



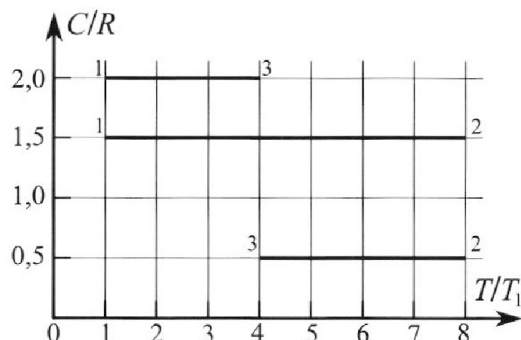
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-02

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



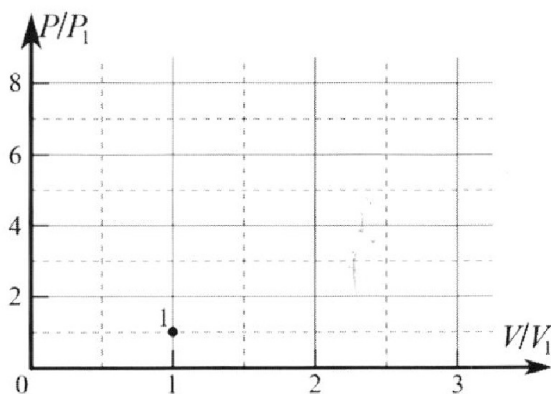
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 равна $T_1 = 200$ К, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).



1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.

2) Найдите КПД η цикла.

3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объем в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует состоянию 1 газа в цикле.



5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарика находятся в вершинах квадрата со стороной a (см. рис.). Сила натяжения каждой нити T .

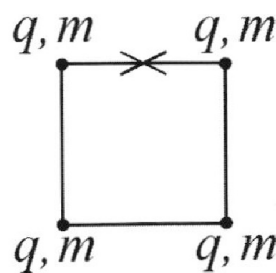
1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика.

Одну нить пережигают.

2) Найдите кинетическую энергию K любого, выбранного Вами шарика, в тот момент, когда шарика будут находиться на одной прямой.

3) На каком расстоянии d от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных сверху (на рисунке)?

Электрическая постоянная ϵ_0 . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.





Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



1. Футболист наносит удар по мячу, лежащему на горизонтальной площадке. Вектор начальной скорости мяча образует угол $\alpha = 45^\circ$ с горизонтальной плоскостью. Горизонтальное перемещение мяча за время полета $L = 20$ м.

1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

Если футболист направляет мяч под различными углами к горизонту, из той же точки с начальной скоростью V_0 к высокой вертикальной стенке, то наибольшая высота, на которой происходит соударение мяча со стенкой, равна $H = 3,6$ м.

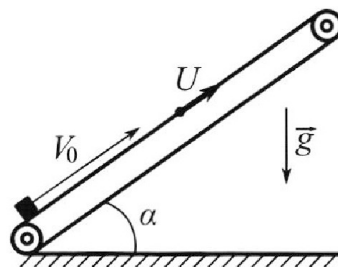
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Ускорение с вободного падения $g = 10$ м/с². Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α такой, что $\sin \alpha = 0,6$ (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость $V_0 = 6$ м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте $\mu = 0,5$.

Движение коробки прямолинейное.



1) Какой путь S пройдет коробка в первом опыте к моменту времени $T = 1$ с?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью $U = 1$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 6$ м/с (см. рис.).

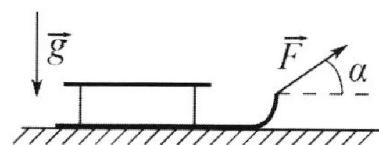
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

3) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Все кинематические величины измерены в лабораторной системе отсчета.

3. Санки дважды разгоняют из состояния покоя до одной и той же кинетической энергии K на одинаковых участках пути.

В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения кинетической энергии K действие внешней силы прекращается.



1) Найдите коэффициент μ трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

2) Найдите перемещение S санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения g . Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Смп. 2

№23 (источник)

Дано:

$$\alpha = 45^\circ$$

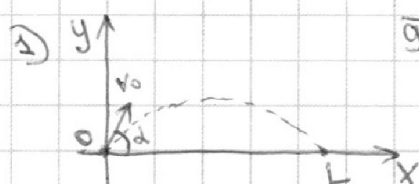
$$L = 20 \text{ м}$$

$$H = 3,6 \text{ м}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$1. v_0 = ?$$

$$2. S = ?$$



$t_{\text{пол}} - \text{время полёта мяча}$

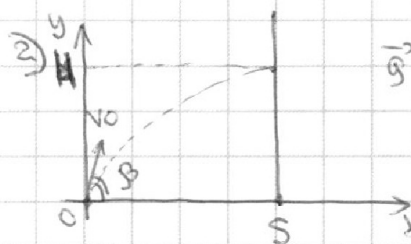
Запишем уравнения движения мяча в проекции на ось x и на ось y :

$$\begin{cases} v_0 \cos \alpha \cdot t_{\text{пол}} = L \\ 0 = v_0 \sin \alpha \cdot t_{\text{пол}} - \frac{g \cdot t_{\text{пол}}^2}{2} \end{cases} \quad | : t_{\text{пол}} \neq 0 \quad t_{\text{пол}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$v_0 \cos \alpha \cdot \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = L$$

$$v_0^2 \cdot \sin 2\alpha = Lg$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{Lg}{\sin 2\alpha}} = \sqrt{\frac{20 \text{ м} \cdot 10 \text{ м/с}^2}{\sin 90^\circ}} = 20 \sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$



