

РІДКИЙ СТАН РЕЧОВИНИ

Зміст

1. Рідини. Основні властивості. Структура та тепловий рух
2. Поверхневий натяг
3. Явища на границі твердого тіла рідини та газу. Змочування. Капілярність
4. Тиск під викривленою поверхнею рідини

1. Рідини. Основні властивості. Структура та тепловий рух

1. Важливою властивістю рідини є щільне пакування її молекул, тобто розташування їх впритул одна до одної. Це пояснює вкрай погану стисливість рідини.

Зменшення об'єму рідини при надвисоких тисках вперше спостерігалось в дослідях Бріджмена США), який розробив методику та апаратуру для досягнення тисків від 3 до 425 тис. атм.

2. Розташуванню молекул рідини також притаманний ближній порядок, який полягає в тому, що кожна молекула взаємодіє лише з сусідніми, не впливаючи на віддалені (квазікристалічна будова). Впорядковане розташування молекул спостерігається в невеликих, часткових об'ємах рідин з довгими молекулами (в рідких кристалах).

3. Середня кінетична і потенціальна енергія молекул рідини приблизно рівні. В зв'язку з цим рідина, зберігає об'єм, так як кінетичної енергії недостатньо для звільнення і розлітання молекул, і не зберігає форму через те, що потенціальна енергія взаємодії визначає недостатність сил для утримання сталого розташування молекул, дозволяючи кожній вільно ковзати відносно інших.

4. Для руху молекул рідини характерне поєднання хаотичного коливного і поступального рухів.

Кожна молекула на протязі деякого часу (часу осілого життя) коливається в хаотично змінних напрямках та здійснює перескоки (трансляції) з одного положення рівноваги в інше в теж хаотично орієнтованих напрямках. Однак, при цьому, в результаті дії

РОЗТАШУВАННЯ МОЛЕКУЛ РІДИНИ



$$r \approx d_0$$

Щільне пакування молекул рідини означає, що середня відстань між молекулами близька до діаметра молекули



БРИДЖМЕН ПЕРСІ УІЛ'ЯМС
(21.4.1882 - 2.8.1961)

Фізик і філософ (США).
Нобелівський лауреат з фізики (1946 р.)
Закінчив Гарвардський університет, і біля 30 років був його професором.
Розробив методи одержання зверхвисоких тисків. Його роботи привели до створення штучних алмазів.
Засновник операціоналізму в філософії.

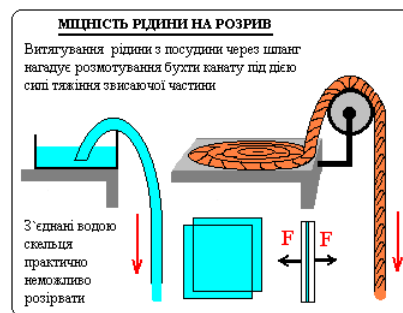
зовнішньої сили, наприклад, тяжіння, трансляції здійснюються переважно в напрямку цієї сили, тому кожна молекула транслюється переважно в напрямку сили, чим і пояснюється плинність рідини. При трансляціях молекула немов би пронизує оточуючі, що пояснюється законами квантової теорії, де подібне явище називається «тунельним ефектом».

Зауважимо, що характерний час осілого життя становить 10^{-11} с (а період коливань 10^{-12} с).

5. За своїми властивостями рідина ближча до твердого тіла ніж до газу. Так, рідині притаманні твердість, крихкість, міцність на розрив. Якщо час зовнішньої дії менший середнього часу осілого життя молекул, то рідина поводить себе як тверде тіло.

В одному з дослідів металевою палицею вдаряли по струменю з швидкістю біля 25м/с і спостерігали не розбризкування струменя, а розбивання його на друзки, як скляного тіла.

Міцність на розрив проявляється в дослідах з самовільним витіканням рідини через трубку, вихідний отвір якої нижчий рівня вхідного. Струмінь в трубці витягує за собою воду, не розриваючись. Ситуація нагадує стягування канату з поверхні силою ваги звисаючого кінця.



