Решение задач на тему «Газовые законы»

Сосуд объемом 12 м3, содержащий газ под давлением 400 кПа, соединяют с пустым сосудом объемом 3 м3. Найти конечное значение давления при изотермическом процессе.

Дано:

$V_0 = 12 м^3$

$p_0 = 400 кПа$

$V = 3 м^3$

$p_1 - ?$

$T = const$ (изотермический пр-с)

$p_0 V_0 = p_1 V_1$, где $V_1 = V_0 + V$

$p_0 V_0 = p_1 (V_0 + V) \Rightarrow$

$$p_1 = \frac{p_0 V_0}{V_0 + V} = \frac{400 \cdot 10^3 \cdot 12}{12 + 3} = 320000 Па$$

$$= \underline{\underline{0{,}32 МПа}}$$

Объем некоторой массы газа при изобарном нагревании на 10 К увеличился на 0,025 от своего первоначального объема. Определить первоначальную температуру газа.

Дано:
$P = const$
$\Delta T = 10K$
$\Delta V = 0{,}025 V_0$

$T_0 - ?$

$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1}$, т.к. газ нагревается =>

$V_1 = V_0 + \Delta V = V_0 + 0{,}025 V_0 = 1{,}025 V_0$

$T_1 = T_0 + \Delta T$

$\frac{\cancel{V_0}}{T_0} = \frac{1{,}025 \cancel{V_0}}{T_0 + \Delta T}$ => $1{,}025 T_0 = T_0 + \Delta T$

$0{,}025 T_0 = \Delta T$ => $T_0 = \frac{\Delta T}{0{,}025} = \frac{10}{0{,}025} = \underline{\underline{400 K = 127°C}}$

Газ сжат изотермически от 8 до 6 л. Давление при этом возросло на 4 кПа. Каким было первоначальное давление?

Дано:

$V_0 = 8\,л = 8 \cdot 10^{-3}\,м^3$

$V_1 = 6\,л = 6 \cdot 10^{-3}\,м^3$

$\Delta p = 4\,кПа$

$p_0 - ?$

$T = const$ Закон Бойля-Мариотта

$p_0 V_0 = p_1 V_1$, давление ↑ =>

$p_1 = p_0 + \Delta p$

$p_0 V_0 = (p_0 + \Delta p) V_1$

$p_0 V_0 = p_0 V_1 + \Delta p V_1$ =>

$$p_0 = \frac{\Delta p V_1}{V_0 - V_1}$$

$$p_0 = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^{-3}} = 12\,000\,Па = 12\,кПа$$

Газ занимает объем 8 л при температуре 300 К. Определите массу газа, если после изобарического нагревания его до температуры 900 К его плотность равна 0,6 кг/м3.

Дано:

$V_0 = 8л = 8 \cdot 10^{-3} м^3$

$T_0 = 300K$

$T_1 = 900K$

$\rho_1 = 0{,}6 кг/м^3$

$m - ?$

$P = const$

$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1}$; $V_1 = \frac{m}{\rho_1} \Rightarrow \frac{V_0}{T_0} = \frac{m}{\rho_1 T_1} \Rightarrow$

$m = \frac{\rho_1 T_1 V_0}{T_0}$

$m = \frac{0{,}6 \cdot 900 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{300} = 0{,}0144 кг$

Баллон, наполненный воздухом при температуре 273 К и атмосферном давлении 100 кПа, закрыт клапаном, поверхность которого 10 см2, а вес 20 Н. До какой температуры следует нагреть воздух в баллоне, чтобы он открыл клапан?

Дано:

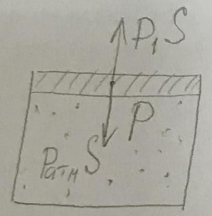
$T_0 = 273\,K$

$P_{атм} = 100\,кПа$

$S = 10\,см^2$

$P = 20\,Н$

$t_1 - ?$



Пока поршень не сдвинулся, процесс можно считать $V = const$

$$\frac{P_{атм}}{T_0} = \frac{P_1}{T_1} \Rightarrow T_1 = \frac{P_1 T_0}{P_{атм}} \Rightarrow$$

$$t_1 = \frac{P_1 T_0}{P_{атм}} - 273$$

Согласно I З.Н. $\sum \vec{F} = 0$.

