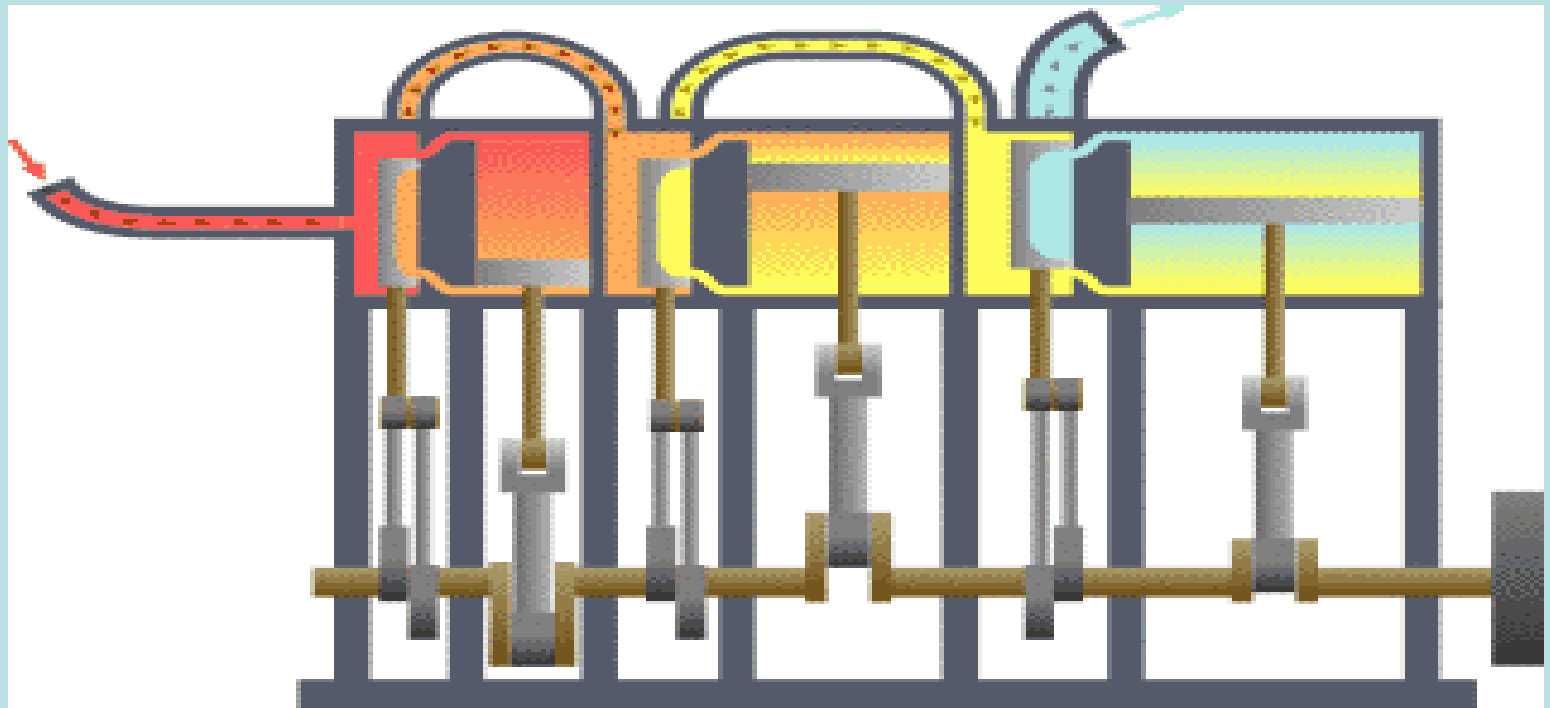


Лекція №. 3

ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ. ПЕРШЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМІКИ

1. Тепло та робота.
2. Внутрішня енергія системи як функція стану.
3. Перше начало термодинаміки.
4. Термодинамічні діаграми.
5. Ізопроцеси в газах.
6. Адіабатний процес.
7. Теплоємність газів.

Термодинаміка – розділ фізики, що вивчає загальні властивості макроскопічних систем, що знаходяться в стані термодинамічної рівноваги, і процеси переходу між цими станами.

