

ВСТУП

Фізика — надзвичайно цікава наука. Вона посідає особливе місце серед інших наук. Математика, наприклад, вивчає властивості світу абстрактного, що існує лише завдяки людській уяві. Звісно, розроблені математикою методи з успіхом використовуються в інших науках для опису реального світу, проте сама вона такого завдання перед собою не ставить. Відмінність фізики від решти наук полягає в тому, що вона вивчає найбазовіші, фундаментальні закони нашого світу. Вивчає не лише якісно, а й кількісно, описуючи їх мовою математики.

Закони фізики універсальні. Вони з успіхом пояснюють властивості зірок і атомів, кристалів і живих клітин, політ ракет і роботу телевізора. Ці закони незмінні в просторі: на нашій Землі діють точно такі самі фізичні закони, як і на далеких зірках. Закони фізики незмінні в часі. Нашим нащадкам не доведеться відкривати їх наново — через тисячу років вони діятимуть так само, як і тисячу років тому. Нові відкриття у фізиці не скасовують старих, а тільки доповнюють, поглинюють наші уявлення про довколишній світ.

Закони фізики зумовили технічний прогрес людства. Кожне відкриття нового фундаментального закону природи обов'язково приводило до технічної революції. Закони Ньютона дали змогу створити складні механізми. Пізнання законів термодинаміки дало людині можливість оволодіти теплою енергією. Відкриття законів електромагнетизму за короткий термін буквально

перетворило наш світ. Сучасної електроніки, лазерів, атомної енергетики не можна було б навіть уявити без відкриття законів квантової механіки.

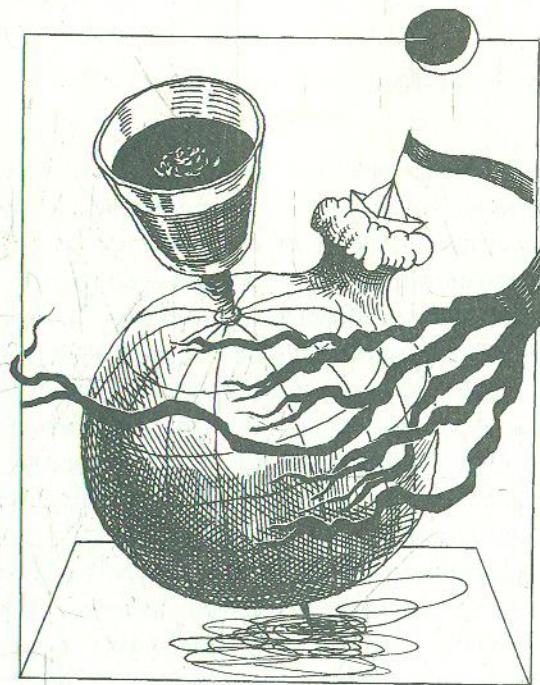
Фізика далека від завершення — вона продовжує бурхливо розвиватися. Люди хочуть знати про природу дедалі більше. Учені намагаються зрозуміти, що відбувається на дуже малих відстанях, де атомне ядро «виростає» до розмірів Сонячної системи, і на дуже великих — де Сонце всього лише «піщинка» в нашому величезному Всесвіті. Нам належить навчитися передбачати властивості нових матеріалів, пояснити будову біологічних об'єктів, об'єднати всі відомі типи взаємодій у єдину теорію. Недалеко той день, коли запрацює суперкомп'ютер, який за потужністю зрівняється з людським мозком. А для цього теж потрібна фізика.

Фізика — наука молодих. І долучатися до неї слід починати рано. При цьому важливо не просто вивчити фізичні закони, а навчитися користуватися ними, намагатися зрозуміти, як фізики думають. «Правила гри» у фізиці складні, і по-справжньому опанувати їх можна тільки в результаті тривалої і вдумливої практики. Допомогти тут може хороший учитель і... гарна книжка.

Частина перша

ФІЗИКА ПРИРОДНИХ ЯВИЩ

У цій частині читач дізнається, чому петляють річки і як вони розмивають береги, чому небо блакитне, а море — синє. Ми розповімо про властивості океану, про вітри та їхній вплив на обертання Землі. Словом, на кількох прикладах ми спробуємо пояснити, як «працює» фізика в земних масштабах.



МЕАНДРИ РІЧОК

В світі кожна річ, хоч яка б могутня
Видавалась нам, похитнувшись має:
Час іде, а з ним все стає зужите
І нетривале.

Так ріка міняє звичайне ложе,
Прокладає путь простобіжну, рівну,
І підмитий берег не зносить тиску
Дужої хвилі.