1. Пусть угол, под кот. направлена скорость мяча $= \beta$

2. Наибольшая высота, на кот. происходит соударение мяча со стенкой - это максимальная высота подъёма мяча при броске под углом β

3. На максимальной высоте подъёма проекция скорости мяча на ось y равна 0.

$$0 = v_0 \sin \beta - g t_{\text{под}} \quad (t_{\text{под}} - \text{время, за кот. мяч поднимется на высоту } H)$$

$$t_{\text{под}} = \frac{v_0 \sin \beta}{g}$$

4. Запишем уравнения движения мяча в проекции на ось x и на ось y :

$$H = v_0 \sin \beta \cdot t_{\text{под}} - \frac{g t_{\text{под}}^2}{2}$$

$$S = v_0 \cos \beta \cdot t_{\text{под}}$$

$$H = v_0 \sin \beta \cdot \frac{v_0 \sin \beta}{g} - \frac{g \cdot v_0^2 \sin^2 \beta}{2g^2} = \frac{v_0^2 \sin^2 \beta}{2g}$$

$$\sin \beta = \frac{\sqrt{2gH}}{v_0}$$

(продолжение на стр. 2)



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

стр. 2

№3 (продолжение, черновик)

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{2gH}{V_0^2}} = \frac{\sqrt{V_0^2 - 2gH}}{V_0}$$

$$S = V_0 \cos \beta \cdot t_{\text{ног}} = V_0 \cos \beta \cdot \frac{V_0 \sin \beta}{g} = \frac{V_0^2}{g} \cdot \frac{\sqrt{2gH}}{V_0} \cdot \frac{\sqrt{V_0^2 - 2gH}}{V_0} =$$

$$= \frac{\sqrt{2gH} \cdot \sqrt{V_0^2 - 2gH}}{g} = \frac{\sqrt{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 3,6 \text{ м}} \cdot \sqrt{200 \text{ м}^2/\text{с}^2 - 2 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 3,6 \text{ м}}}{10 \text{ м/с}^2} =$$

$$= \frac{6\sqrt{2} \cdot \sqrt{128}}{10} \text{ м} = \frac{6 \cdot 16}{10} \text{ м} = \frac{48}{5} \text{ м}$$

Ответ: 1. $V_0 = 20\sqrt{2} \text{ м/с}$

2. $S = \frac{48}{5} \text{ м}$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



стр. 7

№2. (книжка)

Дано:

$$\sin \alpha = 0,6 = \frac{3}{5}$$

$$V_0 = 6 \text{ м/с}$$

$$\mu = \frac{1}{2}$$

$$T = 1 \text{ с}$$

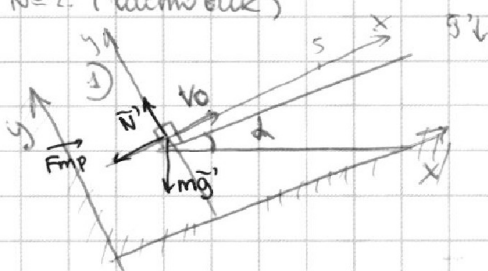
$$u = 1 \text{ м/с}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$1. S = ?$$

$$2. T_1 = ?$$

$$3. L = ?$$



На санки действуют силы:

$N', m\vec{g}', \vec{F}_{mp}'$

1. по 1-й и 3-му условиям в проекции на ось x и на ось y.

$$\begin{cases} N = mg \cos \alpha \\ -ma = F_{mp} + mg \sin \alpha \end{cases}$$

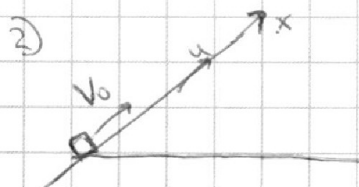
$$F_{mp} = \mu N \text{ (по 2-му условию, эквивалентно)}$$

$$-ma = \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha \quad | : m$$

$$a = -(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)g$$

2. Запишем уравнение движения для коробки на ось x:

$$S = V_0 T + \frac{aT^2}{2} = V_0 \cdot T - \frac{(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)gT^2}{2} = 6 \text{ м/с} \cdot 1 \text{ с} - \frac{(\frac{1}{2} \cdot \frac{4}{5} + \frac{3}{5}) \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 1 \text{ с}^2}{2} = (6 - 5) \text{ м} = 1 \text{ м}$$



лента транспортера (в частности верхняя часть)

движется с постоянной скоростью $u = 1 \text{ м/с}$

$\Rightarrow$ можем перейти в инерциальную систему отсчета, связанную с верхней частью ленты транспортера. Скорость коробки будет равна u тогда, когда в выбранной СО ее скорость будет равна нулю (по 3-му условию скоростей). Начальная скорость в выбранной СО - это $(V_0 - u)$ по 3-му условию скоростей (продолжение на стр. 8)

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

стр. 8.