Міцність рідини на розрив заважає розділити дві скляні пластини, складені змоченими водою поверхнями.

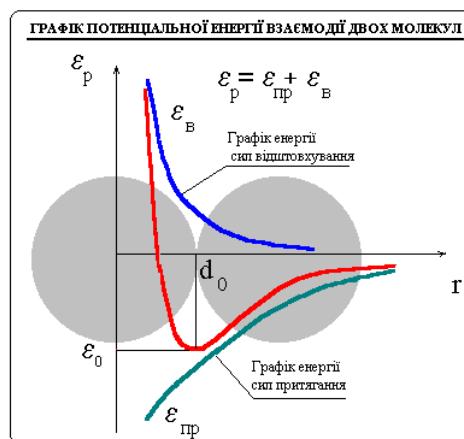
6. Молекули поверхні рідини знаходяться в особливому стані, який характеризується їх надлишковою енергією в порівнянні з молекулами середини рідини,

2. Властивості поверхні рідини

1⁰. Поверхнева енергія рідини. Поверхневий натяг

Графік залежності енергії взаємодії двох молекул ϵ_p від відстані між ними r має характерну форму, яку образно називають «потенціальною ямою».

Мінімальна енергія взаємодії ϵ_0 називається глибиною потенціальної ями. Ця енергія відповідає рівноважному розташуванню молекул впритул і практично характеризує енергію парної взаємодії



молекул рідини. Очевидно, при збільшенні температури та ростом відстані між молекулами $|\epsilon_p|$ зменшується.

Кожна молекула всередині рідини має близько 12 сусідніх. Отже її потенціальна енергія

$$\epsilon_p = 12\epsilon_0 = -12|\epsilon_0|$$

Молекула поверхні має вдвічі менш численне оточення, і її енергія

$$\epsilon_p^| = 6\epsilon_0 = -6|\epsilon_0|.$$

Надлишкова енергія молекули поверхні

$$\epsilon_s = \epsilon_p^| - \epsilon_p = 6\epsilon_0 - 12\epsilon_0 = -6\epsilon_0 = -(-6|\epsilon_0|) = 6|\epsilon_0|$$

Отже для утворення поверхні потрібно затратити енергію (виконати роботу). Тому поверхня рідини змінюється до скорочення, тобто до мінімально можливої величини, при якій енергія поверхні теж буде мінімальною. Це означає, що існують **сили поверхневого натягу** (F_n), які діють перпендикулярно до границі поверхні рідини по дотичній до цієї поверхні і намагаються її зменшити.

Тенденцію до зменшення поверхні рідини та наявність сил, що намагаються зменшити цю поверхню називають **поверхневим натягом**.

Енергія поверхневого шару молекул рідини називається **поверхневою енергією** (U_s)

Величина цієї енергії

$$U_s = N_s 6|\epsilon_0|$$

Якщо число молекул поверхні N_s виразити через поверхневу концентрацію молекул

$n_s = \frac{N_s}{S}$, то матимемо

$$U_s = 6n_s S |\epsilon_0|.$$

2⁰. Коефіцієнт поверхневого натягу. Сила поверхневого натягу

Відношення поверхневої енергії до площі вільної поверхні рідини для даної рідини при даній температурі є величиною сталою (σ), яка називається **коефіцієнтом поверхневого натягу** («енергетичне» означення).

Отже

$$\sigma = \frac{U_s}{S}.$$

Також

$$\sigma = \frac{\Delta U_s}{\Delta S}.$$

Одиниці вимірювання

$$[\sigma] = \frac{[U_s]}{[S]} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Розглянемо дротяний каркас затягнений плівкою мильного розчину. На рухому дротину АВ, довжиною l , буде діяти сила поверхневого натягу (F_s), яка зміщує дротину на відстань b . За теоремою про зміну потенціальної енергії, робота сил поверхневого натягу (як потенціальних сил) рівна зміні відповідної потенціальної (поверхневої енергії) зі знаком мінус

$$A_s = -\Delta U_s.$$

Оскільки робота сил поверхневого натягу

$$A_s = F_n b,$$

а зміна поверхневої енергії за попереднім

$$\Delta U = \sigma \Delta S,$$

де

$$\Delta S = S_2 - S_1 = -b l,$$

то

$$\sigma = \frac{\Delta U_s}{\Delta S} = \frac{-A_s}{-bl} = \frac{F_n b}{bl} = \frac{F_n}{l}.$$

Отже коефіцієнт поверхневого натягу рівний відношенню сили поверхневого натягу до довжини межі поверхневого шару рідини («силове» означення).