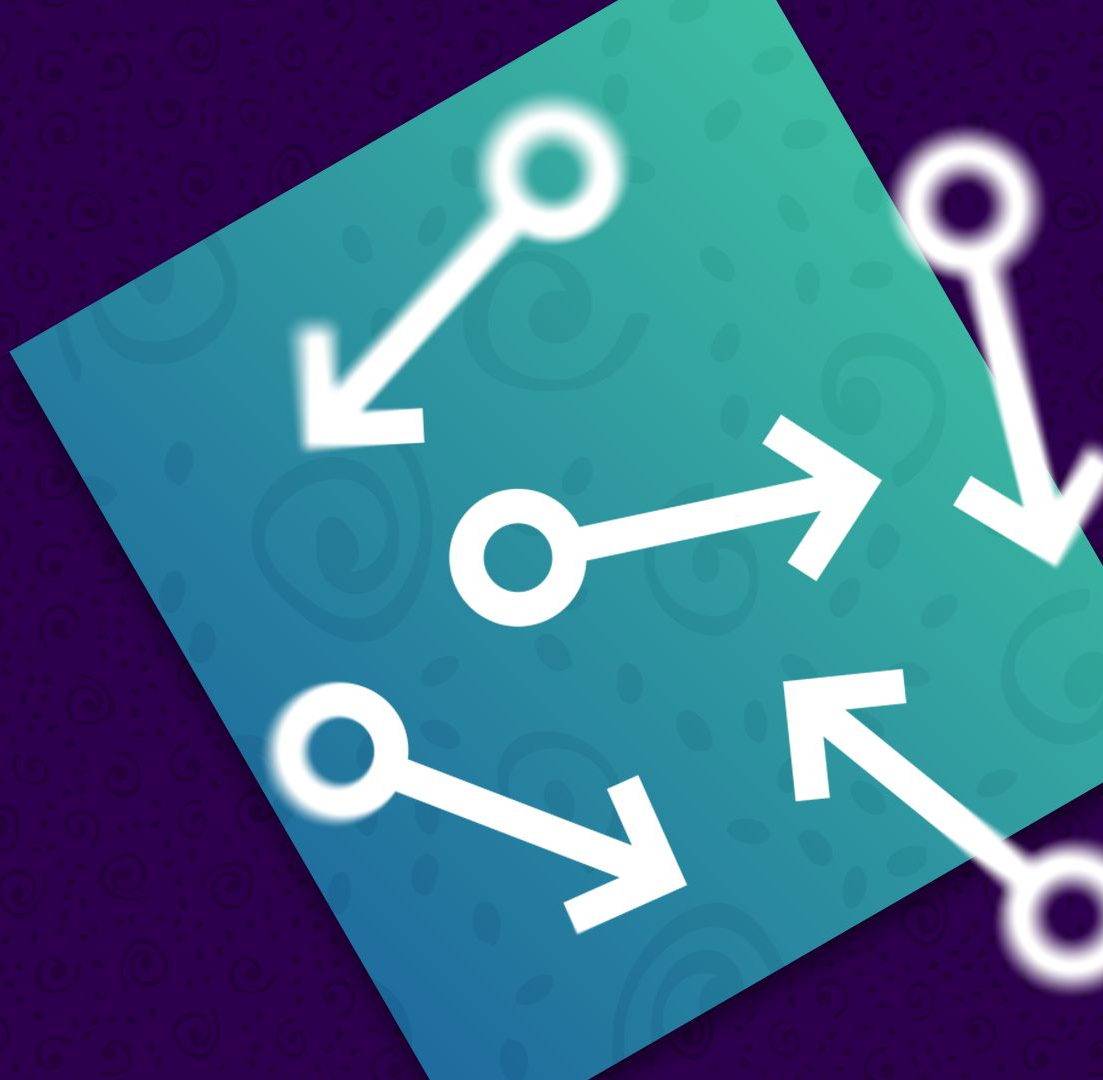
$$P_1 S = P_{атм} S + P$$

$$P_1 = P_{атм} + \frac{P}{S} \Rightarrow t_1 = \left(P_{атм} + \frac{P}{S}\right)\frac{T_0}{P_{атм}} - 273 =$$

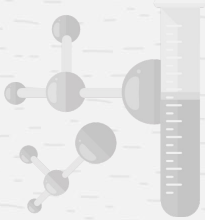
$$= \left(100 \cdot 10^3 + \frac{20}{10 \cdot 10^{-4}}\right)\frac{273}{100 \cdot 10^3} - 273 = 54{,}6\,°C$$

Внутренняя энергия

Молекулярная физика.
Тепловые явления



Сегодня на уроке



1

Узнаем, что называют термодинамической системой.

3

Выясним, от чего зависит изменение внутренней энергии тела при переходе из одного состояния в другое.

2

Вспомним, что такое внутренняя энергия тела и какими способами её можно изменить.

4

Узнаем, как рассчитать внутреннюю энергию идеального одноатомного газа.

Основные положения МКТ

Молекулярно-кинетическая теория строения вещества (МКТ) — теория, которая объясняет строение и свойства тел движением и взаимодействием частиц, из которых состоят тела.

Михаил Ломоносов

1711—1765

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории

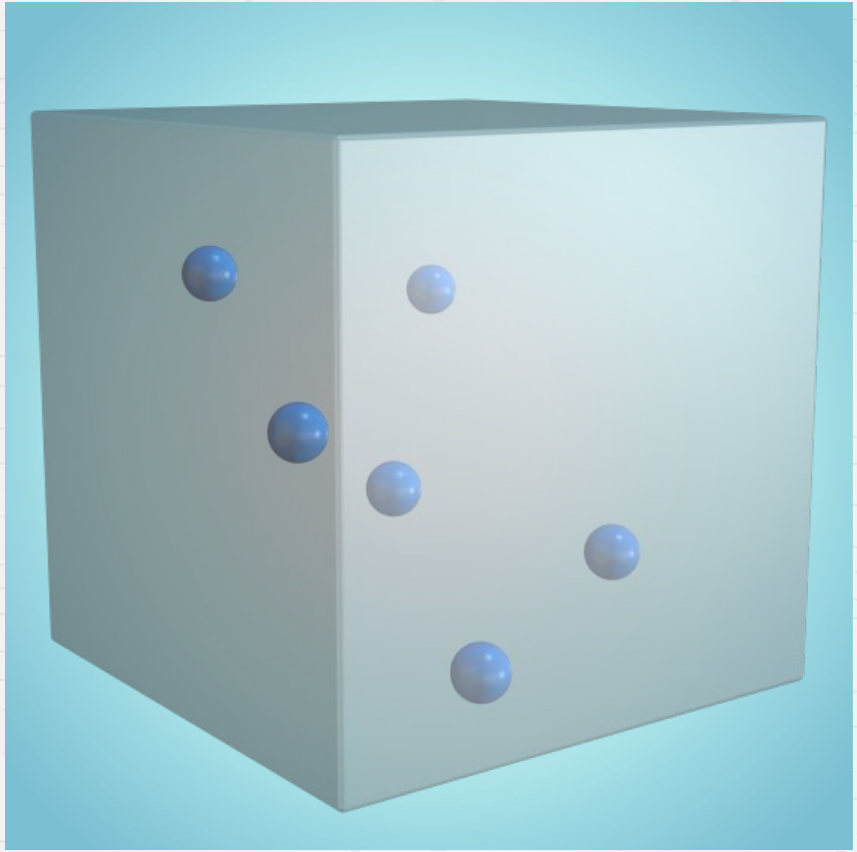
Основное уравнение МКТ устанавливает связь между давлением идеального газа и микроскопическими параметрами молекул (массой, скоростью и т. д.).

Рудольф Клаузиус
1822—1888

Идеальный газ. Основное уравнение МКТ

Давление газа —
это средняя сила ударов его молекул о стенки сосуда,
отнесённая к единице площади.

$$p = nkT$$



Энергия теплового движения молекул

Абсолютная температура является мерой средней кинетической энергии поступательного движения молекул.

$$\overline{E_к} = \frac{3}{2}kT$$

Людвиг Больцман

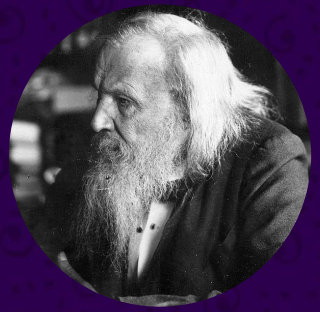
1844—1906

Уравнение состояния идеального газа

Уравнение, связывающее температуру, давление и объём идеального газа в состоянии теплового равновесия, называют уравнением состояния идеального газа.

