

§ 18. РУХ РІДИНИ І ГАЗУ. ПІДЙІМАЛЬНА СИЛА КРИЛА



Чи можна не дуже досвідченому плавцю спробувати переплисти гірську річку? Здавалося б, чому ні, особливо якщо річка не дуже широка. Проте цього не слід робити в жодному разі — це дуже небезпечно! І справа не в ширині річки, а в тому, що в більшості гірських річок є стремнини — ділянки з великою швидкістю течії. Виплисти зі стремнини дуже важко — вона затягує й «не відпускає» плавця.

А от яке відношення має течія річки до підйімальної сили крила літака, ви дізнаєтесь із цього параграфа.

1 Де рідина рухається швидше

Проведемо дослід із горизонтальною трубкою, яка має різні поперечні перерізи та поршень (можна взяти шприц без голки). Наповнимо трубку водою і переміщуватимемо поршень із деякою незмінною швидкістю (рис. 18.1). Побачимо, що швидкість води у вузькій частині трубки буде більшою, ніж у широкій частині. Результати цього дослідження можна було б і спрогнозувати.

Розглянемо *стаціонарний потік ідеальної нестисливої рідини*, тобто потік, в кожній точці якого швидкість руху рідини не змінюється з часом, а сили тертя нехтовно малі (рис. 18.2). Нехай v_1 — швидкість течії у широкій частині труби з площею перерізу S_1 , а v_2 — швидкість течії у вузькій частині труби з площею перерізу S_2 . За певний час t через ці перерізи протікають рівні об'єми рідини, які відповідно дорівнюють:

$$V_1 = S_1 \cdot l_1 = S_1 \cdot v_1 t; \quad V_2 = S_2 \cdot l_2 = S_2 \cdot v_2 t,$$

де l_1, l_2 — відстані, які долає рідина за час t .

Оскільки $V_1 = V_2$, то $S_1 v_1 t = S_2 v_2 t$. Після скорочення на t отримаємо рівняння нерозривності струменя:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

Отже, й експериментальні, й теоретичні дослідження підтверджують: *чим менша площа перерізу, тим швидше рухається рідина.*

Подібне явище можна спостерігати, якщо спускатися або підніматися річкою: течія повільна та плавна там, де річка глибока та широка, а на мілководді або у вузькій частині русла швидкість течії помітно збільшується.

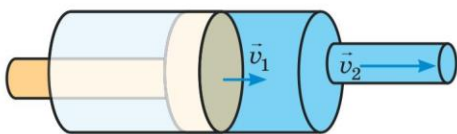


Рис. 18.1. Чим менша площа перерізу трубки, тим швидше рухається рідина: $v_2 > v_1$

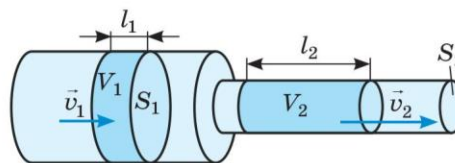


Рис. 18.2. Якщо рідина нестислива, а потік стаціонарний, то об'єми V_1 і V_2 рідини, що протікає через перерізи S_1 і S_2 за певний інтервал часу t , є однаковими: $V_1 = V_2$

2

Як тиск усередині рідини залежить від швидкості її руху

Повернемося до рис. 18.2. Швидкість течії в місці переходу з широкої частини труби у вузьку збільшується, тобто рідина *прискорює* свій рух. Наявність прискорення означає, що під час переходу на рідину діє деяка сила. Трубка розташована горизонтально, тому виникнення сили, що спричиняє прискорення, не може бути наслідком притягання Землі. Ця сила виникає внаслідок різниці тисків, тобто *тиск рідини в широкій частині труби (де швидкість течії менша) є більшим за тиск рідини у вузькій частині труби (де швидкість течії більша)*.

Першим цього висновку дійшов швейцарський фізик і математик *Даніель Бернуллі (1700–1782)*, який установив закон, що стосується будь-якого стаціонарного потоку рідини, — **закон Бернуллі**:

■ Під час стаціонарного руху рідини тиск рідини є меншим там, де швидкість течії більша, і навпаки, тиск рідини є більшим там, де швидкість течії менша.