№2 (продолжение, шифровик)

Ускорение коробки относительно л.с.о. = ускорение коробки отнес. выбранной
с.о. + ускорение выбранной с.о. отнес. л.с.о. Следовательно
ускорение коробки по первому пункту задачи в проекции на ось x

$$a = -(\mu \cos \theta + \sin \theta)g$$

Скорость равна 0 в момент времени T_1 :

Запишем ур-е движения в проекции на ось x :

$$0 = V_0 - u + aT_1 \quad (\text{на ось } x)$$

$$T_1 = \frac{V_0 - u}{-a} = \frac{V_0 - u}{(\mu \cos \theta + \sin \theta)g} = \frac{5 \text{ м/с}}{(\frac{1}{2} \cdot \frac{4^2}{5} + \frac{3}{5}) \cdot 10 \text{ м/с}^2} = \frac{1}{2} \text{ с}$$

3) Скорость коробки $= 0$ в л.с.о. $\Rightarrow$ в выбранной с.о. (п.2) скорость

коробки в проекции на ось x $= -u$:

$$-u = V_0 - u + aT_2 \quad (\text{на ось } x) \Rightarrow T_2 = \frac{-V_0}{a}$$

$$S = (V_0 - u)T_2 + a \frac{T_2^2}{2} \quad (\text{ур-е пути на ось } x)$$

$$S = (V_0 - u) \cdot \frac{V_0}{(\mu \cos \theta + \sin \theta)g} - \frac{V_0^2}{2(\mu \cos \theta + \sin \theta)g} = \frac{2V_0^2 - 4V_0 - V_0^2}{2(\mu \cos \theta + \sin \theta)g} =$$

$$= \frac{V_0^2 - 4V_0}{2(\mu \cos \theta + \sin \theta)g} = \frac{36 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} - 6 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2(\frac{1}{2} \cdot \frac{4^2}{5} + \frac{3}{5}) \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{3}{2} \text{ м}$$

Ответ: 1. $S = 1.5 \text{ м}$

2. $T_1 = \frac{1}{2} \text{ с}$

3. $S = \frac{3}{2} \text{ м}$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



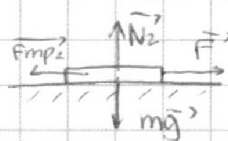
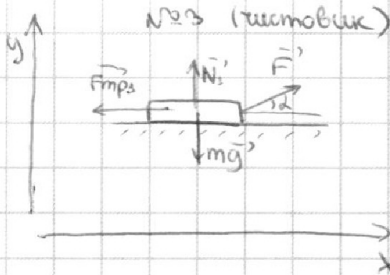
стр. 5

физ.

K, α, g

1. μ ?

2. S ?



m - масса санок

1. Перечислим силы, действующие на санки в первом случае: $mg', \vec{F}', \vec{F}_{mp1}', \vec{N}_1'$

Силы, действующие на санки во втором случае: $mg', \vec{F}', \vec{F}_{mp2}', \vec{N}_2'$

2. Запишем 2-й закон Ньютона для первого ^{и второго} случаев в проекции на ось x и ось y :

$$\begin{cases} N_1 = mg - F \cdot \sin \alpha \\ N_2 = mg \end{cases}$$

3. Запишем ЗСЭ для первого и для второго случаев:

$$A_{F1} + A_{Fmp1} = K$$

A_{F1} - работа силы F по перемещению санок на расстояние L в 1 сл.

$$A_{F2} + A_{Fmp2} = K$$

A_{F2} - работа силы F по перемещению санок на расстояние L ^{в 2 сл.} ^(т.е. по 4 сл. санки раздв. на 2 сл. от нач. полож.)

A_{Fmp1} - работа силы F_{mp1} по перемещению санок на расст. L в 1 сл.

A_{Fmp2} - работа силы F_{mp2} по перемещению санок на расст. L в 2 сл.