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

Бенуа Клапейрон
1799—1864



Дмитрий Менделеев
1834—1907

Идеальный газ. Основное уравнение МКТ

Идеальный газ —
это модель газа, удовлетворяющая следующим условиям:

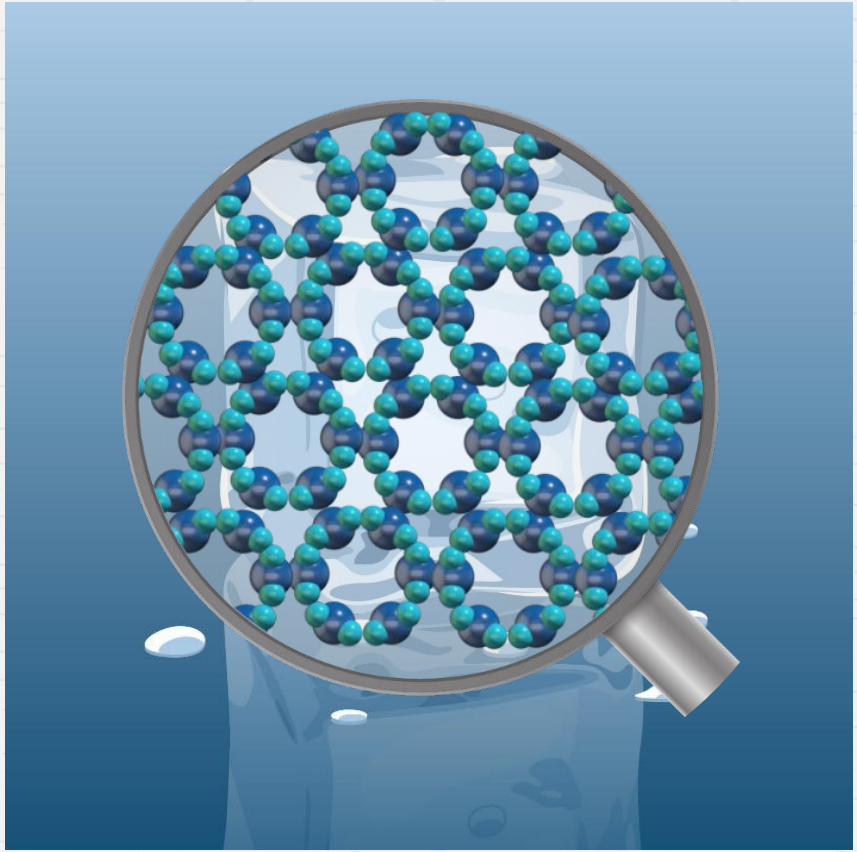
1) молекулы газа можно считать МТ, которые хаотически движутся;

2) силы взаимодействия между молекулами идеального газа практически отсутствуют;

3) при столкновениях молекулы идеального газа ведут себя как абсолютно упругие шарики.

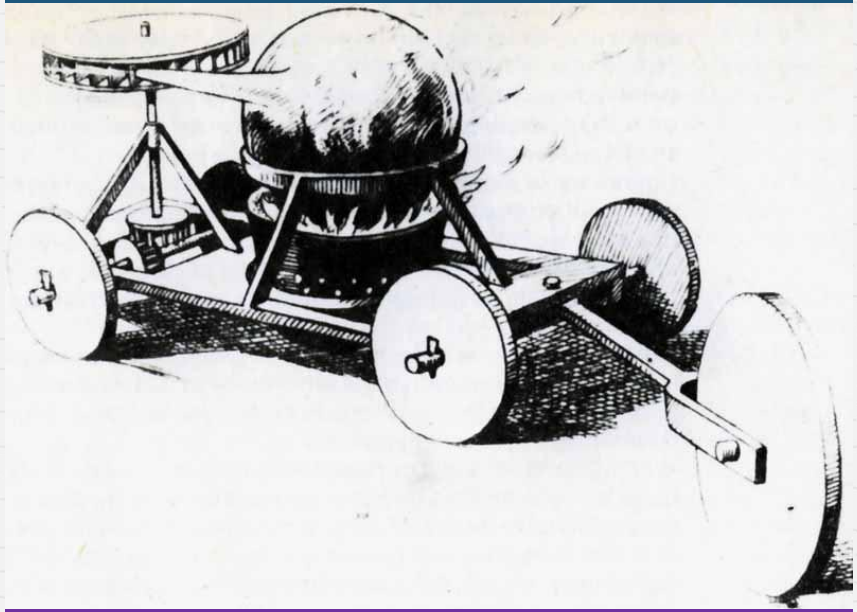
Идеальный газ. Основное уравнение МКТ

Твёрдое тело —
это агрегатное состояние вещества, отличающееся стабильностью формы и характером теплового движения атомов, совершающих малые колебания около положений равновесия.

