

Дані для утворення кристалів деяких речовин

Класність речовини в таблиці № 4 води	Формула і колір кристала	Речовина і хімічна формула
195	Октадрійні кристали білого і жовто-сріблясто-го кольору	Алюмокальцевий гідрат $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ Сірчанокальцевий нікель $NiSO_4 \cdot 7H_2O$
150-200	Трикутні кристали білого кольору	Двохромистий калій $K_2Cr_2O_7$ калій (біхромаат) K_2CrO_4
250	Рубінові кристали	Залізоцинкородис-тий калій (черво-на кров'яна сіль) $K_2Fe(CN)_6$
450	Світложовті прозорі кристали	Залізистосиньоро-дистий калій $K_2Fe(CN)_6$
200	Трикутні яскраво-сині кристали	Міциний купорос $K_2Fe(CN)_6$ (жовта кров'яна сіль)
150-200	Трикутні кристали жовто-лимонного кольору	Хромокислий калій K_2CrO_4

Кристали широко використовуються в різних галузях на-родного господарства. Вони розробили багато способів одер-жання або, як кажуть, вирощування кристалів. Найбільш поширеним є три способи вирощування кристалів: в розчи-ну, в розплаві і з пари. Ми розповімо лише про те, як можна в домашніх умовах вирощувати кристали з розчину. Хоч це робота трудомістка і потребує акуратності, все ж вона повна захоплюючого інтересу. В свій час відомий мінералог, спе-ціаліст по метеоритах і поет П. Л. Драверт (1879—1945 рр.) так писав про свої заняття кристалізацією:

«Виростив у склянці чудові кристали. Різкісінькі, прехарясні, біатородній труді Як в п'яденнім морі червоні корали. Чудові кристали у мене ростуть...»

Для вирощування кристалів певної речовини треба при-готувати насичений водний розчин цієї речовини. Для цього в хімічну склянку або колову місткістю 0,5—0,8 л наливають не більше половини її об'єму дистильованої (або добре кип'яченої) води і нагрівають її до 60—70°С. Потім у воду обережно, насипають відповідну сіль і помішують розчин лотом, поки речовина не перестане розчинятися. Одержують насичений розчин. Його слід зразу ж профільтрувати в іншу посудину, де вирощуватимуть кристали.

У відфільтрований насичений розчин кидають маленькі кристалик речовини або підвішують його на нитці у водоспадні всередині розчину, який і служить зарод-ком для набуттю великого кристала. Посудину накри-вають картоном і ставлять в темне місце. Великий кристали виростає за добу-два, а інди і більше.

Щоб дістати добре оформлені дататоранники, треба час від часу обережно перевіряти кристали з однієї прани на другу, щоб всі поті прани побували в однакових умовах росту. Наводимо відомості про те, які ж солі і які кль-кості (на 0,5 л води) можна брати для вирощування кри-сталів і яку форму вони утворюють (табл. 5).

При відповідних умовах і старанному виконанні робіт можна одержати зовсім правильно оформлені кристали, які не поступаються за своїми обрисами найбільш строгим побутовим геометріям.

Лікварною властивістю кристалів є здатність їх залкову-вати свої «рани». Якщо у насичений розчин покласти кусо-



Львівський фізико-математичний ліцей

Алексейчук Володимир Іванович

Конспекти з фізики
10 клас I семестр
Основи МКТ. Термодинаміка.

М. Львів 1998.

Дубову і властивості ретовин у різних агрегатних станах і їх взаємні перетворення (фазові переходи).

М.р. вивчає макроскопічні тіла...

Основні методи м.р.: I Статистичний 2 Термодинамічний

створюється молекулярна модель явища, досліджується поведінка великої кількості молекул. 2) Досліджує явища, що безпосередньо спостерігаються на досвіді, отримавши певні дані, що безпосередньо вимірюються, не цікавлячись внутрішньою будовою.

Система тіл - сукупність тіл що розглядаються.

Система у різних станах відрізняється температурою, тиском, об'ємом і т.д. - параметри системи (стану)

Термодинамічна рівновага - стан ізольованої системи до якої вона переходить самовільно - параметри зберігаються довільно довго. (Ізольована система не може сама сабою бути із стану рівноваги).

Температура - величина, що однакова у всіх твистин (причин) ізольованої системи, що передає у тепловій рівновазі термодинам.

Кількісне вимірювання температури

Температура характеризує - ступінь нагрітості тіл
 - напрям теплообміну
 - швидкість руху молекул

Якщо тіла у тепловій рівновазі (відсутній теплообмін між тілами) - їх температура однакова.

Для кількісного визначення температури використовують залежність від неї - об'єму, тиску, електричного опору...

Шкала Цельсія $t_0 = 0^\circ\text{C}$ - плавлення льоду - V_0
 $t_{100} = 100^\circ\text{C}$ - кипіння води - V_{100}

t - довільна температура - V

$$\frac{V_{100} - V_0}{t_{100} - t_0} = \frac{V - V_0}{t - t_0} \Rightarrow t = \frac{V - V_0}{V_{100} - V_0} \cdot 100^\circ$$

Виміряти температуру тіла - привести його до теплової рівноваги з термометром. Види термометрів...

Температурні шкали.

t (°C) шкала Цельсія $T = t + 273$ $\Delta t = \Delta T = 1\text{K} = 1^\circ\text{C}$

t (K) шкала Кельвіна

t (°F) шкала Фаренгейта

Температура Фаренгейта

Температура розширення тіл $t \leq V$ $t' \leq V'$

(Збільшуються всі розміри тіла)

I Лінійне $\alpha = \frac{\Delta l}{l \Delta t}$ - коеф. лінійного розширення тіла. $\Delta t = t' - t$

II Об'ємне $\beta = \frac{\Delta V}{V \Delta t}$ - коеф. об'ємного розширення тіла. $\beta = 3\alpha$

$\rho' = \rho(1 - \beta \Delta t)$ Для ізотропних тіл

Врахування... Особливості розширення води...

ЕЛЕКТРОСТАТИКА - розглядає взаємодію і властивості систем нерухомих зарядів.

Сили взаємодії зарядів (заряджених тіл) залежать від форми, розмірів тіл і характеру розташування зарядів на цих тілах

У випадку взаємодії нерухомих точкових зарядів $(\dots) q_1, q_2$, а також зарядів кулястої форми з рівномірним розподілом заряду по площині об'єму або по всій поверхні виконується ЗАКОН КУЛОНА (фор. 1785р.; англ. Кавендіш 1772р. - надруковано 1875р.) Крутильні терези.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{R^2}$$

З-н Кулона - сила взаємодії двох точкових нерухомих зарядів у вакуумі $F = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2}$

Кулонівські сили: 1 Центральні - напрямлені вздовж прямої що проходить з'єднанню зарядів 2 Для зарядів $q_1, q_2 > 0$ $F_{12} > 0$ $F_{21} > 0$ сили відштовхувальні - позитивні (притягальна відштовхувальні від син зарядів $q_1, q_2 < 0$ $F_{12} < 0$ $F_{21} < 0$) 3 Для різномісних зарядів $q_1, q_2 < 0$ $F_{12} < 0$ $F_{21} < 0$ сили притягання - негативні. 4 Виконується III з-н. Ньютона $F_{12} = -F_{21}$ ($R = |R_{12}| = |R_{21}|$) 5 За суттєвими даними з-н Кулона виконується думке тогмо і для думке великих і для думке малих ($R \sim 10^{-10}$ м) відстаней.

Одиниці електричного заряду.

Основна одиниця 1A ($I = \frac{dq}{dt}$) $\rightarrow dq = I \cdot dt \rightarrow 1\text{Кл} = 1\text{A} \cdot 1\text{с}$

$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ $k = \frac{1}{4\pi \epsilon_0}$

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$ електрична стала

$F = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{R^2}$ - закон Кулона в СИ 1Кл - думке великий заряд

СГСЕ - Абсолютна електростатична система одиниць (система Гаусса)

$F = \frac{q_1 q_2}{R^2}$ в СГСЕ $k=1$ Табл. одич. заряду СГСЕ - такий заряд, який діє на рівний йому заряд, розміщений на відстані 1см з силою 1дин

Взаємодія зарядів в середовищі (діелектрик) - визначається лише властивостями даного діелектрика

$\epsilon = \frac{F}{F_{\text{вас.}}}$ - відносна діелектрична проникність середовища - показує, у скільки разів сила взаємодії у вакуумі більша, ніж у даному середовищі $\epsilon > 1$ завжди - діелектричні послідляють електр. поле.

$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon R^2}$ ΔU - з-н Кулона для діелектрика

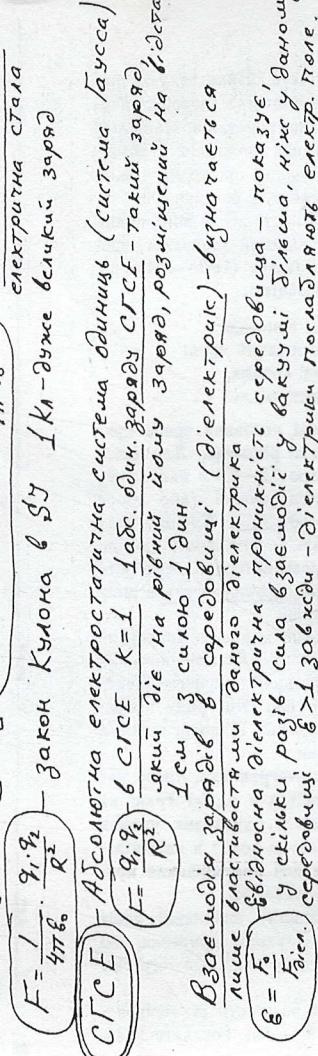
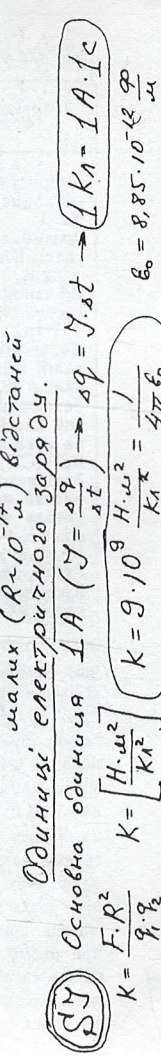
ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦІЇ - сила взаємодії двох зарядів не змінюється при наявності третього, четвертого, т.д. зарядів

Для системи зарядів на довільний заряд визначається безпосереднім додаванням сил взаємодії даного заряду з іншими

$$\vec{F}_0 = \vec{F}_{01} + \vec{F}_{02} + \dots + \vec{F}_{0n} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{0i}$$

Повторити $k=28$ $q_{\text{кл}}$ - Грабітаційне поле $k=29$ $q_{\text{кл}}$

Крутильні терези... $1\text{од. зар. сГСЕ} = \dots$ Кл



Фундаментальні взаємодії в природі.
 I Гравітаційна $F = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2}$
 II Електромагнітна III Слабка IV Сильна (ядерна)
 Електрогладка взаємодія
 Велике об'єднання

Електродинаміка - теорія електромагнітної взаємодії - вивчає властивості електромагнітного (е.м.) поля та його взаємодію з речовиною (рух, взаємодію заряджених частинок).

- $Q = [K_1]$ кулон
 заряд частинки(тіла)
1. Джерело е.м. поля
 2. визначає здатність тіл до е.м. взаємодії
 3. визначає інтенсивність е.м. взаємодії
 4. властивість деяких елементарних частинок (заряди не існують самі по собі без частинки - властивість матерії)

Фундаментальні властивості зарядів частинки:

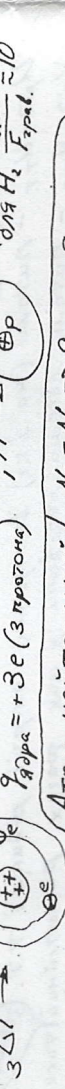
- I. Числу два види зарядів \oplus позитивні (протон, e^+ , μ^+ , τ^+ , ν_e , ν_μ , ν_τ)
 \ominus негативні (електрон, e^- , μ^- , τ^- , ν_e , ν_μ , ν_τ)
- II. Заряд є релятивістські інваріантним - його величина не залежить від системи відліку, а отже від швидкості
- III. Закон збереження заряду (ЗЗЗ) - в ілюдій ізольованій частинці алгебраїчна сума зарядів постійна $Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = \text{const}$

Носії заряду-елементарні частинки $q_p = |q_e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} = e$

1. електрон і протон - нескінченний час життя
2. існує багато нестабільних заряджених частинок (вони утворюються і зникають у процесі самоперетворення)

протон-р - складається з трьох кварків $(\frac{2}{3}e, \frac{2}{3}e, \frac{1}{3}e)$
 n-нейтрон - складається з трьох кварків $(\frac{1}{3}e, \frac{1}{3}e, \frac{2}{3}e)$
 для електрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$

Атом = електрони + ядро = нейтрони + протони (нуклони) = кварки



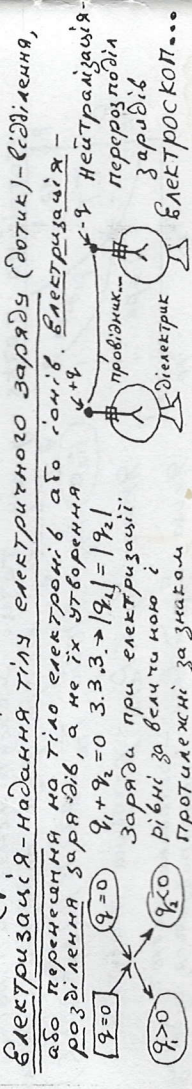
$M_2 = 7 \text{ а.о.м.}$
 $q_{\text{ядра}} = +3e$ (3 протони), $q_{\text{е}} = -e$
 Атом нейтральний! $N_e = N_p \rightarrow q_{\text{ядра}} = q_{\text{електронів}}$

