

§ 21. СПОЛУЧЕНІ ПОСУДИНИ. МАНОМЕТРИ

?! Кожного дня ми користуємося водогonom. А чи знаєте ви, чому з крана біжить вода, коли ми його відкриваємо? Спробуємо дізнатися, як власне працює водогін, використовуючи властивості сполучених посудин, а також зробимо прилади для вимірювання різниці тисків.

1 Виготовляємо та досліджуємо сполучені посудини

Якщо в праве коліно U-подібної трубки почати наливати воду, то вода перетікатиме в ліве коліно, і навпаки (рис. 21.1). Якщо нахилити U-подібну трубку, то вода почне витікати з коліна, яке внаслідок нахилу буде розташоване нижче. U-подібна трубка є прикладом сполучених посудин.

Сполучені посудини — це посудини, які з'єднані між собою і між якими може перетікати рідина.

Ми вже з'ясували, що в однорідній нерухомій рідині на одному рівні тиск є однаковим. Отже, якщо сполучені посудини відкриті в атмосферу (рис. 21.2, а), то висоти h_1 і h_2 стовпчиків однорідної рідини в них будуть однаковими. Доведемо це. На рівні AB $p_1 = p_2 \Rightarrow p_a + \rho gh_1 = p_a + \rho gh_2$, тобто

$$\rho gh_1 = \rho gh_2 \Rightarrow h_1 = h_2.$$

А от якщо налити в праве та ліве коліна сполучених посудин рідини з різними густинами, наприклад воду і гас, результат буде іншим (рис. 21.2, б). За умовою рівноваги тиски стовпчиків цих рідин на рівні CD у посудинах є однаковими, тобто $p_1 = p_2$, або $\rho_1 gh_1 = \rho_2 gh_2$. Звідси

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}.$$

За умови рівноваги рідин різних густин у відкритих сполучених посудинах стовпчик рідини з меншою густиною буде вищим, ніж стовпчик рідини з більшою густиною. Відношення висот стовпчиків рідин обернено пропорційне до відношення їхніх густин.

2 Виготовляємо відкритий рідинний манометр

На праве коліно U-подібної трубки, у яку налито однорідну рідину, надінемо гумову грушу і злегка натиснемо на неї. Висота стовпчика рідини в правому коліні зменшиться, а в лівому збільшиться (рис. 21.3). На рівні AB тиск у рідині

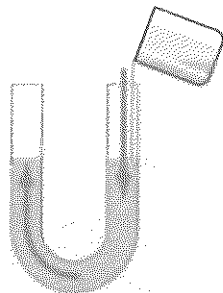


Рис. 21.1. У разі наливання рідини в одне коліно U-подібної трубки вона перетікає в друге коліно

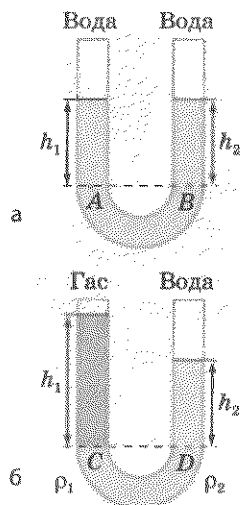


Рис. 21.2. У відкритих сполучених посудинах однорідна рідина встановлюється на одному рівні (а); якщо рідини мають різні густини, то стовпчик із рідиною меншої густини буде більш високим (б)

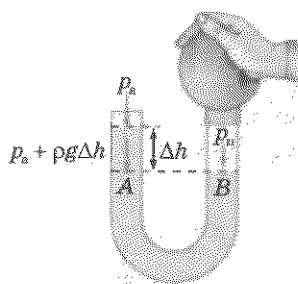
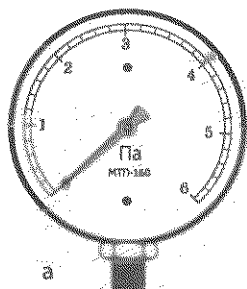


Рис. 21.3. Різниця атмосферного тиску p_a і тиску повітря p_n компенсується тиском стовпчика рідини висотою Δh



Рис. 21.4. U-подібна трубка, що наповнена рідиною і має шкалу, — відкритий рідинний манометр



буде однаковим. У точці B це буде тиск повітря p_n в правому коліні, у точці A — атмосферний тиск p_a плюс тиск $\rho g \Delta h$ стовпчика рідини Δh . Отже, $p_n = p_a + \rho g \Delta h$.

Тобто за допомогою U-подібної трубки, яка заповнена однорідною рідиною, та лінійки, що дозволяє виміряти різницю рівнів рідини в колінах трубки, можна визначити різницю між тиском повітря (або іншого газу) в посудині та атмосферним тиском: $p_n - p_a = \rho g \Delta h$.