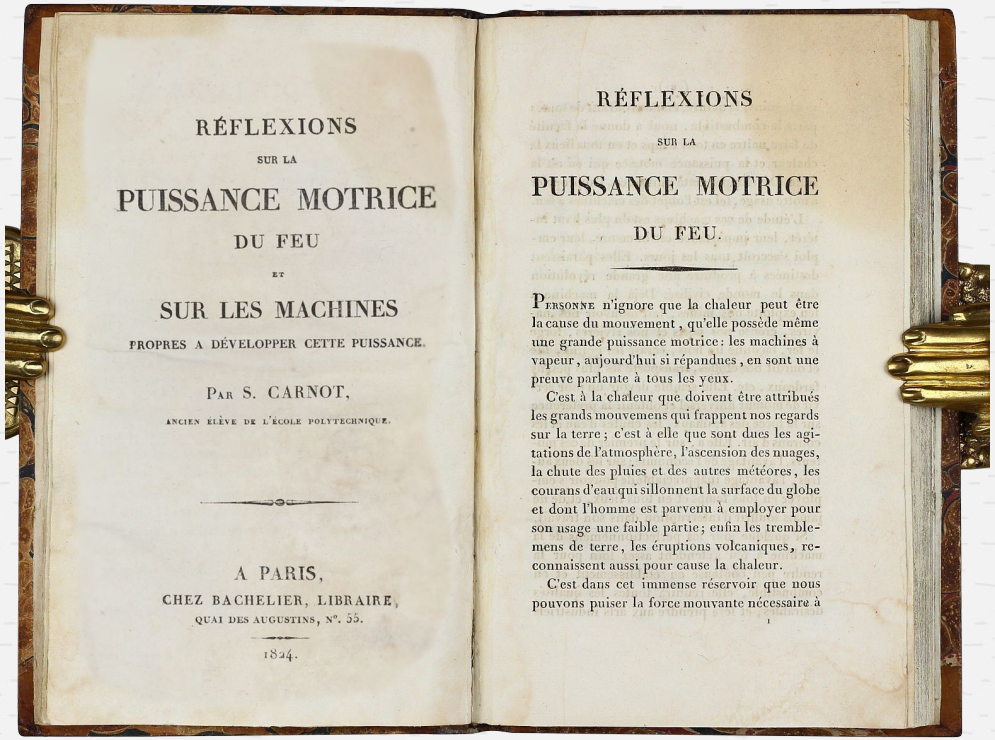


Термодинамика. Внутренняя энергия

Термодинамика —
раздел молекулярной физики, который пытается установить соответствия между макропараметрами, абсолютно не интересуясь, как устроена система.



Возможно, первый игрушечный автомобиль Вербста на паровом ходу. 1672—1674



RÉFLEXIONS

SUR LA

PUISSANCE MOTRICE

DU FEU

ET

SUR LES MACHINES

PROPRES A DÉVELOPPER CETTE PUISSANCE.

PAR S. CARNOT,

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE.

A PARIS,

CHEZ BACHELIER, LIBRAIRE,

QUAI DES AUGUSTINS, N°. 55.

1824.

RÉFLEXIONS

SUR LA

PUISSANCE MOTRICE

DU FEU.

PERSONNE n'ignore que la chaleur peut être la cause du mouvement, qu'elle possède même une grande puissance motrice: les machines à vapeur, aujourd'hui si répandues, en sont une preuve parlante à tous les yeux.

C'est à la chaleur que doivent être attribués les grands mouvemens qui frappent nos regards sur la terre; c'est à elle que sont dues les agitations de l'atmosphère, l'ascension des nuages, la chute des pluies et des autres météores, les courans d'eau qui sillonnent la surface du globe et dont l'homme est parvenu à employer pour son usage une faible partie; enfin les tremblemens de terre, les éruptions volcaniques, reconnaissent aussi pour cause la chaleur.

C'est dans cet immense réservoir que nous pouvons puiser la force mouvante nécessaire à

Сади Карно

1796—1832

Первый закон термодинамики

Количество теплоты, сообщённое системе, идёт на изменение её внутренней энергии и на совершение работы системой против внешних сил.

$$Q = \Delta U + A$$

Юлиус Майер
1814—1878

Джеймс Джоуль
1818—1889

Закон сохранения энергии

Величина полной энергии замкнутой системы остаётся постоянной. При этом энергия не создаётся и не уничтожается, она лишь переходит из одной формы в другую.

Герман Гельмгольц
1821—1894

Термодинамика. Внутренняя энергия

Выводы термодинамики основаны на фундаментальных законах, называемых началами термодинамики.

Сади Карно
1796—1832

Термодинамика. Внутренняя энергия

Выводы термодинамики основаны на фундаментальных законах, называемых началами термодинамики.

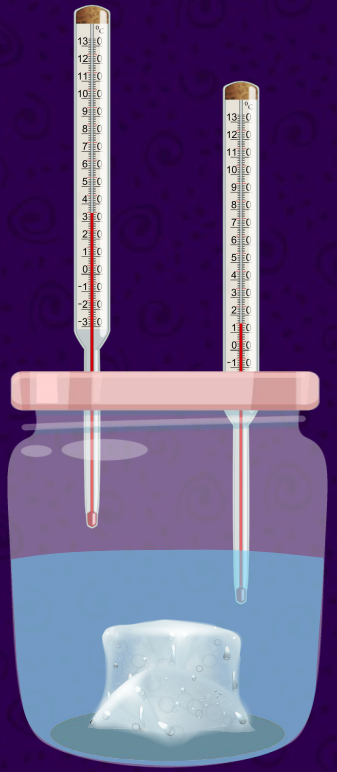
Термодинамика. Внутренняя энергия

Термодинамическая система — любое конечных размеров макротело или совокупность макротел.

Нулевое начало термодинамики

Для каждой изолированной термодинамической системы существует состояние термодинамического равновесия, в которое она переходит самопроизвольно.

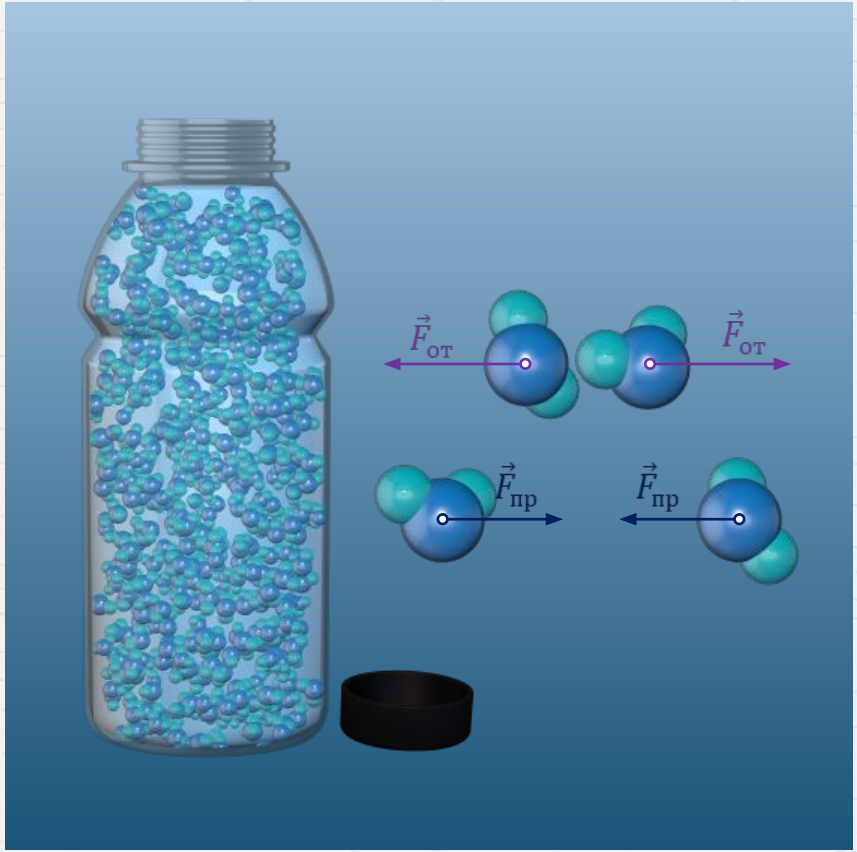
Татьяна Афанасьева
1876—1964



Термодинамика. Внутренняя энергия

Внутренняя энергия — сумма кинетической энергии хаотического теплового движения молекул и потенциальной энергии их взаимодействия.