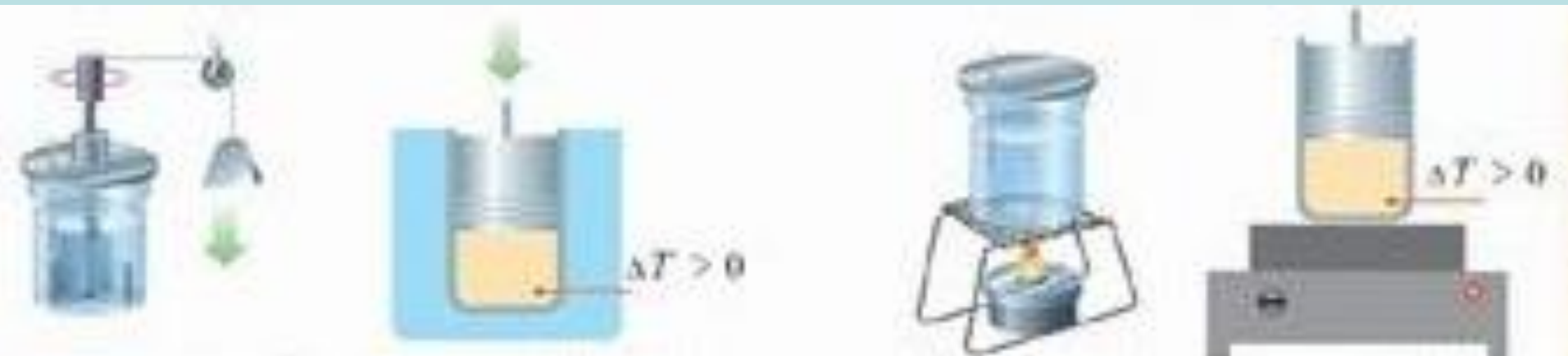


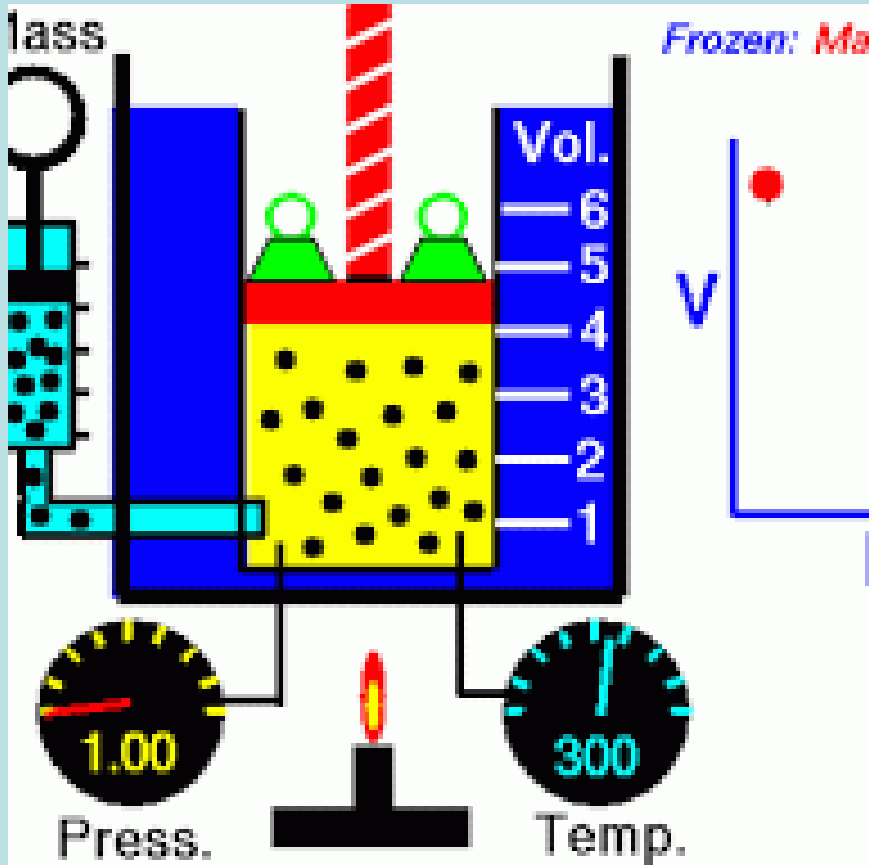
Засновники термодинаміки

<u>École Polytechnique</u>	<u>Glasgow school</u>	<u>Berlin school</u>	<u>Edinburgh school</u>
			
<u>Sadi Carnot</u> (1796-1832)	<u>William Thomson</u> (1824-1907)	<u>Rudolf Clausius</u> (1822-1888)	<u>James Maxwell</u> (1831-1879)
<u>Vienna school</u>	<u>Gibbsian school</u>	<u>Dresden school</u>	<u>Dutch school</u>
			
<u>Ludwig Boltzmann</u> (1844-1906)	<u>Willard Gibbs</u> (1839-1903)	<u>Gustav Zeuner</u> (1828-1907)	<u>Johannes van der Waals</u> (1837-1923)

1. Тепло та робота

Термодинаміка розглядає системи, для яких механічна енергія не змінюється, а змінюється лише їх внутрішня енергія. Тобто беруться до уваги дві форми передавання енергії від одного тіла до іншого, а, отже, і зміни внутрішньої енергії системи – робота та тепло.





Перша з них зводиться до того, що енергія впорядкованого руху одного тіла переходить в енергію впорядкованого руху іншого тіла або його частин. Це може відбуватись під час взаємодії макроскопічних тіл, розміри яких у багато разів більші за розміри окремих атомів або молекул.

Таку форму передавання енергії називають *роботою*.

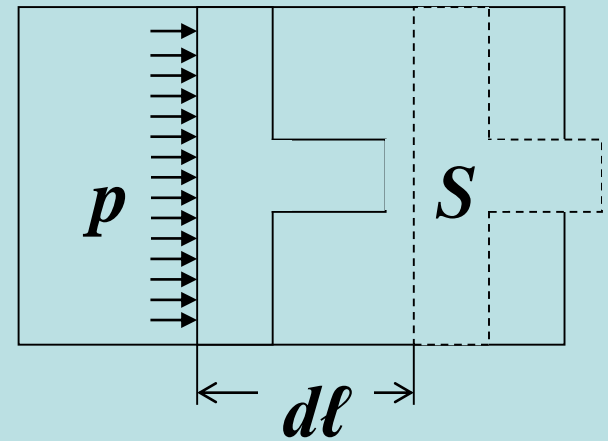
Наприклад, газ, що розширюється в циліндрі двигуна внутрішнього згоряння, переміщує при цьому поршень і передає йому енергію у формі роботи.



Робота – форма передачі енергії під час взаємодії макроскопічних тіл, розміри яких у багато разів більші за розміри окремих атомів або молекул, при цьому енергія впорядкованого руху одного тіла переходить в енергію впорядкованого руху іншого тіла або його частин.

Якщо під дією сили тиску поршень переміститься на відстань $d\ell$, то робота, яку виконує газ, що знаходиться під поршнем при тиску p буде визначена як:

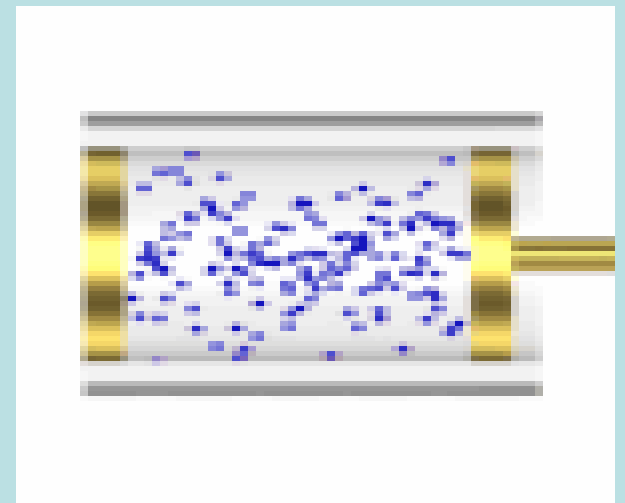
$$dA = F d\ell = pS d\ell,$$



де $Sd\ell = dV$ – зміна об'єму газу.

