

КУРС

ТЕПЛОТЕХНІКА

Автор к.т.н., доц. Мельник З.П.

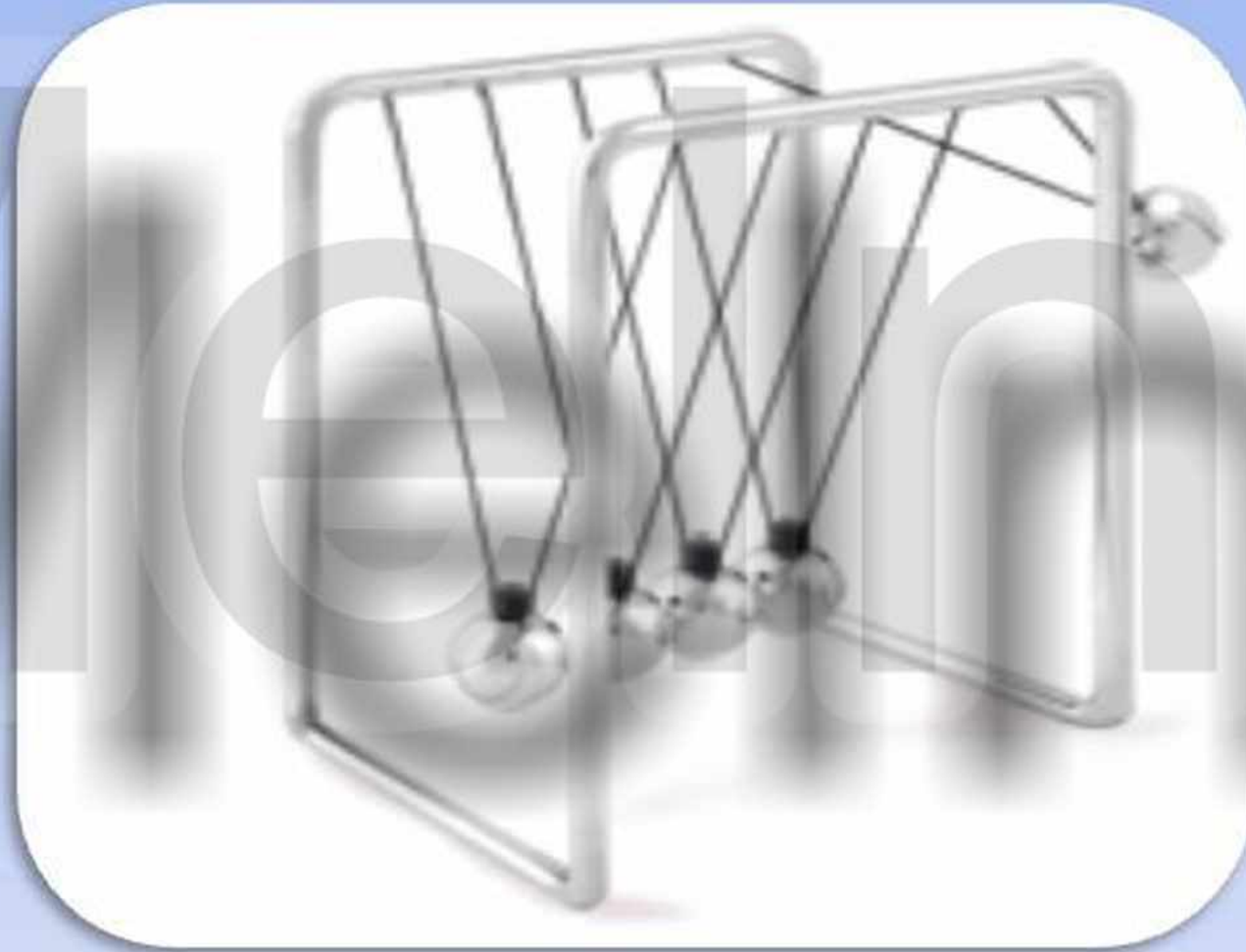
НУХТ, м.Київ - 2012

# ВСТУП

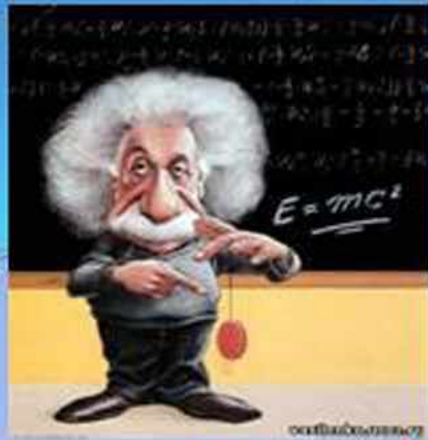
- **Теплотехніка** це наука, яка вивчає особливості та технічні аспекти перетворення природних енергоресурсів (органічного та ядерного палива, теплоти земних надр, енергії води та вітру, сонця і т.п.) в безпосередньо використовувані форми енергії (теплоту, роботу і їх похідні, наприклад – електричну енергію). Вона служить основою енергетичної освіти при вивченні спеціальних дисциплін в системі підготовки інженерів, в тому числі і інженерів-технологів, і використовується в їх подальшій практичній діяльності. В цілому, як наука, теплотехніка включає технічну термодинаміку, теорію тепло- та масообміну, розглядає теплові двигуни та холодильні установки, компресори та вентилятори, паливоспалюючі агрегати та котельні установки.

*Технічна*

*термодинаміка*



Менік



# ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА

- **Термодинаміка** - це єдина фізична теорія загального змісту, щодо якої я переконаний, що в рамках застосування її основних понять вона ніколи не буде спростована.



А.Ейнштейн

Принципи **термодинаміки** “кидають” яскраве світло на усі явища природи.

Д.Максвел

**Основна**

1. Теплотехніка: Підручник / О.Ф.Буляндра, Б.Х.Драганов та ін. – К; Вища шк., 1998, -334с.