по опр. работы:

$$A_{F1} = F \cdot L \cdot \cos \alpha$$

$$A_{F2} = F \cdot L$$

по опр. сил тр. скольж. (н.2)

$$A_{Fmp1} = -F_{mp1} \cdot L = -\mu \cdot N_1 \cdot L = -\mu \cdot (mg - F \sin \alpha) L$$

по опр. сил тр. скольж. (н.2)

$$A_{Fmp2} = -F_{mp2} \cdot L = -\mu N_2 \cdot L = -\mu mg L$$

(продолжение на стр. 6)

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Пр. 6

№3 (программирование, черновик)

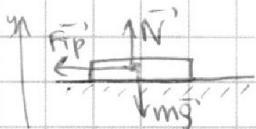
$$\begin{cases} K = F \cdot L \cdot \cos \alpha - \mu mgL + \mu F \sin \alpha \cdot L \\ K = F \cdot L - \mu mgL \end{cases}$$

$$F \cdot L \cdot \cos \alpha - \mu mgL + \mu F \sin \alpha \cdot L = FL - \mu mgL \quad | : FL$$

$$\cos \alpha + \mu \sin \alpha = 1$$

$$\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

2) В процессе торможения санок до остановки вся кинетическая энергия санок перейдет в работу сил трения (ЗСА)



силы, действующие на санки: $\vec{F}_{тр}'$, $\vec{N}'$, $\vec{mg}$

по II закону Ньютона в проекции на ось y : $N = mg$

$$|A_{F_{тр}}| = K$$

↓ по опр. работы

$$F_{тр} \cdot S = K$$

$$F_{тр} = \mu N \text{ по опр. сил тр. скольжения}$$

$$\mu N \cdot S = K$$

$$\mu mg S = K$$

$$S = \frac{K}{\mu mg} = \frac{K \sin \alpha}{mg (1 - \cos \alpha)}$$

Ответ: 1. $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$

2. $S = \frac{K}{\mu mg}$, где m - масса санок

$$S = \frac{K \sin \alpha}{mg (1 - \cos \alpha)}, \text{ где } m - \text{масса санок}$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Упр. 3

№ 4. (шестовик)

Дано:

$$\nu = 1 \text{ моль}$$

$$R \text{ (Т/и)}$$

$$T_1 = 200 \text{ К}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

1. Запишем первое начало термодинамики для процесса 3-2.

$$+A_{31} = \Delta U_{31} - Q_{31}$$

$$\begin{cases} \Delta U_{31} = \nu R \cdot \frac{3}{2} (T_1 - T_3) \\ T_3 = 4T_1 \text{ (из графика)} \end{cases}$$

$$\Delta U_{31} = -\frac{3 \cdot 3}{2} \nu R T_1 = -\frac{9}{2} \nu R T_1 \quad (\text{т.к. } \nu = 1 \text{ моль})$$

2. A_{31} - ?

3. Q_{31} - ?

4. график

$$\begin{cases} Q_{31} = C_{31} (T_1 - T_3) \\ C_{31} = 2R \text{ (из графика)} \\ T_3 = 4T_1 \text{ (из графика)} \end{cases}$$

$$Q_{31} = -2R \cdot 3T_1 = -6R T_1$$

5. из п. 1, 2, 3:

$$A_{31} = \cancel{+Q_{31}} - \Delta U_{31} = \Delta U_{31} - Q_{31} = -\frac{9}{2} \nu R T_1 + 6R T_1 = \nu R T_1 \frac{6 \cdot 2 - 9}{2} = \frac{3}{2} \nu R T_1 =$$

$$= \frac{3 \cdot 1 \text{ моль}}{2} \cdot 200 \text{ К} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} = 6 \cdot 8,31 \text{ Дж} = 4986 \text{ Дж}.$$

2. 1. из графика: $T_2 = 8T_1$; $T_3 = 4T_1$; $C_{12} = 2R$; $C_{23} = \frac{3}{2}R$; $C_{31} = \frac{1}{2}R$

2. Запишем Q_{12} , Q_{23} , Q_{31} :

$$Q_{12} = C_{12} \Delta T_{12} = \frac{3}{2}R (8T_1 - T_1) = \frac{21}{2} \nu R T_1 > 0 \Rightarrow Q_{12} \text{ - это } Q_{\text{нагрев}}$$

$$Q_{23} = C_{23} \Delta T_{23} = \frac{1}{2}R (4T_1 - 8T_1) = -2R T_1 < 0 \Rightarrow Q_{23} \text{ - это } Q_{\text{охлажд.}}$$

$$Q_{31} = C_{31} \Delta T_{31} = \frac{1}{2}R (T_1 - 4T_1) = -\frac{3}{2} \nu R T_1 < 0 \Rightarrow Q_{31} \text{ - это } Q_{\text{охлажд.}}$$

$$3. \text{ из оп. КПД: } \eta = 1 - \frac{|Q_{\text{охлажд.}}|}{Q_{\text{нагрев}}} = 1 - \frac{|Q_{23} + Q_{31}|}{Q_{12}} =$$

$$= 1 - \frac{3R T_1 \cdot 2}{21R T_1} = \frac{21 - 6}{21} = \frac{5}{21}$$

(продолжение на стр. 4)

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

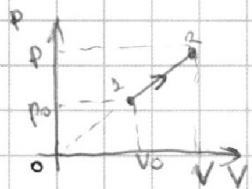
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



стр. 4

№24 (продолжение, источник)

3) 1. Рассмотрим процесс, такой, что его график:



