

§ 23. ВИШТОВХУВАЛЬНА СИЛА. ЗАКОН АРХІМЕДА

?! Чому м'яч, який занурили у воду й відпустили, вискакує над поверхнею води? Чому важкий камінь, який на суші не можна зрушити з місця, легко підняти під водою? Чи правда, що людина у воді перебуває в стані невагомості? Спробуємо розібратися!

1 Доводимо існування виштовхувальної сили. До коромисла терезів підвісимо дві однакові кулі. Оскільки маса куль є однаковою, терези зрівноважено (рис. 23.1, а). Підставимо під праву кулю порожню посудину (рис. 23.1, б). Наллємо в посудину води і побачимо, що рівновага коромисла порушиться (рис. 23.1, в): *на кулю у воді діє сила, напрямлена вгору.*

Звідки ж береться ця сила? Щоб розібратися, розглянемо занурений у рідину кубик. На нього з усіх боків діють сили гідростатичного тиску рідини (рис. 23.2).

Сили гідростатичного тиску F_3 та F_4 , що діють на бічні грані кубика по горизонталі, є рівними за значенням, але протилежними за напрямком: площі бічних граней однакові й грані розташовані на однаковій глибині. Такі сили врівноважують одна одну.

А от сили гідростатичного тиску F_1 та F_2 , що відповідно діють на верхню та нижню грані кубика, одна одну не зрівноважують. Розберемось детальніше.

На верхню грань кубика діє сила тиску $F_1 = p_1 S$, де $p_1 = \rho g h_1$ (ρ — густина рідини), тобто $F_1 = \rho g h_1 S$. Аналогічно на нижню грань кубика діє сила тиску $F_2 = \rho g h_2 S$. Оскільки нижня грань перебуває на більшій глибині, ніж верхня ($h_2 > h_1$), то сила тиску F_2 більша за силу тиску F_1 . Рівнодійна цих сил дорівнює модулю різниці сил F_2 і F_1 та напрямлена в бік дії більшої сили, тобто вертикально вгору. Отже, по вертикалі вгору на кубик, занурений у рідину, буде діяти сила, зумовлена різницею тисків на його нижню та верхню грані, — *виштовхувальна сила*: $F_{\text{вишт}} = F_2 - F_1$.

На тіло, розташоване в газі, також діє виштовхувальна сила, але вона значно менша, ніж виштовхувальна сила, що діє на тіло в

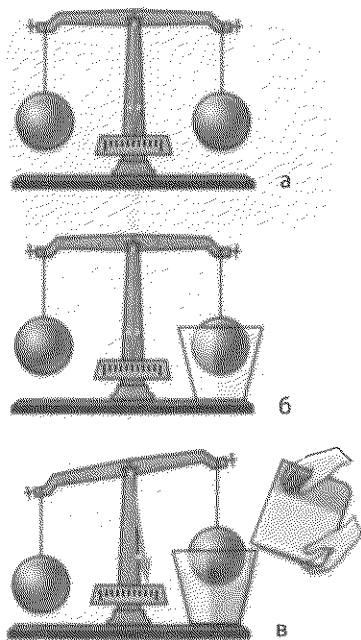


Рис. 23.1. На кулю у воді діє сила, напрямлена догори

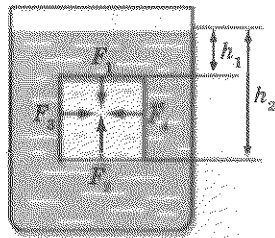


Рис. 23.2. Сили тиску, що діють на бічні грані кубика, зрівноважені ($F_3 = F_4$). А от сила тиску, яка діє на нижню грань, більша, ніж сила, що діє на верхню грань ($F_2 > F_1$)

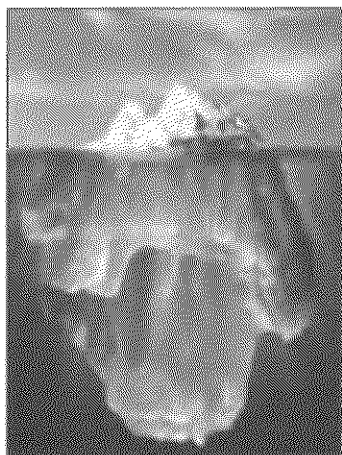


Рис. 23.3. Айсберг плаває на поверхні води завдяки дії виштовхувальної (архімедової) сили

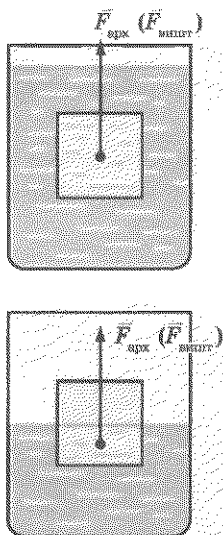


Рис. 23.4. На тіло, занурене в газ або повністю чи частково занурене в рідину, діє виштовхувальна сила, яку також називають архімедовою силою

рідині, тому що густина газу набагато менша за густину рідини.