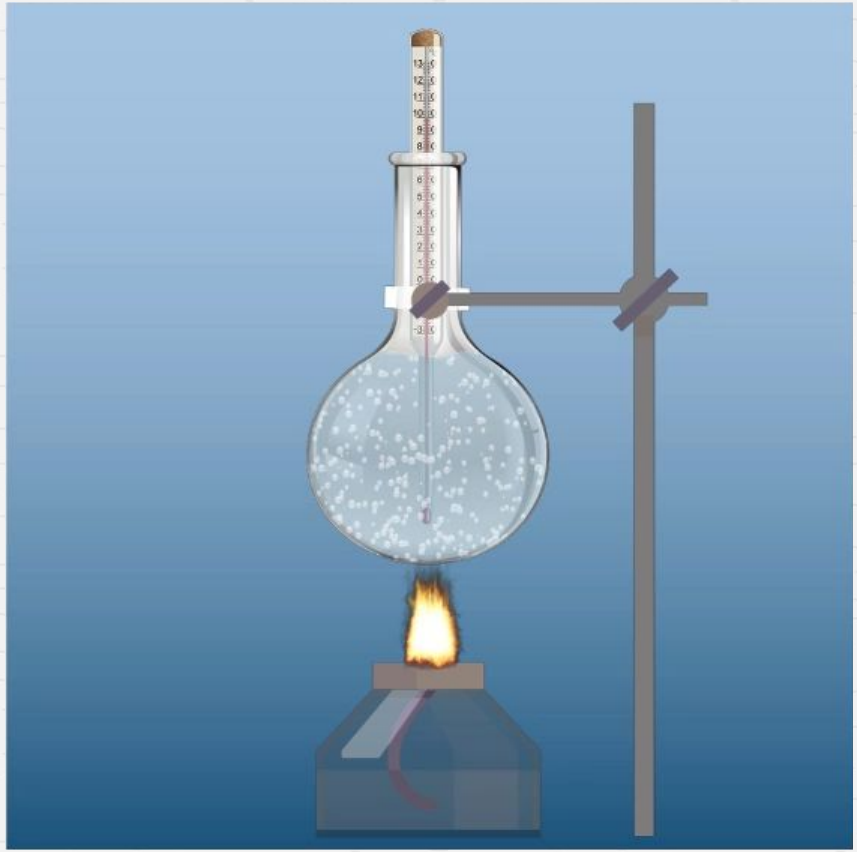
$$[U] = U[\text{Дж}]$$



Термодинамика. Внутренняя энергия

Внутренняя энергия зависит:

1) от температуры тела;



Термодинамика. Внутренняя энергия

Внутренняя энергия зависит:

1) от температуры тела;

2) агрегатного состояния вещества (при его неизменной массе);

Термодинамика. Внутренняя энергия

Внутренняя энергия зависит:

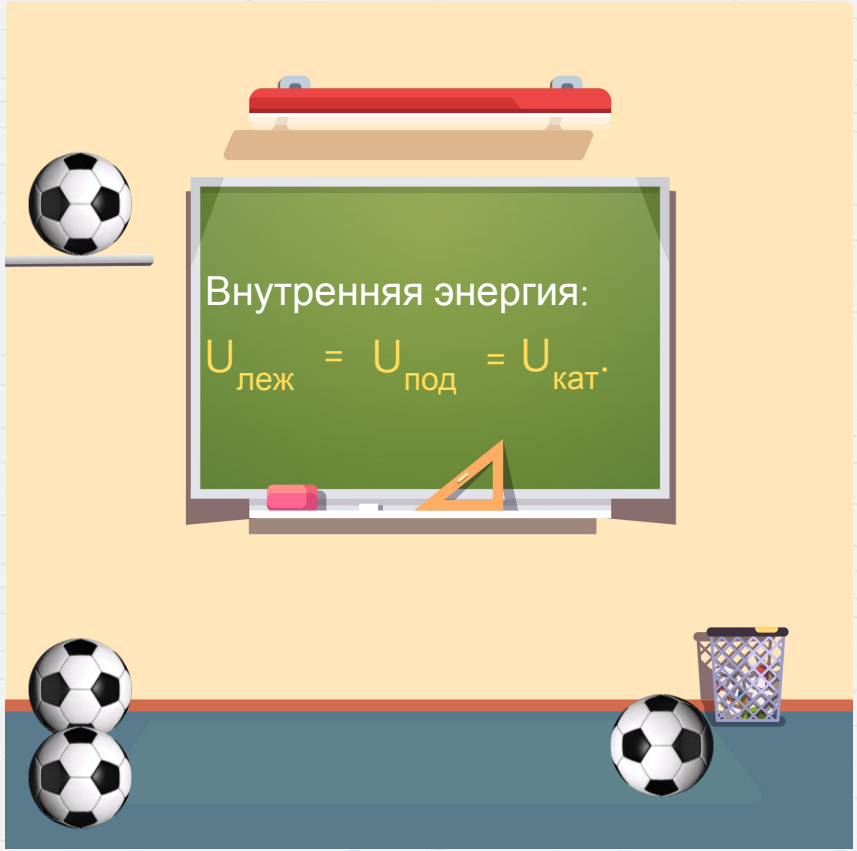
1) от температуры тела;

2) агрегатного состояния вещества (при его неизменной массе);

3) массы тела.

Термодинамика. Внутренняя энергия

Внутренняя энергия тела не зависит от его механического движения и от его взаимодействия с другими телами.



Термодинамика.
Внутренняя энергия

Одноатомный газ —
газ, состоящий из отдельных атомов (например, инертные газы).