Спираючись на закон Бернуллі, поясніть, чому важко перепливати річку, яка містить ділянки з великою швидкістю течії.

Закон Бернуллі є наслідком закону збереження механічної енергії: рідина отримує кінетичну енергію (збільшує швидкість свого руху) завдяки тому, що потенціальна енергія пружної взаємодії частинок речовини зменшується (і навпаки). Якщо потік рідини не є горизонтальним, то зміна кінетичної енергії рідини відбувається ще й за рахунок зміни її потенціальної енергії гравітаційної взаємодії із Землею.

3

Чому літають літаки

Кожен із вас, сідаючи в літак або дивлячись на його політ, імовірно, замислювався про те, чому літак піднімається і яка сила утримує його в повітрі. Дехто скаже, що це архімедова сила (але це не так, адже нерухомий літак не підніметься). Дехто припустить, що літак тримає сила реактивної тяги двигунів (і це теж неправильно, адже ця сила лише розганяє літак і підтримує швидкість його руху). Літак утримується в повітрі завдяки силі тиску, яка й створює *підймальну силу*.

Виникнення підймальної сили можна пояснити за допомогою закону Бернуллі, адже за певних умов повітряний потік можна розглядати як стаціонарний потік рідини. Під час польоту на крила літака увесь час набігає зустрічний потік повітря, і крила ніби «розрізають» його на дві частини: одна частина обтікає верхню поверхню крила, друга — нижню. Форма більшості крил така, що потік, який обтікає верхню (опуклу) частину крила, долає за той самий час більшу відстань (рухається з більшою швидкістю), ніж потік, який обтікає крило знизу (рис. 18.3). Відповідно до закону Бернуллі там, де швидкість потоку більша, тиск є меншим. Отже, *сила тиску, що діє на крило зверху, менша від сили тиску, що діє на крило знизу*.

Проте найважливіша причина утворення підймальної сили — це наявність *кута атаки* — нахилення крил літака під певним кутом α до повітряного потоку (рис. 18.4). У такому випадку підймальна сила виникає

як за рахунок зменшення тиску над крилом, так і за рахунок збільшення тиску під крилом. Завдяки наявності кута атаки в повітря піднімаються й літаки із симетричним профілем крила.

Різницю сил тисків називають *повною аеродинамічною силою* (див. [рис. 18.4](#)).

Зверніть увагу! Якщо швидкість руху повітряного потоку відносно літака наближається або перевищує швидкість поширення звуку (340 м/с), стисливістю повітря нехтувати не можна. Зрозуміло, що підймальна сила теж виникає (інакше літаки не літали б із надзвуковою швидкістю), але повітряний потік поводить дещо інакше.



Підбиваємо підсумки

- Для стаціонарного потоку рідини або газу справджується закон Бернуллі: тиск рідини (газу) є більшим там, де швидкість течії менша, і навпаки.
- На законі Бернуллі ґрунтується утворення підймальної сили крила літака, аеродинамічна форма та кут нахилу якого змушує повітря над верхньою поверхнею крила рухатися з більшою швидкістю, тому тиск над крилом є меншим, ніж тиск під крилом.



Контрольні запитання

1. Доведіть, що швидкість течії є більшою у вузькій частині труби.
2. Спираючись на другий закон Ньютона, доведіть, що тиск рухомої рідини в широкій частині труби є більшим, ніж тиск цієї рідини у вузькій частині труби.
3. Поясніть закон Бернуллі на основі закону збереження механічної енергії.
4. Завдяки чому виникає підймальна сила крила літака?



Вправа № 18

1. Чому притягуються два судна, які рухаються з великими швидкостями поряд одне з одним?
2. Чому сильний ураганний вітер інколи зриває дахи будинків?
3. Поясніть, як працює пульверизатор ([рис. 1](#)).
4. Чому м'яч, якому надано обертання, змінює траєкторію свого руху ([рис. 2](#))? До речі, це явище називають *ефектом Магнуса*.

