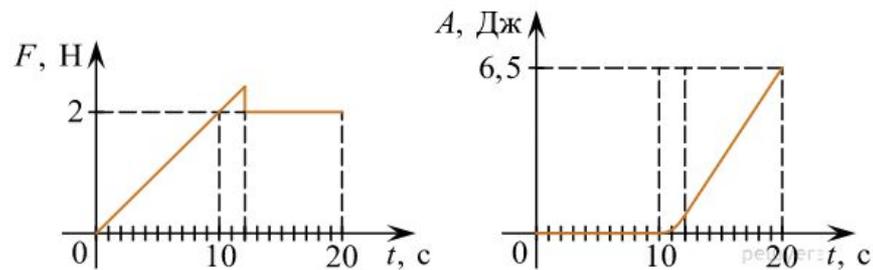
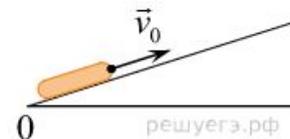


На шероховатой поверхности лежит брусок массой 1 кг. На него начинает действовать горизонтальная сила \vec{F} , направленная вдоль поверхности и зависящая от времени так, как показано на графике слева. Зависимость работы этой силы от времени представлена на графике справа. Выберите два верных утверждения на основании анализа представленных графиков.



- 1) Первые 10 с брусок двигался с постоянной скоростью.
- 2) За первые 10 с брусок переместился на 20 м.
- 3) Сила трения скольжения равна 2 Н.
- 4) В интервале времени от 12 до 20 с брусок двигался с постоянным ускорением.
- 5) В интервале времени от 12 до 20 с брусок двигался с постоянной скоростью.

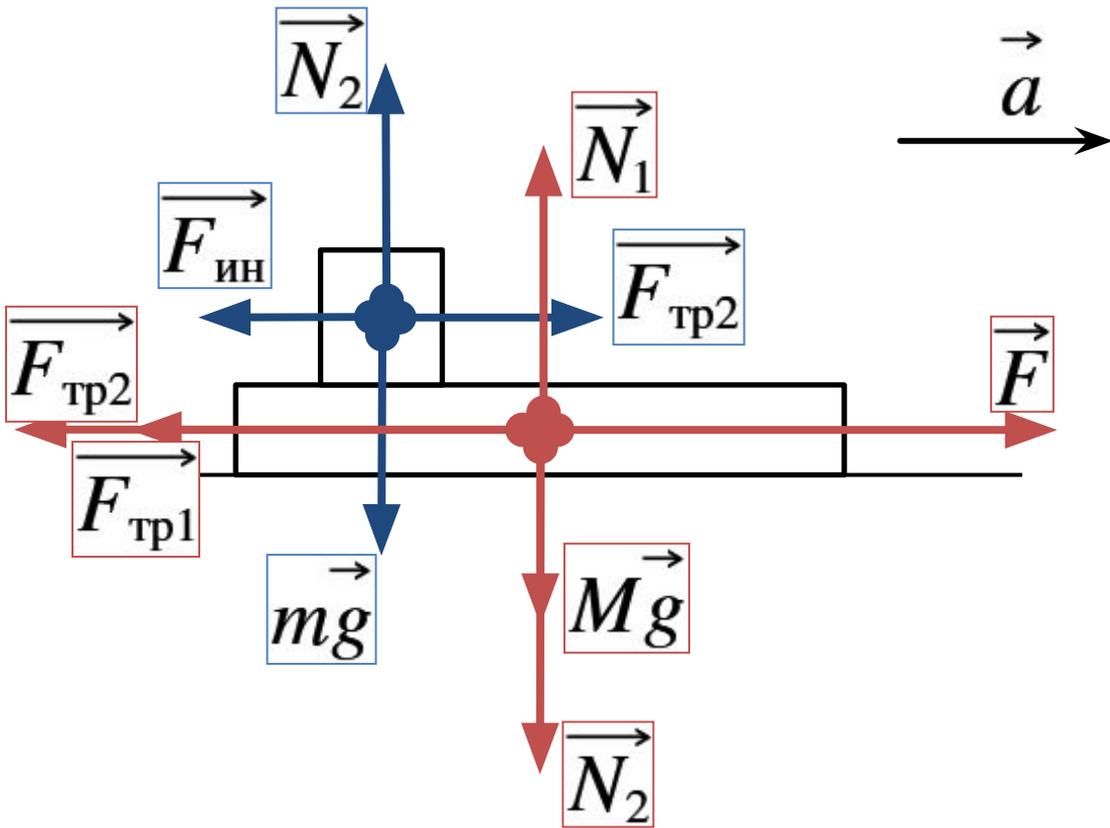
После удара шайба начала скользить вверх по шероховатой наклонной плоскости с начальной скоростью \vec{v}_0 , как показано на рисунке, и после остановки соскользнула обратно. Выберите из предложенного перечня два утверждения, которые соответствуют результатам проведенных экспериментальных наблюдений, и укажите их номера.



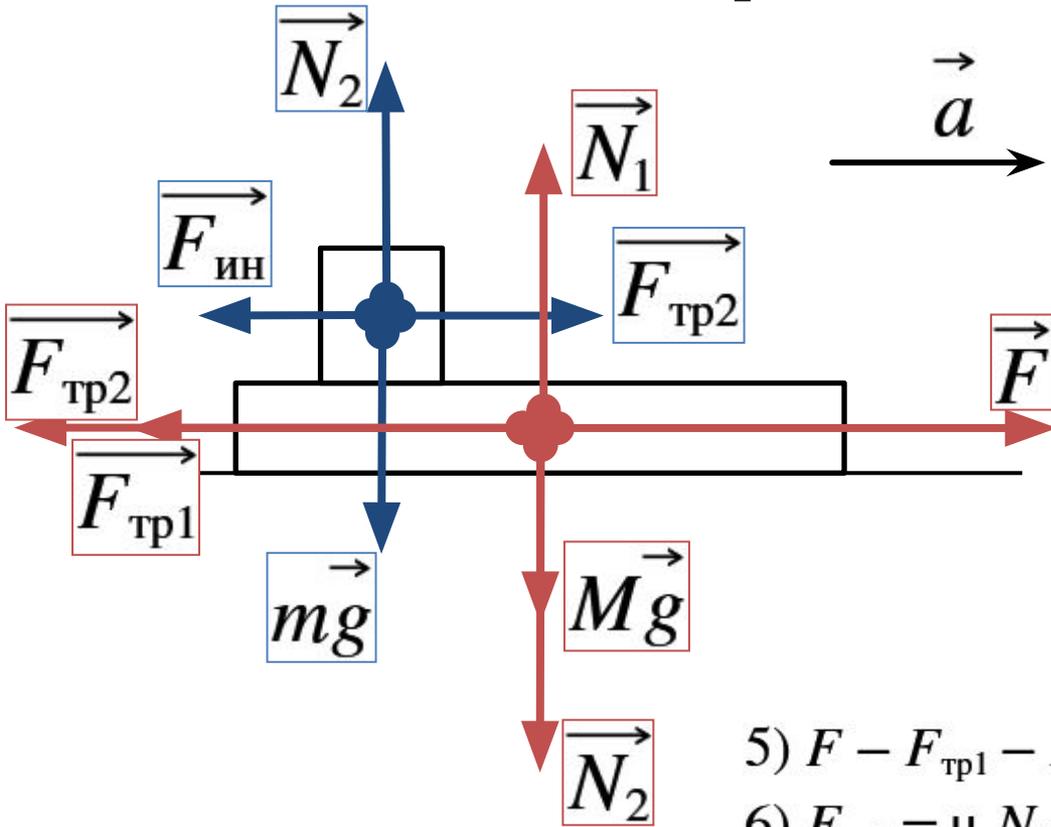
- 1) Время движения шайбы вверх равно времени движения вниз.
- 2) Модуль максимальной скорости шайбы при движении вниз меньше v_0 .
- 3) При движении вверх и вниз работа силы трения шайбы о плоскость одинакова.
- 4) Изменение потенциальной энергии шайбы при движении до верхней точки равно кинетической энергии шайбы сразу после удара
- 5) Модуль ускорения шайбы при движении вверх меньше, чем модуль ускорения при движении вниз.

