

Тема 16. Насичена і ненасичена пара. Вологість повітря.

Насичена і ненасичена пара.

У природі відбуваються процеси **випаровування рідини** та **конденсації пари**. Випаровування рідин відбувається тому, що деякі молекули рідин мають швидкість, а отже, і кінетичну енергію, достатню для виконання роботи з подолання сил притягання між ними. Чим вища температура рідини, тим більша частка таких молекул. За певних умов ці молекули вилітають з вільної поверхні рідини і можуть її покинути (випаровування) або повернутися назад (конденсація).

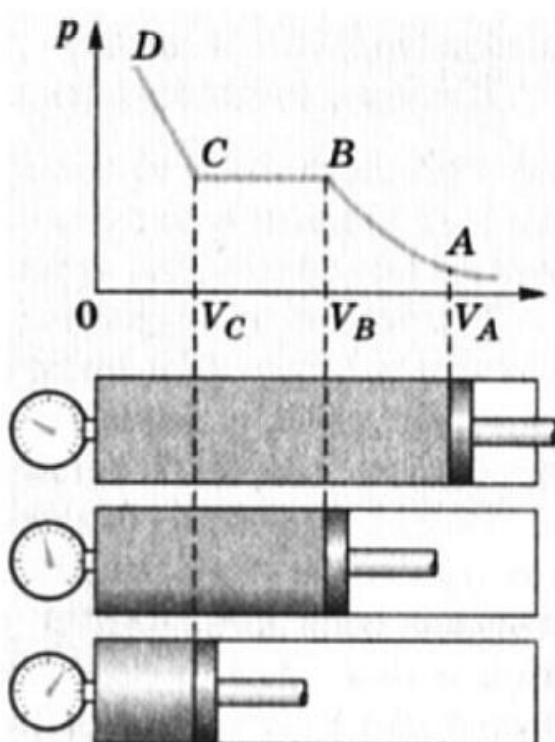
Пара може бути насиченою і ненасиченою, що залежить від її густини, температури і тиску. Пара, яка знаходиться в динамічній рівновазі з власною рідиною, є **насиченою**. Насичена пара утворюється у закритій посудині над вільною поверхнею рідини.

Динамічна рівновага між рідиною і паром виникає тоді, коли кількість молекул, що вилітає з вільної поверхні рідини, дорівнює кількості молекул, що повертаються в неї.

У відкритій посудині, оскільки певна кількість молекул випаровується в атмосферу і не повертається в рідину, порушується динамічна рівновага і пара стає **ненасиченою**.

Насичена і ненасичена пара мають різні властивості. Дослідимо їх за допомогою малюнка.

Нехай ненасичена пара за температури T знаходиться в циліндрі з поршнем. Почнемо повільно її стискати, щоб забезпечити



ізотермічний процес. Спочатку при значному розрідженні пари залежність тиску від об'єму задовольнятиме закон Бойля-Маріотта для ідеального газу: $PV = const$. Проте зі зменшенням об'єму ненасиченої пари (збільшенням її густини) починає спостерігатися відхилення від нього. Подальше ізотермічне стискання пари веде до того, що вона починає конденсуватися (точка B), у циліндрі утворюються крапельки рідини, і пара стає насиченою. Її густина, а отже, і

концентрація молекул набувають максимального значення для даної температури. Вони не залежать від об'єму, який займає насичена пара, і визначаються її тиском і температурою.

Під час стискання насиченої пари (ділянка BC) її тиск не змінюватиметься ($P = const$). Це пояснюється тим, що при зменшенні об'єму насичена пара конденсується, утворюючи рідину. Частка рідини в об'ємі циліндра весь час збільшується, а об'єм, який займає насичена пара, зменшується. Це відбувається доти, доки вся насичена пара не перейде в рідкий стан (точка C). Подальше зменшення об'єму викликає різке зростання тиску (ділянка CD), оскільки рідини майже не стискаються.

Графік, зображений на малюнку, називається **ізотермою реальних газів**. Ці ізотерми характеризують рівноважний стан реального газу з рідиною. Їх сукупність дає можливість з'ясувати залежність тиску насиченої пари від температури.

Вологість повітря. Точка роси.

Абсолютна вологість повітря характеризує масу водяної пари, що міститься при даній температурі в 1 м^3 повітря. Фактично, це густина водяної пари в повітрі при певній температурі, оскільки $\frac{m}{V} = \rho$.

Відносна вологість повітря – це відношення парціального тиску водяної пари p за даної температури до тиску насиченої пари p_n за тієї самої температури:

$$\varphi = \frac{p}{p_n} \cdot 100\% .$$

Відносна вологість повітря може бути визначена також через густину водяної пари:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_n} \cdot 100\% .$$

Температура t_p , до якої треба ізобарно охолодити повітря даної вологості, щоб водяна пара стала насиченою, називається **точкою роси**.

Знаючи температуру точки роси, за допомогою таблиці можна визначити парціальний тиск водяної пари повітря даної вологості – він дорівнює тиску насиченої пари при цій температурі.