Виштовхувальну силу, що діє на тіло в рідині або в газі, називають також *архімедовою силою* (на честь давньогрецького вченого Архімеда, який уперше вказав на її існування та обчислив її значення) (рис. 23.3).

2 Розраховуємо архімедову силу

Обчислимо значення архімедової сили для кубика, зануреного в рідину (див. рис. 23.2). Оскільки $F_{\text{арх}} = F_2 - F_1$, а $F_2 = \rho g h_2 S$ і $F_1 = \rho g h_1 S$, то отримаємо: $F_{\text{арх}} = \rho g h_2 S - \rho g h_1 S = \rho g S (h_2 - h_1)$.

Різниця глибин $(h_2 - h_1)$, на яких перебувають нижня та верхня грані кубика, є висотою h кубика. Тому $F_{\text{арх}} = \rho g S h$. Враховуючи, що добуток площі S основи кубика на його висоту h дорівнює об'єму V кубика ($Sh = V$), остаточно отримаємо $F_{\text{арх}} = \rho g V$.

Легко побачити, що ρV — це маса рідини в об'ємі кубика. Таким чином, $F_{\text{арх}} = mg$, де m — маса рідини в об'ємі кубика. Тобто *архімедова сила дорівнює вазі рідини в об'ємі кубика*.

Наші міркування ми проводили для кубика, який був повністю занурений у рідину. Але отриманий результат справджується для тіла будь-якої форми і для випадків, коли тіло занурене в рідину частково, — для розрахунків потрібно брати лише об'єм зануреної в рідину частини об'єму тіла. Крім того, результат справджується і для газів.

А тепер сформулюємо **закон Архімеда**:

На тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, що напрямлена вертикально вгору і дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі зануреної частини тіла:

$$F_{\text{арх}} = \rho g V_{\text{зан}},$$

де $F_{\text{арх}}$ — архімедова сила; ρ — густина рідини або газу; $V_{\text{зан}}$ — об'єм зануреної частини тіла.

Архімедова сила напрямлена вертикально вгору і прикладена до центра зануреної частини тіла (рис. 23.4).

3 Підтверджуємо закон Архімеда експериментально

Підтвердимо справедливість наших теоретичних міркувань. Для цього проведемо дослід зі спеціальним пристроєм — «відерком Архімеда». Пристрій складається з пружини зі стрілкою, відерка, тіла, відливної посудини, склянки.

Підвісимо пружину, відерко й тіло до штатива (рис. 23.5, а) і позначимо положення стрілки міткою. Потім у відливну посудину зануримо тіло — воно витіснить деякий об'єм води, яка зіллється в склянку (рис. 23.5, б). Унаслідок дії сили Архімеда пружина стиснеється і стрілка підніметься вище від мітки.

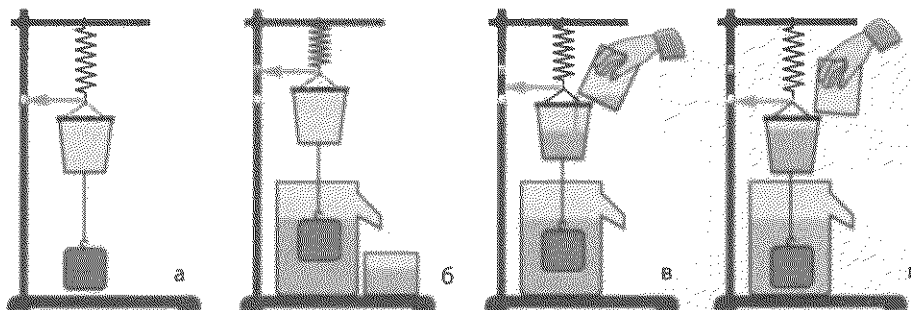
Почнемо переливати воду, витіснену тілом, зі склянки у відерко — пружина поступово буде розпрямлятися (рис. 23.5, в). Коли всю воду буде перелито (рис. 23.5, г), стрілка опуститься вниз і вкаже точно на мітку! Таким чином, вага води, яку витіснило занурене у воду тіло, зрівноважила архімедову силу. Тобто $P_{\text{від}} = F_{\text{арх}}$. Отже, ми підтвердили справедливість закону Архімеда.

4 З'ясуємо, що ніякої втрати ваги тіла в рідині немає

Підвісимо до динамометра камінець на нитці. Динамометр показує вагу камінця. Підставимо склянку з водою так, щоб камінець був повністю занурений у воду. Показання динамометра зменшаться. Здається, що камінець «утратив» частину своєї ваги. Але ніякої втрати ваги тіла у рідині не відбувається: вага перерозподіляється між підвісом (ниткою) і опорою (рідиною). Навіть якщо архімедова сила, що діє на тіло, є достатньою, щоб утримати це тіло, і підвіс не буде розтягнутий, то тіло все одно не перебуває в невагомості, адже воно тисне на опору — рідину.

Однак треба зазначити: коли тіло плаває, його вага розподіляється на воду, що оточує всю поверхню тіла. Тому під час плавання у воді нам здається, що ми втратили вагу.