Тоді:

$$dA = p dV \quad \text{або} \quad A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p dV.$$

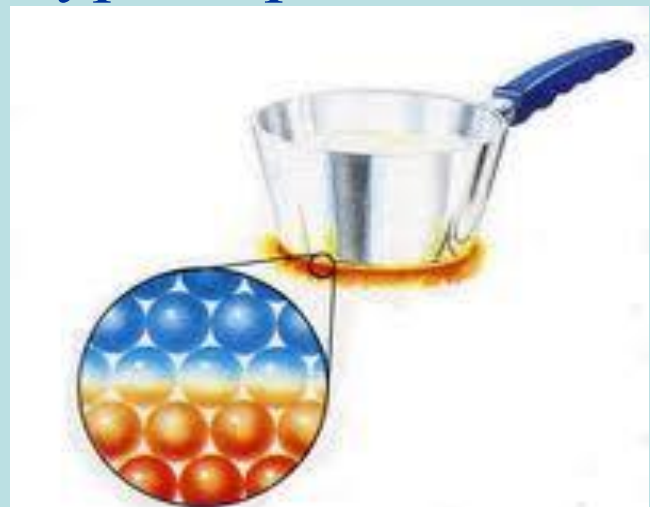


Друга форма передавання енергії здійснюється при безпосередньому обміні енергією між частинками взаємодіючих тіл, що рухаються хаотично. За рахунок переданої тілу енергії підсилюється невпорядкований рух його частинок, тобто збільшується внутрішня енергія тіла. Таку форму передавання енергії в термодинаміці називають *теплотою*.

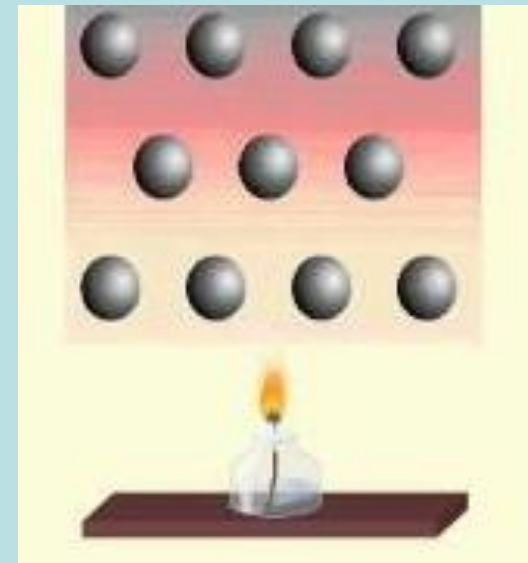
Так, наприклад, при дотику холодного тіла і гарячого молекули другого тіла, які швидко рухаються, стикаються з молекулами першого тіла, що рухається повільніше, і передають їм частину своєї кінетичної енергії. Внаслідок цього внутрішня енергія першого тіла збільшується, другого – зменшується, а їх температури вирівнюються.

**Тепла
вода**

**Холодна
вода**



Теплота – це форма передання енергії від одного тіла до другого під час теплового контакту, при цьому підсилюється невпорядкований рух частинок менш нагрітого тіла, тобто збільшується його внутрішня енергія.



Кількість теплоти ΔQ при нагріванні або охолодженні тіла визначають формулою:

$$\Delta Q = c m \Delta T,$$

де c – питома теплоємність речовини,
з якої виготовлене тіло,

m – маса тіла,

$\Delta T = T_2 - T_1$ – зміна температури тіла.



Найбільшу теплоємність з будівельних матеріалів має дерево – 2,3 кДж/(кг·°С), найменшу сталь і мідь – 0,42 кДж/(кг·°С).

Теплоємність повітря при температурі +20°С становить 1,005 кДж/(кг·°С), теплоємність води 4,183 кДж/(кг·°С).



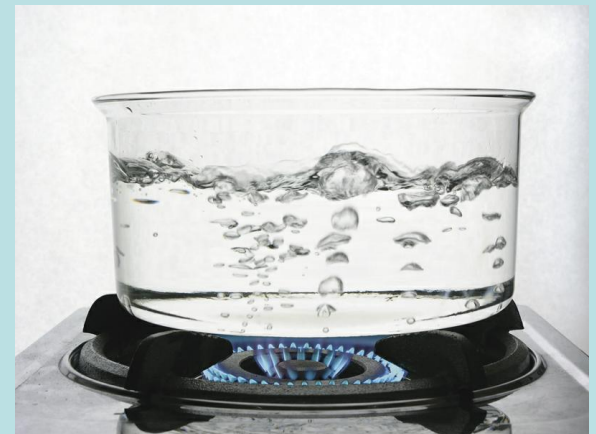
Строительный материал	Удельная теплоемкость, С, кДж/(кг·°С)	Плотность, γ, кг/м ³	К-т теплопроводности, λ, Вт/(м·°С)
Автоклавный газобетон	1,0	500	0,14
Керамзитобетон	0,84	800	0,35
Железобетон	0,84	2500	2,04
Полнотелый глиняный кирпич	0,88	1800	0,81
Пустотелый глиняный	0,88	1000	0,44
Полнотелый силикатный	0,88	1800	0,87
Дерево (сосна, ель)	2,3	500	0,18
Минеральная вата	0,84	150	0,045
Пенополистирол	1,34	35	0,028

Теплота і робота є формою передавання енергії, а зовсім не видом енергії.

Між теплотою і роботою існує глибока якісна відмінність. Теплота і робота є нерівноцінними формами передавання енергії впорядкованого руху.

Виконання роботи над системою може безпосередньо привести до збільшення будь-якого виду енергії системи (кінетичної, потенціальної, внутрішньої).