Неинерциальные СО

2.67. На доске массой 4 кг, лежащей на горизонтальном полу, находится брусок массой 1 кг. Коэффициент трения между бруском и доской 0,2, а между доской и полом 0,4. Какую наименьшую горизонтальную силу надо приложить к доске, чтобы брусок с нее соскользнул? $g = 10 \text{ м/с}^2$.



Неинерциальные СО



$$1) F_{ин} - F_{тр2} = 0$$

$$2) F_{тр2} = \mu_2 N_2$$

$$3) N_2 = mg$$

$$4) F_{ин} = ma$$

$$2), 3), 4) \rightarrow 1) = 1') ma - \mu_2 mg = 0$$

$$\rightarrow a = \mu_2 g$$

$$5) F - F_{тр1} - F_{тр2} = Ma$$

$$6) F_{тр1} = \mu_1 N_1$$

$$7) N_1 = Mg + N_2$$

$$2), 3), 6), 7) \rightarrow 5) = 5') F - \mu_1 g(M + m) - \mu_2 mg = Ma$$

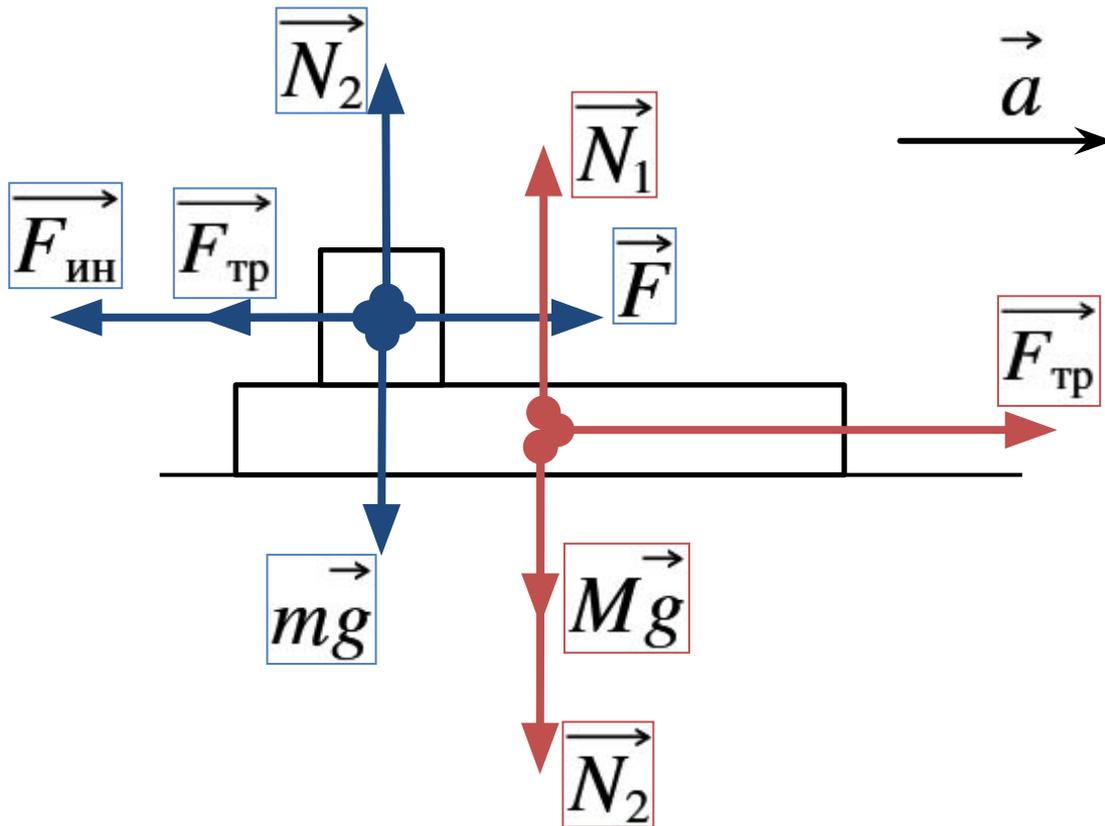
$$1') \rightarrow 5') = 5'') F = \mu_1 g(M + m) + \mu_2 mg + \mu_2 Mg$$

$$\rightarrow F = \mu_1 g(M + m) + \mu_2 g(M + m)$$

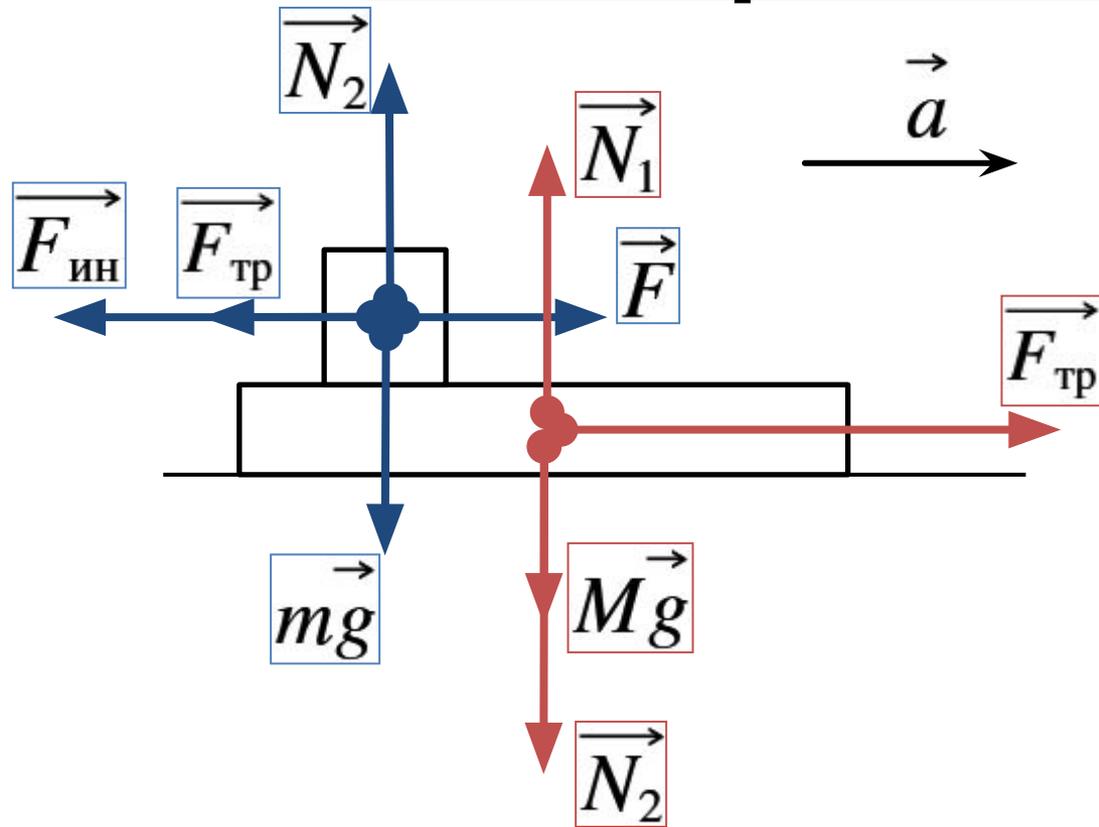
$$\rightarrow F = (M + m)g(\mu_1 + \mu_2)$$

Неинерциальные СО

2.68. На доске массой 2 кг, лежащей на гладкой горизонтальной поверхности, находится брусок массой 1 кг. Коэффициент трения между бруском и доской 0,4. Какую наименьшую горизонтальную силу надо приложить к бруску, чтобы стащить его с доски? $g = 10 \text{ м/с}^2$.