Рис. 23.5. Дослід із «відерком Архімеда» доводить: виштовхувальна сила дорівнює вазі витісненої тілом рідини



Такі комфортні умови підтримування важкого тіла привели до того, що внаслідок еволюції наймасивніші істоти на Землі живуть в океані. У наш час найбільшою твариною є кит, довжина якого може сягати 35 м.

Саме архімедова сила допомагає нам піднімати у воді важкі камені або інші предмети, адже частина ваги цих тіл у воді зрівноважується не силою наших рук, а архімедовою силою.

Однак бувають випадки, коли вода не допомагає підняти тіло, а навпаки — заважає. Це трапляється, коли тіло, наприклад досить великий камінь, лежить на дні й щільно до нього прилягає. Вода не може потрапити під нижню поверхню тіла і своїм тиском допомогти це тіло підняти. Для відриву тіла від дна слід подолати силу тяжіння, яка діє на тіло, а також силу тиску води на верхню поверхню тіла. (До речі, саме з цим ми стикаємося, коли намагаємося витягти пробку з наповненої водою ванни.) Слід зауважити, що зазначене явище може призвести й до трагедії: якщо підводний човен опуститься на глинисте дно і витіснить із-під себе воду, самотужки спливати він не зможе.

5 Учимося розв'язувати задачі

Задача. Яка архімедова сила діє на суцільний алюмінієвий брусок масою 540 г, якщо він повністю занурений у воду і не торкається дна та стінок посудини?

Дано:

$$m = 540 \text{ г} = 0,54 \text{ кг}$$

$$\rho_{\text{ал}} = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

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

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$F_{\text{арх}} = ?$$

Аналіз фізичної проблеми

На занурений у воду алюмінієвий брусок діє архімедова сила. Для її обчислення потрібно знати густину води та об'єм бруска. Для обчислення об'єму бруска потрібно знати густину алюмінію та скористатися визначенням густини тіла. Густини води та алюмінію знайдемо в таблиці.

Пошук математичної моделі, розв'язання

Брусок є повністю зануреним у воду, тому об'єм води, витіснений бруском, дорівнює об'єму бруска V_0 . Обчислимо архімедову силу за допомогою формули

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{води}} g V_0 \quad (1).$$

Об'єм бруска знайдемо з визначення густини:

$$\rho_{\text{ал}} = \frac{m}{V_0} \Rightarrow V_0 = \frac{m}{\rho_{\text{ал}}} \quad (2).$$

Підставимо формулу (2) у формулу (1):

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{води}} g \frac{m}{\rho_{\text{ал}}} = \frac{\rho_{\text{води}} m g}{\rho_{\text{ал}}}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[F_{\text{арх}}] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \text{Н}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{F_{\text{арх}}\} = \frac{1000 \cdot 0,54 \cdot 10}{2700} = 2; \quad F_{\text{арх}} = 2 \text{ Н}.$$

Відповідь: на алюмінієвий брусок діє архімедова сила 2 Н.

Підбиваємо підсумки

На всі тіла, що перебувають у рідині або газі, діє виштовхувальна сила (архімедова сила). Причина її появи в тому, що гідростатичні тиски рідини або газу, які діють на верхню та нижню поверхні тіла, є різними.

Закон Архімеда: на тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, що напрямлена вертикально вгору і дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі зануреної частини тіла: $F_{\text{арх}} = \rho g V_{\text{зан}}$.

Контрольні запитання

1. Куди напрямлена сила, яка діє з боку рідини або газу на тіла, що в них занурені?
2. Що є причиною виникнення виштовхувальної сили?
3. Як ще називають виштовхувальну силу?
4. Сформулюйте закон Архімеда.
5. Чи втрачає вагу тіло, занурене в рідину або газ? Чому?
6. У яких випадках на тіло, занурене в рідину, не діє виштовхувальна сила? Чому?

Вправа № 23

1. Щоб відірвати підводний човен від глинистого дна, водолази прокопують під ним тунелі. Для чого вони це роблять?
2. Сталева куля об'ємом 400 см³ занурена в гас. Яка архімедова сила діє на кулю?
3. На кулю, повністю занурену у ртуть, діє архімедова сила 136 Н. Обчисліть об'єм кулі.
4. Алюмінієвий брусок масою 2,7 кг частково занурений у воду. При цьому на брусок діє архімедова сила 2,5 Н. Яка частина бруска є зануреною у воду?
5. Якими будуть показання динамометра, якщо підвішений до нього вантаж масою 1,6 кг та об'ємом 1000 см³ занурити у воду?
6. Якщо підвішений до динамометра брусок занурюють у воду, то динамометр показує 34 Н, якщо в гас — динамометр показує 38 Н. Обчисліть масу та густину бруска. †
- 7*. Чи виконуються на штучному супутнику Землі закон Паскаля і закон Архімеда?
- 8*. На сталевому тросі, жорсткість якого становить 3 МН/м, рівномірно піднімають зі дна водойми затонулу статую об'ємом 0,5 м³. Знайдіть масу статуї, якщо видовження тросу дорівнює 3 мм. Опором води знехтувати.