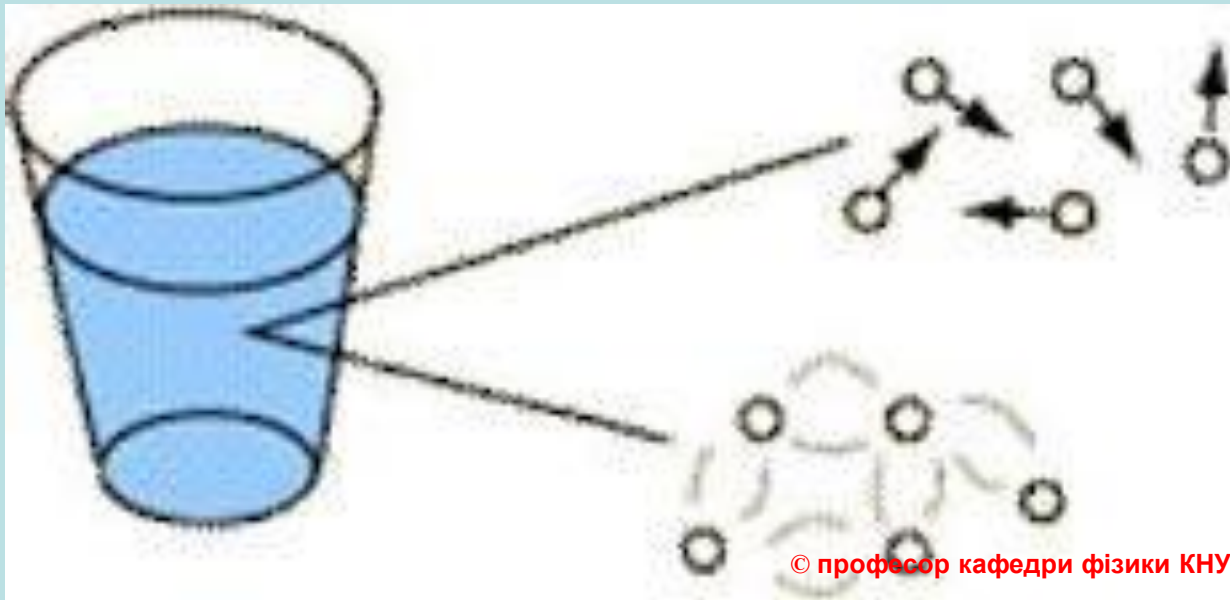
Надання системі (або тілу) теплоти, тобто збільшення енергії хаотичного теплового руху її частинок безпосередньо приводить тільки до збільшення його внутрішньої енергії.



2. Внутрішня енергія системи як функція стану

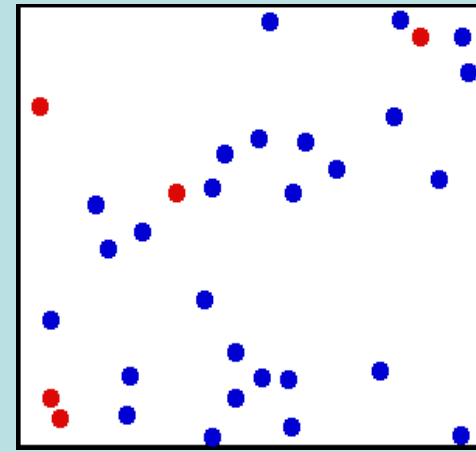
Однією з основних характеристик термодинамічної системи є внутрішня енергія.

Під внутрішньою енергією системи розуміють суму кінетичних енергій руху всіх молекул (атомів) газу і потенціальних енергій взаємодії між ними.



Внутрішня енергія ідеального газу буде складатися лише з суми кінетичних енергій теплового руху молекул (атомів) газу:

$$U = \sum_{\text{кін}} \varepsilon$$



Середня кінетична енергія руху однієї молекули:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{i}{2} kT,$$

тоді для **одного моля газу**, який містить N_A молекул, **внутрішня енергія становитиме:**

$$U = \frac{i}{2} kTN_A \quad \text{або} \quad U = \frac{i}{2} RT,$$

оскільки $k \cdot N_A = R$.

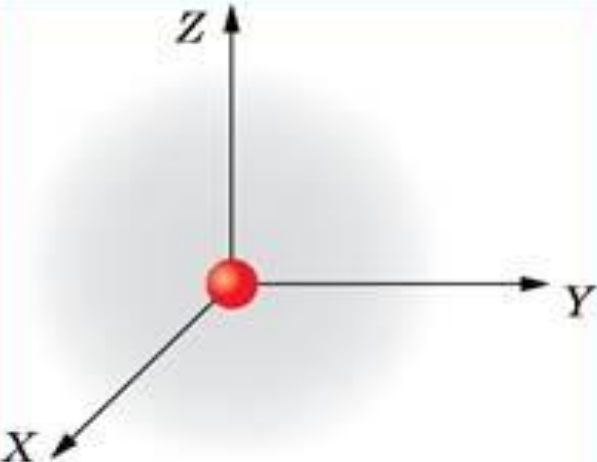
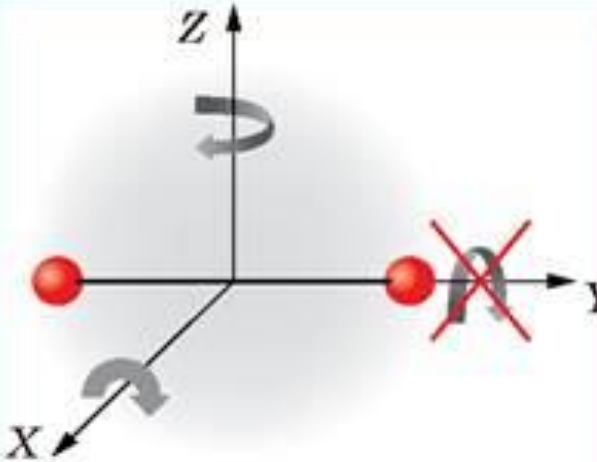
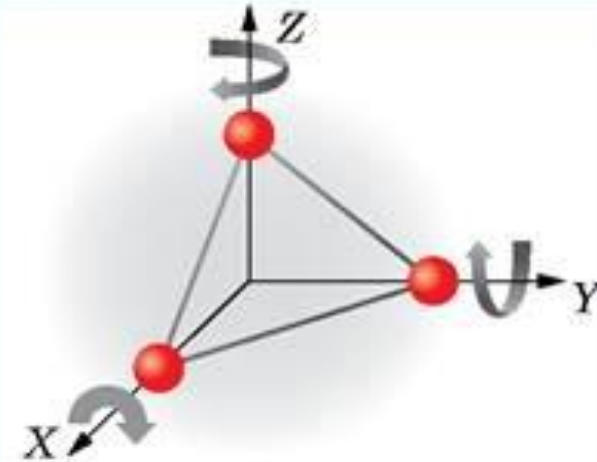
Внутрішня енергія довільної кількості газу:

