношения

$$I'^2 R_A = \frac{I^2}{2C\nu}.$$

Отсюда

$$I' = \frac{I}{\sqrt{2C\nu R_A}} = 577 \text{ мА}.$$

Матрица параметров и ответов к вариантам задачи 4

Вариант	C, мкФ	R_A, Ом	ν, Гц	I, мА
1	300	5	10	100
Ответы	вопрос 10	вопрос 11	вопрос 12	вопрос 13
	16,7	10,0	1,67	577
2	400	8	12	120
Ответы	вопрос 10	вопрос 11	вопрос 12	вопрос 13
	12,5	10,0	1,50	433
3	550	8	10	250
Ответы	вопрос 10	вопрос 11	вопрос 12	вопрос 13
	22,7	25,0	5,68	843
4	400	10	12	360
Ответы	вопрос 10	вопрос 11	вопрос 12	вопрос 13
	37,5	30,0	13,50	1162
5	200	2	15	120
Ответы	вопрос 10	вопрос 11	вопрос 12	вопрос 13
	20,0	8,0	2,40	1095

Максимум за задачу 12 баллов.

Задача 5. Вопросы 14-15

Взаимодействие воды с её паром трудно описать аналитически, поскольку зависимость давления насыщенных паров воды от температуры обычно задаётся в виде таблицы или графика. В таком случае при расчётах используют интерполяционные или графические методы.

Зависимость давления насыщенного водяного пара от температуры

t, ℃	p, кПа	t, ℃	p, кПа
50,0	12,33	90,0	70,10
55,0	15,74	95,0	84,51
60,0	19,92	100,0	101,33
65,0	25,00	110,0	143,27
70,0	31,16	120,0	198,54
75,0	38,54	130,0	270,11
80,0	47,34	140,0	361,37
85,0	57,81	150,0	476,01

Вам могут понадобиться следующие данные:

- плотность жидкой воды $\rho = 1{,}0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
- нормальное атмосферное давление $p_0 = 1{,}01 \cdot 10^5$ Па;
- абсолютный нуль температуры $t_0 = -273{,}15$℃;
- ускорение свободного падения $g = 9{,}81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

14. Считая, что на каждом малом интервале температур давление насыщенного водяного пара зависит от температуры линейно, определите температуру кипения воды при внешнем давлении $p = 1{,}17 \cdot 10^5$ Па. Ответ дайте в ℃ с точностью до десятых долей. ***(3 балла)***

15. В вертикальной тонкой трубке, закрытой сверху и погружённой открытым концом в сосуд с водой, находится в равновесии столб воды, который доходит до верхнего края трубы. Над свободной поверхностью жидкости в сосуде находится воздух при нормальном атмосферном давлении. Считая, что на каждом малом интервале температур давление насыщенного водяного пара зависит от температуры линейно, а капиллярные эффекты пренебрежимо малы, определите, какова может быть максимальная высота этого столба, если температура воды $t = 83$°C. Ответ дайте в метрах с точностью до десятых долей. ***(3 балла)***

Решение:

14. Зависимость давления насыщенного пара от температуры является также зависимостью температуры кипения от внешнего давления. Поэтому для решения данного пункта задачи можно воспользоваться приведённой в условии таблицей. Из таблицы следует, что искомая температура лежит в интервале от 100 до 110°C. Считая, что в этом интервале представленная зависимость линейна, находим

$$t_x = 100\,^\circ\text{C} + \frac{10^\circ\text{C}}{p_{110} - p_{100}}(p - p_{100}) \approx 103{,}7^\circ\text{C}.$$

15. Столб воды разорвётся, если давление в его верхней части станет равным давлению насыщенных паров при заданной температуре (при этом вода закипит).

Отсюда следует:

$$p_0 - \rho g h = p_{\text{нас}} \Rightarrow h = \frac{p_0 - p_{\text{нас}}}{\rho g}.$$

Для определения давления запишем аналогично предыдущему пункту:

$$83^\circ\text{C} = 80^\circ\text{C} + \frac{5^\circ\text{C}}{p_{85} - p_{80}}(p_{\text{нас}} - p_{80}) \Rightarrow p_{\text{нас}} \approx 53{,}62 \text{ кПа}.$$

Тогда

$$h = \frac{p_0 - p_{\text{нас}}}{\rho g} \approx 4{,}8 \text{ м}.$$

Матрица параметров и ответов к вариантам задачи 5

Вариант	$p, 10^5$ Па	t, °C	Ответ на вопрос 14	Ответ на вопрос 15
1	1,17	83	103,7	4,8
2	0,50	68	81,3	7,4
3	0,68	77	89,1	6,0
4	1,30	72	106,8	6,8
5	1,10	87	102,1	3,9

Максимум за задачу 6 баллов.

Максимальный балл за работу – 50.