2. О.Ф.Буляндра. Технічна термодинаміка, К., «Техніка». – 320с.

**Додаткова**

3. Методичні вказівки до вивчення дисципліни та виконання лабораторних робіт з дисципліни «Теплотехніка» / Укладачі: С.М.Василенко та ін., – К., НУХТ, 2006, – 62с., – №6670.

4. Методичні вказівки до вивчення дисципліни та виконання контрольних робіт з дисципліни "Теплотехніка" / Укладачі: В.О.Карась та ін., – К., НУХТ, 2005, – 54с., – №6624.

5. Теплотехніка: Учебник для вузов / Под ред. А.П.Баскакова, – М., Энергоатомиздат, 1991, - 224с.

6. А.Н.Алабовский, С.М.Константинов, И.А.Недужий, Теплотехника. К., Высшая шк., 1989.

7. О.М.Рабинович; Сборник задач по технической термодинамике, М., машиностроение, 1973, 343с.

8. Е.А.Краснощеков, А.С.Сукомел. Задачник по теплопередаче, М.: Энергия, 1975, 279с.

9. С.Л.Ривкин, А.А.Александров. Термодинамические свойства воды и водяного пара., М, Энергия, 1980.

10. Г.П. Панкратов. Сборник задач по теплотехнике. – М.: Высшая школа, 1986. 248с.

11. А.Шак. Промышленная теплопередача, М.1961, 524с.

12.М.А.Михеев. Основы теплопередачи. М.:Государственное энергетическое издательство, 1956, 392с.

# ЛЕКЦІЯ 1. Основні поняття термодинаміки. Параметри стану робочого тіла. Нульове начало ТД. Основні закони ідеальних газів, рівняння стану. Поняття про газові суміші ІГ..