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT,$$

де m – маса газу;

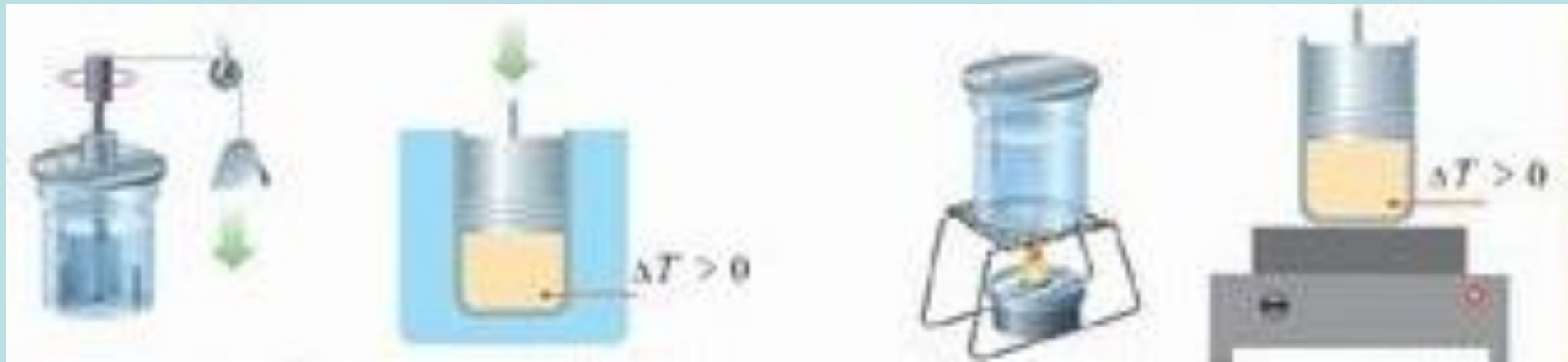
μ – молярна маса газу, $[\mu] = \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$;

$\frac{m}{\mu} = \nu$ – кількість речовини, $[\nu] = \text{моль}$.

Одноатомний газ	Двохатомний газ	Багатоатомний газ (три і більше атомів)
Молекули рухаються тільки поступально	Молекули рухаються поступально й обертаються	
 <p data-bbox="19 714 618 971">Одноатомна молекула має 3 ступені свободи поступального руху</p>	 <p data-bbox="656 714 1255 971">Двохатомна молекула має 5 ступенів свободи (3 поступального і 2 обертального рухів)</p>	 <p data-bbox="1294 714 1893 971">Багатоатомна молекула має 6 ступенів свободи (3 поступального і 3 обертального), крім CO₂, який має 5 ступенів свободи</p>
<p data-bbox="19 999 618 1142">Внутрішня енергія визначається енергією поступального руху:</p> $U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$	<p data-bbox="656 999 1255 1199">Внутрішня енергія визначається сумою енергій поступального й обертального рухів:</p> $U = \frac{5}{2} \frac{m}{M} RT$	<p data-bbox="1294 999 1893 1199">Внутрішня енергія у два рази більша, ніж одноатомного газу за тієї ж температури:</p> $U = 3 \frac{m}{M} RT$

3. Перше начало термодинаміки

Дослід показує, що відповідно до закону збереження енергії при довільному способі переходу системи з першого стану у другий зміна внутрішньої енергії $\Delta U = U_2 - U_1$ дорівнюватиме різниці між кількістю теплоти ΔQ , що отримала система, і роботою A , яку виконала система проти зовнішніх сил: $\Delta U = \Delta Q - A$ або $\Delta Q = \Delta U + A$.



Перше начало термодинаміки: якщо системі передається певна кількість теплоти ΔQ , то за законом збереження енергії, вона піде на збільшення внутрішньої енергії газу ΔU (підвищення температури) та на виконання газом роботи A проти зовнішніх сил:

$$\Delta Q = \Delta U + A$$

або

$$\Delta Q = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T + p \Delta V.$$

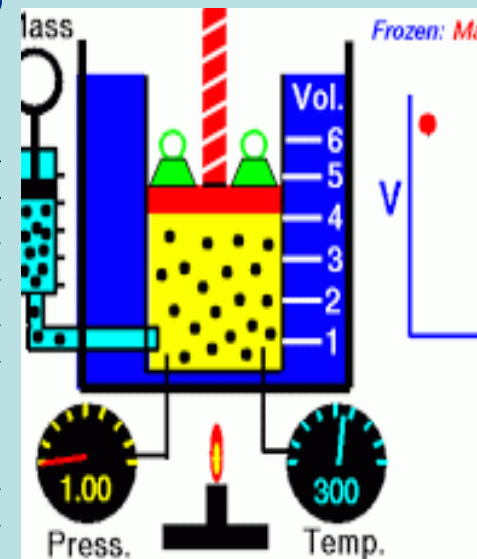


Важливим є випадок, у якому система – це періодично діюча машина, в якій газ, пара або інше “робоче тіло” внаслідок деякого процесу повертається у початковий стан, у цьому разі:

$$\Delta U = 0 \text{ і } A = Q.$$

Робота, яку виконує машиною за один цикл, дорівнює підведеній ззовні теплоті Q .

