

JULIAN BARBOUR

**NOWA
TEORIA
CZASU**

PUNKT JANUSA

Tłumaczenie: Tomasz Lanczewski



**Copernicus
Center
PRESS**

ROZDZIAŁ 2

PODSTAWY TERMODYNAMIKI

Ciepło i pierwsza zasada termodynamiki

Na zaledwie sześciu stronach, na których zaproponował mocno wyidealizowaną metodę, dzięki której silnik parowy mógł pracować z maksymalną wydajnością, Carnot przedstawił wszystkie podstawowe zasady termodynamiki oprócz jednej. Jedynym błędem, który jednak nie unieważnił jego propozycji (znanej później jako cykl Carnota), było utrzymanie ówczesnej teorii ciepła, traktowanego jako *cieplik*, nieważki, nieściśliwy, niewidzialny płyn, który może „wślizgiwać się” – jak określił to Maxwell – w ciała i powodować ich rozszerzanie. Ta tajemnicza substancja weszła do fizyki pod koniec XVIII wieku dzięki przypadkowej obserwacji Josepha Blacka, profesora w Edynburgu i doradcy gorzelników whisky. W pokoju zostawił kiedyś dwa wiadra; w jednym znajdował się lód i woda, a w drugim tylko woda w temperaturze zamarzania. Kilka godzin później stwierdził, że woda w drugim wiadrze jest zauważalnie cieplejsza, a w pierwszym jest mniej lodu i odpowiednio więcej wody, ale, ku jego zaskoczeniu, nadal ma ona temperaturę zamarzania. Dopiero gdy cały lód się stopił, woda zaczęła się nagrzewać.

W sposób oczywisty to ciepło otoczenia wywołało te zmiany. Ale dlaczego doprowadziło ono do stopienia się tylko części lodu w pierwszym wiadrze bez jednoczesnego podgrzania wody? Wyglądało na to, że ciepło może zniknąć. Uważając, że jego ilość powinna pozostać stała, Black zasurował, że stało się utajone (z łaciny „latentne”). Odkrył

również, że podgrzewanie wrzącej wody, przyspieszając parowanie, nie podnosiło jej temperatury, co również sugerowało, że ciepło stało się ukryte. Do dziś studenci uczą się o ciepłe utajonym, ale teraz tylko poznają je jako ciepło potrzebne do wywołania przemian fazowych, takich jak topnienie lodu lub wrzenie wody.

Sam Carnot porównał siłę napędową ciepła, traktowanego jako ciepłik, do siły napędowej wody przepływającej z wyższego poziomu na niższy, napędzając przy okazji młyn wodny. W silniku parowym ciepłik przepływałby z kotła o wysokiej temperaturze do cylindra, powodując rozprężanie się w nim pary i poruszanie tłoka. Następnie cylinder był oblewany zimną wodą, która pochłaniała ciepłik; przy braku ciepłika w parze tłok powracał do pierwotnego położenia, aby rozpocząć następny cykl. Tak więc, zdaniem Carnota, siła napędowa silników parowych wynika „nie z faktycznego zużycia ciepłika, lecz z jego przenoszenia z ciała ciepłego do zimnego”. Tak jak wodospad przenosi wodę z wysokiego poziomu na niski, tak samo silnik parowy przenosi ciepło w postaci ciepłika z wysokiej temperatury do niskiej.

Ten pozornie słuszny obraz został jednak skutecznie zniszczony ćwierć wieku wcześniej przez urodzonego w Ameryce barwnego i przedsiębiorczego brytyjskiego fizyka i wynalazcę, Sir Benjamina Thompsona, hrabiego Rumford, kiedy nadzorował wiercenie luf armatnich w Monachium dla władcy Bawarii. Wykazał, że można wytworzyć praktycznie niewyczerpaną ilość ciepła za pomocą tarcia towarzyszącego wierceniu. Świadczkowie zdumiewali się, „widząc, jak bez ognia tak ogromną ilość zimnej wody można było ogrzać, a nawet doprowadzić do wrzenia”.