Термодинамика. Внутренняя энергия

Внутренняя энергия идеального одноатомного газа:

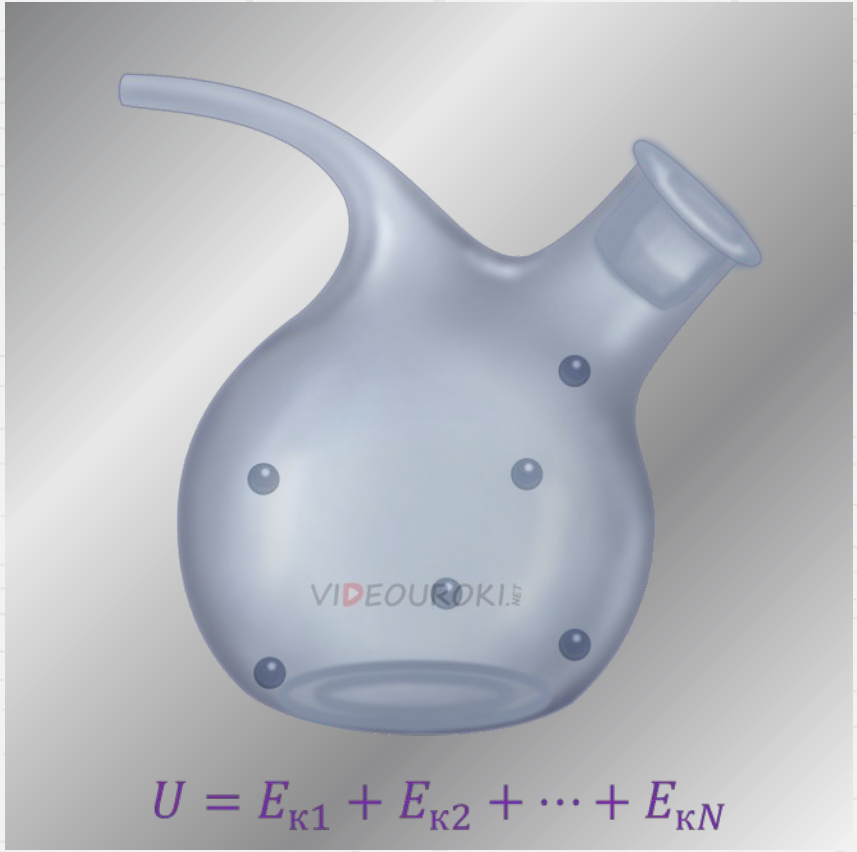
$$U = N\overline{E_к} = \frac{m}{M}N_A \cdot \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT.$$

Число молекул в порции газа:

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M} \Longrightarrow N = \frac{m}{M}N_A.$$

Средняя кинетическая энергия:

$$\overline{E_к} = \frac{3}{2}kT.$$



Внутренняя энергия идеального одноатомного газа

Внутренняя энергия идеального одноатомного газа прямо пропорциональна его абсолютной температуре и не зависит от других макроскопических параметров системы.

$$U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT$$

Рудольф Клаузиус
1822—1888

Задача 1. Какова внутренняя энергия неона массой 5 г, находящегося при температуре 27 °С?

$U = ?$ $\quad Ne \quad m = 5$ г $\quad t = 27$ °С

ДАНО

Ne
$m = 5$ г
$t = 27$ °С
$U = ?$

Задача 1. Какова внутренняя энергия неона массой 5 г, находящегося при температуре 27 °С?

ДАНО

Ne

$m = 5$ г

$t = 27$ °C

$U = ?$

РЕШЕНИЕ

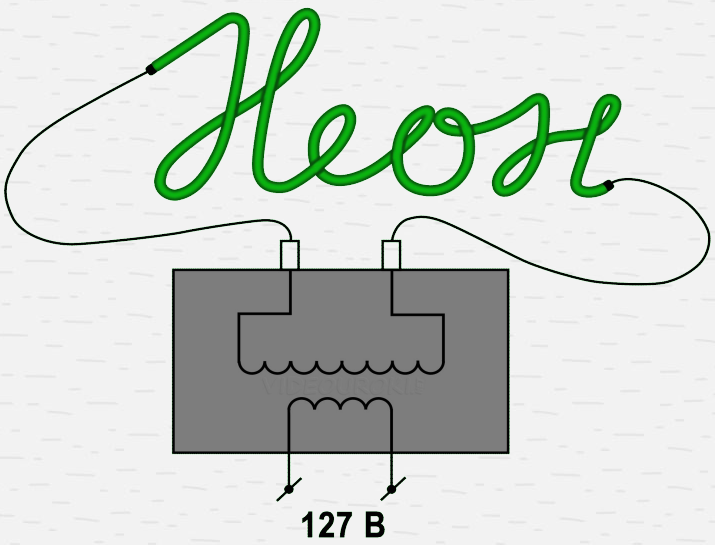
Внутренняя энергия газа: $U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT.$

Молярная масса неона: $M = 20\ \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$

Абсолютная температура: $T = t + 273.$

$$U = \frac{3}{2} \cdot \frac{5\ \text{г}}{20\ \frac{\text{г}}{\text{моль}}} \cdot 8{,}31\ \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (27 + 273)\ \text{К} =$$

$$= \frac{37\ 395\ \text{Дж}}{40} \cong 935\ \text{Дж}$$



ОТВЕТ: внутренняя энергия неона равна 935 Дж.