Тиск і густина насиченої водяної пари

$t, ^\circ\text{C}$	$p_n, \text{кПа}$	$\rho_n, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_n, \text{кПа}$	$\rho_n, \text{кг/м}^3$
0	0,61	0,0048	16	1,81	0,0136
2	0,71	0,0056	18	2,07	0,0154
4	0,81	0,0064	20	2,33	0,0173
6	0,93	0,0073	22	2,64	0,0194
8	1,07	0,0083	24	2,99	0,0218
10	1,23	0,0094	26	3,36	0,0244
12	1,40	0,0107	28	3,79	0,0272
14	1,60	0,0121	30	4,24	0,0303

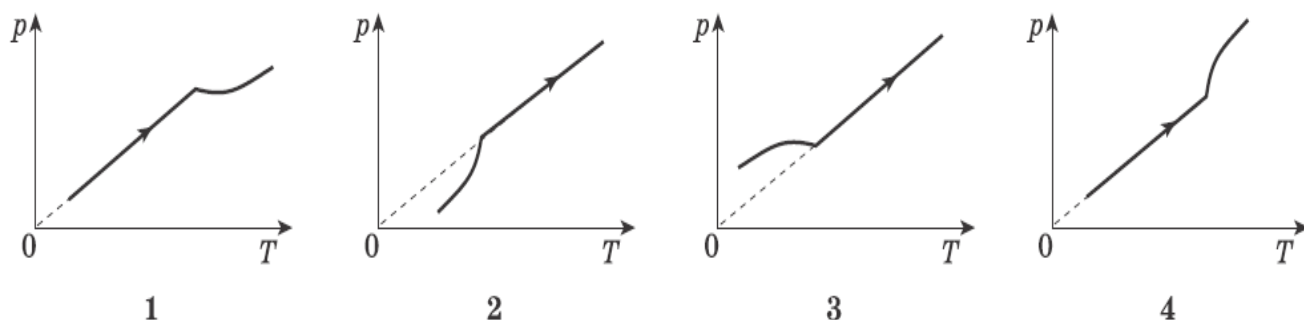
Відносну вологість повітря можна визначити також за відповідними значеннями густини водяної пари за температури точки роси t_p і густини насиченої водяної пари ρ_n .

Вологість повітря вимірюють за допомогою гігрометрів або використовуючи психрометричну таблицю вологості.

Приклад 1. Як змінюється густина рідини та її насиченої пари зі зростанням температури?

Відповідь: густина рідини зменшується, насиченої пари – збільшується.

Приклад 2. Який графік залежності тиску від температури всередині герметичної посудини, у якій міститься невелика краплина води та насичена водяна пара, відповідає процесу її нагрівання (див. рисунок)? Після випаровування краплини нагрівання продовжують.



Відповідь: 2. Тиск насиченої пари зростає швидше, ніж температура, оскільки під час зростання температури відбувається додаткове випаровування води і зростає концентрація молекул пари. Після того, як вода випарилася, тиск зростає пропорційно до зростання температури.

Приклад 3. Об'єм насиченої пари за сталої температури зменшили удвічі. Як змінилася концентрація молекул насиченої пари?

Відповідь: не змінилася. Тиск, а отже і концентрація молекул насиченої пари залежать тільки від температури.

Приклад 4. Герметичну склянку із невеликою кількістю води нагріли, збільшивши абсолютну температуру на 10%. Як змінився тиск насиченої пари у склянці? У склянці весь час є певна кількість води.

- А) зменшився на 10%;
- Б) не змінився;
- В) збільшився на 10%;
- Г) збільшився більш ніж на 10%.

Відповідь: Г. Тиск насиченої пари зростає швидше, ніж зростає температура.

Приклад 5. Температуру, за якої ненасичена пара стає насиченою, називають:

- А) точкою кипіння;
- Б) точкою роси;
- В) точкою плавлення;
- Г) потрійною точкою води.

Відповідь: Б.

Приклад 6. Обидва термометри психрометра показують температуру 20°C . Якою є відносна вологість повітря?

А) 100%; Б) 40%; В) 20%; Г) 0%.

Відповідь: 100%.

Приклад 7. В герметичній посудині знаходиться повітря, абсолютна вологість якого становить $1,2\text{ г/м}^3$. Як вона зміниться за підвищення абсолютної температури повітря в 2 рази?

А) збільшиться більш, ніж у 2 рази;

Б) збільшиться у 2 рази;

В) не зміниться;

Г) зменшиться у 2 рази.

Відповідь: В. Абсолютна вологість повітря – це густина водяної пари, при збільшенні температури вона не змінюється.

Приклад 8. Парціальний тиск водяної пари в повітрі становить 1,5 кПа, тиск насиченої пари за тієї ж температури – 2 кПа. Якою є відносна вологість повітря?

Відповідь: 75%.

Приклад 9. Скільки водяної пари міститься у кожному кубічному метрі атмосферного повітря за температури 24°C і відносної вологості 50%? Відповідь округліть до цілої кількості грамів.

Відповідь: 11 г.

Приклад 10. Установіть відповідність між властивостями речовини та її агрегатним станом.

1 Зберігає об'єм і форму, під час нагрівання повільно розм'якає	А Ненасичена пара
2 Зберігає об'єм і форму, має визначену температуру плавлення	Б Насичена пара
3 Зберігає об'єм, дуже легко змінює форму	В Рідина
4 Не зберігає ні об'єм, ні форму, тиск залежить тільки від температури	Г Тверде кристалічне тіло
	Д Тверде аморфне тіло

Відповідь: 1 – Д, 2 – Г, 3 – В, 4 – Б.

Приклад 11. Відносна вологість повітря ввечері за температури 16°C дорівнює 69%. Визначте температуру, за якої вночі почне випадати роса.

Відповідь: 10°C .

Приклад 12. Визначте масу води, яку потрібно випарувати для того, щоб збільшити відносну вологість повітря в кімнаті вдвічі. Початкове значення відносної вологості становить 40%. Розміри кімнати $8 \times 5 \times 2,5$ м. Температура у кімнаті становить 25°C .

Відповідь: 920 г.

Домашнє завдання: 2.54, 2.55, 2.56, 2.58, 2.59, 2.60, приклади 8-12.