- Сама технічна термодинаміка, як наука, сформувалася на початку 19 сторіччя у зв'язку з винайденням і вдосконаленням парових машин, в яких теплота, яка утворювалася в процесі згорання органічного палива перетворювалася в роботу. В ході свого розвитку Термодинаміка уже давно вийшла за межі вчення про теплоту і зараз швидше за все її можна визначити як вчення про енергію у всіх її формах.
- Тобто, Термодинаміка вчить розрізняти форми енергії, встановлює взаємний зв'язок між ними по енергетичним балансам 1-го закону Термодинаміки та встановлює умови і межі взаємоперетворень різних форм енергій в природних явищах і технічних процесах на основі 2-го закону Термодинаміки.

# ТЕРМОДИНАМІКА

Технічна

Фізична

Хімічна

Термодинаміка лабораторних процесів

## ТЕРМОДИНАМІЧНІ СИСТЕМИ

По складу

По взаємодії з НС

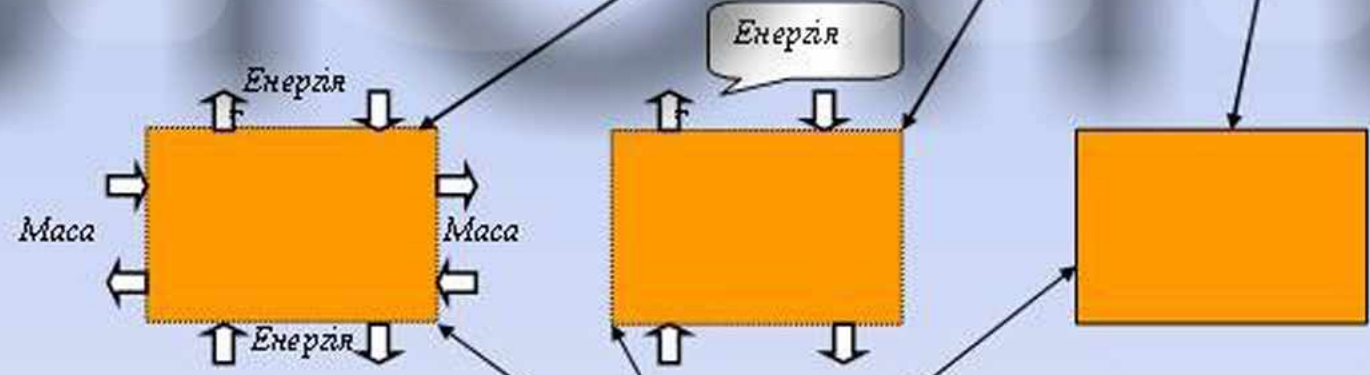
Гетерогенні

Гомогенні

Відкриті

Закриті

Ізольовані



Контроль на повертя

## Види енергії та форми обміну енергією.

**Енергія – це загальна кількісна міра для усіх форм руху матерії.**  
**З точки зору Технічної термодинаміки – це здатність тіл (системи) виконувати роботу.**



Передавання енергії від одних тіл (систем) іншим відбувається тільки в результаті взаємодії (напр.: електрична, хімічна, гравітаційна, ядерна і т.п.).

Усі види термодинамічної взаємодії зводяться до двох принципів різних способів перенесення енергії:

**Здійснення роботи** - це передавання енергії в результаті макроскопічного, впорядкованого руху. Усі види роботи можуть без усяких обмежень перетворюватися одна і одну.