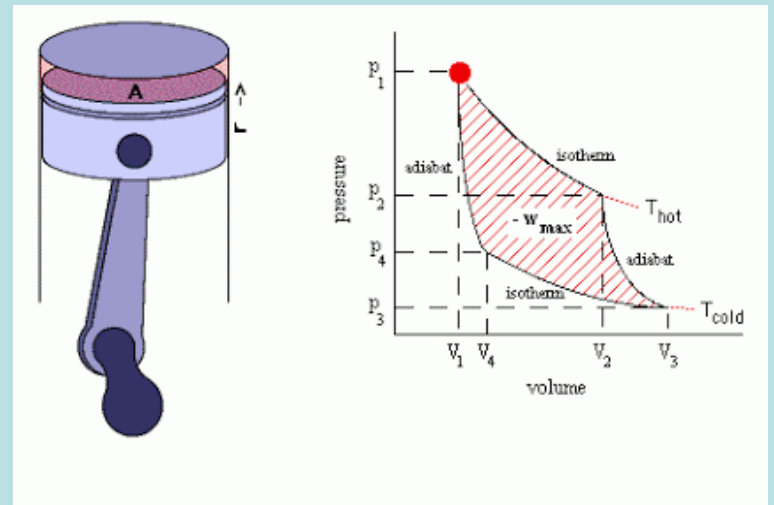
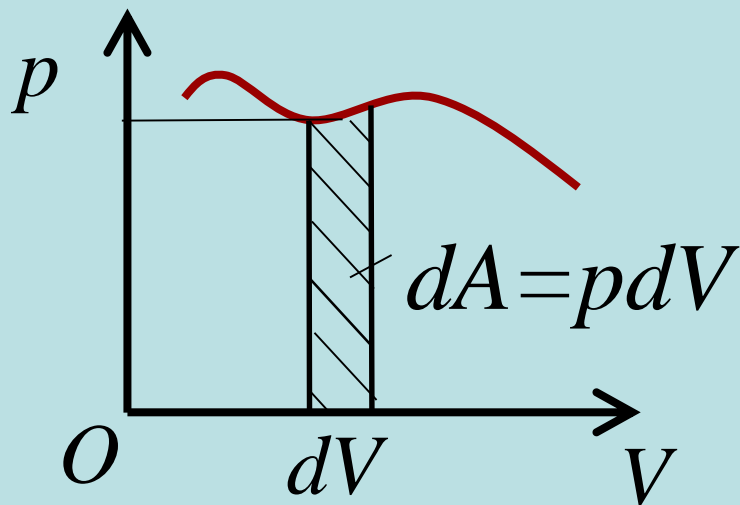
Цей висновок дає змогу дати *друге формулювання першого закону термодинаміки*: неможливо побудувати періодично діючий двигун, який виконував би роботу без підведення енергії ззовні або виконував би роботу більшу, ніж кількість переданої йому ззовні енергії (вічний двигун першого роду неможливий).



4. Термодинамічні діаграми.

Термодинамічна діаграма – це геометричне зображення рівноважних станів термодинамічної системи при різних значеннях параметрів, які описують дану систему: p , V і T .

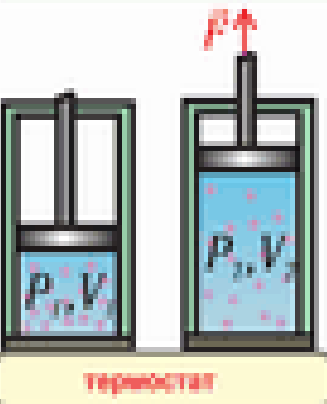
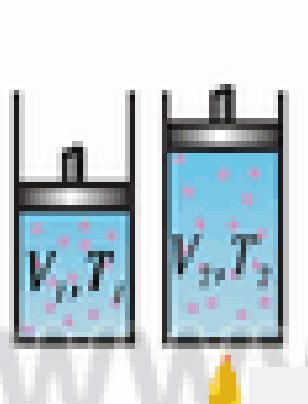
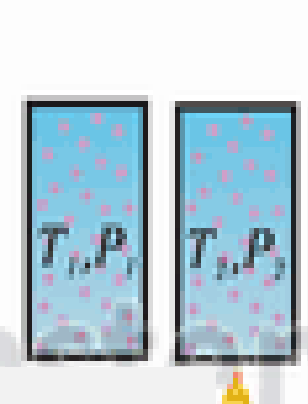
Будують термодинамічні діаграми у наступних координатах: pV , pT , VT . Найбільш поширеною є pV -діаграма, оскільки площа під кривою цієї діаграми чисельно дорівнює роботі газу.



5. Ізопроееси в газах

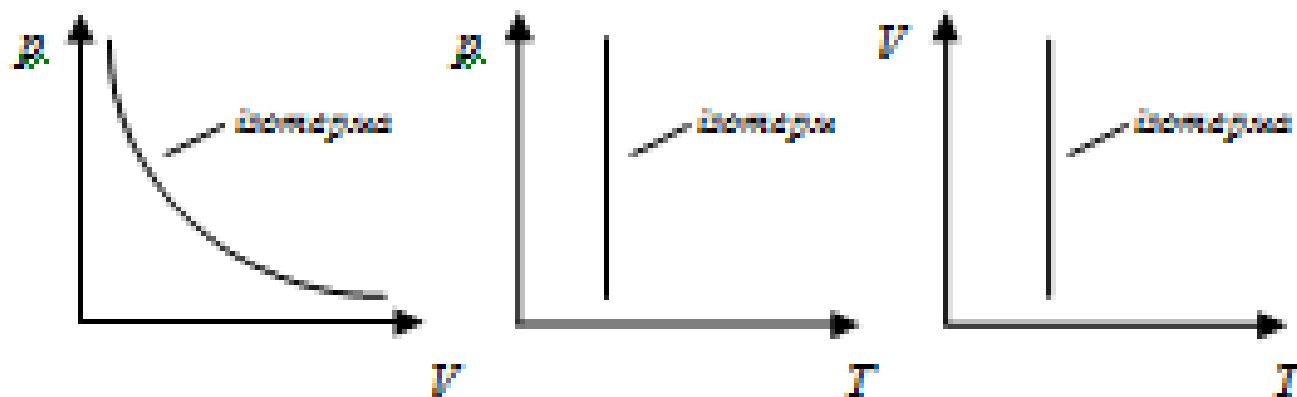
Розглянемо найбільш прості процеси, що відбуваються у термодинамічних системах.