$+10n = 10n - 10n = 0$ атом + електрон

Заряд мікрогастинок (тіл) - дискретний (але тіло елементарних зарядів але в дільності макроскопічних електричних явищ бере участь безліч частинок кількість елементарних зарядів і їх дискретна структура не проявляється)

Заряд тіла $q = 0$ (нейтральний) $N_e = N_p$ однакова кількість електронів і протонів
 $q > 0$ $N_p > N_e$ - надлишок електронів
 $q < 0$ $N_e > N_p$ - надлишок протонів

Електризація - надання тілу електричного заряду (дотик) - везівлення, або перенесення на тіло електронів або іонів. Електризація - розділення зарядів, а не їх утворення



Молекулярно-кінетична теорія (МКТ)
 - розглядає будову і властивості тіл, як результат руху і взаємодії молекул,
 Основні положення МКТ:

- I Всі ретовини складаються з мікрочастинок (атомів, молекул або іонів), між якими існують проміжки (Маса тіла міняється не перервно, а лише порціями - дискретно)
- II Частинки всіх тіл перебувають у неперервному хаотичному (тепловому) русі. Рух кожної частинки підлягає законам механіки
- III Частинки ретовини взаємодіють між собою - залежності від відстані притягуються або відштовхуються (взаємодія електромагнітна)

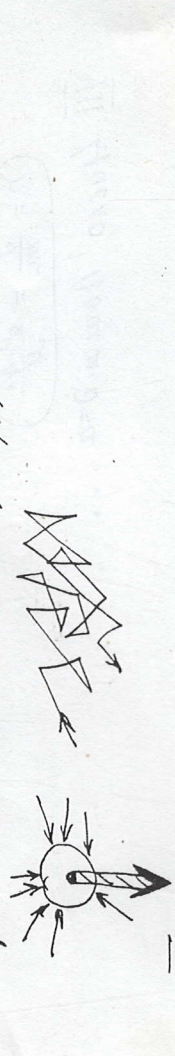
Експериментальні підтвердження положень!

- 1 макроскопічне тіло ділиться на частини
- 2 вивча паротворення, судимачі, розчинності
- 3 електронний і іонний мікроскопи (500 нм. роздільність)
- 4 дослід з краплиною олії - краплина не розпадається до нескінченності - найменша товщина $d = 1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$
 - розміри одної молекули
 $V = S \cdot d \rightarrow d = \frac{V}{S} = \frac{10^{-9}}{0,6} \approx 1,7 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 1,7 \text{ нм}$
 $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$

3-н постійних відношень (квіти)
 1А-ангстрем $1 \text{ А} = 10^{-10} \text{ м}$

II Дифузія - поширення ретовини в якому медьді середовищі у напрямі зменшення її концентрації

- 1 Броунівський рух (дотанік Броун, англ. 1827р.) - неперервний у часі і хаотичний у напрямі рух забислих у рідині або газі мікрочастинок (~1 мкм - видно у мікроскоп) під дією теплового руху молекул середовища. Цей рух викликаний нескомпенсованими імпульсами, які отримує частинка з боку оточуючих її молекул (швидкість руху броунівських частинок ~ температурі).



III Ускунвання тверди х тіл

1 сила пружності - 3-т Гук

I Розміри атомів $R_a \sim 10^{-10}$ м (1 \AA)

II Маса атома дуже мала ($m_a \sim 10^{-25}$ кг)

$M_a = \frac{m_a}{12}$

III Кількість атомів у макроскопічних тілах-веществах (напр. Металевий)
- відносна атомна (молекулярна) маса (з табл. Менделєєва)
 m_a - маса атома (молекули) [кг]
 m_{mole} - маса атома вуглецю-12 [кг]
I а.о.м. = $\frac{1}{12} m_{mole} = 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг

IV Молярна маса - M - маса одного моля речовини
 $M = 12 \cdot 10^{-3}$ $\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ $\rightarrow M = m_a \cdot N_A$ - маса атома

$m = m_a \cdot N$
 $M = m_a \cdot N_A$
 $\rightarrow V = \frac{m}{\rho}$ - кількість речовини

$N = \frac{m}{m_a} = \frac{M}{m_a} \cdot n$ - кількість молекул у тілі масою m

$n = \frac{N}{V}$ - концентрація атомів - кількість атомів в 1 м^3 речовини

$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_a \cdot N}{V} = m_a \cdot n = \frac{M}{N_A} \cdot n$ - густина речовини - маса 1 м^3 речовини

$n = \frac{\rho}{m_a} = \frac{\rho \cdot N_A}{M}$

VII Число Лошмідта...

Руйнування кристалів - межа міцності.



$W_{exp} = A = F \cdot dl = \int F dl = \int \frac{F \cdot l}{l} dl = \frac{F \cdot l}{2} \cdot \frac{\Delta l}{l} = \frac{F \cdot l}{2} \cdot \frac{\sigma}{E} = \frac{F \cdot l}{2} \cdot \frac{\sigma^2}{E}$
Перед розривом об'єм тіла володіє енергією $U_{exp} = \frac{\sigma^2 \cdot V}{2E}$



При розриві виникають дві вільні поверхні $2l^2$ і енергія деформації переходить у поверхню енергію $U_{пов} = \sigma_{пов} \cdot 2l^2 = U_{exp} = \frac{F \cdot l}{2} \cdot \frac{\sigma^2}{E} \rightarrow \sigma_{пов} = \sqrt{\frac{4 F \cdot l}{E}}$ Межа міцності менше.

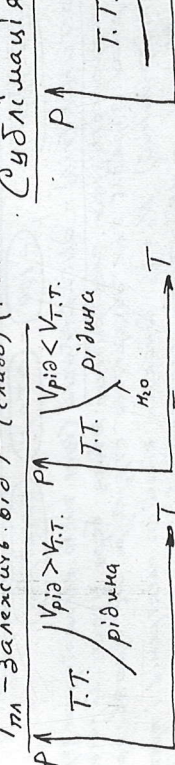
Реальна міцність кристалів σ_m менше:
1) враховано замксової деформації і енергії сугєї деформації
2) Дефектів і мікротріщин у кристалах (рук дислокації)
3) Температуру кристала

Теплоємність кристалів (при достатньо високих температурах) $\approx 300k$
Для одноатомних кристалів (кожна частинка коливається навколо рівноважного положення) $C_{вр} = 3R$
3-4 Дюлонга - Ріті

Нагрівання кристалів призводить до зростання амплітуди амперманних коливань частинки, до збільшення міжвузлових відстаней в решітці (Теплове розширення $l = l_0 (1 + \alpha \Delta t)$ $V = V_0 (1 + \beta \Delta t)$ $\beta = 3\alpha$)

Симне нагрівання - руйнування решітки - $\Delta m = \frac{\rho}{m} = U_{рід} - U_{тл} + P(V_{рід} - V_{тл})$
- Главлення = вторякований кристалічний стан - менш вторякований стан-рідкий (ентропія зростає)

$U_{рід} < U_{тл}$ (на 1 кг) внутрішні енергії рідини і т.т. **ЗОВНІШНЯ**
 $U_{рід} > U_{тл}$ - питомі об'єми ретовини у цих фазах P - постійний тиск.
 $T_{пл}$ - залежить від P (сладо) (Рівняння Клапейрона - Клаузіуса...)
Суцільна рідина



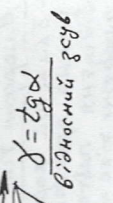
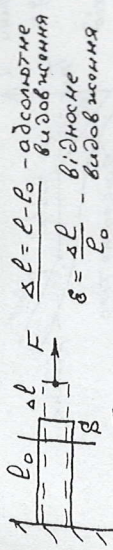
Потрійна точка - у цій точці можуть існувати і бути у рівновазі всі три фази: пара, рідина, кристал (H_2O) $P_{тр} = 610 \text{ Па}$ $T_{тр} = 273,16 \text{ К}$ ($t_{тр} = 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$)
Якщо $P_{тр} < P_{атм}$ - ретовина плавається
Якщо $P_{тр} > P_{атм}$ - ретовина лютує (випаровується, суцільна)

K-27

Дерормашія... Пружність...
Пластичність...

Види дерормашії: 1. Стиск (розтяг) 2. Згин
3. Зсув 4. Кручення

Стиск (розтяг)



$\sigma = \frac{F}{S}$ - механічна напруга

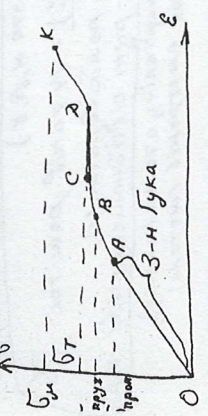
$\sigma = E \cdot \epsilon$ або $F = k \Delta l$

$k = E \frac{S}{l_0}$ - жорсткості

$\tau = \frac{F}{S}$ - дотична напруга

$\tau = G \cdot \gamma$

Діаграма розтягу...



Крихкість - (табун, зартована сталь)

OA - пружна дерормашія

AB - пластична дерормашія

BC - залізна дерормашія

Після пластичної дерормашії механічна пружність стає вищою - матеріал стає міцнішим.

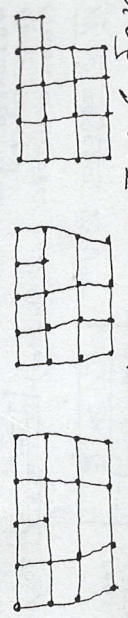
Зміцнення матеріалу (збільшення об'єму кристалів пластичній дерормашії): 1) Наклеп (ковка) 2) Температурне гартування

3) Легування - введення домішок

Молекулярний механізм міцності: Як показують експерименти і теоретичні розрахунки, механічна пружність реальних кристалів менше ніж у ідеальних - велика роль дефектів кристалічної решітки (дислокацій). При дерормашії дислокації рухаються і міцність матеріалів зумовлена ступінною легкості руху дислокацій.

Фактори, що утруднюють рух дислокацій, роблять матеріал міцнішим.

Зміцнення матеріалів пластичними дерормашіями пояснюється збільшенням числа дислокацій, в наслідок того їх рухливість зменшується (заважають друг другу)



Рух дислокацій

Міцність матеріалу зростає в багато разів при ліквідації дефектів у кристалах.

K-4 Газ, рідина і тверді тіла.

стан молек.	Газ	Рідина	Тверді тіла
1. Відстань (зучина)	$r \approx 5 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ менше стаскуються до 1/3 r	$r \approx d_0$ впритука ме етиск. $r \sim 10^{-10} \text{ м}$	$r \approx d_0$ $r \sim 10^{-3} \text{ м}$
2. Сили взаємодії	Дуже малі не зберігають форми і об'єму	Досить великі зберігають форму посудини	Великі зберігають форму і об'єм
3. рух	Поступальний $10^3 \text{ м}^3, 10^7, 10^9$	Поступальний 10^3 м^3 - коливається	Колісальний
4. енергія	$E_{к.з.} \gg E_{п.з.} $	$E_{к.р.} \approx E_{п.р.} $	$E_{к.п.} \ll E_{п.п.} $
5. Розташування	$F_{к.з.} > E_{к.р.}$ непорядковане (хаотичне)	$E_{к.п.} > E_{к.р.}$ ближній порядок	$ E_{п.р.} < E_{п.п.} $ далній порядок (кристали)

Сили молекулярної взаємодії - електромагнітні (молекула - атом -> електрони + ядро -> протони + нейтрони)

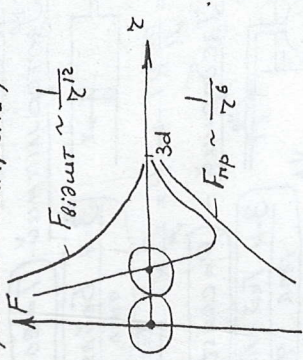
1. $r \gg d_0$ $F_{взаємодія} \approx 0$

2. $r \approx (1-3)d_0$ $F_{пр} > F_{відст.}$

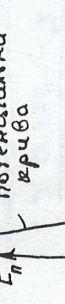
3. $r < d_0$ $F_{пр} = F_{відст.}$

4. $r < d_0$ $F_{пр} < F_{відст.}$

5. $r > d_0$ $F_{пр} > F_{відст.}$

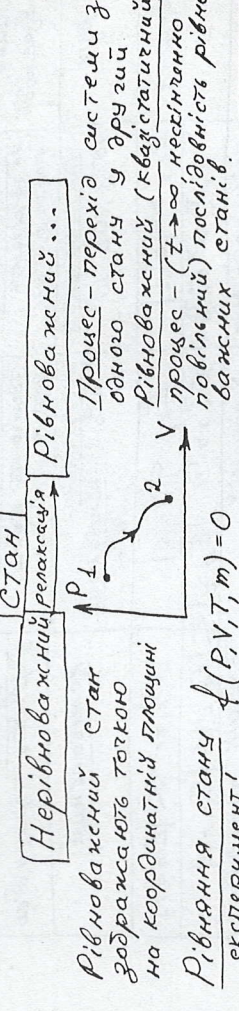


Потенціальна енергія молекулярної взаємодії:



К-5

Ідеальний газ (розріджений газ)
 ① Відсутня взаємодія молекул ② Молекули - матеріальні точки певної маси (m) ③ Взаємодія - пружинні стикання ④ Молекули рівномірно розподілені по об'єму ⑤ Завжди газ.
Параметри газу: тиск - P, об'єм - V, температура - T, маса - m.