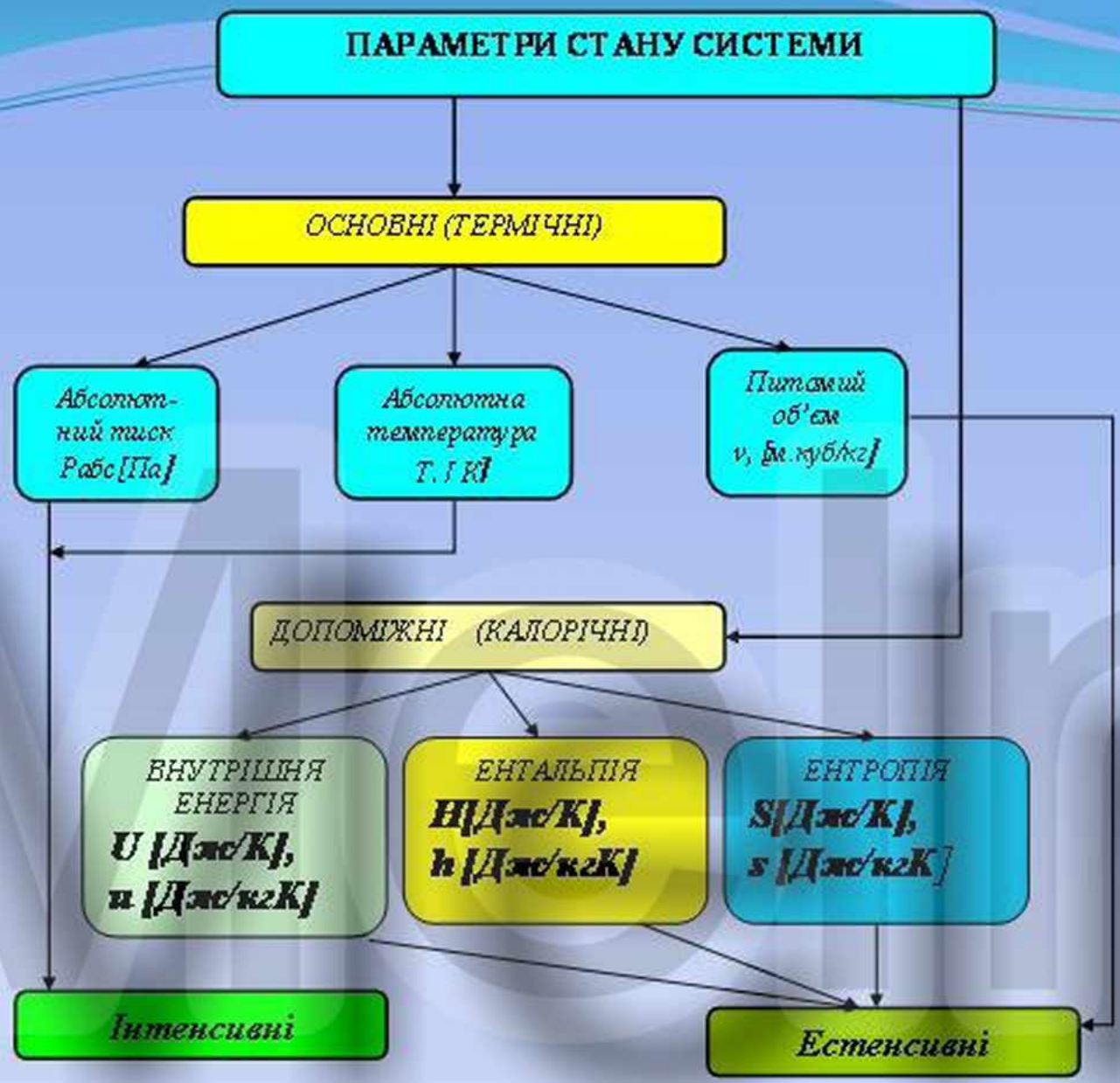
**Теплообмін** - це передавання енергії в результаті хаотичного руху мікрочастинок. Відбувається під дією різниці температур. Кількість переданої при цьому енергії називають теплотою. Теплообмін може перетворюватися тільки у внутрішню енергію.