Dlatego bardzo ważnym pytaniem było to, które „tak często zajmowało filozofów przyrody: czym jest ciepło?”. Po wykazaniu, że ciepło wywoływane przez tarcie pochodzi z niewyczerpalnego źródła, a zatem nie może być ustaloną ilością substancji materialnej, Rumford stwierdził: „Musi więc być

rumchem”. Opublikował swoje odkrycia w dostojnym czasopiśmie „Philosophical Transactions of the Royal Society” z Londynu i periodyku chemicznym w Niemczech. Pomimo ogłoszenia drukiem tego doniesienia przez dziesięciolecia niewielu naukowców zwróciło na nie uwagę. Prawdopodobną przyczyną była mnogość ekscytujących odkryć eksperymentalnych, dokonywanych z rosnącą częstotliwością we wczesnych dekadach XIX wieku.

Dopiero James Joule okazał się tym, kto przede wszystkim zadał cieplikowi śmiertelny cios. Był piwowarem z Manchesteru i zapalonym naukowcem-amatorem, poświęcającym swej pasji każdą wolną chwilę. Zasłynął z najprostszych eksperymentów. Wymyślił doświadczenie, w którym opadające ciężarki obracały łopatkami w zamkniętych zbiornikach wypełnionych wodą. Mieszanie wody podgrzewało ją w wyniku tarcia. Błyskotliwość Joule’a polegała na pomiarze niewielkiego wzrostu temperatury wody – być może wymogi warzenia piwa miały z tym coś wspólnego. Natomiast określenie ilości pracy wykonanej przez obracające się łopatki, mierzonej całkowitą różnicą wysokości ciężarków, samo w sobie było proste. Doprowadziło to Joule’a do koncepcji mechanicznego równoważnika ciepła, czyli pracy, jaką trzeba wykonać, aby wytworzyć określoną ilość ciepła. To jedna z najważniejszych liczb w nauce. W rzeczywistości wielkość, którą Rumford zmierzył w koniach mechanicznych, była, po odpowiednim przeliczeniu, dość bliska funtom Joule’a na stopę różnicy wysokości.

Artykuł Joule’a, opublikowany w 1843 roku, budził niewielkie zainteresowanie, dopóki autor nie zreferował go w siedzibie British Association w Oksfordzie w 1848 roku. Z tyłu sali stał dwudziestoczteroletni William Thomson, który był już wówczas ekspertem w mierzeniu bardzo małych różnic temperatur. Nie ufał twierdzeniom Joule’a, ale temat ten na tyle go zaintrygował, że wdał się z Joule’em w dyskusję i zaczął z nim korespondować. Wynikiem tego była istotna wzmianka

o eksperymencie z łopatkami w artykule Thomsona z 1849 roku, który umieścił pracę Carnota w centrum zainteresowania. Na nieszczęście dla Thomsona nie udało mu się dostrzec przełomowego znaczenia wcześniejszego eksperymentu elektrycznego, w którym Joule wykazał, że ciepło da się zamienić w pracę mechaniczną. Ciepło i pracę można więc było dowolnie przekształcać w siebie nawzajem. Thomson przyznał później ze skruchą w liście do Joule'a, że nie docenił wagi wniosku, iż ciepło może nie tylko powstać, ale także „zniknąć” (poprzez wykonanie pracy). Będąc pod głębokim wpływem analogii z wodospadem Carnota, w swoim ważnym artykule z 1849 roku Thomson wyraził opinię, że pojęcia ciepłika nie należy porzucać, zanim nie przeprowadzi się przez następne kilka lat dokładnych pomiarów.