$PV = \frac{m}{\mu} RT$ - р-ня стану Менделєєва - Клапейрона

Ізопроцеси - процеси з фіксованими параметрами: m = const

Ізотермічний (T = const; ΔT = 0)

$PV = \text{const}$

$P_1 V_1 = P_2 V_2$

$m = \text{const}$

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

Ізобарний - P = const; ΔP = 0

$V_t = V_0 (1 + \beta \cdot t)$

$\beta = \frac{1}{273,15} \text{ град}^{-1}$

β - коеф. об'ємного розширення

$P_2 > P_1$ $V_2 = 0$ при $\beta \cdot t_0 = -1$ $t_0 = -273,15 \text{ } ^\circ\text{C}$

абсол. нуль

Абсолютна (термодинамічна) температура $T = t + 273,15$

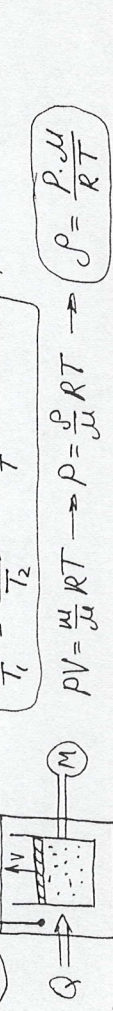
Ізохорний V = const; ΔV = 0

$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ або $\frac{P}{T} = \text{const}$

$m = \text{const}$

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

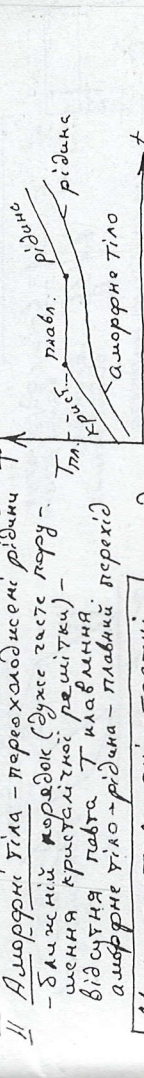
$PV = \frac{m}{\mu} RT \rightarrow P = \frac{\rho}{\mu} RT \rightarrow \rho = \frac{P \cdot \mu}{RT}$



К-6

Тверді тіла зберігають об'єм і форму

І Кристали - симетрія - правильна геометрична форма, певний порядок - кристалична решітка. Монокристал - однотипний кристал. Полікристал - складається з великої кількості малих монокристалів розташованих хаотично



Монокристали-анізотропні... приклади...

І.Т. - долинний фронт - сили притягання між молекулами. Стійка рівновага досягається при певному розташуванні молекул в осолі кожною молекулу, по всьому об'єму - дальній порядок - взір'яне розташування переважно повторюється - кристалична структура. Кристалична решітка отримують перевагом елементарної комірки (найменша просторова частка кристалу з максимальною високою симетрією) у трьох напрямках (три ребра a, b, c три кута α, β, γ).

ІІ Типів кристаличних систем (симгоній) - 14 типів решіток (кубична (3), тетрагональна (2), гексагональна (1), ромбодратна (1), ромбічна (4), монокліна (2), трикліна (1)) - різні співвідношення a, b, c, α, β, γ.

Структурні частинки кристалів: молекули (нафталін), атоми (алмаз), іони (кухонна сіль), атомні залишки в хмарі вільних електронів (метали).

Тали сил (зв'язків) - ван-дер-Ваальсові (між молекулами), Фундівські (між іонами), парноелектронні або ковалентні (між атомами металів, між атомами залишками і вільними електронами в металах), Змішані.

Частинки розташовані так, щоб енергія взаємодії була мінімальною. Енергія зв'язку - додатки різниці між енергією з'юбованих атомів і атомів у решітці (0,1 - 0,7 eV) енергія зв'язку визначає роботу виходу частинки з кристалу

Дефекти в кристалах - порушення ідеальної кристаличної решітки

І Точкові: енергетичні (фониони, тисесові: збудження прошиння і тастички електронні (забі) електрони, дірки, екситони)

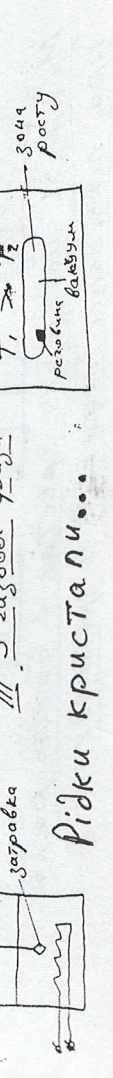
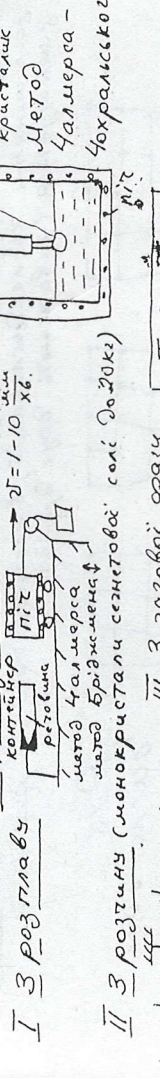
ІІ Відови мірні - звичтові та Фрабві дислокації (10³-10⁶ атомів)

ІІІ Збвчи мірні - ряди лінійних дислокацій, зрани зерен кристалів, порушення

Концентрація дефектів зростає з підвищенням Т

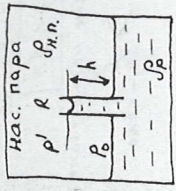
З'являються вільні електрони, дірки, вакансії, міжзубові атоми

Дефекти і їх міграції визначають: дифузю, пластичність, в'язкість, теплопровідність, електропровідність.



K-25

Випаровування при викривленій поверхні рідини



Якщо рідина повністю зможе капляр $h = \frac{2\sigma}{\rho g R}$
 Тиск (пружність) насиченої пари на висоті h над рівнем рідини визначається барометричною формулою $p = p_0 e^{-\frac{\rho g h}{p_0}}$, але для малих h $\Delta p = p_0 - p' = \rho_{ж.п.} g \cdot h$

Тиск над вгнутим меніском у каплярі менший ніж над плоским (МКТ: молекули поверхневого шару на внутрішній поверхні притягуються сильніше ніж молекули на плоскій поверхні, отже інтенсивність випаровування менша, а значить і концентрація насиченої пари менша, тобто тиск насиченої пари менший).

Над опуклою поверхнею тиск більший $\Delta p = p_0 - p' = \rho_{ж.п.} g \cdot h = \rho_{ж.п.} g \cdot \frac{2\sigma}{\rho g R} = \frac{2\sigma}{R} \frac{\rho_{ж.п.}}{\rho} = \Delta p$
 $\Delta p = \pm \frac{2\sigma}{R} \frac{\rho_{ж.п.}}{\rho}$

Висновки: Краплини різних радіусів, що оточені насиченою парою, не можуть бути у рівновазі (менші краплини випаровуються, а на більші пара конденсується).

Розтини - суміш двох або декількох речовин, що перебувають у рідкому стані

Розтинність тв. тіл у рідчині: 1) границя концентрації т.т. залежить від Т. 2) суцільно розчиняється зменшення Т (енергія витрачається на руйнування кристалічної решітки), або підвищення Т (після руйнування решітки утворюються комплекси молекул т.т. і рідчини)

3) $V_{розт.} \neq V_{розт.ч.} + V_{тв.т.}$ 4) зростає $T_{кип.}$ у порівнянні з тиском розчинником 5) зменшується T кристалізації (Сіль на бумажі злином).

ОСМОС - прокинення розчинника через напівпроникну перегородку розчиняється по великому об'єму розчинника - напівпроникна перегородка - пропускає тільки розчинник - тиск якого, у стані рівноваги, з обох сторін має бути однаковий - рівень розчину зростає

Різниця тисків на перегородку - осмотичний тиск Π - дорівнює тиску розрідженого газу розчинених молекул $\Pi = \frac{\rho RT}{V}$ - 3-н Вант-Гоффа

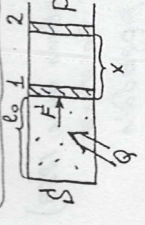
Прояв осмотичного тиску...
 Авица переносу

Дифузія (перенос маси) $\Delta m = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \cdot S \cdot t$
 В'язкість (перенос імпульсу) $\Delta p = -\eta \frac{\Delta v}{\Delta z} \cdot S \cdot t$
 Теплопровідність (перенос енергії-теплоти) $\Delta Q = -\chi \frac{\Delta T}{\Delta x} \cdot S \cdot t$
 $F = -\zeta \frac{\Delta v}{\Delta x} \cdot S$

K-6

Нормальні умови

$\frac{p_0 V_0}{T_0} = R = 8,31 \frac{Дж}{моль \cdot K}$



$p_0 = 1 \text{ ат.м} = 760 \text{ тор} = 101325 \text{ Па} \approx 10^5 \text{ Па}$
 $T_0 = 273,15 \text{ К}$ $t_0 = 0^\circ \text{C}$
 $V_0 = 22,4 \text{ л} = 0,0224 \text{ м}^3$ (1 моль)
 $pV = RT$ - р-на стану для 1 моля речовини
 $pV_1 = RT_1$ $pV_2 = RT_2$
 $\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \dots = \frac{p_n V_n}{T_n}$
 $V_2 = (p_0/p_1) V_1$ $V_2 = (T_2/T_1) V_1$
 $A = F \cdot x = R$ - універсальна газова стала - це робота розширення 1 моля газу під тиском напруги на 1К при $p = \text{const}$

Стала Больцмана $k = \frac{R}{N_A} = \frac{8,31}{6 \cdot 10^{23}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{Дж}{K}$

$pV = \frac{m}{\mu} RT \rightarrow p = \frac{N}{V} kT = n \frac{R}{N_A} T = nkT$
 $p = \frac{N}{V} kT \rightarrow N = \frac{pV}{kT}$ - якщо $p_1 = p_2$ $V_1 = V_2$ $T_1 = T_2 \rightarrow N_1 = N_2$ - 3-н Авогадро...

3-н Дальтона нехай 1 м³ - n - молекул з них n_1 - 1-й сорту n_2 - 2-й сорту ... $n = n_1 + n_2 + n_3 + \dots$
 $p = (n_1 + n_2 + \dots) kT = n_1 kT + n_2 kT + n_3 kT + \dots$
 $p_i = n_i kT$ - тиск молекули першого сорту $p_2 = n_2 kT$...

$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$

3-н Дальтона - тиск суміші ідеальних газів дорівнює сумі парціальних тисків тих газів, які складають суміш.

$p \cdot V = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} + \frac{m_3}{\mu_3} + \dots \right) RT$
 $p \cdot V = (V_1 + V_2 + V_3 + \dots) RT$

р-на Менделєєва-Клапейрона для суміші газів

K-7

Статистичний метод - для опису електричного виходу теорію

- 1) Суккупність великої кількості молекул має нові властивості, яких не має в окремі молекули (вугілля, з-ни механіки).
- 2) Оперують середніми значеннями величин, що характеризують окремі молекули (\bar{v} , \bar{E} , ...)
- 3) Мікро- і макропараметри зв'язані між собою.

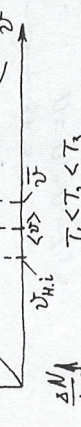
Розподіл молекул газу за швидкостями (Максвелл англ. 1859)

ΔN - кількість молекул з швидкостями в інтервалі від v до $v+\Delta v$
 N - кількість молекул газу

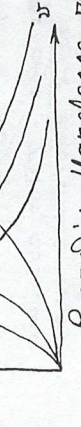
$\Delta N = N \cdot f(v) \cdot \Delta v$ де $f(v) = 4\pi \left(\frac{m_0}{2\pi kT}\right)^{3/2} \cdot e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} \cdot v^2$ - розподіл Максвелла.

$\frac{\Delta N}{N \cdot \Delta v}$ - гаска молекул з швидкостями в інтервалі від v до $v+\Delta v$
 $\frac{\Delta N}{N \cdot \Delta v}$ в інтервалі від v до $v+\Delta v$

асиметричний



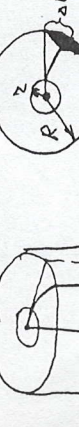
1) $v_{ні}$ - найвища швидкість (з умови $f'(v) = 0$)
 $v_{ні} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$
 2) $\langle v \rangle$ - середня арифметична швидкість
 $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\pi \mu}}$
 3) \bar{v} - середня квадратична швидкість
 $\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$
 4) Площа під кривою при зміні T не міняється і дорівнює 1



Розподіл Максвелла по проєкціях швидкості (смаугр)
 $\Delta N_x = N \cdot \phi(v_x) \Delta v_x$ $\phi(v_x) = \left(\frac{m_0}{2\pi kT}\right)^{1/2} \cdot e^{-\frac{m_0 v_x^2}{2kT}}$

Експериментальна перевірка розподілу Максвелла

Дослід Штерна



$v^2 = \omega R(R-z) / \Delta \rho$



лінійності ω можна спостерігати осідання молекул на пластинку за певний час і визначити їх кількість у пукку.

$v = \frac{\omega l}{\Delta \rho}$

K-24

Явища на межі рідин - тв. тіло (викривлення вільної поверхні рідини біля поверхні тв. тіла - меніск)



Змогування $0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}$
 $\theta = 0$ - повне змогування
 $F_{н-к} < F_{к-н}$



Незмозування $\frac{\pi}{2} < \theta \leq \pi$
 $F_{н-к} > F_{к-н}$
 $\theta = \pi$ - повне незмогування

$F_{н-к} = F_{к-н}$
 $\theta = \frac{\pi}{2}$ - нейтральна

Співвідношення сил визначається: робота рідини і тв. тіла, температурою, зовнішніми умовами.