## ПАРАМЕТРИ СТАНУ

- Якщо дещо неможливо виразити цифрами, то про це “дещо” нам відомо дуже мало ,

*Лорд - Кельвін.*

Стан будь-якої термодинамічної системи характеризують за допомогою макроскопічних фізичних величин, які називають – термічними змінними або параметрами стану. Як показує досвід, газ даної маси при відсутності зовнішніх силових полів (гравітаційного, електромагнітного і т.п.) однозначно можна охарактеризувати всього за допомогою трьох параметрів: питомий об’єм –  $v$  , абсолютний тиск –  $p$  , абсолютна температура –  $T$  . Сукупність цих трьох параметрів називають – основними термічними параметрами стану і вони повністю характеризують тепловий стан термодинамічної системи.



- Стан, у якому термодинамічні параметри (абсолютний тиск, абсолютна температура і питомий об'єм) залишаються в усіх точках системи однаковими та сталими у часі, називається – **рівноважним**. У **рівноважному** стані системи відсутні потоки енергії та речовини.
- Якщо ж параметри системи у різних точках різні і змінюються у часі, то такий стан описати практично неможливо, бо існують градієнти тисків, температур, під дією яких відбувається масо – і енергоперенесення. Це – **нерівноважні** стани.
- **Рівноважний** процес можна розглядати, як послідовний ряд **рівноважних** станів. Ось чому класична ТД оперує тільки рівноважними станами і рівноважними процесами, бо їх можна описати математично та зобразити графічно.

- **Тиск** – із молекулярно-кінетичних уявлень це середня сила ударів молекул, яка припадає на одиничну площу поверхні:

$$p = \frac{2}{3} \cdot n \cdot \frac{mv_m^2}{2}$$

$n$  - кількість молекул,  $m$  – маса молекули,  $v_m$  - середньоквадратична швидкість

- З макроскопічних уявлень – **тиск** це нормальна складова сили, яка діє на одиничну площу:  $p = F_n / A$  -  $F_n$  нормальна складова,  $A$  - площа.

- В системі СІ тиск прийнято виражати у паскалях (Па) –  $\text{Н/м}^2$  («Ньтон» це сила, яка надає тілу масою 1 кг прискорення  $1\text{м/с}^2$ ). Це дуже мала величина і тому в техніці використов.:  $\text{кПа} = 10^3 \text{ Па}$ ,  $\text{МПа} = 10^6 \text{ Па}$ ,  $\text{бар} = 10^5 \text{ Па}$

- Тиск вимірюють: барометрами – атмосферний;
- манометрами – надлишковий;
- вакууметрами – вакууметричний (розрідження).

