

Олег Орлянський



АБСТРАКЦІЇ В НАУЦІ

# ТЕПЛОТА І ТЕМПЕРАТУРА

Що таке 36,6?

Відомо, що нормальна температура тіла людини 36,6 °C. Це значення ми отримуємо, коли затискаємо термометр під пахвою. Якщо вимірювати температуру так, як у США, взявши спеціальний термометр у рот, то нормою буде 37 °C. Температура органів людського тіла різна і незначною мірою залежить від часу доби та нашого стану. У деяких людей нормальна температура дещо вища або нижча, ніж 36,6 °C. Однак відхилення температури від норми вже на 1–2 °C вважається великим і свідчить про хворобливий стан.

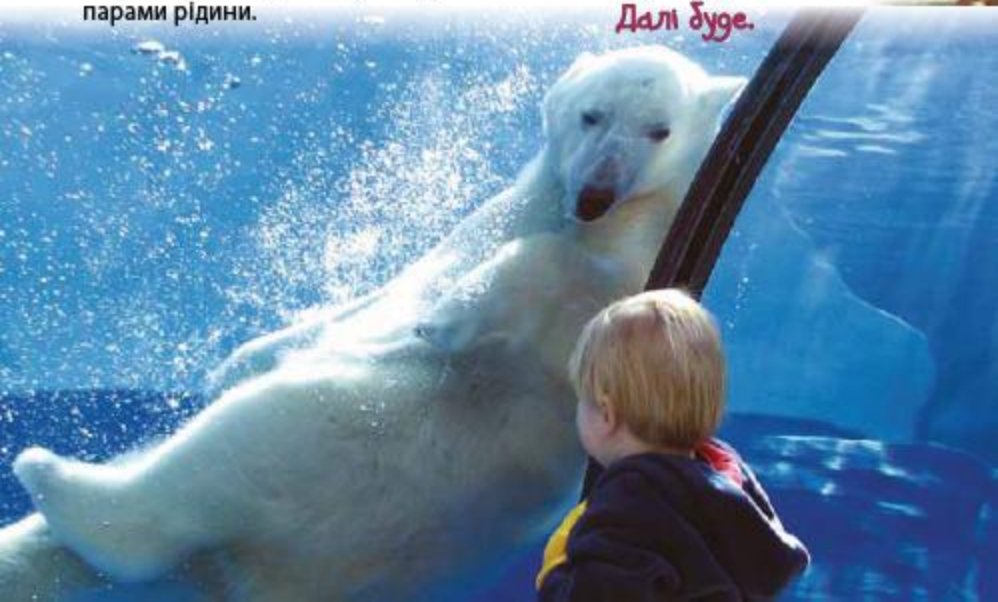


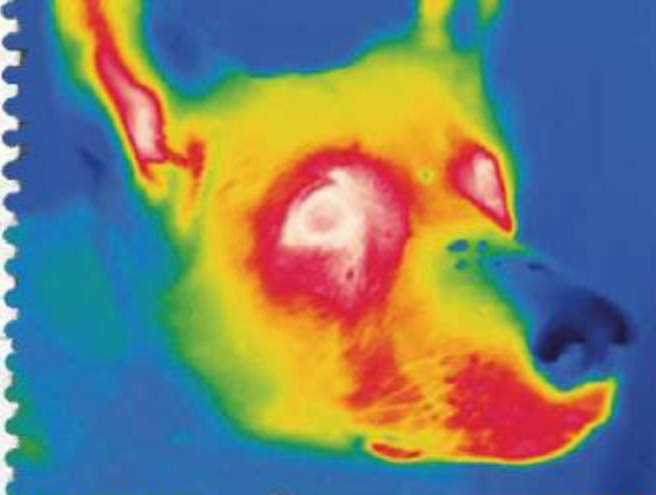
*Термометр Галілея*



Наприклад, рідина всередині термометра не повинна змочувати скло. Вона має стікати з нього, наче з гуся вода, а не розтікатися або залишати сліди „дощових крапель”. Або, наприклад, медичний термометр. Всі знають, що після вимірювання температури тіла його покази не змінюються. І це дуже зручно. Офіційна назва цього термометра – „термометр максимальний”. Він показує максимальну температуру, яку має тіло під час вимірювання, і його покази вже не повертаються назад за охолодження. Невже охолоджуючись рідина всередині нього не стискається? Звичайно, стискається. Але як він влаштований? Придивіться уважно. Не доходячи до ємності внизу, трубочка термометра викривлюється і звужується, утруднюючи рух рідини. Охолоджуючись, рідина в ємності стискається, а стовпчик в трубці залишається на місці. Якби над ним в трубці було повітря, то його тиск заштовхнув би стовпчик на місце, яке звільнилося. У такому випадку нам не довелося б струшувати термометр, але дивитися на покази треба було б, не виймаючи термометр з-під пахви. Ми цього не робимо, отже, у вільній від рідини частині трубки максимального термометра є безповітряний простір, заповнений лише розрідженими парами рідини.

*Далі буде.*