Сила поверхневого натягу, у відповідності до останнього запису, рівна

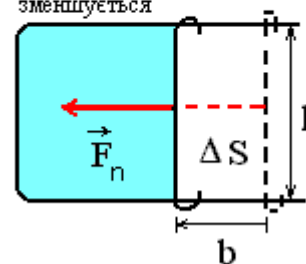
$$F_n = \sigma l$$

3. Явища на границі твердого тіла рідини та газу. Змочування. Капілярність

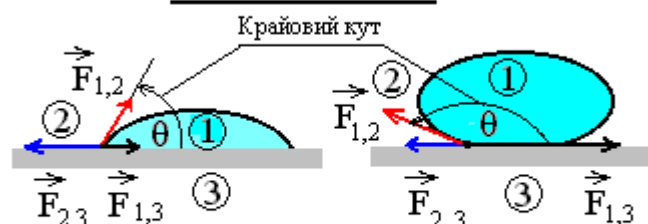
Якщо на поверхню твердого тіла помістити краплину рідини, то можливі три результати контакту рідини і твердого тіла. Вони характеризуються кутом між дотичною до поверхні рідини проведеною від її межі з поверхнею, з якою межує рідина – **кутом змочування**.

СИЛА ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ

Сила поверхневого натягу рухає дротинку, і скорочує поверхню рідини. Поверхнева енергія зменшується



ЯВИЩЕ ЗМОЧУВАННЯ



Рівновага краплі рідини на границі двох середовищ пояснюється компенсацією сил, яка настає в результаті встановлення гострого чи тупого крайового кута (змочування - незмочування)

Умова рівноваги елемента межі – це умова компенсації трьох сил поверхневого натягу $F_{1,2}$, $F_{1,3}$ та $F_{2,3}$, які діють з боку меж – відповідно 1-го та 2-го, 1 та 3, 2 та 3 середовищ. Для проєкцій сил на горизонтальний напрям матимемо

$$F_{2,3} - F_{1,3} - F_{1,2} \cos\theta = 0,$$

або

$$\sigma_{2,3}l - \sigma_{1,3}l - \sigma_{1,2}l \cos\theta = 0,$$

звідки

$$\cos\theta = \frac{\sigma_{2,3} - \sigma_{1,3}}{\sigma_{1,2}}.$$

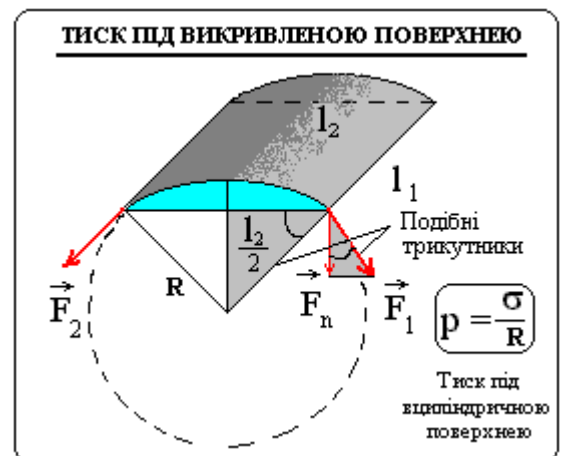
Під **змочуванням** будемо розуміти *явище утворення гострого кута змочування на межі рідини та твердого тіла.*

Умовою змочування, як показує остання формула, є переважання коефіцієнта поверхневого натягу твердого тіла відносно оточуючого середовища над коефіцієнтом поверхневого натягу рідини відносно середовища.