раз адиабатный, изотермический $\vartheta = 1$ моль

Пусть в точке 1 координаты $(p_0; V_0)$

в точке 2 координаты $(p; V)$

график этого процесса - прямая, прох. $1/3$ начало координат $\Rightarrow$
 $\Rightarrow \frac{p_0}{V_0} = \frac{p}{V} = \text{tg } \alpha$ наклоне пр. $\Rightarrow p_0 V_0 = p V$

Знайдем первое начало термодинамики для процесса 12:

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = (p_0 + p)(V - V_0) \cdot \frac{1}{2} + \frac{3}{2} (pV - p_0 V_0) = \frac{1}{2} (p_0 V -$$

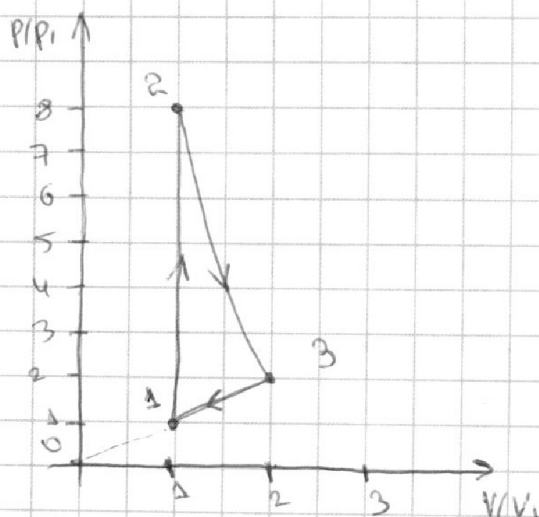
$$- p_0 V_0 + pV - p_0 V_0 + 3pV - 3p_0 V_0) = \frac{1}{2} (4pV - 4p_0 V_0) = 2(pV - p_0 V_0) =$$

$$= 2\vartheta R \Delta T \Rightarrow \text{мольная теплоемкость такого процесса} = 2R$$

(т.е. $\vartheta = 1$ моль). А значит процесс 31 в нашей задаче такой,

что его график в координатах p от V - прямая, проходящая $1/3$

начало координат $\Rightarrow \frac{p_3}{V_3} = \frac{p_1}{V_1} = \text{tg } \alpha$, где α - угол наклона этой прямой



Знайдем $\chi_{\text{пр-я}}$ состоящих из идеального газа
в т.б., 2, 3:

$$\begin{cases} p_1 V_1 = \vartheta R T_1 \\ p_2 V_2 = \vartheta R T_2 \\ p_3 V_3 = \vartheta R T_3 \end{cases}$$

мольная теплоемкость процесса 12 $= \frac{3}{2} R \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{3}{2} R \Delta T_{12} = A_{12} + \frac{3}{2} R \Delta T_{12} \Rightarrow$$

$\Rightarrow A_{12} = 0 \Rightarrow$ процесс 12 - изотермический $\Rightarrow$

$$\Rightarrow V_2 = V_1$$

$$\frac{p_2}{p_1} = 8 \quad \begin{cases} \frac{p_3}{p_1} = \frac{V_3}{V_1} = \frac{8}{4} = 2 \\ \frac{p_3}{p_1} = \frac{V_3}{V_1} \end{cases} \quad \frac{p_3}{p_1} = \frac{V_3}{V_1} = 2$$

Ответ: 1. $A_{31} = 4986 \text{ Дж}$. 2. $\eta = \frac{1}{21}$. 3 (продолж.)

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



стр. 9

№5 (истовик)

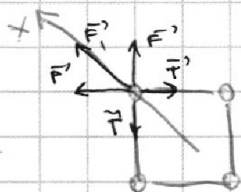
Дано:

a, r, ϵ_0

1. $|q|$ - ?

2. K - ?

3. d - ?



5) На каждый заряд действует:

(F) - сила отталкивания со стороны трех других шариков

F-лине 1-е шарик - две сил отталкивания или T

F-лине 2-е шарик - одна сила

1. Шарик находится в покое $\Rightarrow$ по 3-му закону в проекции

на ось x и y

$$2 \cdot T \cdot \cos 45^\circ = 2F \cos 45^\circ + F_2$$

$$F = k \frac{q^2}{a^2}, F_2 = k \frac{q^2}{2a^2} \quad (\text{лине 2-е шарик - одна сила отталкивания со стороны одного шарика})$$

$$2T \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = (2 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{2}) k \frac{q^2}{a^2}$$

$$T = (1 + \frac{1}{2}) k \frac{q^2}{a^2}$$

$$q^2 = \frac{T \cdot a^2}{(1 + \frac{1}{2}) k}$$

$$|q| = a \cdot \sqrt{\frac{T}{(1 + \frac{1}{2}) k}}$$

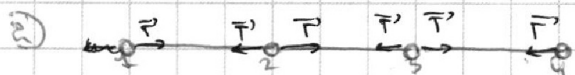
$$2T \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 2 \cdot k \frac{q^2}{a^2} + k \frac{q^2}{2a^2}$$

$$q^2 \left(\frac{2k}{a^2} + \frac{k}{2a^2} \right) = 2T$$

$$q^2 \frac{5k}{2a^2} = 2T$$

$$|q| = \sqrt{\frac{2T \cdot 2a^2}{5k}} = a \sqrt{\frac{8\epsilon_0 T}{5}}$$

$$= a \sqrt{\frac{12T \cdot 4\pi\epsilon_0}{1 + \frac{1}{2}}}$$



применяем шарик 1, 2, 3, 4. по 3-му, т.к. движение шарика
начинается.