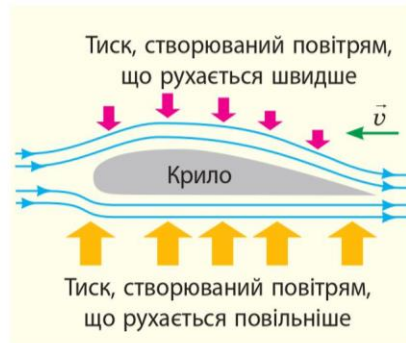


Рис. 18.3. Зазвичай крило літака має аеродинамічну форму: нижня поверхня крила майже плоска, верхня — опукла. Блакитними стрілками показано рух повітря, що набігає на крило, зеленою стрілкою — напрямом руху літака

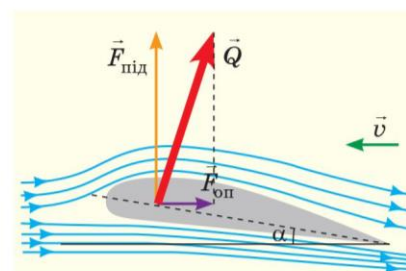


Рис. 18.4. Кут атаки α і повна аеродинамічна сила $\vec{Q}$. Вертикальна складова сили $\vec{Q}$ — підймальна сила $\vec{F}_{\text{під}}$, горизонтальна складова — сила опору $\vec{F}_{\text{оп}}$



Рис. 1

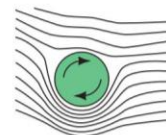


Рис. 2

5. Ви добре знаєте, що нерухома однорідна рідина в сполучених посудинах встановлюється на одній висоті. Чому, якщо рідина рухається, рівні рідини в сполучених посудинах є різними (рис. 3)?
6. Проаналізуйте інформацію в рубриці «Фізика в цифрах» наприкінці § 18 і наведіть подібні приклади, скориставшись додатковими джерелами інформації.

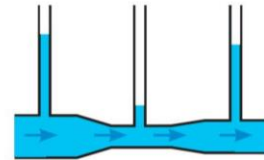


Рис. 3



Експериментальні завдання

1. Візьміть аркуш паперу і подуйте на нього так, як показано на рис. 4. Поясніть спостережуване явище.
2. Візьміть фен і м'ячик для пінг-понгу. Увімкніть фен, спрямуйте струмінь повітря вертикально вгору та покладіть на нього м'ячик. М'ячик не впаде, а буде трохи коливатися всередині струменя. Якщо нахилити фен, то м'ячик теж не падатиме, а втягуватиметься в струмінь. Поясніть спостережуване явище.



Рис. 4

Фізика в цифрах

Форма та розмір крил літаків залежать від їх призначення: чим довші крила, тим стійкіший літак, але йому важко повертати; більш маневрені літаки мають короткі крила.

■ СУ-27

Один із основних літаків Повітряних сил ЗС України. Розмах крил — 14,7 м. Максимальна швидкість — 2125 км/год.



Короткі розширені крила дозволяють літаку виконувати в повітрі різкі повороти

■ АН-225 «Мрія»

Найбільший і найпотужніший у світі транспортний літак. Розроблений Київським КБ ім. О. К. Антонова і побудований на Київському механічному заводі в 1980-х рр. Розмах крил — 88,4 м. Максимальна швидкість — 850 км/год.



Чим на більшу вантажопідйомність розрахований літак, тим довші його крила

■ Sikorsky R-4 Hoverfly

Перший серійний гелікоптер у світі (з 1943 р. випускався в США, а з 1944 р. — у Великій Британії). Спроектований під керівництвом Ігоря Івановича Сікорського (народився в 1889 р. у Києві, закінчив Київський політехнічний інститут). Діаметр несучого гвинта — 11,6 м, максимальна швидкість — 132 км/год.



«Крила» гелікоптера обертаються, тому для створення підйімальної сили йому не потрібен розбіг. Гелікоптер може зависати в повітрі, рухатися в боки та назад