

§ 24. УМОВИ ПЛАВАННЯ ТІЛ

?!

У побуті для приготування розчину солі певної густини господарки користуються таким прийомом. Вони занурюють у розчин сире яйце: якщо густина розчину замала, то яйце тоне, якщо достатня — спливає. Так само під час консервації визначають і густину цукрового сиропу. А за яких загальних умов тіло буде плавати в рідині чи газі?

1

Визначасмо умови плавання тіл

Ми, звісно, можемо навести скільки завгодно прикладів плавання тіл. Плавають судна і човни, дерев'яні іграшки і повітряні кульки, а також риби, дельфіни, інші істоти. А від чого залежить здатність тіла плавати?

Численні досліди свідчать:

1) тіло спливає в рідині або газі, якщо воно має густину меншу, ніж густина рідини або газу ($\rho_t < \rho_{\text{рід}}$);

2) тіло плаває в товщі рідини або газу, якщо його густина дорівнює густині рідини або газу ($\rho_t = \rho_{\text{рід}}$);

3) тіло тоне в рідині або газі, якщо воно має густину більшу, ніж густина рідини або газу ($\rho_t > \rho_{\text{рід}}$).

2

Обґрунтовуємо умови плавання тіл

Спробуємо теоретично обґрунтувати умови плавання тіл.

Підвісимо на нитку тіло (рис. 24.1, а). Якщо тіло перебуває в рівновазі, то сила тяжіння, що на нього діє, зрівноважується силою натягу нитки. Почнемо опускати тіло в рідину. У міру опускання буде зростати архімедова сила, що діє на тіло. Сила натягу нитки зменшуватиметься.

Далі можуть бути такі три варіанти.

Тіло залишиться на поверхні рідини, занурившись у рідину частково; нитка перестане бути натягнутою (рис. 24.1, б). У цьому випадку архімедова сила повністю зрівноважує силу тяжіння: $F_{\text{арх}} = F_{\text{тяж}}$. Розрахуємо ці сили: $F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід}} V_{\text{зан}} g$; $F_{\text{тяж}} = m_t g = \rho_t V_t g$. Із рівності цих сил та з того, що об'єм зануреної частини тіла менший, ніж об'єм усього тіла ($V_{\text{зан}} < V_t$), отримуємо $\rho_t < \rho_{\text{рід}}$. Якщо перерізати нитку, тіло залишиться плавати на поверхні рідини.

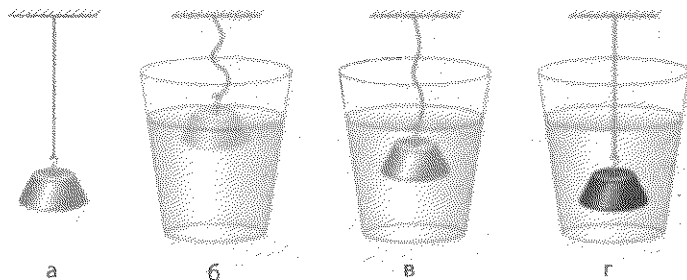


Рис. 24.1. Сила тяжіння, що діє на тіло, зрівноважена силою натягу нитки (а); архімедовою силою (б, в); силою натягу нитки та архімедовою силою (г)

Тіло зануриться в рідину повністю; нитка перестане бути натягнутою (рис. 24.1, в). У цьому випадку архімедова сила теж повністю зрівноважує силу тяжіння: $F_{\text{арх}} = F_{\text{тяж}}$. Зрозуміло, що у формулі для розрахунку архімедової сили треба використовувати об'єм не зануреної частини тіла, а всього тіла ($V_{\text{зан}} = V_{\text{т}}$). Із рівності архімедової сили і сили тяжіння отримуємо $\rho_{\text{рід}} = \rho_{\text{т}}$. Якщо перерізати нитку, то тіло залишиться плавати в товщі рідини.

Тіло занурюється в рідину повністю; нитка залишається натягнутою (рис. 24.1, г). У цьому випадку сила тяжіння зрівноважується двома силами — силою натягу нитки й архімедовою силою: $F_{\text{тяж}} = F_{\text{нат}} + F_{\text{арх}}$. Тому сила тяжіння є більшою за архімедову силу: $F_{\text{тяж}} > F_{\text{арх}}$. Із формул для розрахунку сили тяжіння ($F_{\text{тяж}} = \rho_{\text{т}} V_{\text{т}} g$) і архімедової сили, що діє на повністю занурене в рідину тіло ($F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід}} V_{\text{т}} g$), отримуємо $\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{рід}}$. Якщо в цьому випадку перерізати нитку, то тіло тонути і зрештою опуститься на дно посудини.

3 Спостерігаємо плавання тіл у живій природі

Тіла мешканців морів і річок містять у своєму складі багато води, тому їхня густина близька до густини води. Щоб керувати середньою густиною свого тіла, водні мешканці використовують різні «прийоми». Наведемо приклади.