У собак температура тіла більша, ніж у людей: від  $37,5^{\circ}\text{C}$  у крупних тварин до  $39^{\circ}\text{C}$  у дрібних. Температури кішок змінюються від  $38$  до  $39,5^{\circ}\text{C}$ . Температури тіла птахів ще вищі. Так, у голубів у залежності від породи нормальна температура може бути від  $41$  до  $44^{\circ}\text{C}$ . За таких температур організми тварин працюють якнайкраще. Але чому все влаштовано саме так? Навіщо теплокровним тваринам власна температура, адже її підтримування потребує додаткової енергії, а отже, і їжі? Чому нормальна температура майже всіх теплокровних знаходиться в інтервалі від  $36$  до  $44^{\circ}\text{C}$ ? І взагалі, що таке температура? Ми звикли вимірювати її в градусах Цельсія, але що таке градус Цельсія? Невже, використовуючи звичні слова, ми не розуміємо, про що говоримо?





Андерс Цельсій



Карл Лінней

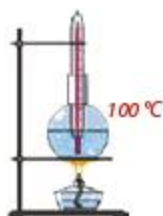
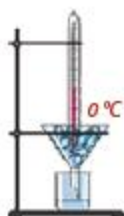
## Про воду і термометри

Виявляється, відповідь на більшість поставлених запитань пов'язана з водою. Тіло старшокласника на три чверті складається з води. З віком вміст води в тілі зменшується. У звичайних умовах без їжі людина може прожити один-два місяці, а без води – лише декілька днів. Ми маємо справу з водою не лише у рідкому стані, але й у вигляді льоду і пари. Природно, що Андерс Цельсій, видатний шведський вчений, для своєї температурної шкали вибрав дві опори: випаровування води і плавлення льоду. Він запропонував вважати, що вода кипить при нулі, а замерзає при ста градусах. Таким чином, згідно з початковим задумом Цельсія, все мало бути навпаки: що холодніше, то більша температура. Вода в чайнику закипала би при  $0^{\circ}\text{C}$ , нормальна температура тіла людини становила би  $63^{\circ}\text{C}$ , а температура сніговика була б понад  $100^{\circ}\text{C}$ .

Користуючись такою шкалою, люди у повсякденному житті не користувалися б від'ємними температурами. Однак через рік, у 1743 році, французький вчений Жан П'єр Крестин запропонував звичну для нас сьогодні перевернену шкалу, відповідно до якої лід тоне при нулі, а вода кипить при ста градусах<sup>1</sup>. Ще один видатний швед, Карл Лінней, який добре знав Цельсія, теж вирішив, що зручніше користуватися переверненою шкалою і в 1745 році, вже після смерті свого колеги, замовив для себе термометр Цельсія. Зауважимо, що за 12 років до Цельсія ідея викорис-

<sup>1</sup>Йдеться про хімічно чисту воду за тиску 760 мм рт. ст.