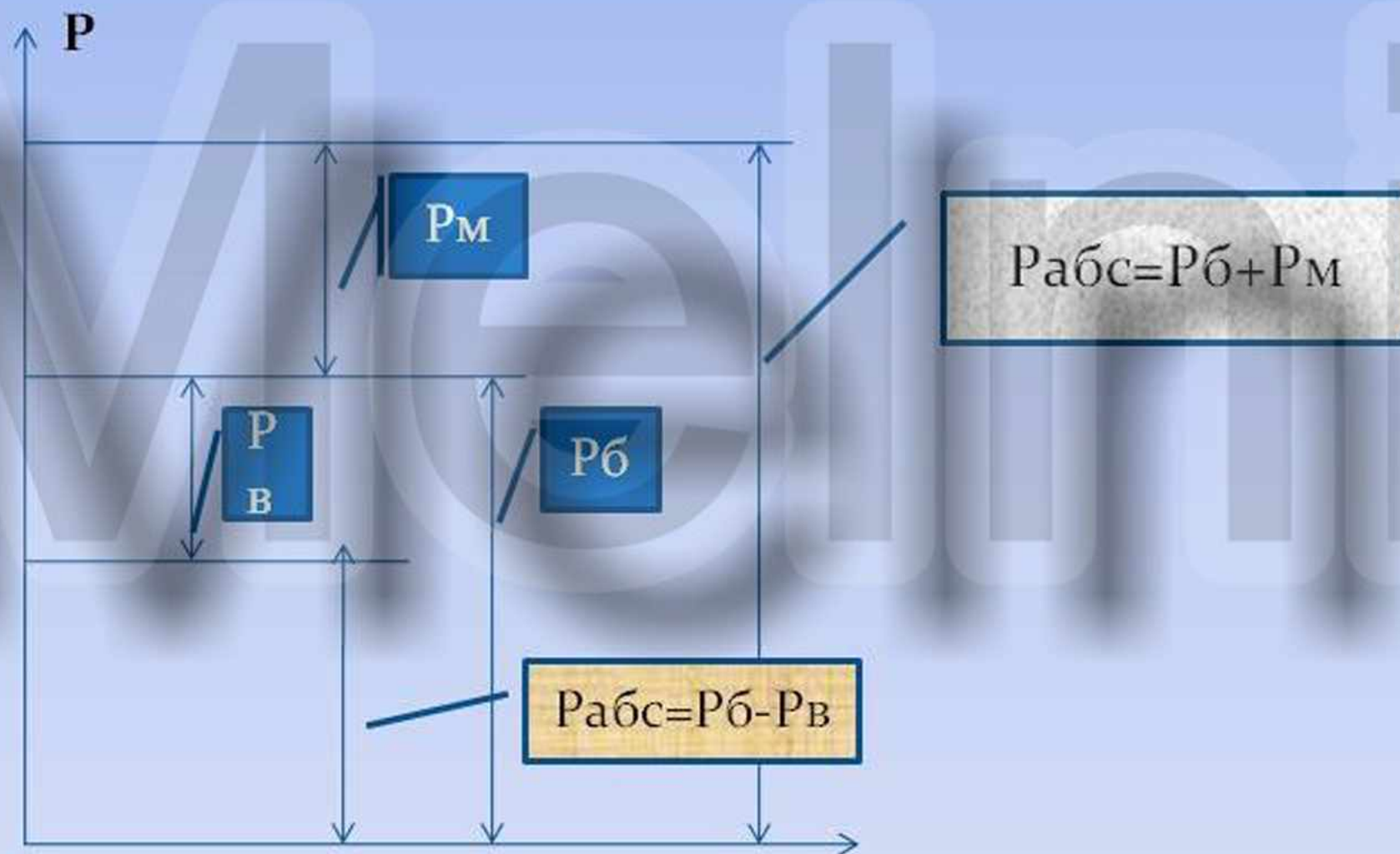
**Надлишковий тиск** та **вакуум** не являються параметрами стану, так як вони при одному й тому ж абсолютному тискові можуть приймати різні значення в залежності від величини **атмосферного ТИСКУ**.

В техніці використовують достатньо велику кількість одиниць вимірювання тиску і співвідношення між ним наведено в таблиці [1].

<u>ОДИНИЦЯ</u>	<u>Бар</u>	<u>Паскаль</u> <u>Па (Н/м<sup>2</sup>)</u>	<u>Фізична</u> <u>атмосфера,</u> <u>атм</u>	<u>Технічна атмосфера,</u> <u>ат</u> <u>(кГ/см<sup>2</sup>)</u>	<u>Міліметри</u> <u>ртутного</u> <u>стовпчика, мм</u> <u>рт. ст.</u>	<u>Міліметр</u> <u>водяного</u> <u>стовпчика,</u> <u>мм вод.ст.</u>
1 бар	1	10 <sup>5</sup>	0,987	1,02	750	10200
1 Н/м <sup>2</sup>	10 <sup>-5</sup>	1	–	–	–	–
1 атм	1,013	101300	1	1,033	760	10330
1 ат	0,981	98100	0,968	1	735,6	10000
1 мм рт. ст.	0,00133	133	0,001316	0,00136	1	13,6
1 мм вод. ст.(1кГ/м <sup>2</sup> )	9,81 10 <sup>-5</sup>	9,81	9,68 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	0,0736	1