У риб із плавальним міхуром таке керування відбувається за рахунок зміни об'єму міхура. Молюск наутилус (рис. 24.2), який живе у тропічних морях, може швидко спливати й знову опускатися на дно завдяки тому, що змінює об'єм внутрішніх порожнин у своєму організмі (адже цей молюск живе в закрученій спіралі раковини).

Поширений у Європі водяний павук (рис. 24.3) несе із собою в глибину повітряну оболонку на черевці — саме вона надає йому запасу плавучості й допомагає повернутися на поверхню.

4 Учимося розв'язувати задачі

Задача. Чи буде плавати у воді мідна куля масою 445 г, усередині якої є порожнина об'ємом 450 см³?



Рис. 24.2. Молюск наутилус плаває завдяки здатності змінювати об'єм внутрішніх порожнин у своєму організмі



Рис. 24.3. Повітряна оболонка на черевці дозволяє водяному павуку піднятися з глибини на поверхню

Дано:

$$m_{\text{кулі}} = 445 \text{ г}$$

$$V_{\text{порожни}} = 450 \text{ см}^3$$

$$\rho_{\text{міді}} = 8,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$\rho_{\text{води}} = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$\rho_{\text{кулі}} = ?$$

Аналіз фізичної проблеми

Щоб визначити, чи буде плавати куля у воді, потрібно знайти густину кулі та порівняти її з густиною води. Для обчислення густини кулі нам слід знати її об'єм, а він у цьому випадку складатиметься з об'єму мідної оболонки та об'єму порожнини. Задачу доцільно розв'язувати в поданих одиницях.

Пошук математичної моделі, розв'язання

Обчислимо густину кулі: $\rho_{\text{кулі}} = \frac{m_{\text{кулі}}}{V_{\text{кулі}}} \quad (1)$

$$\text{Об'єм кулі } V_{\text{кулі}} = V_{\text{міді}} + V_{\text{порожни}}$$

Визначимо об'єм мідної оболонки: $V_{\text{міді}} = \frac{m_{\text{кулі}}}{\rho_{\text{міді}}}$

Тоді $V_{\text{кулі}} = \frac{m_{\text{кулі}}}{\rho_{\text{міді}}} + V_{\text{порожни}} \quad (2)$

Підставимо формулу (2) у формулу (1) і отримаємо:

$$\rho_{\text{кулі}} = \frac{m_{\text{кулі}}}{\frac{m_{\text{кулі}}}{\rho_{\text{міді}}} + V_{\text{порожни}}}$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[\rho_{\text{кулі}}] = \frac{\frac{\text{г}}{\frac{\text{г}}{\text{см}^3}} + \text{см}^3}{\frac{\text{г}}{\text{г} \cdot \text{см}^3} + \text{см}^3} = \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

Визначимо значення густини кулі:

$$\{\rho_{\text{кулі}}\} = \frac{445}{\frac{445}{8,9} + 450} = \frac{445}{500} = 0,89; \quad \rho_{\text{кулі}} = 0,89 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

Відповідь: густина кулі менша за густину води, тому куля буде плавати у воді.

! Підбиваємо підсумки

Тіло спливає в рідині або газі, якщо його густина менша за густину рідини або газу (якщо $\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{рід}}$).

Тіло плаває в товщі рідини або газу, якщо його густина дорівнює густині рідини або газу (якщо $\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{рід}}$).

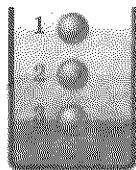
Тіло тоне в рідині або газі, якщо його густина більша від густини рідини або газу (якщо $\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{рід}}$).

? Контрольні запитання

1. Сформулюйте умову спливання тіла в рідині або газі.
2. За якої умови тіло буде тонути в рідині або газі?
3. Яку умову потрібно виконати, щоб тіло плавало в товщі рідини або газу?

Вправа № 24

1. Чи буде свинцевий брусок плавати в ртуті? у воді?
2. У посудину налито ртуть, воду та гас (див. рисунок). Рідини не змішуються. У посудину опускають три кульки: сталеву, пінопластову та дубову. Як розташовуються шари рідин у посудині? Визначте за рисунком, де яка кулька. Відповідь поясніть.
3. Чи буде брусок масою 120 г і об'ємом 150 см³ плавати у воді?
4. Тіло плаває в гасі, повністю занурившись. Якою є маса тіла, якщо його об'єм становить 250 см³?



Експериментальні завдання

1. Дерев'яну лінійку спочатку занурте у високий стакан із чистою водою, а потім у високий стакан із розчином солі. За глибиною занурення лінійки визначте густину розчину солі.
2. Визначте густину сирого яйця за умови, що у вас є склянка з відомим об'ємом води, харчова сіль та чайна ложка, яка вміщує 7 г солі.
3. Зробіть «картезіанського водолаза» — фізичну іграшку, яку придумав Рене Декарт: у пластикову пляшку налейте воду і помістіть туди отвором униз невеличку мензурку (або маленьку склянку з-під ліків), частково заповнену водою (див. рисунок). Води в мензурці має бути стільки, щоб мензурка ледь торкалася поверхні води в пляшці. Закрийте пляшку пробкою і натисніть на бічні стінки пляшки. Прослідкуйте за поведінкою мензурки. Поясніть її.