Термодинамика. Внутренняя энергия

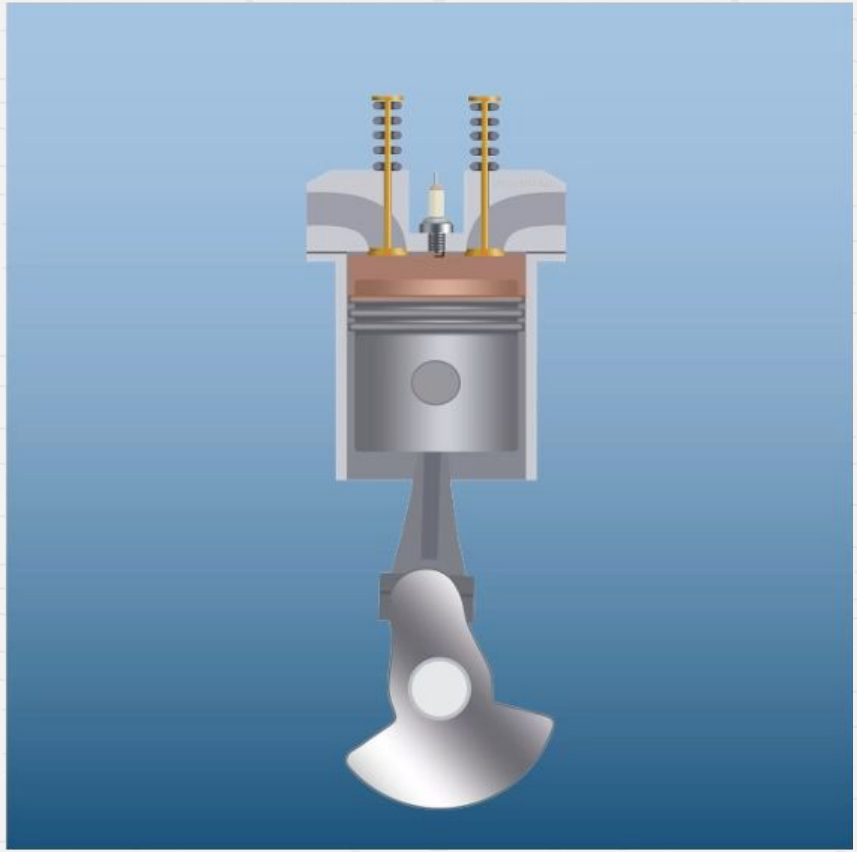
Внутренняя энергия — сумма кинетической энергии хаотического теплового движения молекул и потенциальной энергии их взаимодействия.

$$[U] = [\text{Дж}]$$

Термодинамика. Внутренняя энергия

Приращение (изменение) внутренней энергии —
это разность внутренних энергий системы в конечном и начальном состояниях.

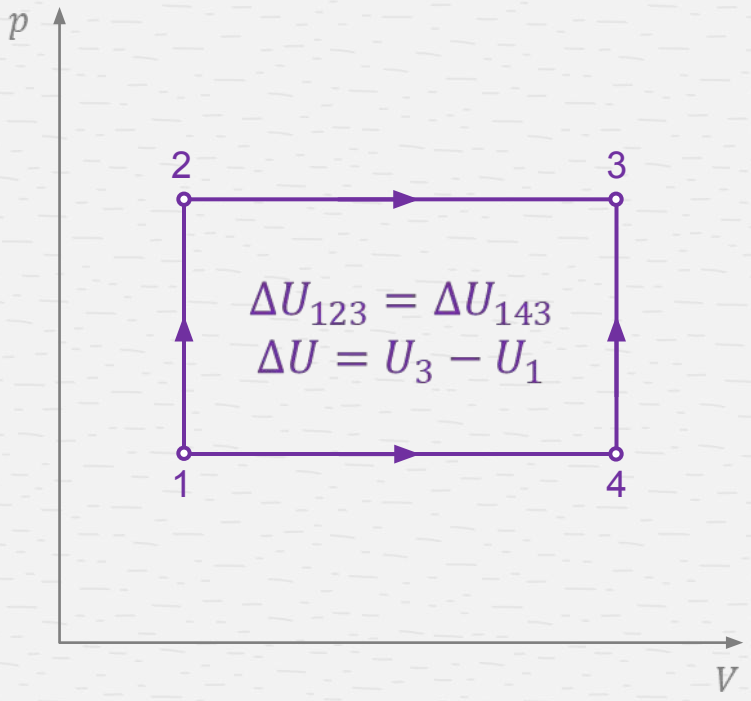
$$\Delta U = U_2 - U_1$$



Термодинамика.
Внутренняя энергия

Приращение (изменение) внутренней энергии —
это разность внутренних энергий системы в конечном и начальном состояниях.

$$\boxed{\Delta U = U_2 - U_1}$$



Внутренняя энергия идеального одноатомного газа

Изменение внутренней энергии при переходе термодинамической системы из одного состояния в другое зависит лишь от значений параметров этих состояний.

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

Рудольф Клаузиус
1822—1888

Задача 2. Определите приращение внутренней энергии газа, если его давление в конечном состоянии составляет 2 МПа, а объём в начальном состоянии был равен 3,0 л.

$\Delta U = ?$ $p = 2 \cdot 10^6$ Па $V_0 = 3 \cdot 10^{-3}$ м^3

ДАНО

$p_0 = 2 \cdot 10^6$ Па

$V_0 = 3 \cdot 10^{-3}$ м^3

$\Delta U = ?$

РЕШЕНИЕ

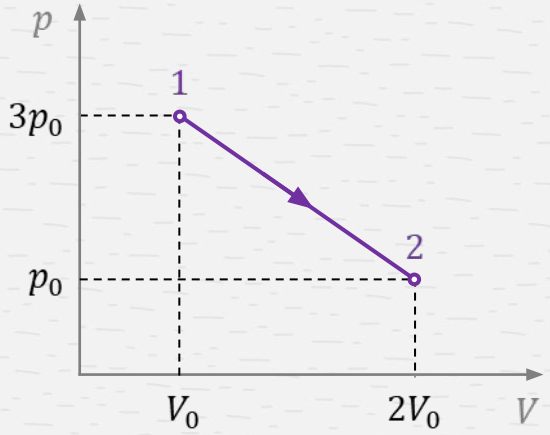
Приращение внутренней энергии: $\Delta U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}R\Delta T = -\frac{3}{2}p_0V_0.$

Уравнение состояния: $pV = \frac{m}{M}RT.$

Следовательно, $3p_0V_0 = \frac{m}{M}RT_1,\ 2p_0V_0 = \frac{m}{M}RT_2.$

$$2p_0V_0 - 3p_0V_0 = \frac{m}{M}RT_1 - \frac{m}{M}RT_2 \Longrightarrow -p_0V_0 = \frac{m}{M}R\Delta T$$

$$\Delta U = -1{,}5 \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = -9 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