Ізопроееси – це термодинамічні процеси у газах, що відбуваються при сталій масі газу і ще одному сталому параметрі T , p або V :

Ізотермічний	Ізобарний	Ізохорний
 <p>$T = \text{const}$ $m = \text{const}$</p> <p>$Q = A$</p> <p>$\Delta U = 0$</p>	 <p>$p = \text{const}$ $m = \text{const}$</p> <p>$Q = A + \Delta U$</p> <p>$A = p \Delta V$</p>	 <p>$V = \text{const}$ $m = \text{const}$</p> <p>$Q = \Delta U$</p> <p>$A = 0$</p>

– ізоермічний процес – $T = const$:

$pV = const$ – закон Бойля-Маріотта.



Термодинамічна діаграма ізоермічного процесу називається *ізоермою*, у координатах pV має вигляд гіперболи.

Роберт Бойль



Эдм Мариотт



Оскільки при ізотермічному процесі $T = const$, то

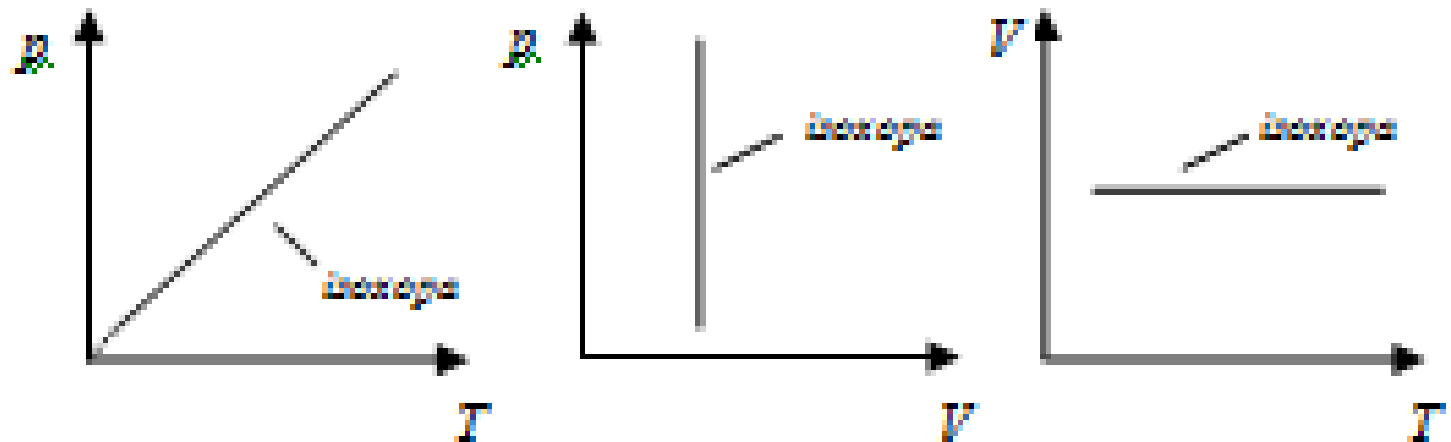
$$\Delta T = 0, \text{ отже } \Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T = 0.$$

Це означає, що при ізотермічному процесі уся кількість теплоти надана газу йде на виконання ним роботи:

$$\Delta Q_T = \Delta A \quad - \text{I начало термодинаміки для ізотермічного процесу.}$$

- *ізохорний процес* – $V = const$:

$$\frac{P}{T} = const \text{ – закон Шарля.}$$



Термодинамічна діаграма ізохорного процесу називається *ізохорою*.

Жак Алесандр Сезар Шарль



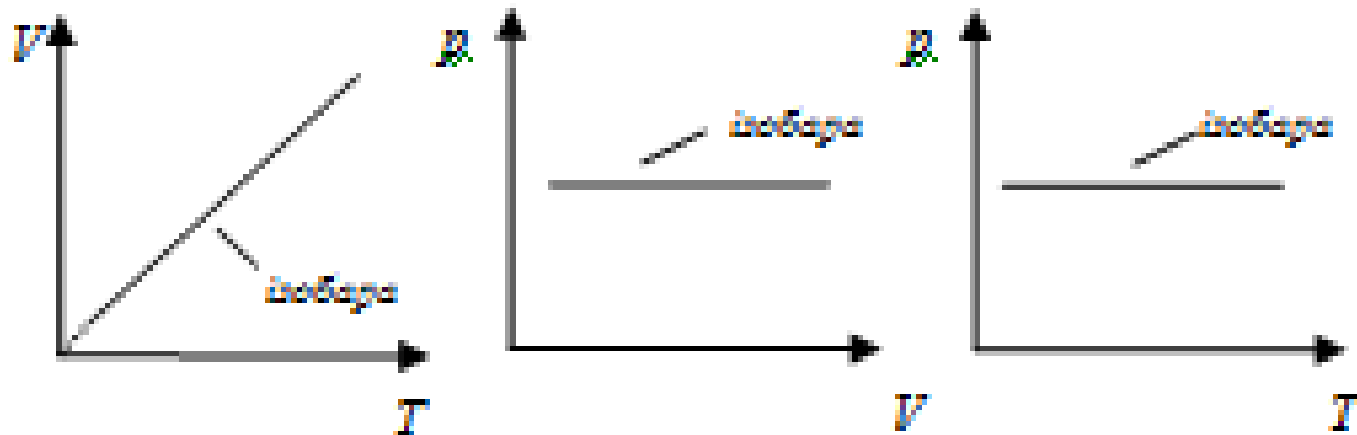
Оскільки при ізохорному процесі $V = \text{const}$, то $\Delta V = 0$, отже і $\Delta A = p \Delta V = 0$.