Реперні точки „переверненої” шкали Цельсія

тати танення льоду і кипіння води як реперні точки (точки відліку) виникла у французького вченого Рене Антуана Реомюра. Але запропонована ним величина одного градуса, пов'язана з розчином спирту, виявилася незручною. У ті часи вчені неодноразово намагалися ввести зручний спосіб вимірювання температури, але часто не знали, що пропонують їхні колеги в іншій країні. Не забуваймо, що все відбувалося за сто п'ятдесят років до винайдення радіо.

## Погіл температури

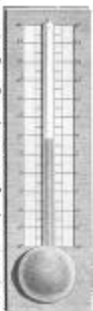
Термоскоп  
Галілея



Врешті перемогла найпростіша і природна шкала. Так майже завжди відбувається в науці: залишається те, що найпростіше і зручне в користуванні. У шкалі Цельсія температурний інтервал між двома перетвореннями води ділиться на сто рівних частин. Що може бути простіше й зручніше! Щоправда, є одна проблема: як поділити на сто рівних частин температуру? Навіть на дві частини. З довжиною все зрозуміло. Листок паперу можна

зігнути навпіл і знайти його середину. Але температуру не зігнеш, ми сприймаємо її за допомогою теплових відчуттів, які, до того ж, не завжди об'єктивні. Так, після морозу навіть холодна вода з-під крану здається теплою. Якщо деякий час потримати одну руку в холодній воді, а другу – у гарячій, а потім, заплющивши очі, занурити

Рене Антуан Реомюр





обидві руки в посудину з теплою водою, то можна zaznати легкого шоку. Спробуйте, не проводячи дослід, здогадатися, що ви відчуєте. Такі міркування і уявний дослід в науці називають мисленним експериментом. Якщо очікуваний результат співпадає з результатами справжнього експерименту, ми відчуваємо впевненість у власному розумінні природи речей, якщо ні – отримуємо добрий урок і пізнаємо навколишній світ. Отже, покладатися на власні відчуття під час вимірювань не варто.

### Конструюємо термометр

Для вимірювання температури треба скористатися тим, що ми вміємо робити, а саме – вимірювати довжину. Треба сконструювати прилад зі шкалою, яку легко розмітити за допомогою лінійки. Але серце приладу – це не шкала, а фізичне явище. Скористаємося двома фактами. Перший полягає в тому, що температури тіл у місці їхнього дотику вирівнюються, а другий стверджує, що об'єм тіл змінюється за нагрівання. Отже, треба знайти тіло, яке помітно розширюється за нагрівання, занурити його спочатку в лід, який тоне, а потім – у киплячу воду, і поставити на шкалі відмітки „нуль” і „сто градусів”. Далі треба поділити шкалу між ними на сто рівних частин. Робочим тілом термометра може бути рідина, яка частково заповнює скляну трубку. За зміщенням краю рідини під час нагрівання зручно спостерігати, але ми все-таки матимемо не дуже зручний інструмент. Це стосується і стрижня з твердого матеріалу. Справа в тому, що об'єм рідин під час нагрівання не дуже змінюється, а твердих тіл – ще менше. Щоби при збільшенні температури на 100 градусів стальна рейка видовжилася всього лише на 10 см (по 1 мм на градус), її довжина повинна бути 90 м. Такий термометр не візьмеш з собою у похід, а для його збереження треба спорудити спеціальний довгий ангар або приставити його до сусіднього 30-типоверхового будинку, а це, погодьтеся, може не сподобатися його мешканцям.

Набагато зручніше використовувати рідину. Так само, як сталь, вона розширюється в усі боки, але за рахунок обмежуючих бічних стінок трубки весь додатковий об'єм витісняється в одному напрямку. Вже з цієї причини видовження стовпчика ртуті має бути втричі більше, ніж твердого стрижня. Трубку з рідиною не обов'язково робити прямою. Щоб зекономити місце, її можна вигнути у вигляді спіралі, залишивши для зручності пряму ділянку лише у місці розташування шкали. Але навіть у такому випадку зігнута трубка? Може, краще замінити її ємністю з рідиною? Так або приблизно





Домашній термометр

так міркували люди, виготовляючи перші прилади для вимірювання температури. Розгляньте будову домашнього термометра. Тоненька трубка закінчується ємністю, яка заповнена рідиною. Об'єм резервуару набагато більший, ніж об'єм трубки. Нагріваючись, рідина розширюється, і весь додатковий об'єм заповнює тоненьку трубку. Завдяки цьому ми помічаємо навіть незначні зміни температури.