Неинерциальные СО



$$1) F - F_{\text{тр}} - F_{\text{ин}} = 0$$

$$2) F_{\text{тр}} = \mu N_2$$

$$3) N_2 = mg$$

$$4) F_{\text{ин}} = ma$$

$$2), 3), 4) \rightarrow 1) = 1') F = \mu mg + ma$$

$$5) F_{\text{тр}} = Ma$$

$$2), 3) \rightarrow 5) = 5') \mu mg = Ma$$

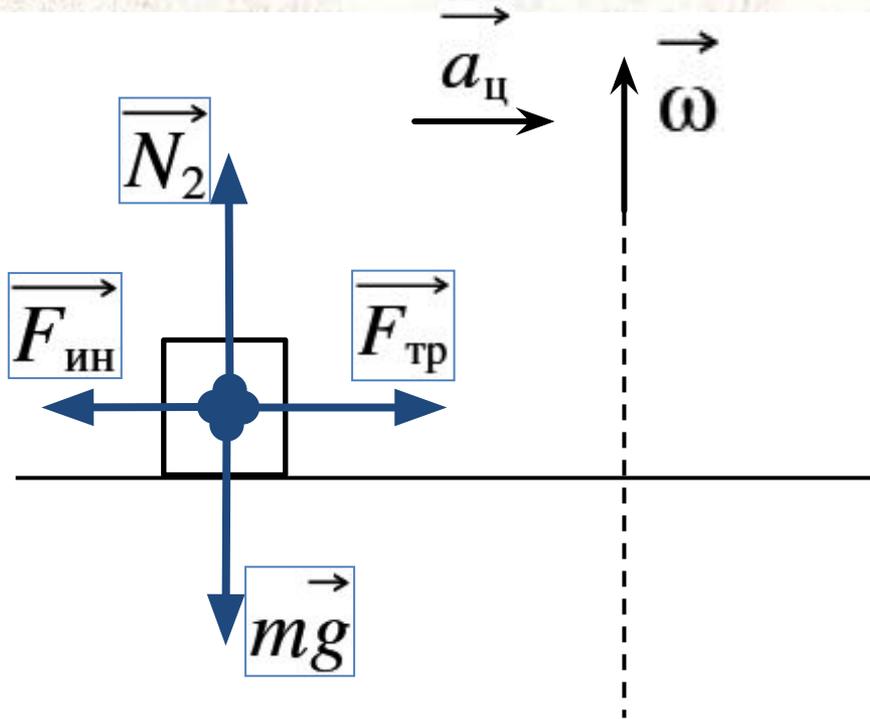
$$\rightarrow a = \frac{\mu mg}{M}$$

$$5') \rightarrow 1') = 1) F = \mu mg + \frac{\mu m^2 g}{M}$$

$$\rightarrow F = \mu mg \left(1 + \frac{m}{M}\right)$$

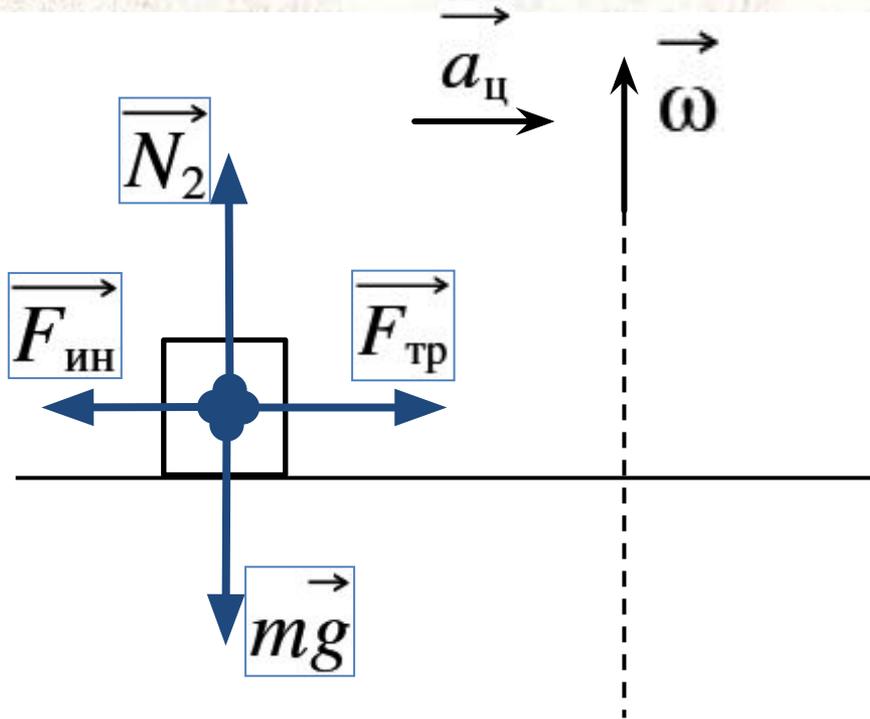
Неинерциальные СО

2.116. На горизонтальной вращающейся платформе на расстоянии 10 см от оси вращения лежит груз. Коэффициент трения между грузом и платформой 0,01. При какой угловой скорости вращения платформы груз начнет скользить? $g = 10 \text{ м/с}^2$.



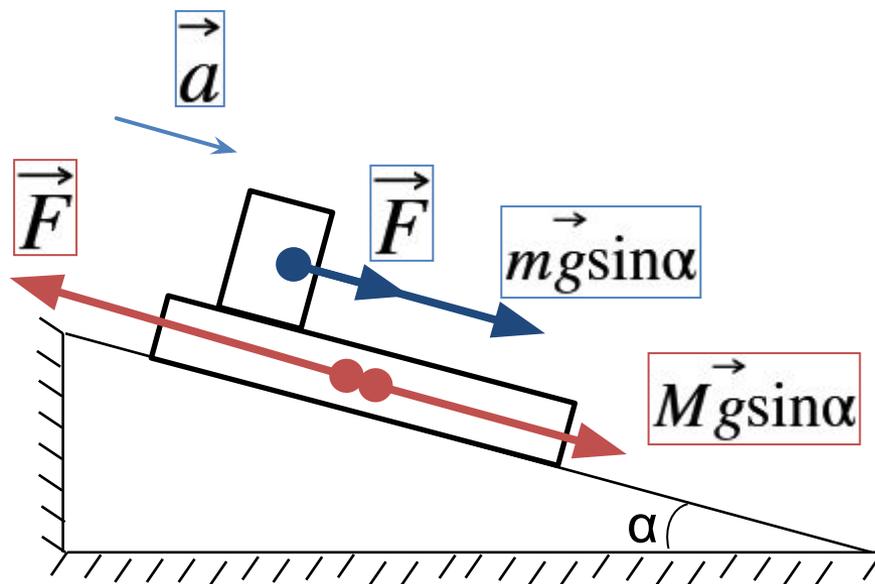
Неинерциальные СО

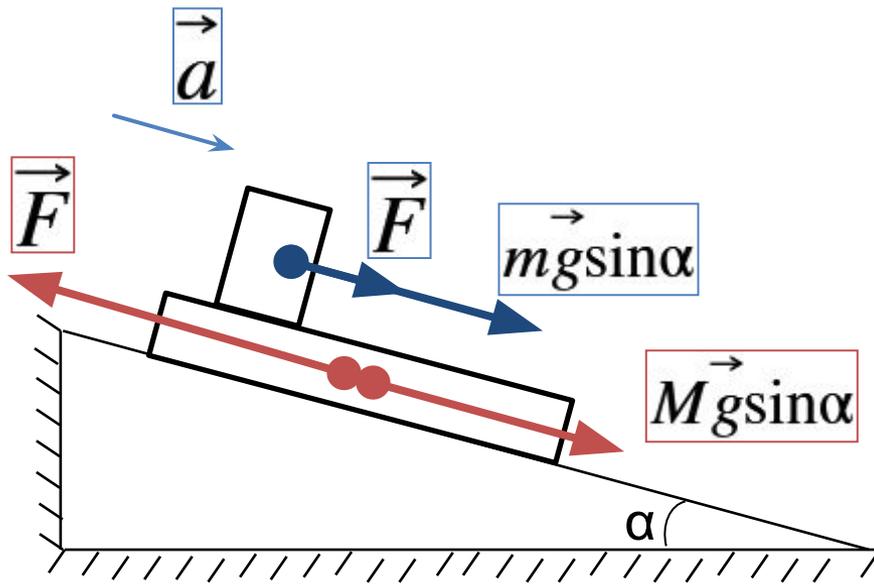
2.116. На горизонтальной вращающейся платформе на расстоянии 10 см от оси вращения лежит груз. Коэффициент трения между грузом и платформой 0,01. При какой угловой скорости вращения платформы груз начнет скользить? $g = 10 \text{ м/с}^2$.