Це означає, що при ізохорному процесі уся кількість теплоти надана газу йде на зміну його внутрішньої енергії:

$$\Delta Q_V = \Delta U \quad - \text{I начало термодинаміки для ізохорного процесу.}$$

- *ізобарний процес* – $p = const$:

$$\frac{V}{T} = const \text{ – закон } \underline{\text{Гей-Люссака.}}$$



Термодинамічна діаграма ізобарного процесу називається *ізобарою*.

Жозеф Луї Гей-Люссак



При ізобарному процесі $\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T \neq 0$ і $\Delta A = p \Delta V \neq 0$.

Це означає, що при ізобарному процесі кількість теплоти надана газу йде на зміну його внутрішньої енергії і на виконання газом роботи:

$$\Delta Q_p = \Delta U + A$$

або

$$\Delta Q_p = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T + p \Delta V \quad \text{— І начало термодинаміки для ізобарного процесу.}$$

6. Адіабатний процес.

Адіабатним процесом називають термодинамічний процес, що протікає без теплообміну із зовнішнім середовищем, тобто:

$$\Delta Q = 0.$$

Оскільки $\Delta Q = \Delta U + A = 0$,

$$A = -\Delta U - I \text{ на́чало термодинаміки}$$

для адіабатного процесу,

тобто при адіабатному процесі газ виконує роботу за рахунок внутрішньої енергії.

При адіабатному процесі параметрами p , V і T мають такий зв'язок:

$$pV^\gamma = \text{const}$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{const} \quad \text{– рівняння Пуассона}$$

$$T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{const} \quad \text{(рівняння адиабати),}$$

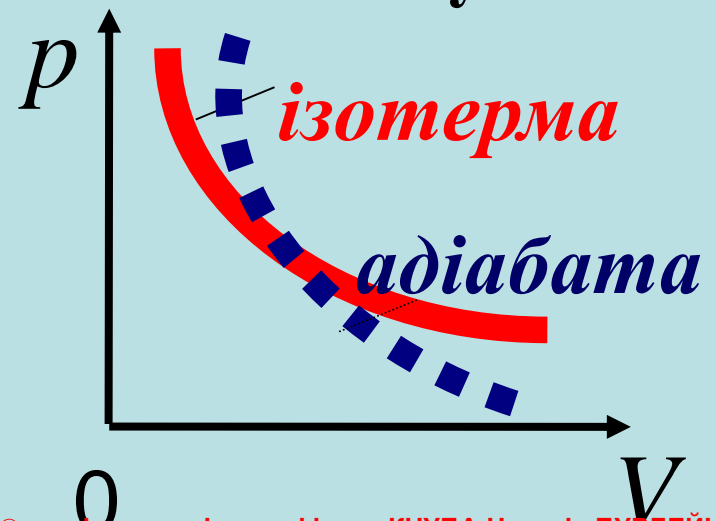
де $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ – показник політропи.

Термодинамічна діаграма адіабатного процесу називається **адиабатою**.

Графік адиабати завжди змінюється швидше, ніж графік ізотерми, тобто гіпербола адиабати має більш крутий нахил, ніж ізотерма.



Сімеон Дені
Пуассон



7. Теплоємність газів.

Теплоємністю називають скалярну фізичну величину, чисельно рівну кількості теплоти, що необхідно передати речовині для збільшення її температури на $1K$:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}, \quad [C] = \frac{\text{Дж}}{K}.$$

Питома теплоємність – це скалярна фізична величина, чисельно рівна кількості теплоти, що необхідно передати 1 кг речовини для збільшення її температури на 1 К:

$$c = \frac{\Delta Q}{m \Delta T}, \quad [c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Молярна теплоємність – скалярна фізична величина, чисельно рівна кількості теплоти, що необхідно передати *1* молю речовини для збільшення її температури на *1K*:

$$c_{\mu} = \frac{\Delta Q}{\nu \Delta T}, [c] = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}}.$$

Розрізняють два види молярної теплоємності:

- c_V – молярна теплоємність при сталому об'ємі;
- c_p – молярна теплоємність при сталому тиску.

$$c_V = \frac{i}{2} R \quad c_p = \frac{i+2}{2} R.$$

Тверде тіло
 t плавлення
(кристалізації)



Плавлення

$Q_1 = Q_2$
Рідина
 t плавлення
(кристалізації)



Кристалізація

Тверде тіло
 t плавлення
(кристалізації)

Під час плавлення речовина поглинає ту саму кількість теплоти, яку виділяє під час кристалізації: $Q_1 = Q_2$

Фізичний зміст питомої теплоти плавлення

Питома теплота плавлення показує, на скільки за температури плавлення внутрішня енергія 1 кг речовини в рідкому стані більша, ніж внутрішня енергія 1 кг цієї речовини в твердому стані.

$$\lambda = \frac{Q}{m}$$

λ - питома теплота плавлення

Q - кількість теплоти

m - маса

Одиниця в СІ— джоуль на кілограм: $[\lambda] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Питома теплота пароутворення

Питома теплота пароутворення — це фізична величина, що характеризує певну речовину й дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати рідині масою 1 кг, щоб за незмінної температури перетворити її на пару.

$$L = \frac{Q}{m}$$

$$[L] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Питома теплота згоряння палива

Питома теплота згоряння палива – це фізична величина, яка характеризує певне паливо і чисельно дорівнює кількості теплоти, що виділяється під час повного згоряння 1 кг цього палива.

$$q = \frac{Q}{m}$$

$$[q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$



Лекція №. 3

ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ. ПЕРШЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМІКИ

1. Тепло́та та робо́та.
2. Внутрішня енергія системи як функція стану.
3. Перше начало термодинаміки.
4. Термодинамічні діаграми.
5. Ізопроцеси в газах.
6. Адіабатний процес.
7. Теплоємність газів.