Врахування: фарбування, змачування, паваня, склявання

Адсорбція ($F_{ад} > F_{ад}$) поглинання рідиною (тв.т.) розетови, які накопичуються (змозує) на поверхні і зменшують блон (відстань згуб, отримання вакууму).

Адсорбція ($F_{ад} < F_{ад}$) об'ємне поглинання розетови рідиною (молекули змозує) домішок розподіляються по всьому об'єму рідини.

РАДІАЦІЯ ... (здагачення Руд.)

Тиск під викривленою поверхнею рідини

Викривлена поверхнею півіва створює на рідину додатковий тиск у порівнянні з плоскою поверхнею.



Переріз крайини
 Сили F_x - по периметру перерізу комплексуються
 $\Sigma F_y = F_{об'єм} = 2\pi r \cdot \Delta r \cdot \rho \cdot g$ тоді додатковий тиск у перерізі

$\Delta P = \frac{\Sigma F_y}{S} = \frac{2\pi r \cdot \Delta r \cdot \rho \cdot g}{\pi r^2} = \frac{2\sigma}{r} = \frac{2\sigma}{R}$

Якщо додатковий тиск під сферичною поверхнею рідини.

Якщо меніск рідини складної форми, тоді визначають середню кривизну поверхні як $(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$ де R_1, R_2 - радіуси кривизни у двох взаємоперпендикулярних перерізах (довільних, але зручних).

$\Delta P = \pm 2\sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$ - додатковий тиск під викривленою поверхнею Лапласівський тиск.

K-24

Явища на межі рідин - тв. тіло (викривлення вільної поверхні рідини біля поверхні тв. тіла - меніск)



Змогування $0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}$
 $\theta = 0$ - повне змогування
 $F_{н-к} < F_{к-н}$



Незмозування $\frac{\pi}{2} < \theta \leq \pi$
 $F_{н-к} > F_{к-н}$
 $\theta = \pi$ - повне незмогування

$F_{н-к} = F_{к-н}$
 $\theta = \frac{\pi}{2}$ - нейтральна

Співвідношення сил визначається: робота рідини і тв. тіла, температурою, зовнішніми умовами.

Врахування: фарбування, змачування, паваня, склявання

Адсорбція ($F_{ад} > F_{ад}$) поглинання рідиною (тв.т.) розетови, які накопичуються (змозує) на поверхні і зменшують блон (відстань згуб, отримання вакууму).

Адсорбція ($F_{ад} < F_{ад}$) об'ємне поглинання розетови рідиною (молекули змозує) домішок розподіляються по всьому об'єму рідини.

РАДІАЦІЯ ... (здагачення Руд.)

Тиск під викривленою поверхнею рідини

Викривлена поверхнею півіва створює на рідину додатковий тиск у порівнянні з плоскою поверхнею.



Переріз крайини
 Сили F_x - по периметру перерізу комплексуються
 $\Sigma F_y = F_{об'єм} = 2\pi r \cdot \Delta r \cdot \rho \cdot g$ тоді додатковий тиск у перерізі

$\Delta P = \frac{\Sigma F_y}{S} = \frac{2\pi r \cdot \Delta r \cdot \rho \cdot g}{\pi r^2} = \frac{2\sigma}{r} = \frac{2\sigma}{R}$

Якщо додатковий тиск під сферичною поверхнею рідини.

Якщо меніск рідини складної форми, тоді визначають середню кривизну поверхні як $(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$ де R_1, R_2 - радіуси кривизни у двох взаємоперпендикулярних перерізах (довільних, але зручних).

$\Delta P = \pm 2\sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$ - додатковий тиск під викривленою поверхнею Лапласівський тиск.

K-24

Явища на межі рідин - тв. тіло (викривлення вільної поверхні рідини біля поверхні тв. тіла - меніск)



Змогування $0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}$
 $\theta = 0$ - повне змогування
 $F_{н-к} < F_{к-н}$



Незмозування $\frac{\pi}{2} < \theta \leq \pi$
 $F_{н-к} > F_{к-н}$
 $\theta = \pi$ - повне незмогування

$F_{н-к} = F_{к-н}$
 $\theta = \frac{\pi}{2}$ - нейтральна

Співвідношення сил визначається: робота рідини і тв. тіла, температурою, зовнішніми умовами.

Врахування: фарбування, змачування, паваня, склявання

Адсорбція ($F_{ад} > F_{ад}$) поглинання рідиною (тв.т.) розетови, які накопичуються (змозує) на поверхні і зменшують блон (відстань згуб, отримання вакууму).

Адсорбція ($F_{ад} < F_{ад}$) об'ємне поглинання розетови рідиною (молекули змозує) домішок розподіляються по всьому об'єму рідини.

РАДІАЦІЯ ... (здагачення Руд.)

Тиск під викривленою поверхнею рідини

Викривлена поверхнею півіва створює на рідину додатковий тиск у порівнянні з плоскою поверхнею.



Переріз крайини
 Сили F_x - по периметру перерізу комплексуються
 $\Sigma F_y = F_{об'єм} = 2\pi r \cdot \Delta r \cdot \rho \cdot g$ тоді додатковий тиск у перерізі

$\Delta P = \frac{\Sigma F_y}{S} = \frac{2\pi r \cdot \Delta r \cdot \rho \cdot g}{\pi r^2} = \frac{2\sigma}{r} = \frac{2\sigma}{R}$

Якщо додатковий тиск під сферичною поверхнею рідини.

Якщо меніск рідини складної форми, тоді визначають середню кривизну поверхні як $(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$ де R_1, R_2 - радіуси кривизни у двох взаємоперпендикулярних перерізах (довільних, але зручних).

$\Delta P = \pm 2\sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$ - додатковий тиск під викривленою поверхнею Лапласівський тиск.

K-24

Явища на межі рідин - тв. тіло (викривлення вільної поверхні рідини біля поверхні тв. тіла - меніск)



Змогування $0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}$
 $\theta = 0$ - повне змогування
 $F_{н-к} < F_{к-н}$



Незмозування $\frac{\pi}{2} < \theta \leq \pi$
 $F_{н-к} > F_{к-н}$
 $\theta = \pi$ - повне незмогування

$F_{н-к} = F_{к-н}$
 $\theta = \frac{\pi}{2}$ - нейтральна

Співвідношення сил визначається: робота рідини і тв. тіла, температурою, зовнішніми умовами.

Врахування: фарбування, змачування, паваня, склявання

Адсорбція ($F_{ад} > F_{ад}$) поглинання рідиною (тв.т.) розетови, які накопичуються (змозує) на поверхні і зменшують блон (відстань згуб, отримання вакууму).

Адсорбція ($F_{ад} < F_{ад}$) об'ємне поглинання розетови рідиною (молекули змозує) домішок розподіляються по всьому об'єму рідини.

РАДІАЦІЯ ... (здагачення Руд.)

Тиск під викривленою поверхнею рідини

Викривлена поверхнею півіва створює на рідину додатковий тиск у порівнянні з плоскою поверхнею.



Переріз крайини
 Сили F_x - по периметру перерізу комплексуються
 $\Sigma F_y = F_{об'єм} = 2\pi r \cdot \Delta r \cdot \rho \cdot g$ тоді додатковий тиск у перерізі

$\Delta P = \frac{\Sigma F_y}{S} = \frac{2\pi r \cdot \Delta r \cdot \rho \cdot g}{\pi r^2} = \frac{2\sigma}{r} = \frac{2\sigma}{R}$

Якщо додатковий тиск під сферичною поверхнею рідини.

Якщо меніск рідини складної форми, тоді визначають середню кривизну поверхні як $(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$ де R_1, R_2 - радіуси кривизни у двох взаємоперпендикулярних перерізах (довільних, але зручних).

$\Delta P = \pm 2\sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$ - додатковий тиск під викривленою поверхнею Лапласівський тиск.

K-24

Явища на межі рідин - тв. тіло (викривлення вільної поверхні рідини біля поверхні тв. тіла - меніск)



Змогування $0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}$
 $\theta = 0$ - повне змогування
 $F_{н-к} < F_{к-н}$



Незмозування $\frac{\pi}{2} < \theta \leq \pi$
 $F_{н-к} > F_{к-н}$
 $\theta = \pi$ - повне незмогування

$F_{н-к} = F_{к-н}$
 $\theta = \frac{\pi}{2}$ - нейтральна

Співвідношення сил визначається: робота рідини і тв. тіла, температурою, зовнішніми умовами.

Врахування: фарбування, змачування, паваня, склявання

Адсорбція ($F_{ад} > F_{ад}$) поглинання рідиною (тв.т.) розетови, які накопичуються (змозує) на поверхні і зменшують блон (відстань згуб, отримання вакууму).

Адсорбція ($F_{ад} < F_{ад}$) об'ємне поглинання розетови рідиною (молекули змозує) домішок розподіляються по всьому об'єму рідини.

РАДІАЦІЯ ... (здагачення Руд.)

Тиск під викривленою поверхнею рідини

Викривлена поверхнею півіва створює на рідину додатковий тиск у порівнянні з плоскою поверхнею.



Переріз крайини
 Сили F_x - по периметру перерізу комплексуються
 $\Sigma F_y = F_{об'єм} = 2\pi r \cdot \Delta r \cdot \rho \cdot g$ тоді додатковий тиск у перерізі

$\Delta P = \frac{\Sigma F_y}{S} = \frac{2\pi r \cdot \Delta r \cdot \rho \cdot g}{\pi r^2} = \frac{2\sigma}{r} = \frac{2\sigma}{R}$

Якщо додатковий тиск під сферичною поверхнею рідини.

Якщо меніск рідини складної форми, тоді визначають середню кривизну поверхні як $(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$ де R_1, R_2 - радіуси кривизни у двох взаємоперпендикулярних перерізах (довільних, але зручних).

$\Delta P = \pm 2\sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$ - додатковий тиск під викривленою поверхнею Лапласівський тиск.

K-24

Явища на межі рідин - тв. тіло (викривлення вільної поверхні рідини біля поверхні тв. тіла - меніск)



Змогування $0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}$
 $\theta = 0$ - повне змогування
 $F_{н-к} < F_{к-н}$



Незмозування $\frac{\pi}{2} < \theta \leq \pi$
 $F_{н-к} > F_{к-н}$
 $\theta = \pi$ - повне незмогування

$F_{н-к} = F_{к-н}$
 $\theta = \frac{\pi}{2}$ - нейтральна

Співвідношення сил визначається: робота рідини і тв. тіла, температурою, зовнішніми умовами.

Врахування: фарбування, змачування, паваня, склявання

Адсорбція ($F_{ад} > F_{ад}$) поглинання рідиною (тв.т.) розетови, які накопичуються (змозує) на поверхні і зменшують блон (відстань згуб, отримання вакууму).

Адсорбція ($F_{ад} < F_{ад}$) об'ємне поглинання розетови рідиною (молекули змозує) домішок розподіляються по всьому об'єму рідини.

РАДІАЦІЯ ... (здагачення Руд.)

Тиск під викривленою поверхнею рідини

Викривлена поверхнею півіва створює на рідину додатковий тиск у порівнянні з плоскою поверхнею.



Переріз крайини
 Сили F_x - по периметру перерізу комплексуються
 $\Sigma F_y = F_{об'єм} = 2\pi r \cdot \Delta r \cdot \rho \cdot g$ тоді додатковий тиск у перерізі

$\Delta P = \frac{\Sigma F_y}{S} = \frac{2\pi r \cdot \Delta r \cdot \rho \cdot g}{\pi r^2} = \frac{2\sigma}{r} = \frac{2\sigma}{R}$

Якщо додатковий тиск під сферичною поверхнею рідини.

Якщо меніск рідини складної форми, тоді визначають середню кривизну поверхні як $(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$ де R_1, R_2 - радіуси кривизни у двох взаємоперпендикулярних перерізах (довільних, але зручних).

$\Delta P = \pm 2\sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$ - додатковий тиск під викривленою поверхнею Лапласівський тиск.

K-24

Явища на межі рідин - тв. тіло (викривлення вільної поверхні рідини біля поверхні тв. тіла - меніск)



Змогування $0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}$
 $\theta = 0$ - повне змогування
 $F_{н-к} < F_{к-н}$



Незмозування $\frac{\pi}{2} < \theta \leq \pi$
 $F_{н-к} > F_{к-н}$
 $\theta = \pi$ - повне незмогування

K-23

Рідина - це проміжний стан, у якому властивості ретовини властивості безповільної пари, що пов'язано з відпогвідною зміною молекулярної будови ретовини.

Спільне ретина і в'язані між частинками, наявність об'єму; в'язані поверхні, відрозті, близька теплосвітність (Таліаби), (однаковий характер руху частинок)

Різке текучість (молекули рідки не мають певного місця, вони "злизати" невизначені зупинки) Т.Б. - аністропні - дальній порядок. Рідина-ізотропні - ближній порядок

Спільне велика текучість, форма посудини, ізотропність властивості однакої у всіх напрямках. Кристалина температура, існує внутрішній або молекулярний тиск \bar{p} ($n_0 \cdot \bar{p} \cdot \Delta V$)

Різке Пара займає наданий об'єм повністю, кількість в'язаності за зретиною великий внутрішній тиск (сила молекулярна взаємодія) (океан $\Delta h = 30m$)

Мала стисливість - великий внутрішній тиск (сила молекулярна взаємодія) (океан $\Delta h = 30m$)

Теорія рідин носить в основному якісний характер

Поверхневий явища

Молекула в середині рідини - молекулярні сили компенсовані $F_R = 0$ - переміщується вільно

Молекула у поверхневому шарі ($\lambda = 2-3d_0$) - молекулярні сили не скомпенсовані, $F_R \neq 0$ спрямована вгид рідини (срод рідини, відстані між молекулами)

Щоб молекула перемістлася у поверхневий шар, вона повинна виконати роботу (за рахунок власної кінетичної енергії) зрути сил, що діють у поверхневому шарі - Молекули у поверхневому шарі рідини володіють додатковою потенціальною енергією.