$$\begin{aligned} 1) \quad F_{\text{ин}} &= F_{\text{тр}} \\ ma_{\text{ц}} &= \mu mg \\ m\omega^2 r &= \mu mg \\ \rightarrow \omega &= \sqrt{\frac{\mu g}{r}} \end{aligned}$$

2.69. Доска массой 8 кг может двигаться без трения по наклонной плоскости с углом наклона 30° к горизонту. С каким по величине ускорением (в $\text{см}/\text{с}^2$) должен бежать по доске человек массой 80 кг, чтобы доска не соскальзывала с наклонной плоскости? $g = 10 \text{ м}/\text{с}^2$.



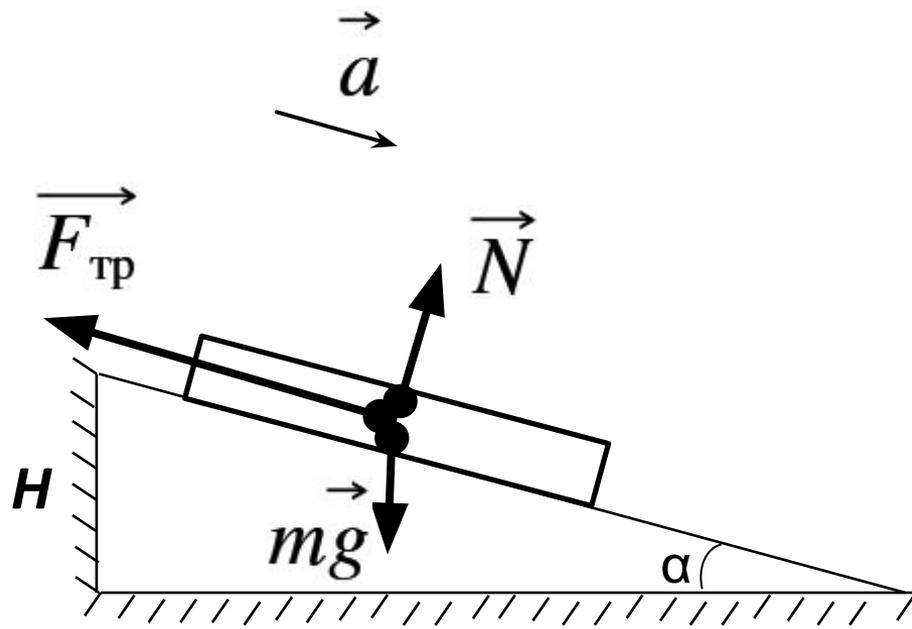


$$1) F + mgsin\alpha = ma$$

$$2) Mgsin\alpha - F = 0$$

$$2) \rightarrow 1) = 1') gsin\alpha(M + m) = ma$$

$$\rightarrow a = gsin\alpha\left(1 + \frac{M}{m}\right)$$

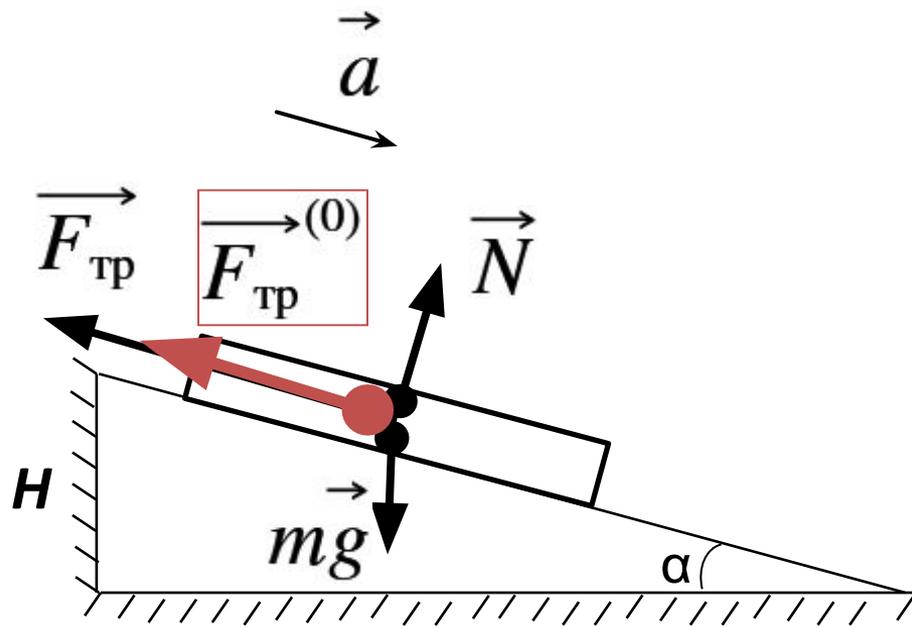


$$1) \quad mg \sin(\alpha) - \mu mg \cos(\alpha) = ma$$

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

$$2) \quad -mgH + \frac{mv^2}{2} = -\mu mg \cos(\alpha)S$$

$$\rightarrow v = \sqrt{2g(H - \mu S \cos \alpha)}$$

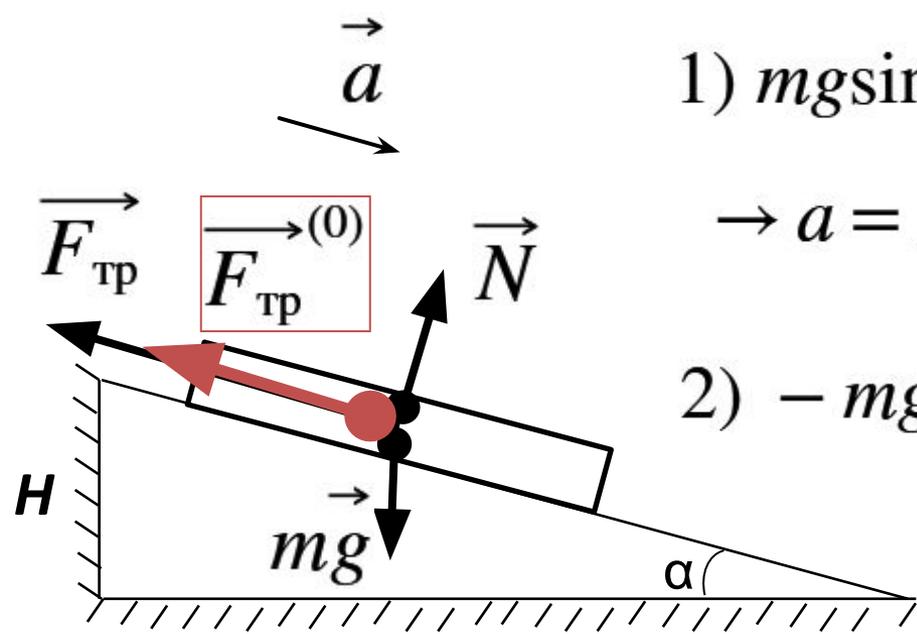


$\vec{F}_{\text{тр}}^{(0)}$ — сила вязкого трения

- действует на тела в жидкостях или газах
- действует только на движущиеся тела
- при малых скоростях $F_{\text{тр}}^{(0)} = kv$