## Вода чи ртуть



Як ви гадаєте, якою саме рідиною варто було заповнити перший термометр Цельсія, щоб на ньому можна було поставити мітки  $0^{\circ}\text{C}$  і  $100^{\circ}\text{C}$ , а потім поділити шкалу між ними на сто рівних частин? Воду? В жодному разі! Вода могла би замерзнути при  $0^{\circ}\text{C}$  або закипіти при  $100^{\circ}\text{C}$  і в обох випадках розірвати скляну трубку. А ще вода за нагрівання від  $0$  до  $4^{\circ}\text{C}$  зменшується в об'ємі і лише після цього починає розширюватися. Коефіцієнт об'ємного розширення води змінюється з ростом температури, і тому використовувати воду для встановлення рівномірної шкали температур не можна. Для таких цілей краще підходить ртуть.

Перший ртутний термометр винайшов у 1714 році німецький фізик Даніель Габріель Фаренгейт, який через десять років запропонував свою температурну шкалу. Згідно з її удосконаленим варіантом, лід тоне за температури  $32^{\circ}\text{F}$ , а вода кипить за  $212^{\circ}\text{F}$ . До кінця 60-х років XX століття шкалою Фаренгейта користувалися майже в усіх англomовних країнах. Тепер практично в усьому світі користуються шкалою Цельсія. Токсичну ртуть також дедалі менше застосовують у побутових приладах. Декілька років тому в Євросоюзі прийнято рішення заборонити продаж, експорт та імпорт побутових приладів, що містять ртуть. В Україні та Росії ртутний термометр можна купити в будь-якій аптеці.



## Язик і теплопровідність

Ртуть зручно використовувати в термометрах не лише тому, що вона рівномірно розширюється в процесі нагрівання, але й тому, що вона, як і будь-який інший метал, швидко проводить тепло і нагрівається по всьому об'єму. Здатність проводити тепло називається теплопровідністю. Саме теплопровідність є винуватицею того, що ми помиляємося, оцінюючи температуру. Теплопровідність заліза у 300 разів більша, ніж теплопровідність дерева. Якщо в холодний зимовий день взяти голими руками шматок заліза і шматок дерева, залізо здаватиметься холодним, а дерево – ні, хоча їхні температури однакові. Наші пальці віддають залізу тепло швидше, ніж дереву, і саме тому нам здається, що залізо холодніше. Не намагайтеся в морозний день торкнутися до металу язиком або губами! Слина, віддаючи тепло, перетвориться на лід і схопить язик і губи! Якщо кусок заліза масивний, мороз сильний, а у вас немає теплої води, щоб відразу ж полити і розплавити шар льоду, краще відразу відірватися, допоки язик не промерзнув вглиб. Буде боляче, ви, напевне, пошкодите язик і губи, але тільки поверхневій тканини. Згодом все заживе. Коли автор статті був маленьким, з ним сталася така пригода. Старші хлопці стверджували, що він не зможе торкнутися язиком до залізного щитка на освітлювальному ліхтарі. Чотирирічний хлопчик вирішив довести протилежне. В результаті він обдер язик, але невдовзі рани загоїлися. Якщо мороз слабкий, а кусок заліза під язиком маленький, можна спробувати звільнити язик, інтенсивно дихаючи через рот. Важливо зігріти метал. Розуміючи це, ви зможете допомогти не лише собі, але й маленькій дитині, яка потрапила в таку халепу. Коли температура металу зростає до  $0^{\circ}\text{C}$ , лід розтане, і якщо не панікувати, можна звільнити язик без пошкоджень. Врешті, якщо кусок металу маленький, його можна зігріти руками або забрати з собою в тепле приміщення. Але не варто експериментувати! Це боляче і небезпечно.

