

ЯВИЩЕ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ

Явище поверхневого натягу полягає у прагненні рідини скоротити площу своєї поверхні за незмінного об'єму. Воно зумовлене некомпенсованою силою притягання молекул рідини на поверхні до молекул в об'ємі цієї рідини.

За відсутності сил тяжіння (у космосі чи під час вільного падіння у вакуумі) рідина прагне набути кулястої форми, оскільки така форма має найменшу площу. Якщо рідина перебуває у полі тяжіння, то вона заповнює собою посудину, при цьому поверхня рідини стає плоскою, тобто також мінімальною.

Якщо поверхня рідини мінімальна, то це означає також мінімальну потенціальну енергію взаємодії всіх молекул рідини. З іншого боку, молекули на поверхні рідини мають надлишкову потенціальну енергію порівняно з молекулами в об'ємі, оскільки для того, щоби перевести молекулу з об'єму на поверхню слід виконати певну роботу. Цю надлишкову енергію молекул на поверхні рідини називають поверхневою енергією $E_{\text{пов}}$ і вона є пропорційною площі поверхні S :

$$E_{\text{пов}} = \sigma \cdot S.$$

Коефіцієнт пропорційності σ називають **коефіцієнтом поверхневого натягу**. Він залежить від роду рідини, кількості розчинених в ній домішок інших речовин, температури рідини, а також роду атмосфери над поверхнею рідини, оскільки молекули рідини на поверхні взаємодіють з молекулами газу, що призводить до зменшення поверхневої енергії. Ця взаємодія, в свою чергу, залежить від тиску газу, що також впливає на коефіцієнт поверхневого натягу. Врахувати всі взаємодії надто складно, тому **у всіх таблицях наведено значення коефіцієнту поверхневого натягу тільки для однорідних рідин, що межують тільки з повітрям, за певної (вказаної) температури.**

Якщо поверхня рідини збурена, тобто її площа збільшена на деяку величину ΔS , то поверхнева енергія рідини також збільшена на величину

$$\Delta E_{\text{пов}} = E_{\text{пов}} - (E_{\text{пов}})_{\text{мін}} = \sigma \cdot \Delta S.$$

Тоді сили потенціальної взаємодії всіх молекул рідини будуть здатні виконати певну роботу

$$A = \Delta E_{\text{пов}} = \sigma \cdot \Delta S$$

зі зменшення площі поверхні до мінімальної.

Таким чином, **коефіцієнт поверхневого натягу** – це фізична величина, яка чисельно рівна роботі молекулярних сил зі зменшення поверхні рідини на одиницю площі.

Одиниця вимірювання коефіцієнту поверхневого натягу: 1 Дж/м^2 .

СИЛИ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ

Для практичного визначення коефіцієнту поверхневого натягу формула $A = \sigma \cdot \Delta S$ є незручна, оскільки важко виміряти з високою точністю величини A , та ΔS . Для цього вводять поняття сил поверхневого натягу, які прагнуть скоротити, стягнути поверхню рідини до мінімальної площі. Ці сили, що діють **уздовж** поверхні зумовлені некомпенсованими силами притягання, що діють на молекули рідини на поверхні з боку молекул в об'ємі рідини і напрямлені **перпендикулярно** до поверхні.

Силою поверхневого натягу називають силу, що діє вздовж поверхні рідини перпендикулярно до лінії, що обмежує цю поверхню і прагне скоротити площу цієї поверхні до мінімуму.

Головною особливістю сил поверхневого натягу є незалежність їх від площі, оскільки поверхня рідини натягнута рівномірно в усіх точках. Ці сили залежать тільки від довжини лінії Δl , що обмежує поверхню, і пропорційні цій довжині, а коефіцієнтом пропорційності є коефіцієнт поверхневого натягу σ :

$$F_{\text{пов}} = \sigma \cdot \Delta l.$$

Оскільки сили поверхневого натягу завжди перпендикулярні до лінії, яка обмежує поверхню, то на будь-яке тіло, що плаває на поверхні рідини, діє рівна нулю рівнодійна сил поверхневого натягу. Така ж рівна нулю рівнодійна діє і на стінки посудини, по лінії розділу посудини, рідини і газу над нею.

З формули

$$\sigma = \frac{F_{\text{пов}}}{\Delta l}$$

слідуює, що одиницею вимірювання коефіцієнту поверхневого натягу є 1 Н/м. Обидві одиниці вимірювання, 1 Дж/м² і 1 Н/м є рівноправні, хоча на практиці (і в таблицях) використовують 1 Н/м.

Приклади розв'язування задач:

Приклади, подані в підручнику Засекіної на стор. 231 непогано демонструють розв'язування задач, однак щодо першої задачі слід зрозуміти, яким чином рівнодійна сил, що діє на кільце, становитиме $F_{\text{пов}} = 4\pi\sigma R$, тоді як вище було зазначено, що вона рівна нулю. Насправді ж, коли кільце перебуває на поверхні рідини, сили поверхневого натягу діють на нього уздовж поверхні, тому рівнодійна сил поверхневого натягу рівна нулю. В момент відриву кільця від поверхні ці сили діють перпендикулярно до площини кільця, оскільки рідина поблизу межі розділу дещо піднімається разом з кільцем. При цьому її поверхня поблизу межі розділу настільки викривлюється, що сили поверхневого натягу, які напрямлені по дотичній до поверхні, стають перпендикулярні до площини кільця.