где k — коэффициент вязкого трения (зависит от формы и размеров тела)

- при больших скоростях $F_{\text{тр}}^{(0)} = kv^2$



$$1) \quad mgsin(\alpha) - \mu mgcos(\alpha) - kv = ma$$

$$\rightarrow a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) - \frac{kv}{m}$$

$$2) \quad -mgH + \frac{mv^2}{2} = -\mu mgcos(\alpha)S - kvS$$

$$\frac{mv^2}{2} + v \cdot kS + mg(\mu\cos(\alpha)S - H) = 0$$

$$v = \frac{-kS \pm \sqrt{(kS)^2 - 2m^2g(\mu\cos(\alpha)S - H)}}{m}$$

$$v = -\frac{kS}{m} \pm \sqrt{\left(\frac{kS}{m}\right)^2 - 2g(\mu\cos(\alpha)S - H)}$$

$$v = \sqrt{\left(\frac{kS}{m}\right)^2 - 2g(\mu\cos(\alpha)S - H)} - \frac{kS}{m}$$

Основные положения МКТ

Параметры системы

```
graph TD; A[Параметры системы] --> B[Микроскопически]; A --> C[Макроскопически];
```

Микроскопически

е

(отдельные

элементы

Идеальный газ - это физическая модель газа, взаимодействие между молекулами которого пренебрежительно мало.

- взаимодействие между молекулами пренебрежительно мало
- расстояние между молекулами много больше размеров молекул
- молекулы - это упругие шары
- отталкивание молекул возможно только при соударении
- движение молекул - по законам Ньютона
- давление газа на стенки сосуда - за счет ударов молекул

Макроскопически

е

(система как

целое)

Микроскопические параметры

Число молекул:

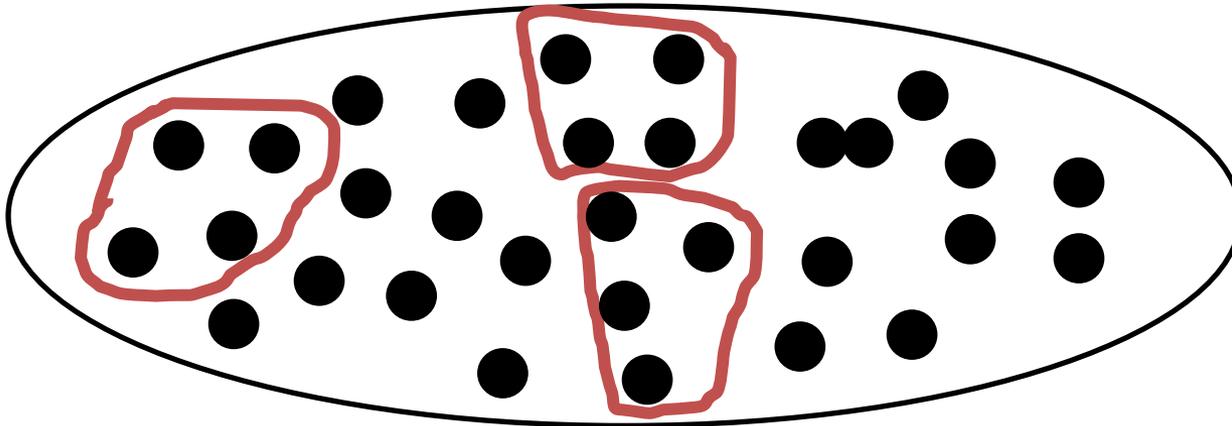
$$\boxed{N = \frac{V}{V_0} = \frac{m}{m_0}}, \text{ где } V, m - \text{ объем и масса газа}$$

$V_0, m_0 - \text{ объем и масса одной молекулы}$

Количество вещества [моль]:

$$\boxed{\nu = \frac{N}{N_A}}, \text{ где } N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} - \text{ число Авогадро}$$

(число молекул в одном моле вещества)



Микроскопические параметры

Молярная масса $\left[\frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}} \right]$:

$$\mu = \frac{m}{\nu}$$

Относительная атомная масса (а.е.м.):

– величина, указанная в таблице Менделеева

("относительно" $\frac{1}{12}$ массы углерода)

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_{0c}} = \frac{m_0}{1,66 \cdot 10^{-27}}$$

7.5. Считая, что атмосферный воздух состоит только из кислорода и азота и что молярная масса воздуха 29,12 кг/кмоль, определите процентное содержание молекул кислорода в смеси. Молярная масса кислорода 32 кг/кмоль, азота — 28 кг/кмоль.

$$1) m = \nu \cdot \mu \rightarrow m_1 + m_2 = (\nu_1 + \nu_2)\mu$$

$$m_1 + m_2 = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}\right)\mu$$

$$m_{01}N_1 + m_{02}N_2 = \left(\frac{m_{01}N_1}{\mu_1} + \frac{m_{02}N_2}{\mu_2}\right)\mu$$

$$m_{01}N_1\left(1 - \frac{\mu}{\mu_1}\right) = m_{02}N_2\left(\frac{\mu}{\mu_2} - 1\right)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{N - N_1}{N_1} = \frac{N}{N_1} - 1 = \frac{m_{01}}{m_{02}} \cdot \frac{1 - \frac{\mu}{\mu_1}}{\frac{\mu}{\mu_2} - 1}$$

4. Во сколько раз в 3 г водорода больше молекул, чем в 9 г воды?
Масса водорода 2 кг/кмоль, воды 18 кг/кмоль.

Связь микро- и макро- параметров

Средняя кинетическая энергия одной(!) молекулы:

$$\boxed{\overline{E}_k = \frac{m_0 v_{\text{ср.кв.}}^2}{2}}, \text{ где } v_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{n}}$$

Средняя кинетическая энергия поступательного
движения одной молекулы:

$$\boxed{\overline{E}_k = \frac{3}{2} kT}$$

Основное уравнение МКТ:

$$\boxed{p = \frac{2}{3} n \overline{E}_k = \frac{1}{3} m_0 n v_{\text{ср.кв.}}^2}$$

Макроскопические

параметры

Уравнение состояния идеального газа:

$$\boxed{p = nkT}$$

$$p = nkT = \frac{N}{V}kT = \frac{\nu N_A}{V}kT$$

$$pV = \nu(N_A k)T = \nu RT$$

$$\boxed{pV = \nu RT}, \text{ где } R = N_A k$$

Средняя квадратичная скорость молекул газа равна 1000 м/с . Чему будет равна средняя квадратичная скорость после увеличения давления и объема газа в $1,2$ раза?

Какова полная кинетическая энергия (в кДж) поступательного движения молекул газа, находящихся в баллоне емкостью 5 л при давлении 800 кПа ?

Газ находится в вертикальном цилиндре под поршнем массой 5 кг . Какой массы груз надо положить на поршень, чтобы он остался в прежнем положении, когда абсолютная температура газа будет увеличена вдвое? Атмосферное давление 100 кПа , площадь поршня $0,001 \text{ м}^2$. $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Закон Дальтона

Давление смеси химически невзаимодействующих элементов равно сумме парциальных давлений

$$P_{\text{смеси}} = \sum_i (p_1 + p_2 + \dots p_i)$$

Парциальное давление-давление, которое создавал бы один газ, если бы занимал весь объем смеси при той же температуре

7.54. Два баллона соединены между собой тонкой трубкой с краном. В первом баллоне находится газ массой 2 г под давлением 400 кПа, в другом — тот же газ массой 4 г под давлением 200 кПа. Какое давление (в кПа) установится в баллонах, если открыть кран? Температура газа в баллонах одинакова.