Упов = $\sigma \cdot S$ - поверхнева енергія пропорційна площі; поверхні $\sigma = \frac{U_{пов}}{S}$ [мДж/м²] - коефіцієнт поверхневого коер., поверхневого натягу = роботи, що затрата на ізотермічне утворення 1 м² поверхні рідини

Загальна тенденція рідинних систем - мати в стані рівноваги найменший запас потенціальної енергії.

Поверхневий шар рідини має додаткову потенціальному енергію, рідина прагне позбутися цього надлишку енергії і прагне скоротити площу своєї поверхні. Мінімальна поверхня, при заданому об'ємі, у кубі

Власна (при відсутності зовнішніх дій) форма рідини - КУБА

$\sigma \Delta S = \sigma \Delta a \cdot \Delta x$ (дві поверхні - дві тлітки)

$\Delta A = \sigma \Delta a \cdot \Delta x \rightarrow 2 F_{пов} \cdot \Delta x = \sigma \cdot 2 \Delta a \cdot \Delta x \rightarrow F_{пов} = \sigma \cdot \Delta$

Δ - довжина лінії, що обмежує поверхню натягу.

$F_{пов} -$ сила поверхневого натягу

1) Діє вздовж поверхні рідини
2) Діє \perp до лінії, що обмежує поверхню рідини
3) Дія приводить до зменшення площі поверхні рідини

$\sigma = \left[\frac{H}{L} \right] = \left[\frac{Дж}{м^2} \right]$ { 1) Род рідини
2) Температура (при $T \rightarrow T_{кр}$ $\sigma \rightarrow 0$)
3) Домішки

K-8

Основне рівняння МКТ
Тиск газу P - за середньою силою ударів за одинично часу

Флуктуації - відхилення від середніх значень

Задача: Визначити тиск газу на стіні МКТ і механіка Ньютона

\bar{F} - середня сила удару одної молекули
 \bar{Z} - середня кількість стикань з стінкою за час Δt

$$P = \frac{\bar{F} \cdot \bar{Z}}{S}$$

$$\bar{v}^2 = \overline{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = 3 \overline{v_x^2}$$

але всі напрямки рівноправні:

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \frac{1}{3} \bar{v}^2$$

Пружний удар $v_x = v_{1x} = v_{2x}$
 $F \cdot \Delta t = m_0 \cdot \Delta v_x = -m_0 v_x - m_0 v_x = -2 m_0 v_x$

$$F = \frac{2 m_0 v_x}{\Delta t}$$

Кількість ударів $Z = \frac{1}{2} n \cdot S \cdot \bar{v}_x \cdot \Delta t$

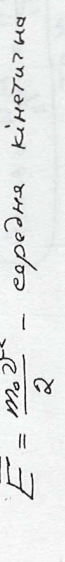
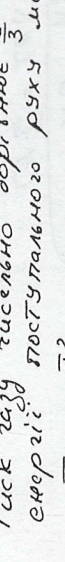
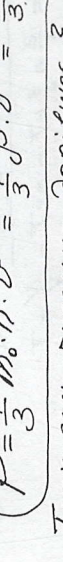
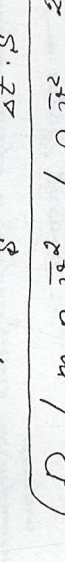
$$\bar{Z} = \frac{1}{2} n \cdot S \cdot \bar{v}_x = \frac{1}{2} n \cdot S \cdot \frac{1}{3} \bar{v}$$

$$P = \frac{F \cdot \bar{Z}}{S} = \frac{2 m_0 v_x \cdot \frac{1}{2} n \cdot S \cdot \frac{1}{3} \bar{v}}{S \cdot \Delta t} = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2$$

Основне рівняння МКТ

Тиск газу чисельно дорівнює $\frac{2}{3}$ середньої кінетичної енергії: $P = \frac{2}{3} \rho \bar{v}^2 = \frac{2}{3} n \cdot \bar{E}$

$\bar{E} = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$ - середня кінетична енергія молекули.



K-9

Температура

В термодинаміці: T вказує напрям теплопередачі, $T_1 = T_2$ означає, що потік енергії від одного тіла до другого = 0

В МКТ: Рівність потоків енергії: 0 виконується при рівності середніх кінетичних енергій руху молекули (середні молекули одного газу обмінюються енергією з молекулами іншого газу, але сумарний перехід енергії = 0).

З основного р-ня МКТ $P = \frac{2}{3} n \bar{E} = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} \rightarrow PV = \frac{2}{3} N \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$

Для 1 моли р-ня стану М.К. $PV = \frac{2}{3} N_A \cdot \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{2}{3} N_A \cdot \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = RT \rightarrow \frac{2}{3} N_A \cdot \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = RT \rightarrow \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} \cdot T = \frac{3}{2} kT$

$\bar{E} = \frac{3}{2} kT$ Температура - міра середньої кінетичної р-ничної енергії теплового руху молекули

$T = 0 K$ (Справділиво для ідеального газу, т.б. тіл, рідин, газів всіх ретовин, рух частінок яких підлягає законам механіки Н.)

при $T \rightarrow 0 K$ абсолютний нуль - температура при якій припиняється поступальний рух молекули, але існує коч більший рух (це доводиться квантового механікою) - найменша можлива T .

В стані теплової рівноваги \bar{E} однакова для всіх молекул газів і дріунітських частінок. \bar{E} - можна прийняти за міру температури - енергетична температура $\Theta = \bar{E} = \frac{3}{2} kT$ вимірюється у Джоулях [Дж] або електронвольтах [eV] ($1 eV = 1.6 \cdot 10^{-19} Дж$) $1 K \approx 2 \cdot 10^{-23} Дж$

Температура - поняття статистичне (воно стосується не окремих молекул або невеликої кількості, а величезної сукупності молекул). Дане визначення температури не має сенсу для мізеряного простору, високого вакууму, нерівноважних (пауза) систем ...

Середня квадратична швидкість молекули.

$\bar{E} = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$
 $\bar{E} = \frac{3}{2} kT$
 $\frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT \rightarrow \bar{v} = \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$

Ці теоретичні висновки добре підтверджуються експериментальними даними ...

Рівняння стану - заглові закони

3 еск. р-ня МКТ $P = \frac{2}{3} n \bar{E} = \frac{2}{3} n \frac{3}{2} kT = nkT = \frac{N}{V} kT$

або $PV = N \cdot k \cdot T = \nu \cdot N_A \cdot k \cdot T = \nu RT = \frac{m}{\mu} RT$

$PV = \frac{m}{\mu} RT$ $\frac{m = const}{T_1} \rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = const$

$PV = const = \frac{\nu}{\mu} RT$

ізотермічний $V = const = \frac{mR}{\mu P}$ $\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0}$ $V = V_0 \cdot \frac{1}{T} \cdot T = V_0 \beta T$

ізобарний $P = const = \frac{mR}{\mu V}$ $\frac{P}{T} = \frac{P_0}{T_0}$ $P = P_0 \cdot \frac{1}{T} \cdot T = P_0 \gamma T$

$\beta = \gamma = \frac{1}{273}$

K-22

III 3-4 Термодинаміки - неможливо досягти абсолютний нуль температури, хоча наблизяться до нього можна, як зовсім близько (рекорд $T = 10^{-10} K$ 1956р.)

Зрідження газів - перетворення їх у рідину - можливе лише при $T < T_{кр}$ Для зрідження He $T_{кр} = 5.2 K$, N_2 $T_{кр} = 33.3 K$, O_2 $T_{кр} = 154.3 K$ необхідне попереднє злидке охолодження

Кріогенні температури $T < 120 K$ Застосування ...

$0.3 K < T < 120 K$ - охолодження до кріогенних температур - виробництво найпростіше проводити за допомогою рідин, що киплять при $T < 120 K$ (N_2, He, Ne)

Основа підтримання і застосування кріогенних температур - виробництво зріджених газів 1908р. Кайерлінг - Оннес - рідкий He - Моделівська вренція

Для зниження власної температури ($T < T_{кр}$) газ розширюється повинен виконати роботу за рахунок власної енергії

Способи розширення стиснутого газу:

I Дроселювання - зниження тиску газу або рідини шляхом протискання їх через звужений отвір (вентиль, кран, пористу перегородку) супроводжується охолодженням (для $T > T_{інверсії} \approx 6 K$ - нагрівання).

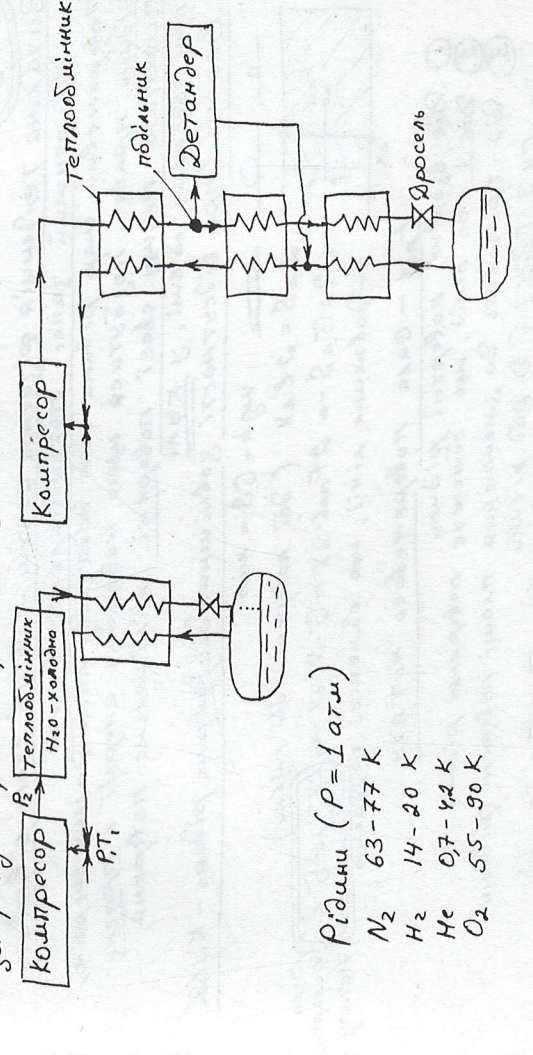
газу - ефект Джоуля - Томсона

$P_1 V_1 T_1 = P_2 V_2 T_2$

Охолодження реальною газу - результату того, що газ, при дроселюванні виконує два види роботи: проти внутрішніх сил притягання молекул і на злику віддає енергії потоку ($P_1 V_1 - P_2 V_2$) (останнє залежить від суттєвості поправки Ван-дер-Ваальса в стані I. II - якщо у стані I поправка V_2 суттєва, а в не суттєва - газ охолоджується $\Delta T = -1 атм \rightarrow \Delta T \approx -1^\circ C$)

II Адиабатне розширення газу з виконанням зовнішньої роботи в спец. машині - детандері (рухає поршень) або Турбодетандері (свертає колесо турбіни)

III При впуску газу з посудини (виплюг) охолодження відбувається за рахунок роботи проти сил зовнішнього тиску



Рідини ($P = 1 атм$)

N_2	63-77 K
N_2	14-20 K
He	0.7-4.2 K
O_2	55-90 K

K-21

Випаровування - процес пароутворення з вільної поверхні рідини (при меншій температурі)
Кипіння - інтенсивне випаровування рідини, що відбувається не тільки з її вільної поверхні, але і по всьому об'єму рідини в середньому бльшою парці.

Умова кипіння - тиск насиченої пари у бульбашці $P_H \geq P_0 + \rho g h + \frac{2\sigma}{R}$
 P_0 - зовнішній тиск на рідину (атмосфера)
 $\rho g h$ - гідростатичний тиск в рідині
 $\frac{2\sigma}{R}$ - додатковий тиск на бульбашку висляканої поверхнею котлової рідини

① При малій центральній пароутворення (пилки, розчинні газу) $\frac{2\sigma}{R} \ll P_0$
 ② Душе гаю $\rho g h \ll P_0$
 → умова кипіння $P_H \approx P_0$

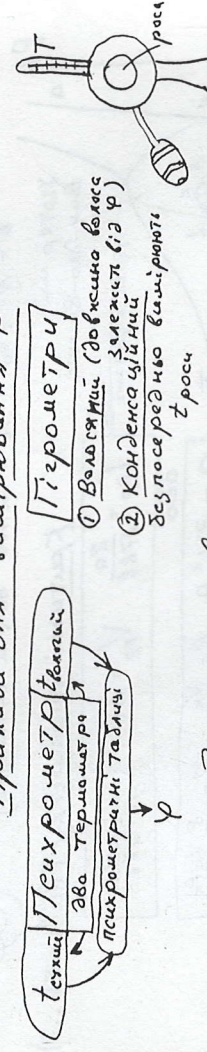
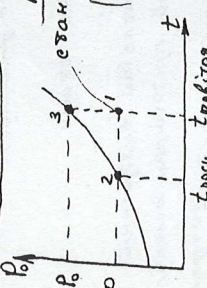
Температура кипіння
 зовнішній тиск → для H_2O
 Домішки

Вологість - наявність водяної пари в повітрі
 або $P - [P_{sat}]$ - парціальний тиск водяної пари (сирочиність)

Відносна вологість $\varphi = \frac{P}{P_0} \cdot 100\%$
 - характеризує ступінь віддалення водяної пари, що є у повітрі, від насиченої пари при цій же температурі
 P - парціальний тиск водяної пари що є у повітрі при даних умовах
 P_0 - тиск насиченої пари при тій самій температурі (стан газу) при даних умовах

Прилади для вимірювання φ
 Парціальний тиск (P) пари в повітрі визначають по тиску роси - тр - температурі, при якій дана водяна пара стає насиченою, (користуються табл. або графіком Р.п. від Т).