Clausius nie miał takich zahamowań. W swej publikacji z 1850 roku przekonywająco argumentował, że maszyna parowa nie jest młynem wodnym. Ciepło pochodzące z kotła nie jest zachowywane; część zamienia się w pracę. Nie zostaje ukryte – utajone – ale przestaje istnieć; podobnie jak w eksperymencie elektrycznym Joule'a, natura równoważy te zjawiska wykonaną pracą. Ciepło resztkowe, które znajduje się w czynniku roboczym, przenika do wody rozpylonej na cylinder silnika parowego. Modyfikacja Clausiusa, a wraz z nią dopełnienie teorii Carnota, była pierwszym wyraźnym przykładem, w którym przejawia się prawdopodobnie najbardziej podstawowe prawo fizyczne – zasada zachowania energii. Thomson stracił tę okazję, ale mimo to wkrótce wniósł istotny wkład w ostateczne sformułowanie pierwszej zasady termodynamiki, uwzględniając w niej zmianę energii wewnętrznej ciał. Tak naprawdę był pierwszą osobą, która wprowadziła do powszechnego użycia słowo „energia” i jej dwie odmiany: potencjalną, którą posiada podnoszony ciężarek lub jabłko na drzewie, i kinetyczną, gdy jabłko spada. Ta ostatnia zastąpiła wcześniejszą nazwę *vis viva* (siła żywa). Różnica między energią kinetyczną a potencjalną

w teorii grawitacji okaże się bardzo ważna w dalszej części książki; dobrze będzie zilustrować ją na przykładzie wahadła. Kiedy ciężarek znajduje się w najniższym punkcie, jego prędkość jest największa, a energia kinetyczna, która jest zawsze dodatnia i równa $mv^2/2$, gdzie m to masa wahadła, a v to jej prędkość, przyjmuje maksymalną wartość. W najwyższym punkcie swojego ruchu ciężarek znajduje się w spoczynku i nie ma energii kinetycznej. Z kolei energia potencjalna wahadła jest zawsze ujemna i staje się coraz mniejsza wraz ze wzrostem wysokości w taki sposób, że w trakcie ruchu suma energii kinetycznej i potencjalnej pozostaje dokładnie stała. Gdy wahadło porusza się w górę i w dół, te dwie formy energii płynnie przechodzą w siebie w taki sposób, aby wartość energii całkowitej była ściśle zachowana.

Odkrycie i sformułowanie pierwszej zasady termodynamiki wywarło ogromne wrażenie w czasach, w których religia odgrywała bardzo istotną rolę. Idea, że Bóg stworzył wszechświat, w którym pomimo kaprysów istnienia pewna wielkość pozostaje wiecznie niezmienna, była bardzo krzepiąca. Joule, równie religijny człowiek jak Thomson, wyraził to uczucie już w 1847 roku. Jak donosił „Manchester Courier”, podczas wykładu, który wygłosił w owym roku, biła od niego pewność siebie człowieka, który wie, że dokonał wielkiego odkrycia. Joule odniósł się do jednej z najważniejszych cech, którymi Bóg obdarzył materię, i uznał, że byłoby absurdem przypuszczać, iż może ona zostać zniszczona lub stworzona przez działalność człowieka.

Zachęcając słuchaczy, by dostrzegli „cudowne dzieła stworzenia” i ogromną różnorodność zjawisk obejmujących przemianę siły żywej i ciepła w siebie nawzajem, stwierdził, że „przemawiają one językiem, którego nie da się opacznie zrozumieć, o mądrości i dobrodziejstwie Wielkiego Architekta przyrody”. Jest to coś, co zauważamy „w naszych własnych zwierzęcych postaciach «stworzonych tak cudownie»”. W rzeczy samej,

zjawiska natury, czy to pochodzenia mechanicznego, czy chemicznego, czy też naturalnego, polegają prawie całkowicie na ciągłej przemianie przyciągania poprzez przestrzeń, siły żywej i ciepła w siebie nawzajem. W ten sposób we wszechświecie utrzymywany jest porządek – nie znać w nim nieładu, nic nigdy nie ulega utracie, lecz cała maszyneria, mimo swego skomplikowania, działa płynnie i harmonijnie... a całym istnieniem rządzi niczym nieograniczona wola Boża.

Wracając na ziemię, to całkiem ciekawe spostrzeżenie, że ciepłik pojawił się w nauce dzięki doradcy gorzelników whisky, a został z niej wyrugowany dzięki wysiłkom piwowara.