7.53. Горизонтальный сосуд длиной 85 см разделен на две части тонкой перегородкой, которая может двигаться без трения. В левой части сосуда находится водород, в правой — такая же масса кислорода. Найдите длину (в см) левой части сосуда. Молярная масса водорода 2 кг/кмоль, кислорода — 32 кг/кмоль. Температуры газов одинаковы.

7.64. В баллоне находится газ массой 2 кг при температуре 27°C и давлении 10^5 Па. Когда часть газа была выпущена, а оставшаяся часть нагрета до 62°C , давление возросло до $3 \cdot 10^5$ Па. Какова будет плотность оставшейся части газа и объем баллона 1 м^3 ?

7.40. Два сосуда соединены тонкой трубкой с краном. Один из сосудов объемом 3 л заполнен газом при давлении 10 кПа, в другом сосуде объемом 6 л давление пренебрежимо мало. Температура газа в первом сосуде 27°C . Какое давление (в кПа) установится в сосудах, если открыть кран, а температуру газа повысить до 177°C ?

7.46. Во сколько раз уменьшится радиус тонкого резинового шара, заполненного воздухом, если его опустить в воду на глубину 65,2 м? Давление у поверхности воды 100 кПа. Температура воды у поверхности 27°C , а на глубине 10 м/с^2 .

Сферическая оболочка аэростата сделана из материала, квадрат которого имеет массу 900 г. Шар наполнен водородом при температуре 300 К, равными температуре и давлению окружающего воздуха. Какого минимального радиуса (в см) шар поднимет сам себя? Универсальная газовая постоянная $8300 \text{ Дж}/(\text{кмоль}\cdot\text{К})$. Молярная масса воздуха $29 \text{ кг}/\text{кмоль}$.

В цилиндре под невесомым поршнем находится 50 моль газа, занимающего объем 1 м^3 , а температура 500 К . С какой силой надо действовать на поршень перпендикулярно к его поверхности, чтобы он оставался неподвижным? Атмосферное давление 100 кПа , площадь поршня $0,002 \text{ м}^2$, универсальная газовая постоянная $8300 \text{ Дж}/(\text{кмоль}\cdot\text{К})$.

Воздух находится в вертикальном цилиндре под поршнем массой $0,2 \text{ кг}$ и сечением 20 см^2 . После того, как цилиндр стали перемещать вертикально вверх с ускорением 5 м/с^2 , высота столба воздуха в цилиндре уменьшилась на 20% . Считая температуру постоянной, найдите атмосферное давление (в кПа). $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Фазовые превращения.

Удельная теплоемкость вещества c – количество теплоты, которое надо сообщить телу массой 1 кг, чтобы изменить его температуру на 1 градус

$$\boxed{c = \frac{Q}{m\Delta t}} \Rightarrow \boxed{Q = cm\Delta t}$$

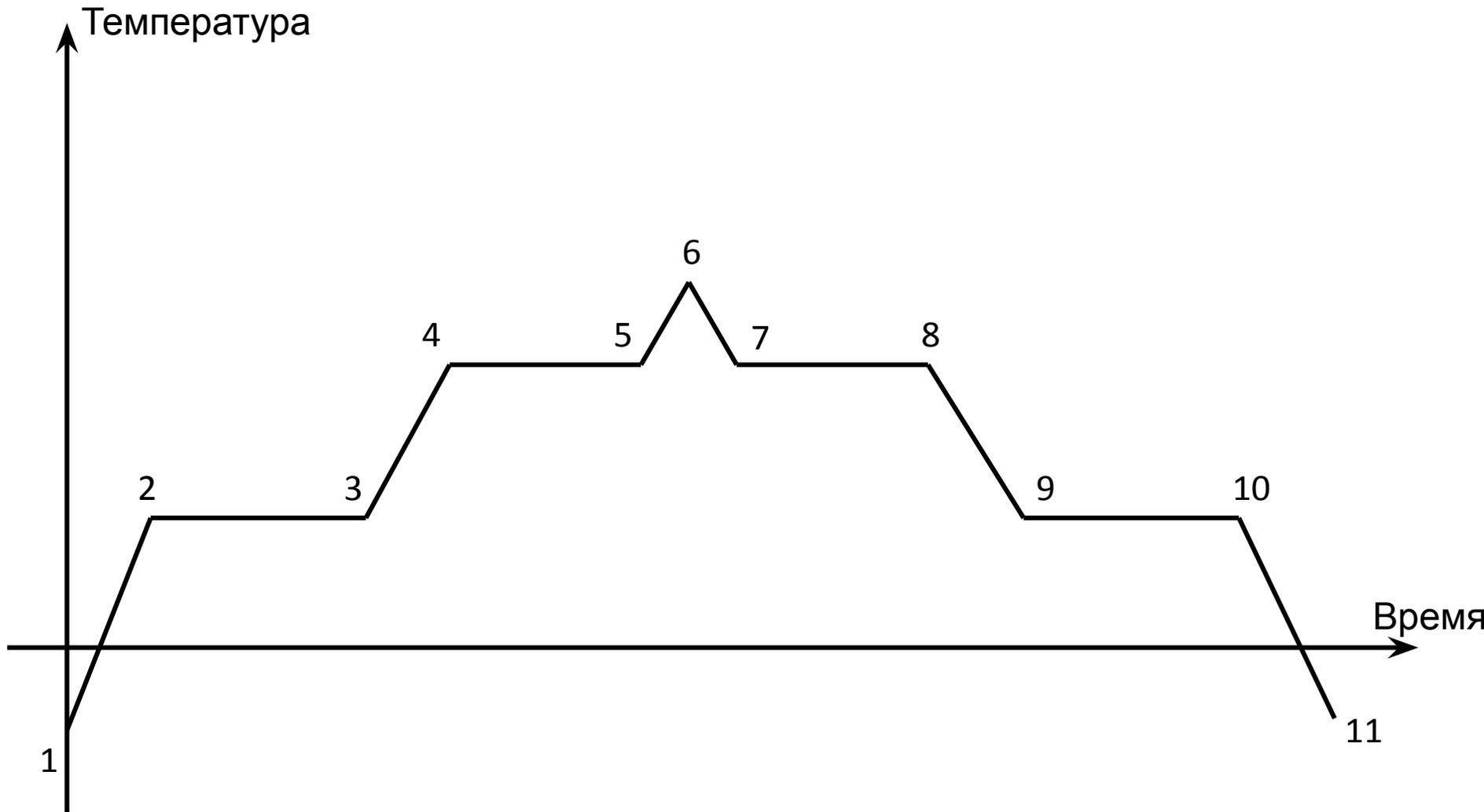
Теплоемкость вещества C – произведение массы тела на удельную теплоемкость вещества, из которого оно изготовлено.