Теплопровідність впливає на наше сприйняття температури не лише тоді, коли холодно, але й тоді, коли гаряче. Спробуйте самостійно пояснити, чому ми спокійно можемо тримати палаючий сірник, доки полум'я не торкнеться кінчиків пальців, але не можемо довго втримувати гарячу металеву посудину.







Повітряні термометри  
Флудда



Клод Бернар



## Секрети теплоємності



Окрім теплопровідності, яка характеризує швидкість передачі теплоти, важливою характеристикою теплових процесів є теплоємність. Що більша теплоємність, то більше теплоти необхідно надати тілу, щоб нагріти його на один градус. Нагріваючи кусочки різних металів однакової маси, ми з'ясуємо, що свинець нагрівається втричі швидше, ніж алюміній. Але навіть алюміній поступається теплоємністю воді. Вона справжній рекордсмен. Її теплоємність майже у 5 разів більша, ніж теплоємність алюмінію, і в 30 разів більша, ніж теплоємність ртуті. Згадайте, яким гарячим буває влітку пісок на пляжі! Це тому, що він має низьку теплоємність і теплопровідність. Він швидко нагрівається, але завдяки повітряним проміжкам між піщинками тепло не встигає передаватися вглиб. А тепер згадайте рятівну прохолоду води! Теплоємність води у 5 разів більша, ніж теплоємність сухого піску і землі. Тому після спекотного літнього дня вода в озері нагрівається менше, ніж берег. Але зате й охолоджується вночі менше. Вода – чудовий теплоносій, і нею заповнюють труби і батареї в системі опалювання. Але якщо взимку опалення раптом виключать або ви опинитеся в палатці далеко від цивілізації, зігрійте на вогні воду і перед сном покладіть навколо себе заповнені гарячою водою пластикові пляшки. Вода довго зберігатиме тепло. А ось гарячий чай з такої пляшки краще не пити – нагрітий пластик виділяє токсичні речовини.

Живим істотам, таким як ми з вами, які здебільшого складаються з води, велика теплоємність допомагає пристосуватися до зміни температури навколишнього повітря. Особливо незалежні у цьому відношенні теплокровні тварини. Видатний французький медик Клод Бернар сказав: „Стабільність внутрішнього середовища є умовою вільного життя“. Теплокровне життя не завмирає навіть взимку серед снігів і льоду. Виявляється, що теплоємність води незвичним чином змінюється з ростом температури: спочатку зменшується, а потім збільшується. Як ви гадаєте, за якої температури вона мінімальна? 37°C! Саме всередині температурного





*Незвичайна форма і дизайн сучасного термометра*

інтервалу значень температури тіла більшості теплокровних тварин. Втім, уточнимо: це теплокровні тварини мають температуру поблизу мінімуму теплоємності води. Звичайно, це не випадковий збіг. Є різні пояснення цього феномену, однак, скоріш за все, повне розуміння існуючих взаємозв'язків ще не досягнуто.

## Хитрощі термометра

Теплоємність та теплопровідність визначають багато особливостей будови термометра. Рідина всередині термометра повинна мати високу теплопровідність, щоб він швидко вимірював температуру, і низьку теплоємність, щоб він не обмінювався з вимірюваним тілом великою кількістю теплоти. Якщо вимірюване тіло має маленьку масу, такий теплообмін може відчутно знизити його температуру. І тоді термометр покаже зовсім не ту температуру, яку ми хотіли виміряти. Можна вийти з положення, зробивши термометр маленьким. Але при цьому він має бути зручним у користуванні, а коефіцієнт розширення рідини всередині його скляної колби має бути більший, ніж коефіцієнт розширення скла. Скло теж розширюється за нагрівання, створюючи всередині додатковий об'єм, тому треба, щоб додатковий об'єм рідини був більший. Отож, термометр не такий простий прилад, як здається на перший погляд.