Сульпіцій Луперк. Переклад Миколи Зерова

Чи бачив хто-небудь річку, яка тече прямо, без вигинів? Якась ділянка, звісно, може бути прямою, проте річок, які протікають геть без вигинів, не існує. Навіть якщо річка тече рівниною, вона зазвичай петляє, і часто вигини повторюються з певним періодом. А на вигинах зазвичай один берег крутий, а другий — пологий. Як пояснити ці особливості річкової поведінки?

Гідродинаміка — розділ фізики, що вивчає рух рідини, — у наш час дуже розвинена послідовна наука. Але в застосуванні до таких складних природних об'єктів, як річки, навіть вона не здатна пояснити всі особливості їхнього протікання. І все одно на багато запитань дати відповіді можливо. Над питанням про причини утворення звивин у руслах річок замислювався вже Альберт Ейнштейн. У своїй доповіді «Причина утворення звивин у руслах річок і так званий закон Бера», зробленій 1926 року на засіданні Прусської академії наук, учений порівняв рух води, яка обертається

ся у склянці, і тієї, що тече в річковому руслі. Ця аналогія дала змогу пояснити тенденцію русел річок до набування звивистої форми.

Спробуймо розібратися в цьому явищі хоча б якісно. І почнемо зі склянки чаю.

Як рухаються чаїнки у склянці

Візьміть склянку з чаєм, добряче розмішайте чай ложкою, а потім витягніть її. Вода поступово зупиниться, а чаїнки зберуться в центрі на дні склянки. Що змушує їх «збігатися» до центру? Аби відповісти на це запитання, з'ясуймо для початку, якої форми набуває поверхня води, що обертається в склянці.

З досліду видно, що поверхня рідини викривлюється. Легко зрозуміти, чому це відбувається. Аби частинки води створювали обертальний рух, рівнодійна всіх сил, що діють на кожну з них, мусить утворювати доцентрое прискорення. Виділимо уявно всередині рідини на відстані r від осі обертання кубик маси Δm (див. рис. 1.1, а).

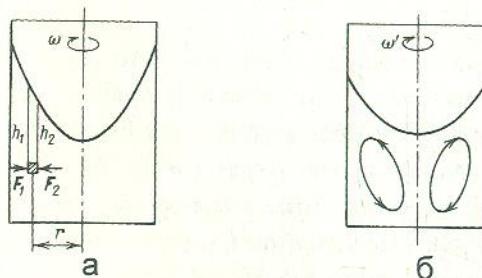


Рис. 1.1. а — Гідростатичні сили, що діють на елемент об'єму рідини, яка обертається. б — Вихрові струми, що виникають під час уповільнення обертання.

За кутової швидкості обертання ω доцентрое прискорення кубика дорівнює $\omega^2 r$. Це прискорення утворюється різними силами тиску, що діють на бокові грані (ліву й праву) кубика. Відповідно

$$\Delta m \omega^2 r = F_1 - F_2 = (P_1 - P_2) \Delta S,$$

де ΔS — площа бокової грані кубика. Величини тиску P_1 і P_2 визначаються відстанями h_1 і h_2 до вільної поверхні рідини:

$$P_1 = \rho g h_1, \quad P_2 = \rho g h_2,$$

де ρ — густина рідини, g — прискорення вільного падіння. Оскільки сила F_1 має бути більшою за силу F_2 , то, відповідно, і h_1 мусить бути більше за h_2 , тобто вільна поверхня рідини при обертанні має викривитися так, як показано на рис. 1.1. Що більша швидкість обертання, то сильніше викривлюється поверхня.

Можна знайти формулу викривленої поверхні рідини. Вона виявляється параболоїдом, тобто поверхнею, розріз якої — парабола. (Покажіть це самостійно*).

Поки розмішуємо чай ложкою, ми підтримуємо обертання рідини. Проте якщо витягнути ложку зі склянки, то внаслідок тертя між окремими шарами рідини (в'язкості) і тертя об стінки й дно склянки кінетична енергія переходитиме в тепло, і рідина поступово зупиниться.

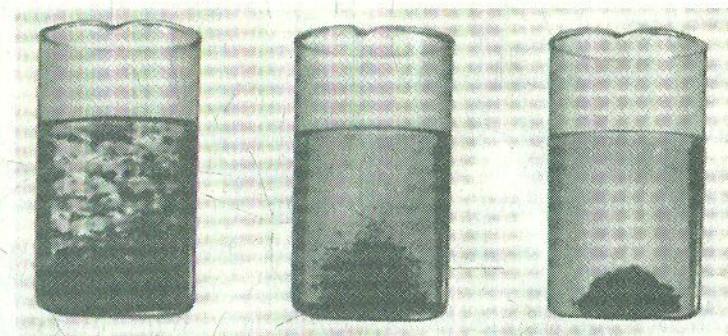


Рис. 1.2. Експеримент у склянці чаю. Вихрові струми збирають чаїнки в середині дна.