$$\boxed{C = cm} \Rightarrow \boxed{Q = C\Delta t}$$

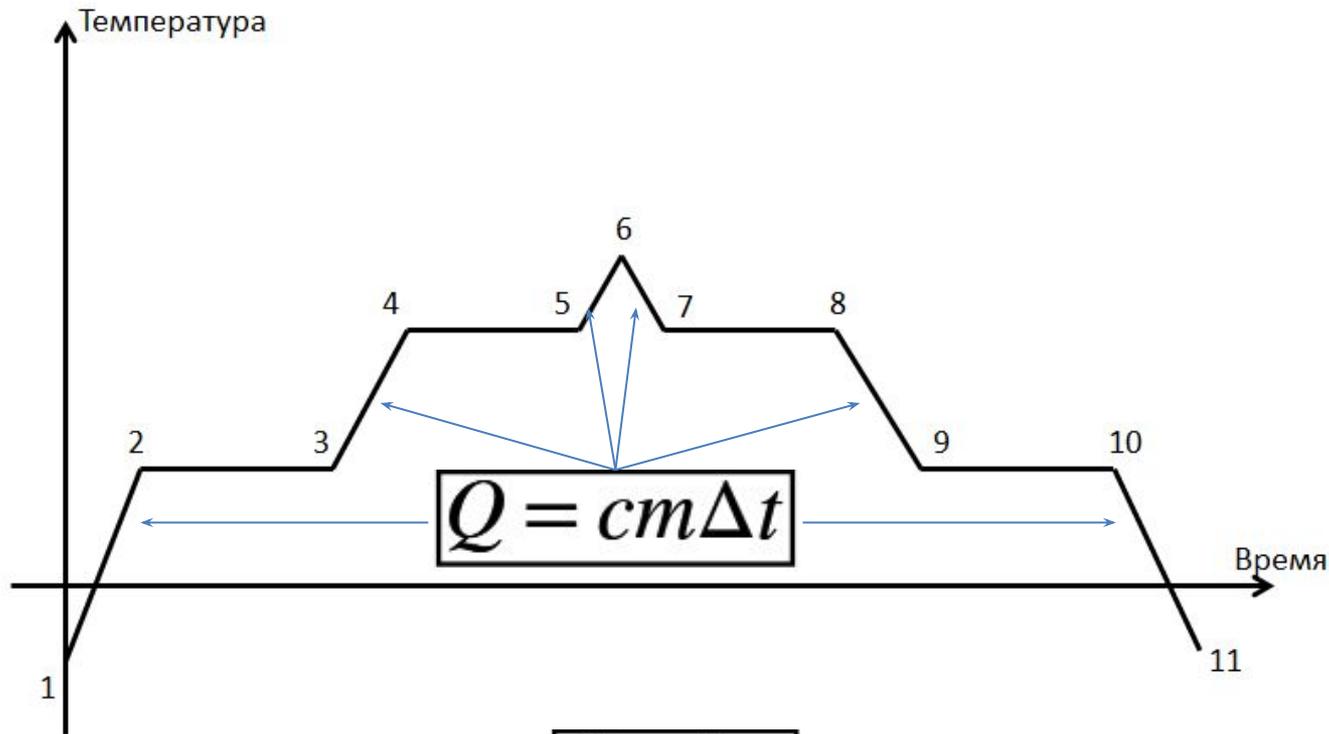
Количество теплоты, отданное источником:

$$\boxed{Q = P\tau}$$

Фазовые превращения.



Фазовые превращения.



2-3 (9-10) – плавление
(кристаллизация)

$$Q = \lambda m, \text{ где}$$

λ – удельная теплота плавления

4-5 (7-8) –
парообразование
(конденсация)

$$Q = rm, \text{ где}$$

r – удельная теплота
парообразования

Фазовые превращения.

Количество теплоты, выделяющееся при сгорании топлива :

$$Q = mq$$

где q – теплота сгорания топлива

Фазовые превращения.

Уравнение теплового баланса:

В замкнутой системе тел алгебраическая сумма количеств теплоты, отданных и полученных всеми телами, участвующими в теплообмене, равна нулю

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0$$

Фазовые превращения.

8.13. Для нагревания воды, взятой при температуре 20°C , и обращения ее в пар израсходовано 2596 кДж энергии. Определите массу воды. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг·К), удельная теплота парообразования воды $2,26$ МДж/кг.

8.14. Для расплавления одной тонны стали используется электропечь мощностью 100 кВт. Сколько минут продолжается плавка, если слиток до начала плавления надо нагреть на 1500 К? Удельная теплоемкость стали 460 Дж/(кг·К), удельная теплота плавления стали 210 кДж/кг.

8.16. Для работы паровой машины расходуется 210 кг угля за 1 час. Охлаждение машины осуществляется водой, которая на входе имеет температуру 17°C , а на выходе 27°C . Определите расход воды (в кг) за 1 с, если на ее нагревание идет 24% общего количества теплоты. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг·К), удельная теплота сгорания угля 30 МДж/кг.

Фазовые превращения.

8.22. Пластилиновый шар бросают со скоростью 10 м/с под углом 45° к горизонту по направлению к вертикальной стене, находящейся на расстоянии 8 м от точки бросания (по горизонтали). На сколько градусов (в мК) нагреется шар, если он прилипнет к стене? Считать, что вся кинетическая энергия шара пошла на его нагревание. Удельная теплоемкость пластилина $250 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$. $g = 10 \text{ м/с}^2$.

8.26. С какой скоростью должна лететь пуля, чтобы при ударе о стенку она расплавилась? Удельная теплоемкость материала пули $130 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$, удельная теплота плавления $22,25 \text{ кДж/кг}$, температура плавления 327°C . Температура пули до удара 152°C . Считать, что на нагревание пули пошла вся выделившаяся при ударе теплота.

8.24. Пуля, летевшая горизонтально со скоростью 500 м/с , пробивает насквозь доску на высоте 20 см от земли. При этом температура пули увеличилась на 200°C . Считая, что на нагревание пули пошла вся выделившаяся при ударе теплота, найдите, на каком расстоянии (по горизонтали) от места удара пуля упала на землю. Удельная теплоемкость материала пули $400 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$. $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Фазовые превращения.

8.35. Медное тело, нагретое до 100°C , опущено в воду, масса которой равна массе медного тела. Тепловое равновесие наступило при температуре 30°C . Определите начальную температуру (в $^{\circ}\text{C}$) воды. Удельная теплоемкость воды $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, меди $360 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

8.42. В сосуд, содержащий $4,6 \text{ кг}$ воды при 20°C , бросают кусок стали массой 10 кг , нагретый до 500°C . Вода нагревается до 100°C , и часть ее обращается в пар. Найдите массу (в г) образовавшегося пара. Удельная теплоемкость воды $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, удельная теплота парообразования воды $2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$, удельная теплоемкость стали $460 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

8.46. Смесь, состоящую из $2,51 \text{ кг}$ льда и $7,53 \text{ кг}$ воды при общей температуре 0°C , нужно нагреть до температуры 50°C , пропуская пар при температуре 100°C . Определите необходимое для этого количество (в г) пара. Удельная теплоемкость воды $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, удельная теплота парообразования воды $2,3 \text{ МДж}/\text{кг}$, удельная теплота плавления льда $330 \text{ кДж}/\text{кг}$.

Термодинамика.

Внутренняя энергия идеального одноатомного газа:

$$U = \frac{3}{2}\nu RT = \frac{3}{2}pV$$

Изменение внутренней энергии :

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$$

Термодинамика.

*Если газ не одноатомный:

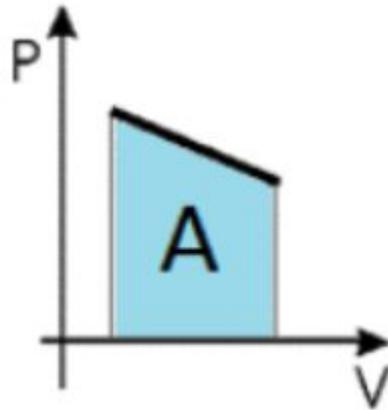
$U = \frac{i}{2} \nu RT$, где i – число степеней свободы молекул газа

(
Одноатомный: $i = 3$
Двухатомный: $i = 5$
Многоатомный: $i = 6$)

Термодинамика.