Відповідний прилад має назву *відкритий рідинний манометр* (від грец. *manos* — рідкий, нещільний та *metron* — міра, вимірювати) (рис. 21.4). Манометри широко застосовують у техніці, промисловості, на транспорті.

3 Замінюємо рідинний манометр на металевий
Рідинний манометр не завжди є зручним у користуванні: його необхідно готувати до вимірювань — наливати рідину до потрібного рівня та проводити додаткові обчислення. Тому в техніці використовують *металеві деформаційні манометри* (рис. 21.5).

Основний елемент металевого деформаційного манометра — гнучка дугоподібна трубка, один кінець якої є запаєним. Другий кінець трубки сполучають з резервуаром, де вимірюють тиск. Принцип дії цих манометрів такий. Якщо тиск газу всередині трубки більший від атмосферного, то гнучка трубка розпрямляється і її рух передається до стрілки, що рухається вздовж шкали приладу. Після зменшення тиску газу до атмосферного трубка повертається у початкове (недеформоване) положення, а стрілка зупиняється на позначці 0.

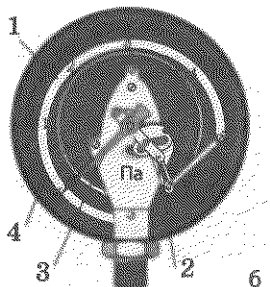


Рис. 21.5. Металевий деформаційний манометр: a — загальний вигляд; b — конструкція: трубку 1 за допомогою передавального механізму 2 прикріплено до стрілки 3. Тиск визначають за шкалою 4

Шкала металевого манометра проградуєрована в паскалях або атмосферах.

4 Учимся розв'язувати задачі

Задача. У праве коліно відкритої U-подібної трубки, у яку попередньо налита вода, наливають шар гасу завтовшки 12,5 см. Якою буде різниця рівнів води і гасу в правому та лівому колінах U-подібної трубки, коли рух рідин припиниться? Гас і вода не змішуються.

Дано:

$$h_{\text{гасу}} = 12,5 \text{ см} = 0,125 \text{ м}$$

$$\rho_{\text{води}} = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{гасу}} = 800 \text{ кг/м}^3$$

Δh — ?

Аналіз фізичної проблеми

Коли в сполучені посудини налита вода, вона встановлюється на одному рівні в обох колінах (рис. 21.6, а). Якщо в праве коліно долити гас, то у другому коліні рівень води підніметься (рис. 21.6, б). В однорідній рідині, що перебуває в рівновазі, на одному горизонтальному рівні тиск є однаковим. Це буде виконуватися для будь-яких рівнів, що нижчі за рівень АВ, адже на цьому рівні і нижче в правому та лівому колінах U-подібної трубки буде однорідна рідина — вода.

Пошук математичної моделі, розв'язання

Різниця висот стовпчиків гасу та води $\Delta h = h_{\text{гасу}} - h_{\text{води}}$.

Отже, потрібно знайти висоту стовпчика води. Скористаємося формулою гідростатичного тиску і знайдемо тиск рідин в точках А і В: $p_A = \rho_{\text{води}} g h_{\text{води}}$; $p_B = \rho_{\text{гасу}} g h_{\text{гасу}}$.

Оскільки посудини відкриті, то $p_A = p_B$. Тобто:

$$\rho_{\text{води}} g h_{\text{води}} = \rho_{\text{гасу}} g h_{\text{гасу}} \Rightarrow h_{\text{води}} = \frac{\rho_{\text{гасу}} g h_{\text{гасу}}}{\rho_{\text{води}} g} = \frac{\rho_{\text{гасу}} h_{\text{гасу}}}{\rho_{\text{води}}}$$

$$\text{Перевіримо одиницю: } [h_{\text{води}}] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \text{м}.$$

Визначимо значення висоти стовпчика води:

$$\{h_{\text{води}}\} = \frac{800 \cdot 0,125}{1000} = 0,1; \quad h_{\text{води}} = 0,1 \text{ м} = 10 \text{ см};$$

$$\Delta h = 12,5 \text{ см} - 10 \text{ см} = 2,5 \text{ см}.$$

Відповідь: різниця рівнів води і гасу в правому та лівому колінах становить 2,5 см.

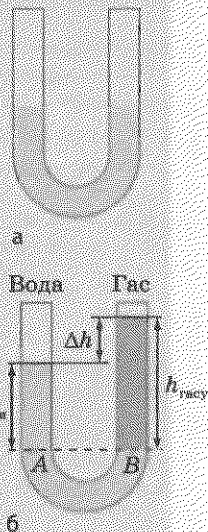


Рис. 21.6

! Підбиваємо підсумки

Сполученими посудинами називають посудини, які з'єднані між собою і між якими може перетікати рідина.

У відкритих сполучених посудинах різних форм та розмірів однорідна нерухома рідина встановлюється на одному рівні.