Таблиця вологості
 Підтримання Т тіл м'якоти, тварин (комфорт 40-60%)
 Рослини (кастус)
 Метеорологія (передбачення погоди).
 Виродничтво тканин, кондитерські
 Зберігання овочів, фруктів, тканин, тварин, тварин мистецтва (музей)



K-10

Барометрична формула

$dP = P_2 - P_1 = -\rho g dh$ з р-ня стану $PV = \frac{m}{\mu} RT \rightarrow P = \frac{\rho}{\mu} RT \rightarrow$
 $-\rho = -\frac{P\mu}{RT} \rightarrow dP = -\frac{P\mu}{RT} g dh \rightarrow \frac{dP}{P} = -\frac{\mu g}{RT} dh$
 граютезуємо цей вираз для $T = const$

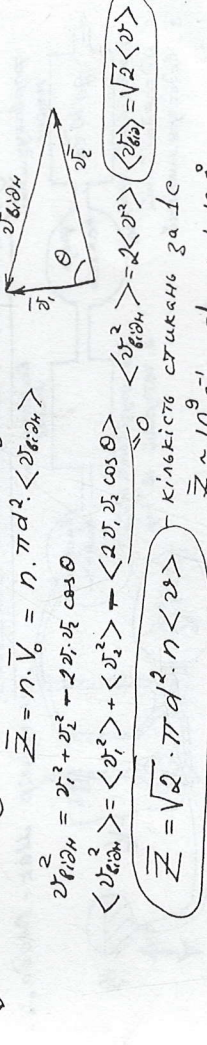
$\int \frac{dP}{P} = -\int \frac{\mu g}{RT} dh \rightarrow \ln P = -\frac{\mu g h}{RT} + \ln C_1, C_1 = const$
 Потенціємо останній вираз

$P = C_1 \cdot e^{-\frac{\mu g h}{RT}}$ для $h=0, P = P_0 = C_1$
 $P = P_0 \cdot e^{-\frac{\mu g h}{RT}}$ або $P = P_0 \cdot e^{-\frac{m g h}{k T}}$
 барометрична формула (альтиметр...)

Розподіл Больцмана
 врахуємо $\rho = \mu n T$ по-концентрація на $h=0$ по-концентрація на висоті h .
 $n = n_0 \cdot e^{-\frac{\mu g h}{RT}}$ або $n = n_0 \cdot e^{-\frac{m g h}{k T}}$
 розподіл Больцмана

Атмосфера планет
 ① при $T \rightarrow 0, n \rightarrow 0$ всі молекули під дією тяжіння впади
 ② при $T \rightarrow \infty, n \rightarrow n_0$ на всіх висотах концентрація однакова (газ рівномірно розподілений по всьому об'єму)
 ③ Реально - атмосфера розсіюється (завжди є молекули з $v > \frac{v_{max}}{\sqrt{2}}$)
 Атмосфера Землі стабільна...

Число стикань молекул газу \bar{Z}
 $d = 2r$ - діаметр молекули
 $\langle v \rangle$ - середня швидкість молекул
 $\langle v_{rel} \rangle$ - середня швидкість швидкості молекули
 Кількість стикань за Δt
 $\bar{Z} = n \cdot \bar{v}_0 = n \cdot \pi d^2 \cdot \langle v_{rel} \rangle$
 $v_{rel}^2 = v_1^2 + v_2^2 = 2v_1 v_2 \cos \theta$
 $\langle v_{rel}^2 \rangle = \langle v_1^2 \rangle + \langle v_2^2 \rangle = 2 \langle v_1^2 \rangle \cos^2 \theta$
 $\bar{Z} = \sqrt{2} \cdot \pi d^2 \cdot n \cdot \langle v \rangle$ - кількість стикань за Δt
 $\bar{Z} \sim 10^{10} \text{ с}^{-1}$ для $n \sim 10^{25} \text{ м}^{-3}$
 d - діаметр молекули реально залежить від кінетичної енергії молекули що стикаються, тобто від температури. d - ефективний діаметр πd^2 - середній ефективний переріз молекули.



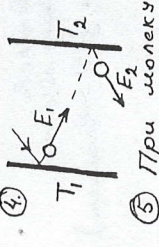
Довжина вільного пробігу $\langle \lambda \rangle$
 $\langle \lambda \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\bar{Z}} = \frac{\langle v \rangle}{\sqrt{2} \pi d^2 n \langle v \rangle} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n}$
 $\lambda \sim \frac{1}{n} \sim \frac{1}{P}$ - довжина вільного пробігу обернено пропорційна тиску газу при $T = const$

К-11 Вакуум
 $\lambda > d$ - довжина вільного проліту d - характерний розмір посудини.
Низький
 $\lambda \ll d$
 Р [Тор] 760-1

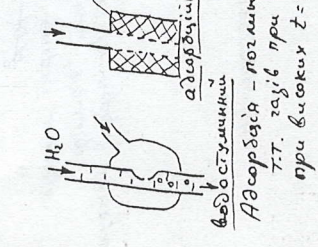
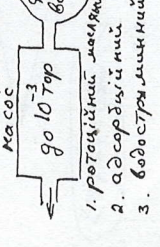
Властивості високого вакууму
 ① зменшення ρ спричиняє до зменшення n без зміни λ ($\lambda = d$)
 ② При нормальних умовах рідкогаз нагріє при $\rho_1 = \rho_2$ у вакуумі рідкогаз нагріє при рівності зусильних потовів тастінок $\sum F = \sum_2 \rightarrow (P_1 \cdot \langle \sigma \rangle = P_2 \cdot \langle \sigma \rangle)$ рідкогаз $\langle \sigma \rangle > \langle \sigma \rangle$ - середні арифметичні швидкості.

$\frac{P_1 \cdot \langle v \rangle}{KT_1} = \frac{P_2 \cdot \langle v \rangle}{KT_2} \rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1 \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}}{T_2 \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}}$
 (Зн Паскаля не в'є)

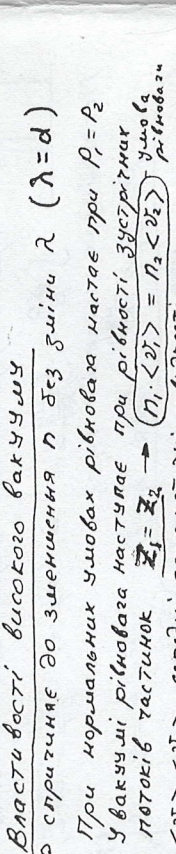
Відсутня в'язкість, але на рухомих тілах діє сила тертя, тошчу що узварі молекули газу не пружині (молекули як би прилипають до тіла, на деякий час і коли показують його, отримують складові імпульсу різну т.ч., і на це ж з'являється зменшується імпульс тіла. За 1 с на 1 м² поверхні падає $\sum = \frac{1}{6} n \langle v \rangle \rightarrow \Delta(mv) = \frac{1}{6} n \langle v \rangle m_0 u = \frac{1}{6} \rho \langle v \rangle u = F_p$



Удар не пружиний - молекули покидають тіло мають кінетичну енергію (швидкість), що вільно в'їде температури тіла.
 ③ При молекулярній течії по трубах, як і при ерозії (вип'яканні газу горю отвір у вакуумі) потік молекули $\sim n \langle v \rangle$. Осілітки $\langle v \rangle \sim \frac{1}{\sqrt{m}}$ - потік легких газів ділиший - збагачення (п) легких газів (розділення ізотопів)

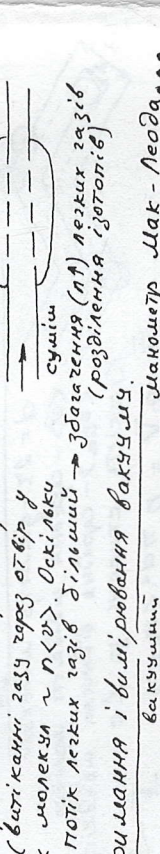


К-20 Узотерма реального газу
 стискування рідина
 рідина
 рідина, нас. пара
 пара
 Т = const
 Vр
 Vкр
 Pк від V незалежить!
 Узотерми ендурюса (CO2)



Критичний стан - двофазний стан при якому зрівноважені фази стають тождешні за всіма своїми властивостями.
 ① При $T > T_{кр}$ єдиним стискувальним газ перевищує у рідину неможливо (рідкого стану при $T > T_{кр}$ не існує)
 ② $P_{кр} = f(n, p)$ при $T = T_{кр}$
 ③ Зникає поверхневий натяг рідина
 ④ Теплота пароутворення $\sum_{кр} = 0$
 ⑤ Виникають інтенсивні флуктуації: зусилля на яких відбувається інтенсивне розсіяння світла та рентгенівською врожиння

Рівняння Ван-дер-Ваальса - надлишкові рідкогазні стани реального газів
 $(P + \frac{a}{V^2})(V - \frac{b}{V}) = \frac{RT}{V}$
 ② враховано розміри і відштовхування (тердікулі) молекули $\theta = n \cdot 4 V_0$ (V_0 - власний об'єм молекули)



Критичні параметри (вивести...)
 $T_{кр} = \frac{8a}{27Rb}$
 $V_{кр} = 3b$
 $P_{кр} = \frac{a}{27b^2}$
 $Q = 3V_k^2 \cdot P_k$
 $\theta = \frac{V_k}{3}$
 $R = \frac{8}{3} \frac{V_k P_k}{T_k}$

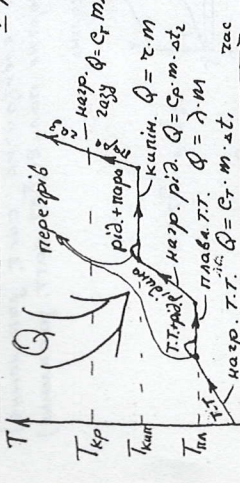
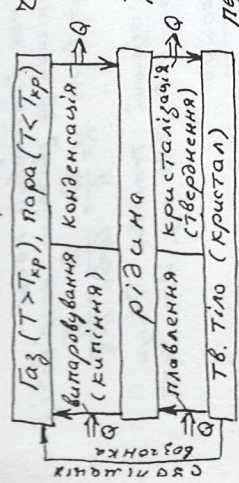
Узотерми Ван-дер-Ваальса
 точка перегину
 Узотерма пара (дуже таста, ретовина)
 вс - розтягнута рідина (перезріта рідина)
 аде - на практиці не реалізується
 $T_{кр H_2O} = 374^\circ C$
 $T_{кр He} = 4 K$
 $P_{кр H_2O} = 218 атм.$
 $m_{H_2O} = 1/2 V_{кр H_2O} = 3 см^3$

K19

Чазови стан - стан равнов'язу, який відбувається тілках розташування атомів

I-20 роду - сепаровані стан - перехід рівнов'язу з однієї фази в іншу з виділенням або поглинанням тепла (при $T = \text{const}$, $P = \text{const}$)

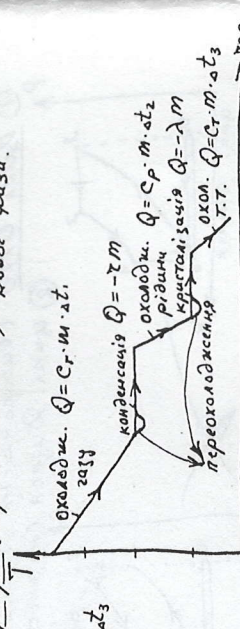
II-20 роду - пов'язані з зміною теплосистемності - внутрішньої з'єднаної (симетрії) - стрибком (перехід не у надтекутій стан, перехід у надпротівний стан, перехід ферромагнетик - парамагнетик...)



$\chi = \frac{Q_{\text{випл}}}{m}$ - питома теплота випаровування

Q - витрачається на роботу проти сил притягання між молекулами, на роботу проти зовнішнього тиску

$\lambda = \frac{Q_{\text{пл}}}{m}$ - питома теплота плавлення - витрачається на руйнування кристалічної решітки (послаблення між-атомного зв'язку, утворення сакамсі) **перехід (перехолодження) - нової фази.**



Випаровування - метерервний процес виштову молекули з поверхні рідини, зумовлений тепловим рухом

МКТ: Молекули рідини (т.т.) мають різні швидкості. Найбільш швидкі з них володіють достатньою енергією, щоб покинути рідину (т.т.), подолавши сили притягання з боку інших молекул, що розташовані у поверхневому шарі. Внаслідок цього, середня енергія молекул, що залишаються зменшується - рідина (т.т.) охолоджується. Щоб температура не змінялась, рідину (т.т.) необхідно неперервно нагрівати.

Швидкість випаровування - (кількість молекули, що вилітає з 1 м² за 1 с) визначається: 1. род рідини 2. температура 3. тиск пар над рідиною (конденсація - в'язкість, вітер).

Швидкість конденсації: 1. р-концентрація молекули пари над рідиною 2. T.

Закрита посудина (T = const)

- Пара в'язується (за рахунок випаровування, яке йде з постійною швидкістю, зростає тиск - з'являється конденсація, швидкість якої зростає (Морч А))
- Динамічна рівновага $N_{\text{випар}} = N_{\text{конденс}}$

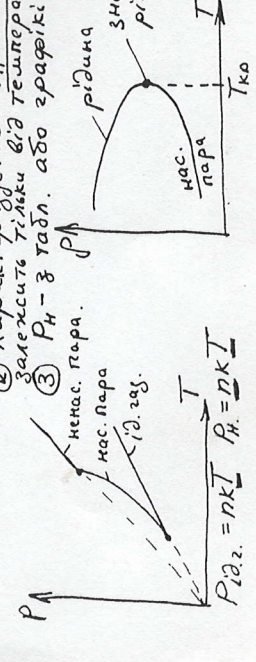
швидкість випаровування = швидкість конденсації -> система прийшла до теплової рівноваги - пара насичена...