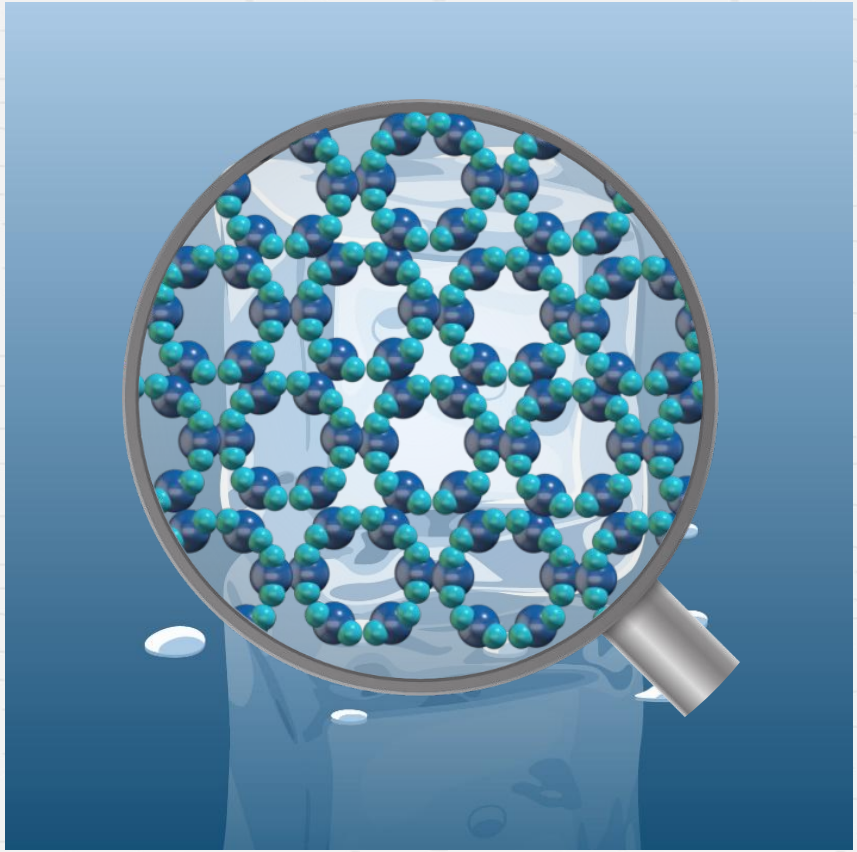


ОТВЕТ: в результате процесса внутренняя энергия газа уменьшилась на 9 кДж.

Термодинамика. Внутренняя энергия

Внутренняя энергия — сумма кинетической энергии хаотического теплового движения молекул и потенциальной энергии их взаимодействия.

$$U = E_к + E_п$$



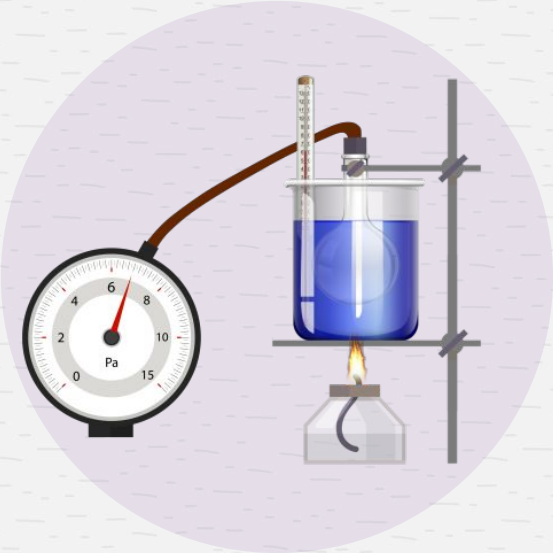
Внутренняя энергия макроскопических тел

Внутренняя энергия макроскопических тел зависит не только от абсолютной температуры, но и от объёма.

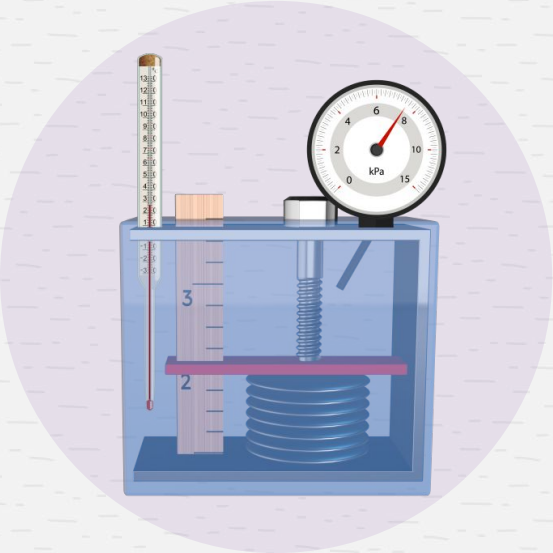
$$U = U(T, V)$$

Рудольф Клаузиус
1822—1888

Способы изменения внутренней энергии



Теплопередача



Совершение работы

Первое начало термодинамики

Изменение внутренней энергии термодинамической системы при переходе из одного состояния в другое равно работе внешних сил и количеству теплоты, переданному системе при теплообмене.

$$\Delta U = Q + A_{\text{вн}}$$

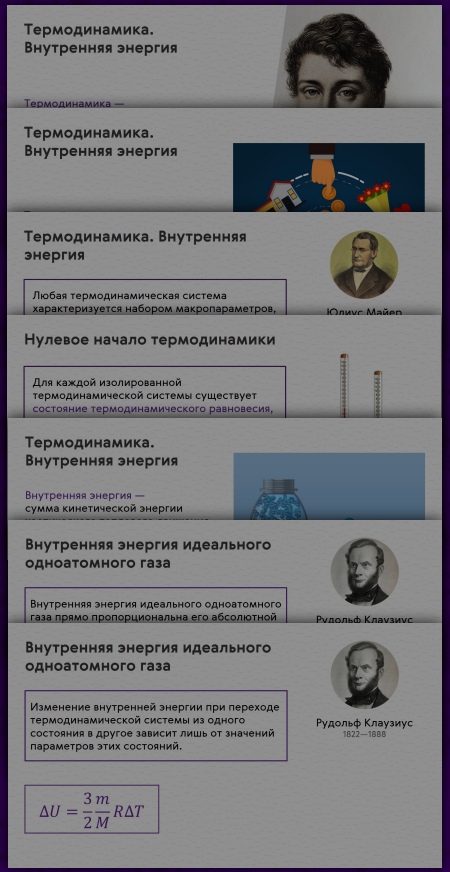
Юлиус Майер
1814—1878

Джеймс Джоуль
1818—1889

Выводы

Внутренняя энергия идеального одноатомного газа

Изменение внутренней энергии при переходе термодинамической системы из одного состояния в другое зависит лишь от значений параметров этих состояний.

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

Рудольф Клаузиус
1822—1888