Відкриті рідинні манометри — це прилади для вимірювання тиску газів: $p_r = p_a + \rho g \Delta h$, де Δh — різниця рівнів рідини в колінах приладу; p_a — атмосферний тиск.

На практиці широке застосування знайшли металеві деформаційні манометри.

? Контрольні запитання

1. Якою є основна властивість сполучених посудин?
2. Як поведуть себе рідини різної густини, налиті в сполучені посудини?
3. Що таке манометр?
4. Як працює відкритий рідинний манометр?
5. Опишіть будову та принцип дії металевого деформаційного манометра.

✍ Вправа № 21

1. У рідинному манометрі міститься підфарбована вода (рис. 1). Ліве коліно манометра відкрите в атмосферу. На скільки відрізняється тиск у посудині від атмосферного?
2. У рідинному манометрі міститься ртуть (рис. 2). Ліве коліно манометра відкрите в атмосферу. Який тиск у посудині, якщо тиск атмосферного повітря дорівнює 100 кПа?

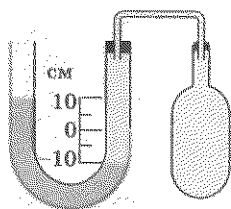


Рис. 1

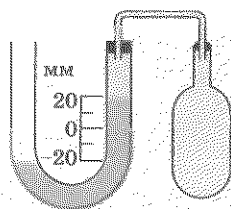


Рис. 2

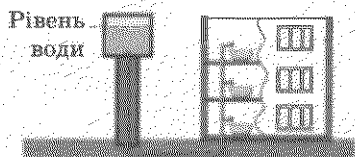


Рис. 3

3. У ліве коліно сполучених посудин налито гас, стовпчик якого має висоту 20 см. Якої висоти стовпчик води потрібно налити в праве коліно, щоб рідина перебувала в рівновазі?
4. Висота водонапірної вежі дорівнює 25 м (рис. 3). Яким буде тиск води у водогоні в квартирі на третьому поверсі будинку? Висота поверху становить 3 м, труби водогону в квартирі розташовані на висоті 1 м від підлоги.
5. У якій послідовності потрібно відкривати та закривати ворота трикамерного шлюзу (рис. 4), щоб провести судно проти течії?

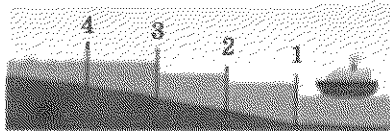


Рис. 4

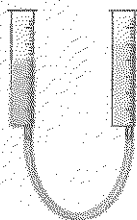


Рис. 5

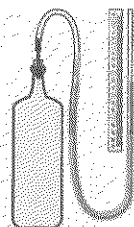


Рис. 6

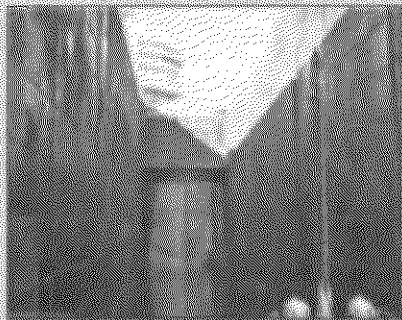


Експериментальні завдання

1. Виготовте вдома з корпусів одноразових шприців та шматків гумової трубки сполучені посудини (рис. 5). Визначте умову рівноваги в цих посудинах стовпчиків води та олії.
2. Скориставшись прозорою еластичною трубкою та лінійкою, виготовте манометр, що буде вимірювати різницю тисків в атмосфері та пляшці (рис. 6). Простежте зміну різниці тисків протягом дня; зробіть висновок.

ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

У 1930-х роках символом індустріалізації став **Дніпрогес**. Завершення будівництва цієї найбільшої на той час гідроелектростанції забезпечило енергією кілька заводів-гігантів, принесло електричне світло в тисячі будинків Запоріжжя, Кривого Рогу та інших міст України. Після того як дамба заввишки понад 50 м перегородила Дніпро, глибина річки значно збільшилася. Це забезпечило судноплавство у тій частині Дніпра, де були пороги. А щоб судна могли пливти й далі, до Чорного моря, у конструкції греблі інженери передбачили спеціальний вузол — *шлюз*.



Шлюз являє собою систему послідовно розташованих «кімнат», які називають камерами. У кожній камері з двох сторін є «двері», але немає «даху». Розміри камер величезні — кожна з них здатна вмістити водночас кілька теплоходів. Працює шлюз у такий спосіб. Судно входить у першу камеру, її зовнішні двері за ним закриваються, і відбувається вирівнювання рівня води з другою камерою через систему сполучених труб (за принципом сполучених посудин). Потім відчиняються двері між першою і другою камерами — судно переходить у другу камеру і т. д.