Насичено пара 1. виявляється по наявності рідини

- Характеризується P_n -тиск насиченої пари - залежить тільки від температури, не залежить від V.
- P_n - з татл. або графіків P_n від T

знаєє різними між рідиною і паром $T \rightarrow T_{\text{тр}}$ $\chi \rightarrow 0$

Теплоємністька...

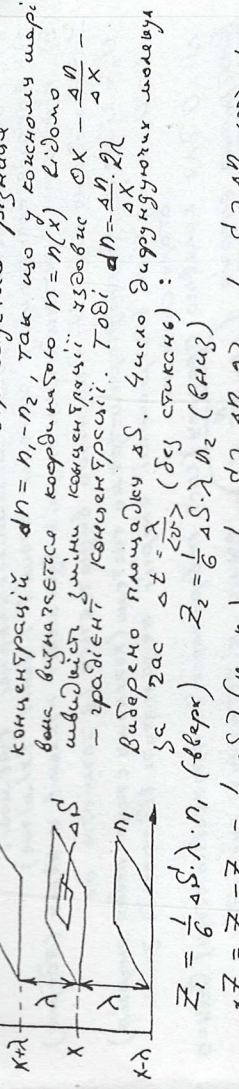


K12

Явища переносу - процеси переносу маси (дифузії), імпульсу (в'язкості), енергії (теплопровідності)

I Дифузії - процес проникнення одного газу в об'єкт, зайнятий іншим газом або рух газу в області де концентрація швидко змінюється

Дифузіїя приходить до вирівнювання концентрацій. Якщо керівно баєчний стан підтримувати всіма способами стаціонарний процес



Нехай у посудині підтримується різниця концентрацій n_1, n_2 , так що у кожному шарі вище змінюється координатою $n = n(x)$ відомо швидкість зміни концентрації: $\frac{dn}{dx} = -D \frac{d^2n}{dx^2}$ - градієнт концентрації. Тоді $D = -\frac{dn}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}$

Видеремо площидку ΔS . Число дифундуують молекул за час Δt $\langle v \rangle$ (без стікми):

$Z_1 = \frac{1}{6} \Delta S \cdot n_1$ (вверх) $Z_2 = \frac{1}{6} \Delta S \cdot n_2$ (вниз)

$\Delta Z = Z_1 - Z_2 = \frac{1}{6} \Delta S \Delta n$ $\frac{dn}{dx} \cdot \Delta x = -\frac{1}{3} \Delta S \Delta n \frac{dx}{\Delta x} \langle v \rangle \Delta t$

$\Delta Z = -D \frac{dn}{dx} \Delta S \Delta t$ - з-Н дифузії: $D = +\frac{1}{3} \cdot \bar{v} \cdot \langle v \rangle$ коєр. дифузії

$\Delta M = -D \frac{dn}{dx} \Delta S \Delta t$ - знак \ominus означає, що маса переноситься в сторону зменшення густини.

В'язкість - внутрішнє тертя - шари газу в порядкувано рухаються з різними швидкостями вдобы dx - між ними виникають сили внутрішнього тертя (в'язкості) внаслідок обміну імпульсами. Як встановив Ньютон $F_{\tau} = -\eta \frac{dv}{dx} \Delta S$ де $\frac{dv}{dx}$ - швидкість зміни в порядкуваної течії газу вдобы dz - градієнт швидкості

Молекули, що проходять через ΔS несуть з собою упорядкований імпульс $P = m_0 u$. Кількість молекули вберє або вниє $\bar{P} = \frac{1}{6} n \Delta S \Delta z$. Тоді імпульс перенесаний уверх \bar{P} вниє $\bar{P} = \frac{1}{6} n_0 u$, $\bar{P} = \frac{1}{6} n_0 u$ $du = u_1 - u_2 = -\frac{dv}{dx} \Delta x$

$\Delta \bar{P} = \bar{P}_1 - \bar{P}_2 = \frac{1}{6} n_0 \Delta u = -\frac{1}{6} n_0 \Delta x \frac{dv}{dx} \Delta z = -\frac{1}{6} n_0 \Delta x \Delta z \frac{dv}{dx}$

$F_{\tau} = -\eta \frac{dv}{dx} \Delta S \Delta z$ - сила в'язкого тертя

$\Delta P = -\eta \frac{dv}{dx} \Delta S \Delta z$ - р-ня переносу імпульсу.

З-Н розподілу енергії по ступенях свободи

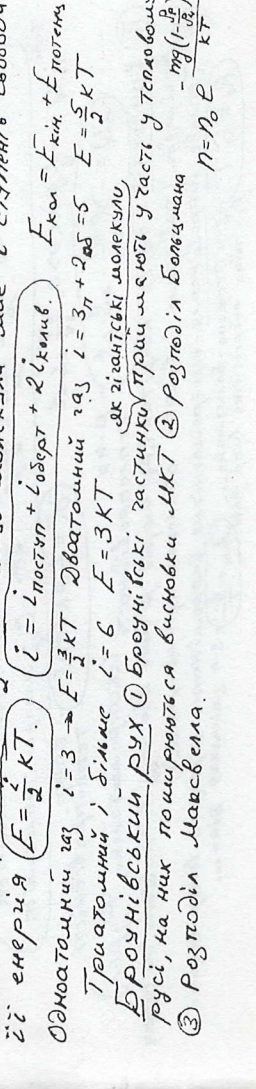
На кожну ступінь свободи молекул в середньому припадає однакова кінетична енергія рівна $\frac{1}{2} kT$. Якщо молекула має i ступенів свободи її енергія $F = \frac{i}{2} kT$.

$\bar{\epsilon} = i \cdot \text{поступ} + i \cdot \text{оберт} + 2 \cdot \text{квалі}$ $E_{\text{кол}} = E_{\text{кін}} + E_{\text{потем}}$

Одноатомний газ $i = 3 \rightarrow E = \frac{3}{2} kT$ двоатомний газ $i = 3 + 2 = 5 \rightarrow E = \frac{5}{2} kT$

Триатомний і більше $i = 6 \rightarrow E = 3 kT$ (як зігантські молекули)

БРОУНІВСЬКИЙ РУХ 1. Броунівські частинки приймають участь у тепловолю русі, на них поширюється висновки МКТ 2. Розподіл Больцмана $P = N_0 e^{-\frac{mgz}{kT}}$



K-13

Повна енергія системи (тіла) $E = K + \Pi + U$

а) К-кінетична енергія мех. руху системи, як єдиного цілого
 б) Π - потенціальна енергія системи у зовнішніх силах полях
 в) U - внутрішня енергія системи

Внутрішня енергія - U

а). Кінетична енергія теплового поступального і обертального руху молекул
 б). Кінетична і потенціальна енергія коливань атомів в молекулах
 в). Потенціальна енергія міжмолекулярної взаємодії
 г). Енергія електронних оболонок атомів і іонів (хімічна)
 д). Кінетична і потенціальна енергія взаємодії нуклонів у ядрах (ядерна)

У термодинаміці U - однозначно визначається (з точністю до U_0 - хімічна + ядерна) параметрами системи (кожності стачч. певна енергія)
 $\Delta U = U_2 - U_1$ - зміна внутрішньої енергії; незалежить від способу зміни стачч. системи.
 $\Delta U = 0$ для колового процесу (сист. повертається до початкового стану) $\oint \delta U = 0$

Внутрішня енергія ідеального газу

$U = N \cdot \bar{E} = N \cdot \frac{1}{2} kT = \frac{m}{\mu} \frac{1}{2} RT = \nu \cdot \frac{1}{2} RT$

одмоатомн. газ $i = 3$ $i_{\text{пот}} = 3$ $i_{\text{оберт}} = 0$ $i = i_{\text{пот}} + i_{\text{оберт}} = 3$
 двоатомн. газ $i = 5$ $i_{\text{пот}} = 5$ $i_{\text{оберт}} = 0$ $i = i_{\text{пот}} + i_{\text{оберт}} = 5$
 (жорсткі молекули)
 (жорсткі молекули) $i = i_{\text{пот}} + i_{\text{оберт}} = 5$
 (жорсткі молекули) $i = i_{\text{пот}} + i_{\text{оберт}} = 6$

$\Delta U = U_2 - U_1 = \nu \frac{1}{2} RT$ - зміна внутр енергії; ідеального газу $\Delta U \sim \Delta T$

$U = f(T)$ - внутр. енергія ідеального газу визначається тільки його T; $\Delta U = 0$
 для $T = \text{const} \rightarrow U = \text{const} \rightarrow \Delta U = 0$

Для реальних газів $U = f(T, V)$ при зміні V змінюється відстань між молекулами \rightarrow зміна потенц. енергії міжмолекулярні: взаємодії.

Зміна U тіла завжди зв'язана з його взаємодією з іншими тілами і оточуючим середовищем

U змінюється {
 1) при виконанні роботи - A
 2) при теплообміні (теплопередачі) - Q } Приклади...
 Теплообмін - передача енергії без виконання роботи

Способи теплообміну: 1) теплопровідність 2) конвекція 3) випромінювання

Приклад: котел з водою над вогнем...
 I) Теплопровідність - перенос внутрішньої енергії (у різних шарах T-різна \rightarrow різні і середня енергія руху молекул, про проходження зростає S молекули переносять рівну енергію). Початкові умови: задані розподіл температур $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ - показує зміну T на одиницю довжини якщо $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ - мале, молекула влягаєть $\rho_1 \cdot \nu_1 \rightarrow \rho_1 = \rho_2$, тоді енергія, що переноситься потоком молекула зростає ΔS за $\Delta t = \lambda \cdot \Delta S \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$ в верх $Q_1 = N_1 \cdot \bar{E}_1 = \frac{1}{6} n_1 \Delta S \cdot \frac{3}{2} kT$, вниз $Q_2 = N_2 \cdot \bar{E}_2 = \frac{1}{6} n_2 \Delta S \cdot \frac{3}{2} kT$

Потік енергії $\Delta Q = Q_1 - Q_2 = \frac{1}{4} n \Delta S \lambda k (T_1 - T_2) = -\frac{1}{4} n \Delta S \lambda k \left(\frac{\Delta T}{\Delta x} \cdot \Delta L \right) = -\frac{1}{2} n \Delta S \lambda k \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta S \Delta t < 0$

Враховуємо $C_U = \frac{dU}{dT} = \frac{3}{2} nR = \frac{3k}{2} N_A$ $C_V = \text{потока теплоємності}$ $C_V = \frac{3}{2} nR$ $C_P = \text{моларна теплоємність}$ $C_P = \frac{5}{2} nR$

тоді $\Delta Q = -\frac{1}{3} \rho \lambda < 0 > C_V \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta S \Delta t$ $\Delta Q = -\frac{1}{3} \rho \lambda > C_V$ теплопровідності

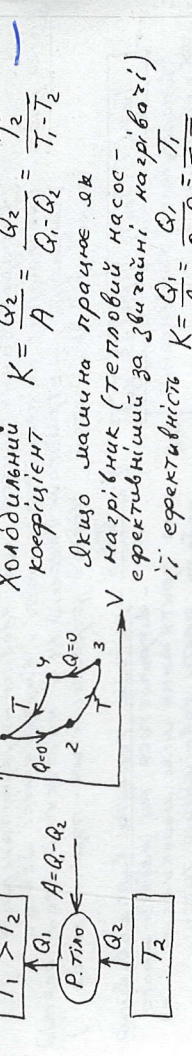
II) Конвекція - $\Delta Q = -\rho \frac{\Delta T}{\Delta x} \cdot \Delta S \cdot \Delta t$ - P-на теплопровідності (експериментальне, Фур'є).
 Архімеда (побітряя і водяне опалення приміщення...)
 III) Теплове випромінювання - електромагнітна випромінювання за рахунок внутр енергії: $R_E = \sigma T^4$ - 3-4 степені Балліманса... $\lambda_m = \frac{b}{T}$ - 3-4 змінення Віяна...
 R_E - певна енергетична втр. зовн.

K-18

Холодильні машини (в ідеальній машині холодильний цикл Карно проходить у зворотному напрямі, робота виконується над машиною).