$$m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2 + m\vec{v}_3 + m\vec{v}_4 = 0$$

$$\text{В силу симметрии } \vec{v}_1 = \vec{v}_4 = \vec{v}, \vec{v}_2 = \vec{v}_3 = -\vec{v}$$

$$2\vec{v}_1 = 2\vec{v}_2 = 0$$

$$\vec{v}_1 = \vec{v}_2 = \vec{v} \Rightarrow \text{Все шарик имеют одинаковую скорость } v$$

(продолжение на стр. 10)

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



стр. 30

№5 (электростатическое взаимодействие)

Тогда по закону сохранения энергии:

$$4k \frac{q^2}{a} + 2k \frac{q^2}{2a} = \frac{5mk^2}{2} + 3k \frac{q^2}{a} + 2k \frac{q^2}{4a} + k \frac{q^2}{9a}$$

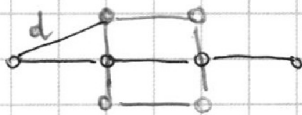
Тогда по ЗОЗ:

$$4k \frac{q^2}{a} + 2k \frac{q^2}{2a} = 5K + 3k \frac{q^2}{a} + 2k \frac{q^2}{4a} + k \frac{q^2}{9a}$$

$$K = \frac{q^2 k}{5a} \left(4 + 2 - 3 - 1 - \frac{1}{3} \right) = \frac{q^2}{5 \cdot 4 \pi \epsilon_0 a} \left(2 - \frac{1}{3} \right) =$$

$$= \frac{\sqrt{2} \pi \cdot 2a^2 \cdot 4 \pi \epsilon_0}{5 \cdot 5 \cdot 4 \pi \epsilon_0 a} \left(2 - \frac{1}{3} \right) = \frac{2\sqrt{2}}{25} \pi a \left(2 - \frac{1}{3} \right)$$

3)



$$d = \sqrt{\frac{a^2}{4} + a^2} = \frac{\sqrt{5}a}{2}$$

при взаимодействии или 1 вершина шарика шариком является из

электростатическим сил отталкивания от электростатического взаимодействия шарика,

а вершины - коверс

Ответ: 1. $|q| = 2a \sqrt{\frac{2\pi \epsilon_0 \sqrt{2} \pi}{5}}$

2. $K = \frac{2\sqrt{2}}{25} \pi a \left(2 - \frac{1}{3} \right)$

3. $d = \frac{\sqrt{5}a}{2}$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

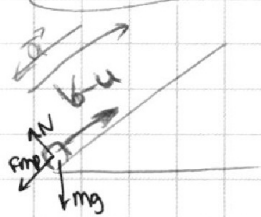
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

черновики



$$ma = \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha$$

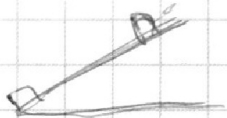
$$a = (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) g$$

$$t_{\text{спуска}} = 0$$

$$0 = (v_0 - u) - a \cdot T_1$$

$$T_1 = \frac{v_0 - u}{a} = \frac{v_0 - u}{(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) g}$$

$$\frac{m}{\rho} \cdot \frac{\alpha}{\mu} = 1$$



скорость становится ~~равной~~ u ~~в~~ t_2 ~~время~~ t_2

или в н.с.о $\rightarrow u_2 = u$

$$T_2 = \frac{v_0}{a}$$

$$\begin{cases} -u = v_0 - u - a \cdot T_2 \\ S = (v_0 - u) \cdot T_2 - a \frac{T_2^2}{2} \end{cases}$$

$$S = (v_0 - u) \cdot \frac{v_0}{a} - \frac{a \cdot v_0^2}{2a^2} = \frac{(v_0 - u)v_0}{a} - \frac{v_0^2}{2a}$$

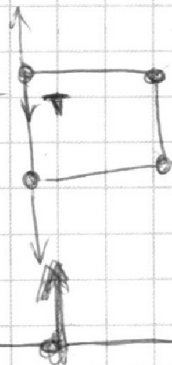
$$W_p = q_1 q_2 \cdot k \frac{q_2}{a}$$

Time $\frac{q_1 q_2}{a} + 2k \frac{q_1 q_2}{2a^2}$

$$W_{\text{мех}} \Rightarrow T^2$$

$$W_p \Rightarrow T^2$$

$W_{\text{к}} \text{ равно } 5k \frac{q_1 q_2}{a^2}$



$$\frac{m(v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + v_4^2)}{2} + 3k \frac{q_1^2}{a^2} + 2k \frac{q_1^2}{4a^2} + k \frac{q_1^2}{a^2} = 5k \frac{q_1^2}{a^2}$$