Аналогічно визначається **явище незмочування** та його умови.

4. Тиск під викривленою поверхнею рідини

Розглянемо поверхню одинарної кривизни (циліндричну), яка спирається на прямокутник з сторонами l_1 та l_2 . Сили поверхневого натягу намагаються скоротити поверхню рідини. Тому викривлена поверхня, під дією сил, зменшуючих площу створює поверхневий тиск на рідину. Радіус кривизни поверхні r . Сили поверхневого натягу дотичні до поверхні в кожній точці межі. Для двох протилежних діляниць довжиною l_1



$$F_1 = \sigma l_1 \quad F_2 = \sigma l_1 \quad (F_1 = F_2)$$

Сила тиску на опорну прямокутну поверхню площею $S = l_1 l_2$, це сума перпендикулярних складових сил поверхневого натягу з обох боків.

$$F_N = F_{N1} + F_{N2} = 2F_{N1}$$

З подібності трикутників

$$\frac{F_{N1}}{F_1} = \frac{l_1/2}{R} \text{ отже:}$$

$$F_{N1} = \frac{F_1 l_1}{2R}$$

$$F_{N2} = \frac{F_1 l_2}{R} = \frac{\sigma \cdot l_1 l_2}{R} = \frac{\sigma \cdot S}{R}$$

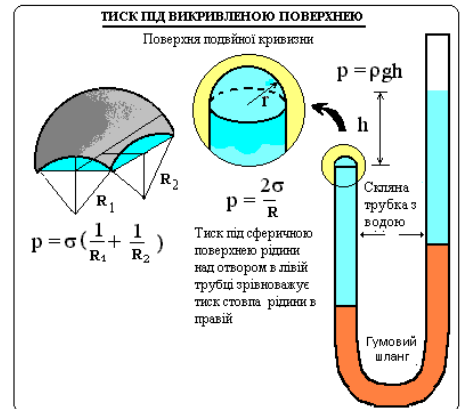
Тиск під викривленою поверхнею $p = \frac{F_N}{S}$, або $p = \frac{\sigma}{R}$ Поверхню довільної кривизни,

достатньо малої площі, можна подати, як поверхню з кривизною в двох взаємоперпендикулярних напрямках, з радіусами кривизни r_1 та r_2 , а тиск під цією поверхнею, як суму тисків зумовлених першою та другою кривизною, тобто $p = p_1 + p_2$

$$p = \frac{\sigma}{R_1} + \frac{\sigma}{R_2} \quad p = \sigma \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \text{ (Формула Лапласа)}$$

Для сферичної поверхні: $r_1 = r_2 = r$, тому **тиск під сферичною поверхнею**

$$p = \frac{2\sigma}{R}$$



При контакті рідини зі стінкою трубки достатньо малого отвору (капіляра) рідина в ній при змочуванні буде підніматись відносно нормального рівня, а при незмочуванні - опускатись. Таке явище називають **капілярністю**.

Можна обчислити висоту підйому рідини в капілярі радіусом r , прирівнявши вертикальну складову сили поверхневого натягу та вагу стовпа піднятої рідини.

$$F \cos \theta = mg,$$

тут

$$F = \sigma l = \sigma 2\pi r, \quad m = \rho V = \rho \pi r^2 h$$

після підстановки матимемо:

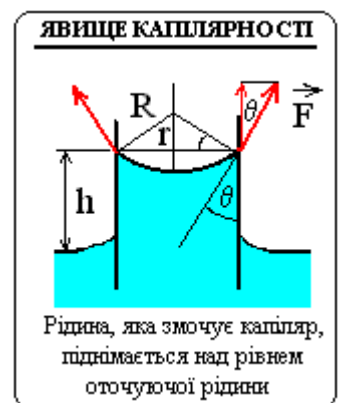
$$\sigma 2\pi r \cos \theta = \rho \pi r^2 h, \text{ звідки}$$

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r}$$

тут ρ - густина рідини.

За цієї формулою знаходиться глибина стовпа рідини при частковому змочуванні.

При повному змочуванні ($\theta = 0$)



$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}.$$