## Розрахунок абсолютного тиску

*В усіх формулах в термодинаміці використовують тільки абсолютний тиск і тільки в Па!!!!*



## • Закон теплової рівноваги (нульове начало ТД).

Системи, які знаходяться у стані термодинамічної рівноваги, мають наступні властивості:

- Якщо дві термодинамічні системи, які мають тепловий контакт, знаходяться у стані термодинамічної рівноваги, то і загальна термодинамічна система, утворена ними, знаходиться у стані термодинамічної рівноваги.
- Якщо яка-небудь термодинамічна система знаходиться одночасно у термодинамічній рівновазі з двома іншими системами, то і ці дві інші термодинамічні системи знаходяться у термодинамічній рівновазі одна з одною. Це і є нульове начало термодинаміки.
- Значення цього закону у тому, що він приводить до висновку про існування **температури**, як характеристики теплової рівноваги системи.

# ТЕМПЕРАТУРА

- За молекулярно-кінетичною теорією температура це міра середньої кінетичної енергії поступального руху молекул, яка характеризує інтенсивність теплового руху молекул. Чим вища швидкість руху молекул, тим більша температура.
- Температура - параметр стану, який визначає здатність системи до передачі енергії у формі теплоти, тобто, характеризує її тепловий стан і являється мірою внутрішньої енергії.
- Температура є присутня кожному стану рівноваги інтенсивна величина.
- В усіх системах, що є між собою в рівновазі температура однакова, якщо не в рівновазі – різна.
- Температура визначає не тільки стан термічної рівноваги, але й напрямок переходу теплоти, тобто, температура – це ступінь нагрятості тіла.
- Температура це величина статистична.

В даний час найбільш широко застосовують дві температурні шкали:

❖ **Міжнародну практичну температурну шкалу Цельсія** ( $^{\circ}\text{C}$ ), в якій за основні реперні точки прийнято точка плавлення льоду (потрійна точка води  $t_0=0,01^{\circ}\text{C}$ ) за нормального атмосферного тиску ( $P=760$  мм.рт.ст.) і точка кипіння води при цьому ж тиску –  $t_1=100^{\circ}\text{C}$ . Різниця показів термометра в цих двох точках, поділена на 100, являє собою  $1^{\circ}$  по шкалі Цельсія.

❖ **Термодинамічну шкалу температур градус К**, що ґрунтується на другому законі термодинаміки. Початком відліку тут являється температура  $T_0 = 0\text{K} = -273,16^{\circ}\text{C}$ . Потрібно пам'ятати, що  $1\text{K} = 1^{\circ}\text{C}$ , і  $t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273,16$

❖ **Параметром стану являється абсолютна температура в град.К!!!!** Так як саме вона однозначно пов'язана з середньою кінетичною енергією теплового руху молекул системи, тобто з її внутрішньою енергією.

## Рівняння стану

Рівняння, яке встановлює зв'язок між тиском, температурою та питомим об'ємом середовища постійного вмісту називають термічним рівнянням стану. В загальному це функція  $f(p, v, T) = 0$  і таке рівняння в просторі являє собою поверхню, яка характеризує усі рівноважні стани однорідної термодинамічної системи. Вигляд функції різний і залежить від природи тіла. Найбільш простим рівнянням стану тіла являється рівняння Клапейрона-Менделєєва для ІГ:  $pv = RT$  - для 1 кг газу і  $pV = mRT$  для  $m$  кг газу.

# Уравнение Менделеева-Клапейрона

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

Уравнение Клапейрона

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$m = \text{const}$



$$\frac{PV}{T} = \text{const}$$

Основные термодинамические параметры

$T$  [К, кельвин] – термодинамическая температура

$V$  [м<sup>3</sup>, кубический метр] – объём

$p$  [Па, паскаль] – давление

## ГАЗОВІ СУМІШІ

В техніці доволі часто приходить ся мати справу с газоподібними речовинами, що являють собою механічні суміші окремих газів, які по своїм властивостям наближаються до ідеальних газів.