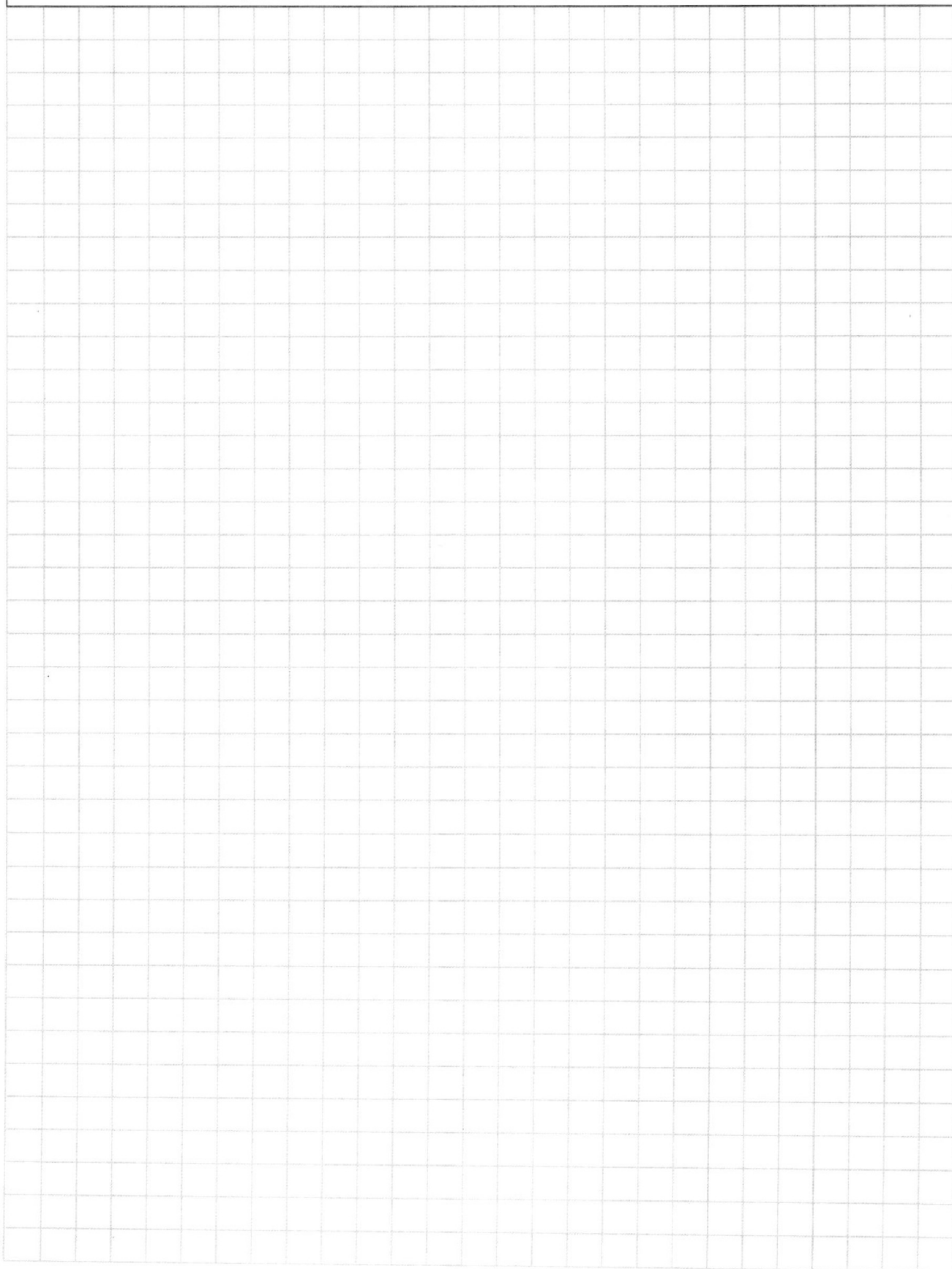
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Черновик $C = \frac{3}{2}R$ молярная теплоемкость; $Q = C \Delta T$ $pV = \frac{3}{2}RT$ $Q = C \Delta T$

$12: C = \frac{3}{2}R$ $Q = C \Delta T$ $Q = C \Delta T$ $Q = C \Delta T$

$13: C = \frac{3}{2}R$ $T_K = T_1$ $T_H = 4T_1$ $Q = C \Delta T$ $Q = C \Delta T$

$2R = C = \frac{1}{2}R$ $Q = C \Delta T$ $Q = C \Delta T$ $Q = C \Delta T$

$Q = A_{max} + \Delta U$ $Q = A_{max} + \Delta U$ $Q = A_{max} + \Delta U$ $Q = A_{max} + \Delta U$

$2R(T_1 - 4T_1) = A_{max} + \frac{3}{2}RT_1(T_1 - 4T_1)$ $Q = A_{max} + \Delta U$ $Q = A_{max} + \Delta U$ $Q = A_{max} + \Delta U$

