

Funkcją stanu nazywa się w termodynamice wielkość zależną wyłącznie od stanu układu, czyli od aktualnych wartości opisujących go parametrów, takich jak masa, liczność materii, temperatura, ciśnienie, objętość itp. Wartość funkcji stanu nie może natomiast zależeć od jego historii, tzn. tego, co działo się z nim wcześniej. Jest to równoważne temu, że zmiana wartości funkcji stanu zależy tylko od stanu początkowego i końcowego układu, a nie od sposobu, w jaki ta zmiana została zrealizowana. Funkcjami stanu nie są np. ciepło ani praca, ponieważ wykonując zamknięty cykl termodynamiczny, układ wraca do pierwotnego stanu, ale całkowity przekaz ciepła w takim cyklu może być niezerowy, podobnie jak praca wykonana przez układ. Natomiast energia całkowita układu jest funkcją stanu.

Co natomiast w sytuacji, gdy zarzucimy założenie odwracalności? Dla dowolnego procesu od  $A$  do  $B$  przeprowadzamy proces odwrotny w sposób odwracalny. Do otrzymanego w ten sposób cyklu stosujemy nierówność Clausiusa, co daje nam  $\int_A^B q/T < S(B) - S(A)$ . W szczególności, gdy przeprowadzamy proces adiabatyczny (ale nieodwracalny), to  $q = 0$  i  $S(B) - S(A) > 0$ . Dla procesu nieskończenie małego mamy  $q/T \leq dS$  (gdzie równość zachodzi jedynie dla procesu odwracalnego).

Nawiązaliśmy zatem kontakt z bardziej powszechnym podejściem do termodynamiki, gdzie istnienie funkcji  $S$  (zwanej entropią), określonej na stanach równowagi termodynamicznej jest postulatem. Niektóre kanoniczne podręczniki termodynamiki (np. książka A. Briana Pipparda z roku 1957) jako punkt startowy przyjmują właśnie zasadę Kelvina i wprowadzają entropię na podstawie rozumowania podanego (w nieco skróconej formie) powyżej. Wydaje się, że podejście to jest wypierane (bądź zostało wręcz wyparte) przez wzorzec logiczny oparty na książce Herberta Callena z roku 1966, gdzie termodynamika formułowana jest poprzez zasadę wariacyjną odnoszącą się do funkcji  $S$ , której istnienie jest postulatem. Urok tego podejścia polega na tym, że termodynamika stanów równowagi w sposób jasny staje się zamkniętą teorią aksjomatyczną, opartą w gruncie rzeczy na zasadzie zachowania energii oraz pewnej eleganckiej (choć być może lekko enigmatycznej) zasadzie wariacyjnej, której sensowność weryfikowana jest de facto *a posteriori*. Odrobinę kuriozalnym jest fakt, że w tej wersji kursu termodynamiki poradzić można sobie bez odwołania się do maszyn cieplnych, zasady Kelvina i Clausiusa natomiast pominąć, bądź też przywołać jako „historyczne” sformułowania II zasady (co słuchaczom wyda się zapewne cokolwiek nudną i nie do końca potrzebną dygresją). Urzekająca w swej estetyce aksjomatyczna termodynamika jest „ortogonalna” do historycznej logiki brudnych maszyn. Logika brudnych maszyn jest natomiast czysta, acz może nieco toporna.



## Zadania

Przygotował *Lukasz RAJKOWSKI*

**M 1630.** Niech  $p$  będzie liczbą pierwszą większą od 2. Udowodnić, że istnieje dokładnie jeden sposób przedstawienia  $\frac{2}{p}$  w postaci sumy  $\frac{1}{x} + \frac{1}{y}$ , gdzie  $x < y$ .  
Rozwiązanie na str. 13

**M 1631.** Punkt  $P$  leży wewnątrz trójkąta ostrokątnego  $ABC$  i nie jest środkiem okręgu  $\omega$  opisanego na tym trójkącie. Udowodnić, że wśród odcinków  $PA$ ,  $PB$  i  $PC$  znajdują się odcinek krótszy oraz odcinek dłuższy od promienia okręgu  $\omega$ .  
Rozwiązanie na str. 15

**M 1632.** Liczby  $x_1, \dots, x_n$  należą do odcinka  $[0, 1]$ . Udowodnić, że istnieje takie  $0 \leq a \leq 1$ , że  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - a| = \frac{1}{2}$ .  
Rozwiązanie na str. 13

Przygotował *Andrzej MAJHOFER*

**F 995.** Ile baterijek 9 V należy połączyć szeregowo, aby długości fal de Broglie'a elektronów przyspieszanych uzyskanym w ten sposób napięciem były równe „promieniowi Bohra” atomu wodoru  $r_0 \approx 0,53 \cdot 10^{-10}$  m? Masa elektronu  $m_e \approx 9,1 \cdot 10^{-31}$  kg, stała Plancka  $h \approx 6,63 \cdot 10^{-34}$  Js, ładunek elementarny  $e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$  C.  
Rozwiązanie na str. 14

**F 996.** Dla fotokomórki próżniowej o katodzie wykonanej z cezu zmierzono napięcie hamowania i prąd nasycenia, podczas oświetlania katody światłem o długości fali  $\lambda_1 = 500$  nm oraz  $\lambda_2 = 300$  nm. W obu przypadkach strumień energii światła padającego na katodę był taki sam i wynosił  $S = 1$  W/m<sup>2</sup>. Jakie wartości napięcia hamowania i prądu nasycenia uzyskano dla każdej z użytych długości fali? Dla cezu praca wyjścia  $W = 1,95$  eV. Iloczyn stałej Plancka  $h$  i prędkości światła  $c$ ,  $hc \approx 1,24 \cdot 10^{-6}$  m, a ładunek elementarny  $e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$  C.  
Rozwiązanie na str. 12