* Поверхня рідини має форму правильного параболоїда, тільки якщо рідина рівномірно обертається як єдине ціле.

У міру зменшення частоти обертання поверхня рідини вирівнюється. При цьому всередині рідини виникають вихрові струми, напрямок яких показано на рис. 1.1, б. Походження вихрових струмів пов'язане з неоднаковим гальмуванням рідини біля дна склянки й біля вільної поверхні. На глибині, унаслідок великого тертя об дно склянки, рідина гальмується сильніше, ніж на поверхні. Тому в часточку рідини, що перебувають на однакових відстанях від осі обертання, виявляються різні швидкості — що близче до дна склянки, то менша швидкість. А рівнодійна сил «бокового» тиску, що дієтъ на такі часточки, одна й та сама. Ця сила вже не може по всій глибині спричинити потрібне доцентрове прискорення (як у випадку обертання всієї маси рідини з однією і тією самою кутовою швидкістю). Біля поверхні кутова швидкість надто велика, і частинки води відкидаються до стінок склянки; біля дна кутова швидкість мала, і результатуюча сила тиску змушує воду рухатися до центру.

Тепер зрозуміло, чому чаїнки збираються в центрі на дні склянки (рис. 1.2) — вони захоплюються вихровими потоками, які виникають під час гальмування. Ці потоки досить слабкі, тому можуть пересунути чаїнки вздовж дна, але не підняти їх угору. Звісно, такий розгляд — доволі спрощений, але він правильно відображає суть явища.

Як змінюються русла річок

Розберімо характер руху води в річці при повороті русла. Тут постає картина, схожа на рух води в склянці. Поверхня води нахиляється в бік повороту так, щоб різниця сил тиску надавала по-

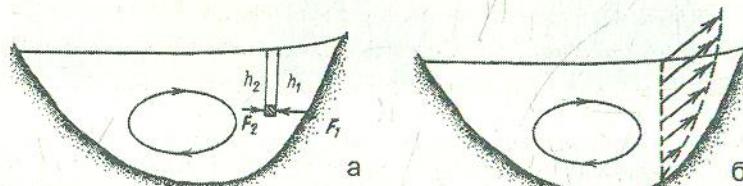


Рис. 1.3. Розріз русла річки на повороті. Показано гідростатичні сили, вихрові струми й розподіл швидкостей.

току необхідне доцентрове прискорення (на рис. 1.3 показаний вертикальний розріз річки на повороті).

Так само, як і в склянці з чаєм, швидкість води біля дна внаслідок тертя менша, ніж біля поверхні річки (розподіл швидкостей за глибиною показано на рис. 1.3, б). Тому біля поверхні результуюча сила тиску не в змозі забезпечити рух частинок води по колу з великою швидкістю, і вода «відкидається» до дальнього (від центра повороту) берега. Біля дна, навпаки, швидкість руху мала, і вода спрямовується до біжчого берега (до центра повороту). Таким чином, додатково до основної течії виникає циркуляція води; на рис. 1.3, а показаний напрямок циркуляції у площині розрізу річки.

Така циркуляція води призводить до ерозії (руйнування) ґрунту. У результаті далекий від центра повороту берег руйнується (підмивається), а біля біжчого берега поступово осаджується більший шар ґрунту (згадайте чаїнки в склянці!). Форма русла змінюється й набуває такого вигляду, як на рис. 1.4.

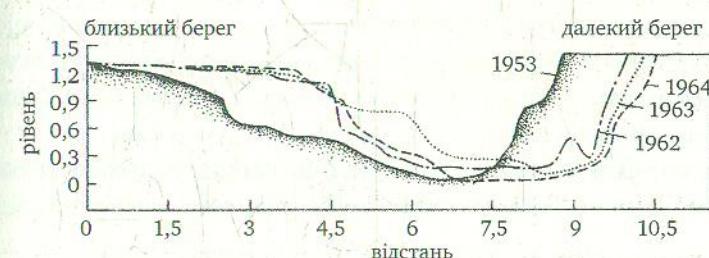


Рис. 1.4. Еволюція русла реальної річки.

Цікаво відстежити, як змінюється швидкість води за ширину річки (від берега до берега). На прямолінійних ділянках русла максимальна швидкість течії — посередині річки. При вигині

* Унаслідок обертання Землі така сама циркуляція води може виникнути й за прямолінійного протікання річки. У результаті річки в Північній півкулі розмивають переважно правий берег, а в Південній — лівий (це є закон Бера, який ми обговоримо пізніше).