$A_{max} = (2 - \frac{3}{2}) \cdot (-3T_1) \Rightarrow A_{max} = \frac{3}{2}T_1R = \frac{3}{2} \cdot 200 \cdot 8,31 = 2493 \text{ Дж}$ $Q = A_{max} + \Delta U$ $Q = A_{max} + \Delta U$ $Q = A_{max} + \Delta U$

$12: \Delta T > 0 \Rightarrow Q > 0$ $\frac{3}{2}RT_1 = \frac{3}{2}RT_2 + A_{max}$ $Q_{12} = \frac{3}{2}R \cdot 7T_1$ $Q_{12} = \frac{3}{2}R \cdot 7T_1$

$23: \frac{1}{2}RT_1 = \frac{3}{2}RT_2 + A_{max}$ $A_{max} = -RT_1 = -R(4T_1 - 8T_1) = 4RT_1$ $Q_{23} = -\frac{1}{2}RT_1 = -2RT_1 < 0$ $Q_{23} = -\frac{1}{2}RT_1 = -2RT_1 < 0$

$3A: 2RT_1 = A_{max} + \frac{3}{2}RT_1$ $Q_{31} < 0$ $Q_{31} < 0$ $Q_{31} < 0$

$\Delta T = T_1 - 4T_1 = -3T_1$ $Q_{31} < 0$ $Q_{31} < 0$ $Q_{31} < 0$

$\eta = \frac{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}}{Q_{12}} = \frac{-6RT_1 - 2RT_1}{21RT_1} = 1 - \frac{16}{21} = \frac{5}{21}$ $\eta = \frac{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}}{Q_{12}} = \frac{-6RT_1 - 2RT_1}{21RT_1} = 1 - \frac{16}{21} = \frac{5}{21}$ $\eta = \frac{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}}{Q_{12}} = \frac{-6RT_1 - 2RT_1}{21RT_1} = 1 - \frac{16}{21} = \frac{5}{21}$

$pV = \frac{3}{2}RT$ $T_1 = T_1$ $pV_1 = \frac{3}{2}RT_1$ $pV_1 = \frac{3}{2}RT_1$ $pV_1 = \frac{3}{2}RT_1$

$T_2 = 8T_1$ $pV_2 = \frac{3}{2}R \cdot 8T_1$ $pV_2 = \frac{3}{2}R \cdot 8T_1$ $pV_2 = \frac{3}{2}R \cdot 8T_1$

$T_3 = 4T_1$ $pV_3 = \frac{3}{2}R \cdot 4T_1$ $pV_3 = \frac{3}{2}R \cdot 4T_1$ $pV_3 = \frac{3}{2}R \cdot 4T_1$

$pV_1 = \frac{3}{2}RT_1$ $pV_1 = \frac{3}{2}RT_1$ $pV_1 = \frac{3}{2}RT_1$ $pV_1 = \frac{3}{2}RT_1$

$pV_2 = \frac{3}{2}R \cdot 8T_1$ $pV_2 = \frac{3}{2}R \cdot 8T_1$ $pV_2 = \frac{3}{2}R \cdot 8T_1$ $pV_2 = \frac{3}{2}R \cdot 8T_1$

$pV_3 = \frac{3}{2}R \cdot 4T_1$ $pV_3 = \frac{3}{2}R \cdot 4T_1$ $pV_3 = \frac{3}{2}R \cdot 4T_1$ $pV_3 = \frac{3}{2}R \cdot 4T_1$

$Q = \frac{1}{2}(p_0 + p)(V - V_0) + \frac{3}{2}(pV - p_0V_0) = \frac{1}{2}(p_0V - p_0V_0 + pV - p_0V_0 + pV - 3p_0V_0) = \frac{1}{2}(4pV - 4p_0V_0) = 2pV - 2p_0V_0 = 2R \Delta T$ $Q = \frac{1}{2}(p_0 + p)(V - V_0) + \frac{3}{2}(pV - p_0V_0) = \frac{1}{2}(p_0V - p_0V_0 + pV - p_0V_0 + pV - 3p_0V_0) = \frac{1}{2}(4pV - 4p_0V_0) = 2pV - 2p_0V_0 = 2R \Delta T$ $Q = \frac{1}{2}(p_0 + p)(V - V_0) + \frac{3}{2}(pV - p_0V_0) = \frac{1}{2}(p_0V - p_0V_0 + pV - p_0V_0 + pV - 3p_0V_0) = \frac{1}{2}(4pV - 4p_0V_0) = 2pV - 2p_0V_0 = 2R \Delta T$

$Q = A_{max} + \Delta U$ $Q = A_{max} + \Delta U$ $Q = A_{max} + \Delta U$ $Q = A_{max} + \Delta U$

$-A_{max} = \Delta U - Q$ $-A_{max} = \Delta U - Q$ $-A_{max} = \Delta U - Q$ $-A_{max} = \Delta U - Q$