Наприклад, атмосферне повітря являє собою газову суміш, яка включає азот, кисень, вуглекислий газ, водяну пару и ряд інших газів. Визначення параметрів таких сумішей необхідне при розв'язанні багатьох практичних завдань.

В загальному газовою сумішшю називають механічну суміш різних газів, які між собою хімічно не взаємодіють. Тобто, кожний компонент в суміші повністю зберігає усі свої властивості і займає увесь об'єм суміші. Тиск, який створюють молекули кожного компонента суміші, за умови, що він сам займає увесь об'єм у тій же кількості і при температурі газової суміші, називають парціальним тиском компоненту.

Вважають, що кожний окремий компонент (газ) газової суміші підкоряється рівнянню стану – Менделєєва-Клапейрона, тобто являється ідеальним газом. Тому, параметри газової суміші, як і параметри компонентів, можуть бути вираховані з цього рівняння:

$$pV = mRT$$

де усі величини даного рівняння відносяться відповідно до параметрів газової суміші, або до параметрів компонентів.

Згідно закону Дальтона тиск газової суміші дорівнює сумі парціальних тисків компонентів суміші:

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i$$

де  $p$  – тиск газової суміші,  $p_1, \dots, p_n$  – парціальні тиски компонентів.

Газова суміш може бути задана масовими, об'ємними та молярними частками.

Масова частка – це відношення маси кожного окремого компонента до маси усієї суміші:

$$g_1 = \frac{m_1}{m}; \quad g_2 = \frac{m_2}{m}; \quad \dots; \quad g_n = \frac{m_n}{m}$$

де  $g_1, \dots, g_n$  – масові частки,  $m_1, \dots, m_n$  – маси компонентів,  $m$  – маса суміші.

Об'ємна частка – це відношення об'єму кожного окремого компонента до об'єму суміші:

$$r_1 = \frac{v_1}{V}; \quad r_2 = \frac{v_2}{V}; \quad \dots; \quad r_n = \frac{v_n}{V};$$

де  $r_1, \dots, r_n$  – об'ємні частки,  $v_1, \dots, v_n$  – об'єми компонентів,  $V$  – об'єм суміші.

Молярна частка – це відношення кількості молів компонента суміші до кількості молів самої суміші:

$$x_1 = \frac{\gamma_1}{\gamma}; \quad x_2 = \frac{\gamma_2}{\gamma}; \quad \dots; \quad x_n = \frac{\gamma_n}{\gamma};$$

де  $x_1, \dots, x_n$  – молярні частки,  $\gamma_1, \dots, \gamma_n$  – кількості молів компонентів,  $\gamma$  – кількість молів суміші.

Згідно закону Амага сума приведених(парціальних) об'ємів окремих компонентів суміші дорівнює об'ємові суміші. Парціальний об'єм – це об'єм, який займав би компонент суміші, якби його  $P$  і  $T$  дорівнювали  $P$  і  $T$  суміші -  $v_1 + v_2 + \dots + v_n = \sum_{i=1}^n v_i = V$  .

- Сума масових, об'ємних та молярних часток рівняється :

$$\sum m_i = \sum r_i = \sum \gamma_i = 1.$$

- Парціальний тиск кожного компонента суміші дорівнює добутку загального тиску суміші на його об'ємну частку:  $p_i = p \cdot r_i$  .

- Зв'язок між різними частками:

$$g_i = \frac{m_i}{m} = \frac{\mu_i}{\mu} \cdot r_i = \frac{R_{\Sigma}}{R_i};$$

$$R_{\Sigma} = \sum (R_i \cdot g_i); \mu = \sum (\mu_i \cdot r_i); r_i = \gamma_i;$$