Задача 1. Тонке алюмінієве кільце радіусом 7,8 см лежить на поверхні мильного розчину. З яким зусиллям можна відірвати кільце від розчину? Температуру розчину вважати кімнатною. Маса кільця — 4 г.

Дано:

$$R = 7,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$m = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

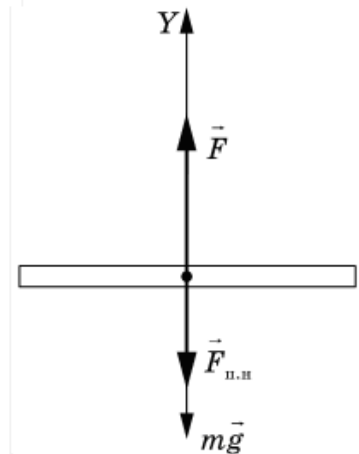
$$\sigma = 4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$F = ?$$

Розв'язання:

Сили, що діють на кільце, показано на малюнку.

Оскільки кільце дотикається до мильного розчину і із зовнішнього, і із внутрішнього боку, то сила поверхневого натягу $F_{\text{п.н}} = 2\sigma l$, де $l = 2\pi R$.



Сила, яку необхідно прикласти, щоб відірвати кільце, дорівнює $F = mg + 2\sigma l = mg + 4\pi\sigma R$.

Після підстановки даних отримуємо: $F = 0,11 \text{ Н}$.

Відповідь: 0,11 Н.

Засекіна була би не Засекіною, якби в такій простій задачі не припустилася помилки, хоча би під час обчислень. Дійсно, підставляючи дані у кінцеву формулу, отримуємо:

$$F = 0,004 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} + 4 \cdot 3,14 \cdot 0,04 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 0,078 \text{ м} \approx 0,04 \text{ Н} + 0,039 \text{ Н} = 0,079 \text{ Н}.$$

Отже, правильна відповідь – 0,079 Н.

P.S. Несподівано причина помилки була виявлена!!! Подібна, але зворотна задача наведена у Впр. 33 (Бар'яхтар) на стор. 202. Однак під час списування Засекіна помилилась: замість маси у 7 гр написала 4 гр і навіть не перевірила себе. Шановні ліцеїсти, не списуйте і не сподобляйтеся Засекіній, у крайньому разі списуйте вдумливо і критично та не копіюйте чужих помилок!

Задача 2. Яку роботу необхідно виконати, щоб розділити сферичну краплину радіусом R на дві однакові краплини?

Дано:

R
 σ
 A — ?

Розв'язання:

Для розділення краплини слід виконати роботу для збільшення площі поверхні ΔS , оскільки площа поверхні великої краплини S менша, ніж сума площ отриманих краплин $2S_0$;
 $A = \sigma \Delta S = \sigma(2S_0 - S) = \sigma(2 \cdot 4\pi \cdot r^2 - 4\pi R^2)$, де r — радіус маленьких краплин.

Об'єм великої краплини дорівнює сумі об'ємів маленьких краплин:
 $\frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi r^3 + \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{8}{3} \pi r^3$. Звідси виразимо радіус маленьких краплин: $r = \frac{R}{\sqrt[3]{2}}$, тоді $A = \sigma 4\pi R^2 \left(\frac{2}{\sqrt[3]{4}} - 1 \right)$.

Відповідь: $4\sigma\pi R^2 \left(\frac{2}{\sqrt[3]{4}} - 1 \right)$.

До речі, отриманий вираз можна додатково спростити (так зручніше для обчислень):

$$4\sigma\pi R^2 \left(\frac{2}{\sqrt[3]{4}} - 1 \right) = 4\sigma\pi R^2 \left(\frac{\sqrt[3]{8}}{\sqrt[3]{4}} - 1 \right) = 4\sigma\pi R^2 (\sqrt[3]{2} - 1).$$

Впр. 38 (Засекіна), задача 2.

2. З крапельниці накапали однакові маси води, спочатку холодної за температури 8°C , а потім гарячої — за температури 80°C . Як і у скільки разів відрізняється коефіцієнт поверхневого натягу холодної й гарячої води, якщо в першому випадку утворилося 40, а в другому — 48 крапель? Вважайте, що густина холодної води така сама як густина гарячої води.

$t_1 = 8^\circ\text{C}$
 $t_2 = 80^\circ\text{C}$
 $n_1 = 40$
 $n_2 = 48$

$\frac{\sigma_1}{\sigma_2}$ — ?

Розв'язування. В момент відриву краплі, сила тяжіння $F_{тяж} = m \cdot g$, що діє на краплю, зрівноважує силу поверхневого натягу $F_{пов} = \sigma \cdot l$, тобто
 $m_1 \cdot g = \sigma_1 \cdot l$, $m_2 \cdot g = \sigma_2 \cdot l$.

Оскільки сумарна маса крапель в обох випадках однакова, то
 $m_1 \cdot n_1 = m_2 \cdot n_2$.

Отже

$$m_1 \cdot n_1 = \frac{\sigma_1 \cdot l}{g} n_1 = m_2 \cdot n_2 = \frac{\sigma_2 \cdot l}{g} n_2 \Rightarrow \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{48}{40} = 1,2.$$

Відповідь: Коефіцієнт поверхневого натягу за температури 8°C у 1,2 рази більший, ніж за температури 80°C .