Работа идеального газа:

1. В общем случае: площадь фигуры под графиком в координатах p - V



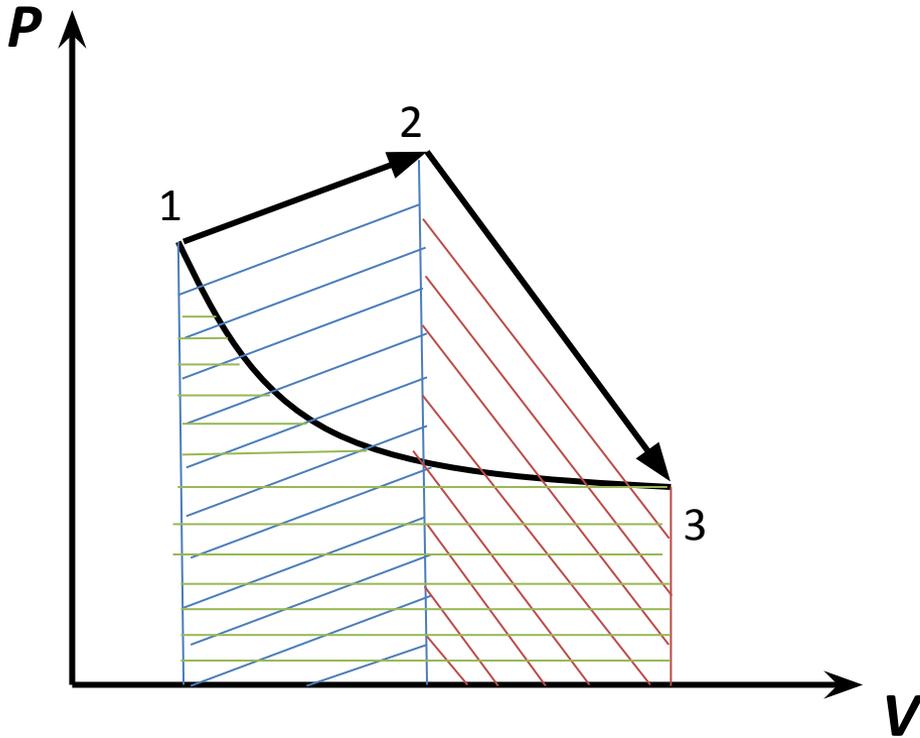
2. При изобарном процессе ($p = \text{const}$):

$$A_{\Gamma} = p \Delta V$$

Термодинамика.

Работа идеального газа:

3. В замкнутом процессе:



Термодинамика.

Первый закон термодинамики :

Количество теплоты, сообщаемое газу, идет на совершение газом работы и изменение его внутренней энергии

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

Термодинамика.

Изобарный процесс ($p=const$):

$$A_{\Gamma} = p\Delta V = \nu R\Delta T$$
$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$$
$$\Rightarrow Q = \frac{5}{2}p\Delta V = \frac{5}{2}\nu R\Delta T$$

Изохорный процесс ($V=const$):

$$A_{\Gamma} = 0$$
$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$$
$$\Rightarrow Q = \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{3}{2}V\Delta p$$

Изотермический процесс ($T=const$):

$$A_{\Gamma} = S_{\text{под графиком}}$$
$$\Delta U = 0$$
$$\Rightarrow Q = A_{\Gamma} = S_{\text{под графиком}}$$

Термодинамика.

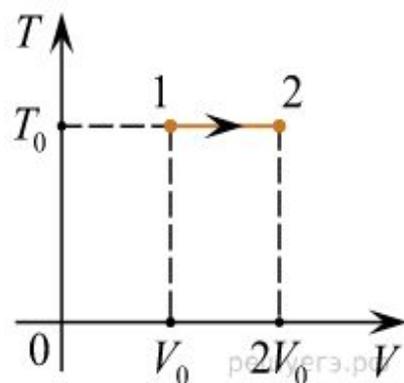
Адиабатический процесс ($Q=0$):

$$A_{\Gamma} = -\Delta U$$

$$A_{\Gamma} = -\frac{3}{2}\nu R\Delta T = -\frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$$

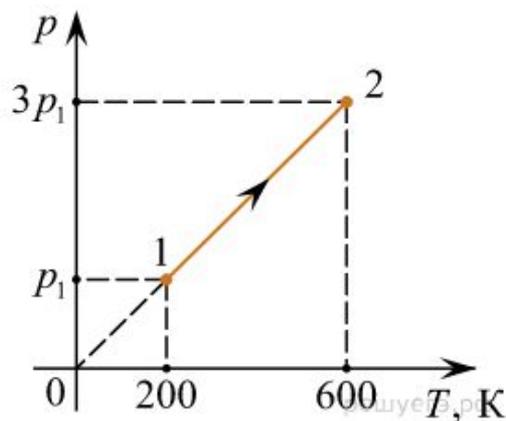
Задание 9 № 9309

На TV -диаграмме показан процесс изменения состояния идеального одноатомного газа. Газ получил количество теплоты, равное 50 кДж. Какую работу совершил газ в этом процессе, если его масса не меняется? (Ответ дайте в кДж.)



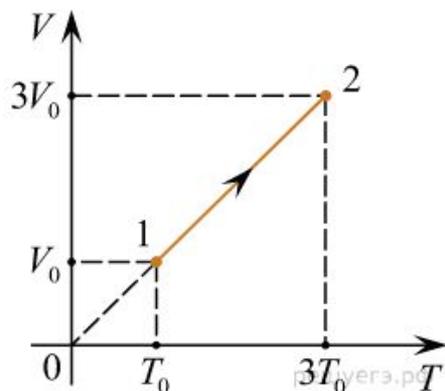
Задание 9 № 9502

Два моля идеального одноатомного газа совершают процесс, график которого изображён на рисунке. Определите, какое количество теплоты было передано газу в этом процессе. Ответ выразите в кДж и округлите до целого числа.



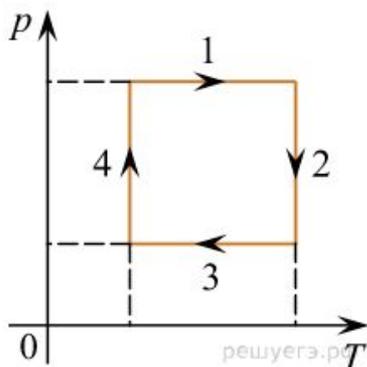
Задание 9 № 9736

Один моль одноатомного идеального газа участвует в процессе 1 — 2, график которого изображён на VT -диаграмме. Определите для этого процесса отношение изменения внутренней энергии газа к величине сообщённого газу количества теплоты.



Задание 9 № 10467

На рисунке показан циклический процесс изменения состояния постоянной массы одноатомного идеального газа. На каком участке работа внешних сил над газом положительна и равна отданному газом количеству теплоты?



12 № 4539

В цилиндрическом сосуде под поршнем находится газ. Поршень может перемещаться в сосуде без трения. На дне сосуда лежит стальной шарик (см. рисунок). Из сосуда выпускается половина газа при той же температуре. Как изменится в результате этого объём газа, его давление и действующая на шарик Архимедова сила?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

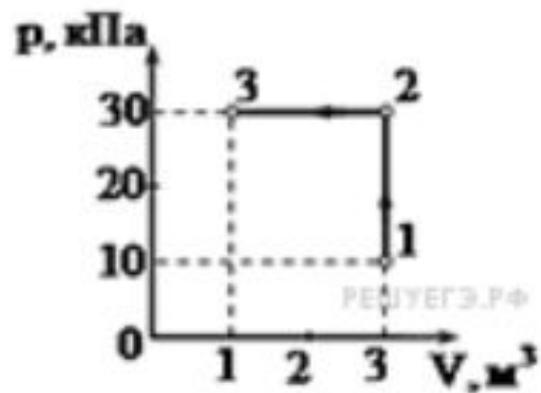
- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

| Объём газа | Давление газа | Архимедова сила |
|------------|---------------|-----------------|
| | | |

Задание 30 № 2971

На диаграмме представлены изменения давления и объема идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты было получено или отдано газом при переходе из состояния 1 в состояние 3?



8.81. В двух теплоизолированных сосудах, соединенных тонкой трубкой с краном, находится гелий в количествах 2 моль и 3 моль и при температурах 300 К и 400 К соответственно. Какой станет температура (в кельвинах) после открывания крана и установления теплового равновесия?