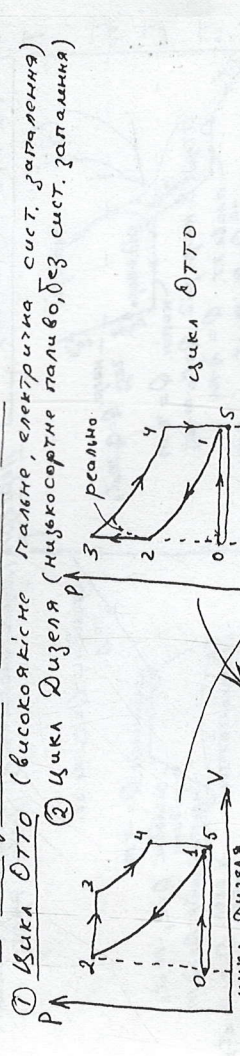
Холодильний коефіцієнт $K = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$

Якщо машина працює як нагрівач (тепловий насос - ефективніший за двигайні, нагрівачі) її ефективність $K = \frac{Q_1}{A} = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$



I Парова машина - історично перший тепловий двигун (1800р - 2-3% 1900р - 2-18%) 1784 англ. Дж. Уатт

II Двигуни внутрішнього згорання



1) Цикл Отто (високоякісне паливо, електрична сист. запалення) низькосортне паливо, без сист. запалення

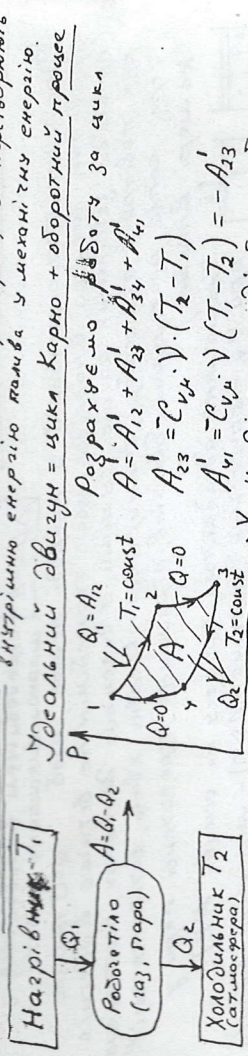
01 - поршень вниз - засмоктує заряду суміш
 12 - поршень вверх - стиск суміш
 23 - поршень у верхній точці - швидко згорання палива і його самозаймання
 34 - поршень вниз - робота суміш випускається
 45 - відкривається випускний клапан - охолодження
 50 - виходування продуктів згорання. $N \sim 10^6$ кВт $\eta = 40-45\%$

III Парова турбіна (найпотужніші двигуни)
 IV Газова турбіна V Реактивні двигуни

Екологічні проблеми... Парниковий ефект... Озонові діри...

K-17

Теплові двигуни - періодично працюють пристрої, що перетворюють внутрішню енергію палива у механічну енергію.



Удальний двигун = цикл Карно + оборотний процес

Розраховуємо роботу за цикл

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41}$$

$$A_{12} = C_{v,m} \cdot \nu \cdot (T_2 - T_1)$$

$$A_{23} = C_{v,m} \cdot \nu \cdot (T_1 - T_2) = -A_{12}$$

Но ділянка адіада (ΔT - однакові).

розширення і стиснення взаємно компенсуються (ΔT - однакові).

Тоді $A = \nu R T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} + \nu R T_2 \ln \frac{V_1}{V_2} = \nu R T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right)$

робота двигуна за 1 цикл.

З рівняння адіада $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$

Тоді $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$

η - К.К.Д. ідеального теплових двигуна

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_2 - T_1}{T_1}$$

η_{max} = $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$

К.К.Д. ідеальної теплової машини

① Не залежить від виду робочого тіла.

② МАХ у порівнянні з іншими циклами завдяки менше-реальні процеси необоротні - завжди втрачає теплоту на теплообмін і подолання тертя

③ Чисельний досвід → ІЗН-термодинаміки (визначає напрям перебігу реальних процесів у макросистемі)

④ Неможливі циклічний процес, єдиним результатом якого була б передача теплоти від тіла менш нагрітого до більш нагрітого (Клаузіус)

⑤ Не можна здійснити тепловий цикл, єдиним результатом якого було б перетворення одержаного теплоти повністю в роботу (У. Томсон - лорд Кельвін)

⑥ К.К.Д. теплових машин < 1

⑦ Візний двигун другого роду неможливі

Фізичний зміст - енергія теплового руху молекул ретовими лінійно відрізняється від всіх інших видів енергії - вона може перетворюватися в будь-який інший вид енергії. А саме газтково (зменшення енергії) внаслідок цього, будь процес з перетворення любого виду енергії в теплову - необоротний.

K-14

Q - кількість теплоти - кількість енергії, що передає тілу зовнішніх тіл, ад час теплообміну

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = C_{T,m} \cdot \nu \cdot \Delta T$$

$$Q = [Дж] \quad C_{вод} = 4,19 Дж / (кг \cdot K)$$

$$C_{T,m} = \frac{Q}{\nu \cdot \Delta T} - \text{моларна теплоємність...} [Дж / (моль \cdot K)]$$

1 Ккал = 4,19 Дж - механічний еквівалент теплоти - це співвідношення, встановлене експериментально, виражає еквівалентність теплоти і роботи, тобто робота перетворюється у теплоту і теплота в роботу у строго визначених кількісних співвідношеннях (досліди Джоуля...)

Рівняння теплового балансу

З дослідів з калориметричними вимірюваннями для ізолюваної системи $\sum Q = 0 \rightarrow Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0$

або $\sum Q_{вдана} = \sum Q_{отримана}$

Закон збереження енергії (Тельгольц, РБТ, мн.)

на основі загальних спостережень і досвідів

У замкнутій (ізолюваній) системі енергія не зникає і не виникає з нічого, вона може лише перетворюватися з одного виду в інший або передаватися від одного тіла до другого. Приклади...

ІЗН-термодинаміки

Візний двигун (ретретитив мобіле) першого роду неможливі. (Не може бути машини, яка виконувала б роботу, не витративши при цьому ні якої енергії.)

Робота і кількість теплоти - це не ррррр енергії, а лише різні способи її зміни і передачі від одного тіла до другого.

Робота в термодинаміці - р-ція процесу

Робота газу $A' = F \cdot \Delta x = P \cdot \Delta V$

A - робота зовнішніх сил над системою (газом)

$A = -P \Delta V$ - робота системи ррррр

Робота газу тисельно, рівня площі під графіком процесу в осях PV

Акощо газ розширюється $A' > 0$ $A < 0$

стискується $A' < 0$ $A > 0$

при $V = const \rightarrow A = 0$ - означає виконання роботи - зміна об'єму

Робота доорівнює площі під графіком.

$dA' = P \cdot dV$ $A' = \int P dV$ $PV = \frac{m}{\mu} RT \rightarrow P = \frac{mRT}{\mu V}$

$A' = \int_{V_1}^{V_2} \frac{mRT}{\mu} \cdot \frac{dV}{V} = \frac{mRT}{\mu} \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$

$A' = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ - робота при ізотермічному процесі

Робота системи при коловому процесі

$A' = A'_{12} + A'_{21}$ але $A'_{12} > 0$ $A'_{21} < 0$

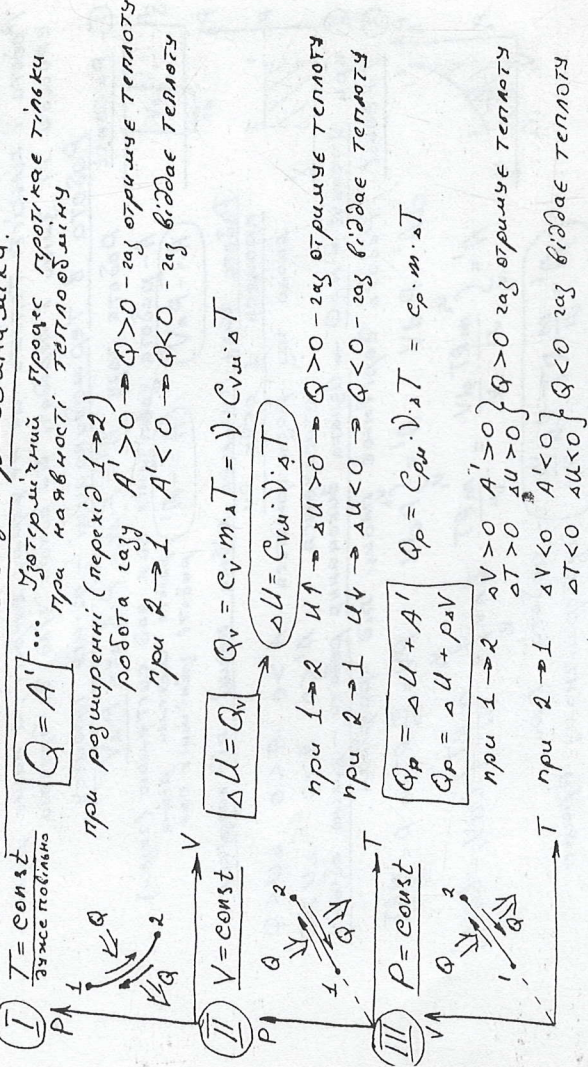
$A' = A'_{12} - A'_{21}$ = площа обмеженої графіком процесу



K-15

Q - кількість теплоти - рункінція процесу, теплоємність газу у різних процесах різна.

- $V = const \Rightarrow A = 0$
 $\Delta U = Q$ - ізохорного процесу
 $C_V = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U}{m \cdot \Delta T} = \frac{\Delta U}{m \cdot \Delta T}$
 $\Delta U = C_V \cdot m \cdot \Delta T$
 $\Delta U = C_V \cdot \Delta T$
- $P = const$
 $Q = \Delta U + A = \Delta U + P \Delta V$
 $C_{PM} = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U + P \Delta V}{\Delta T} = \frac{\Delta U}{\Delta T} + P \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T}$
 $C_{PM} = C_{VM} + R$ Майєра
- $T = const \Rightarrow \Delta U = 0$
 $Q = A = P \Delta V$
 $C_T = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{P \Delta V}{\Delta T} \rightarrow \pm \infty$ теплоємність при $T = const$
- Адіабатний процес - $Q = 0$ - відбувається у теплоізолятованих системах: калориметр, термос, посудина Дюара - посудина з повітряними стінками (стмо, метал), між якими вакуум (для попередження конвекції); теплопровідності; стінки дзеркальні (для відбиття випромінювання і попередження випромінювання самими стінками); розміри - до сантиметра на розміля тон. Зберігання рідких газів (N_2, He)



K-16

Адіабатний процес

$\Delta U = A$
 $\Delta U = -A'$
 Обмін енергією з оточуючим середовищем відбувається шляхом виконання роботи.

У ідеальних теплоізоляторів у природі немає щоб $Q = 0$ процес проводять швидко, внаслідок цього теплообмін не встигає відбутись (приклад: запалена газова суміш у дизельних двигунах, вертикальний рух повітря в атмосфері, поширення звукових хвиль, биття каменя газу в камері соліа реактивних двигунів, отримання пресексної пари у камері Вільсона).

Ізольована адіабатного процесу на основі МКТ:
 при $V \downarrow$ - отускання пориння ($A > 0$) - молекули, вдаряючись один об одного, мають швидкості ($v_1 + v_2$) більші, ніж до вдарявання (v_1), це означає, що вони отримують додаткову енергію $\Delta U > 0 \Rightarrow \Delta U = A$

$A' = -\Delta U$ для ідеального газу
 $C_{VM} dT + R dV = 0 \Rightarrow C_{VM} dT + \frac{RT}{V} dV = 0 \Rightarrow C_{VM} \frac{dT}{T} + R \frac{dV}{V} = 0 \Rightarrow C_{VM} \ln T + R \ln V = const$
 потенціємомо останиній воряу $e^{\ln T + \frac{R}{C_{VM}} \ln V} = e^{\ln T \cdot V^{\frac{R}{C_{VM}}}}$
 $= T \cdot V^{\frac{C_{VM}}{C_{VM} - 1}} = T \cdot V^{\gamma - 1} = const$

Вирахуємо $T = \frac{PV}{R}$ тоді $PV^{\gamma - 1} = const$
 $PV^{\gamma} = const$ (3-й закон Пуассона)
 $\gamma = \frac{C_{PM}}{C_{VM}}$ показник адіабати
 одноатомний $C_{VM} = \frac{3}{2}R \Rightarrow \gamma = \frac{5}{3} = 1,66$
 двоатомний $C_{VM} = \frac{5}{2}R \Rightarrow \gamma = \frac{7}{5} = 1,40$
 багатозатомний $C_{VM} = 3R \Rightarrow \gamma = \frac{4}{3} = 1,33$

Робота при адіабатному процесі:
 $A' = -\Delta U = -C_{VM} \Delta T = C_{VM} \nu (T_1 - T_2)$
 але $T_1 V_1^{\gamma - 1} = T_2 V_2^{\gamma - 1} \Rightarrow T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{1}{\gamma - 1}}$
 $A' = C_{VM} \nu T_1 \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{1}{\gamma - 1}}\right)$
 $A' = \frac{\nu R}{\gamma - 1} (T_1 - T_2)$ - робота при адіабатч. процесі

Потік повітря взору практично адіабатний (мала теплопровідність повітря) при зміні h змінється тиск ($K-10$) $\frac{dP}{P} = -\frac{\mu g dh}{RT}$
 при адіабатному процесі: $T V^{\gamma - 1} = const$ але $V = \frac{\nu RT}{P} \Rightarrow T \left(\frac{\nu RT}{P}\right)^{\gamma - 1} = const$
 $T^{\gamma} P^{1 - \gamma} = const$ - продиференціюємо $dT \cdot \gamma T^{\gamma - 1} P^{1 - \gamma} + T \cdot (-\gamma) P^{\gamma - 1} dP = 0$
 $\frac{dT}{T} = -\frac{(1 - \gamma)}{\gamma} \frac{dP}{P} = \frac{(1 - \gamma) \mu g dh}{RT}$
 $\frac{dT}{dh} = -\frac{\gamma - 1}{\gamma} \frac{\mu g}{R}$ - вертикальній температурі
 ці розрахунки справедливі для сухого повітря, або для повітря, яке вільно вдаряє паре далеко від масивна. Якщо у повітрі вода пара масивна, то при адіабатному розширенні (підняття вгору) вода охоліджується і починає конденсуватись (виникають хмари - сукупність маленьких краплин H_2O), при цьому виділяється теплота - вологе повітря охоліджується менше сухого

ПОЛІТРОПНИЙ ПРОЦЕС $C = const$ - оборотні рівноважні процеси
 $T = const \Rightarrow n = 1$
 $P = const \Rightarrow n = \gamma$
 $PV^n = const$
 $V = const \Rightarrow n = \pm \infty$