

Mechanika wysokich częstotliwości a rzeczywista temperatura zera absolutnego.

Aktualna skala temperatur

Skala temperatur, w której za punkt odniesienia przyjmowano potrójny punkt wody, odpowiadający temperaturze 273,16 K na gazowym termometrze, dobrze spełniała swoją funkcję, aż do rozwoju fizyki niskich temperatur. W klasycznej termodynamice przyjęto, że $T = 0^\circ\text{K} = -273,15^\circ\text{C}$ jest temperaturą zera absolutnego, po osiągnięciu której powinien ustać ruch cieplny elementów struktury układu. Teoretycznie, temu przekonaniu przeczy tylko zasada nieoznaczoności Heisenberga, stosowana w mechanice kwantowej.

Jednak szybki rozwój kriotechniki dał możliwość pokonania tej bariery i otrzymać ochłodzenie na dwa rzędy niżej zera absolutnego. Dość powiedzieć, że w 1994 r. osiągnięto rekordowo niską temperaturę wynoszącą 700 nK ($1 \text{ nK} = 10^{-9} \text{ K}$). Z powyższego wynika, że $T = 0^\circ\text{K}$ nie jest temperaturą zera absolutnego.

Związek między temperaturą układu i częstotliwością elementów jego budowy

Jak już upominano, stała Boltzmana była wyprowadzona M. Planckiem w 1900 r. W klasycznej termodynamice ją wyprowadzało się z uniwersalnej stałej gazowej R i miała następującą wielkość:

$$k = R/N_A = 1,380658 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \quad (101)$$

Sens fizyczny tej stałej na poziomie molekularnym do tej pory był dla nauki tajemnicą i dopiero z odkryciem wysokoczęstotliwościowej natury ruchu molekuł gazu tą lukę można zapełnić.

Z podstawowego równania mechaniki wysokich częstotliwości wynikają trzy relacje określające sens fizyczny stałej Boltzmana dla powietrza w warunkach normalnych:

$$k_p = h \cdot \nu_0 / T_0 = P_0 \cdot V_{g0} / T_0 = m_p \cdot \nu_0 \cdot u_0 \cdot a / T_0 \quad (102)$$

Z powyższej relacji widać, że stała Boltzmana jest zależną od temperatury energią oscylatora powietrza. Jak już doskonale wiadomo, ona nie jest niezmienną wielkością, przydatną dla opisanie energii oscylatora dowolnego gazu lub cieczy, gdyż każdy gaz rzeczywisty ma swoją indywidualną stałą Boltzmana i swoją termodynamiczną temperaturę T_{0i} , określaną jak odwrotny współczynnik rozszerzalności cieplnej i -tego gazu w procesie izobarycznym:

$$T_{0i} = 1 / \beta_i \quad (103)$$

gdzie: $\beta_i = (V_2 - V_1) / V_1 \cdot \Delta t$ – współczynnik rozszerzalności cieplnej i -tego gazu;

V_1 - objętość gazu w temperaturze t_1 ;

V_2 - objętość gazu w temperaturze t_2 ;

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

Profesorowi Bazijewowi udało się ustalić, że sens fizyczny β_i jest bardziej złożony, niż przedstawiało się to do tej pory. Obiektywnie istnieje stała rozszerzalności cieplnej $\beta_0 = \text{const}$, która byłaby jedyną dla wszystkich gazów, pod warunkiem, że wszystkie one posiadałyby współczynnik kondensacji równy 1, jednak okazało się, że nie istnieje taki gaz rzeczywisty, włącznie z gazami szlachetnymi, który posiadałby taki współczynnik. Nawet hel, najbardziej obojętny wśród gazów szlachetnych, wbrew utartemu mniemaniu, zawiera (w warunkach normalnych) w swoim składzie 0,08196% molekuł helu (He_2), które w przedziale temperatur $\pm 100^\circ\text{C}$ i $P = P_0$ znajdują się w równowadze dynamicznej z atomami helu, odpowiednio do reakcji:



Przy $P = P_0$ i $t < -100^\circ\text{C}$ równowaga przesuwana się w lewo i w temp. $t = -252,8^\circ\text{C}$ następuje pełna dysocjacja molekuł i układ składa się tylko z samych atomów. Przy jednoczesnym chłodzeniu i podwyższeniu ciśnienia równowaga przesuwana się w prawo z przejściem kondensacji w procesie agregacji – istota którego – zwiększenie ilości atomów w oscylatorze, aż do pełnego przejścia

układu w stan gazu. W tym stanie już nie ma oscylatorów, gdyż układ składa się tylko z super oscylatorów o masie m_{si} :

$$m_{si} = n_s * m_{0i} \quad (105)$$

gdzie n_s – ilość oscylatorów, połączonych w superoscylator fazy gazowej.

Tak więc, jeśli hel składał się tylko z atomów, to współczynnik jego rozszerzalności cieplnej, w dowolnych warunkach, od głębokiego schłodzenia do wysokich temperatur w procesie izobarycznym, pozostawałby stały i równy:

$$\beta_0 = 3,6579987 * 10^{-3} \text{ K}^{-1} \quad (106)$$

a jego temperatura termodynamicznego zera wynosiłaby:

$$T_0 = 1 / \beta_0 = 273,37352 \text{ K} \quad (107)$$

Jeśli gazy nie miały możliwości kondensować do pary, to te wielkości byłyby charakterystyczne dla nich wszystkich. Jednak gazy rzeczywiste mają zdolność przechodzenia ze stanu gazowego w stan pary, a współczynnik ich kondensacji γ_i wylicza się prosto z proporcji:

$$\gamma_i = \beta_i / \beta_0 \quad (108)$$

skąd mamy:

$$\beta_i = \beta_0 * \gamma_i \quad (110)$$

Teraz już nie przedstawia żadnej trudności pokazanie związku między kondensacją gazu i współczynnikiem jego rozszerzalności cieplnej, na drodze rozwiązania układu dwóch równań

{ $\beta_i = \beta_0 * \gamma_i$ i $\beta_i = (V_2 - V_1) / V_1 * \Delta t$ } stąd:

$$\beta_0 * \gamma_i = (V_2 - V_1) / V_1 * \Delta t \quad (111)$$

$$\Delta V = \beta_0 * \gamma_i * V_1 * \Delta t \quad (112)$$

Z równania (112) jednoznacznie wynika, że przy jednym i tym samym znaczeniu Δt rozszerzalność cieplna i -tego gazu jest proporcjonalna do współczynnika kondensacji γ_i .

W tej sytuacji, nikt nie powinien mieć wątpliwości, że stała Boltzmana nie jest stałą, gdyż ona, jak i wszystkie inne wielkości termodynamiki gazów rzeczywistych, za wyjątkiem stałej Plancka, nosi w sobie cechę indywidualności i jej obiektywna zawartość ma postać:

$$k_i = hf_{0i} / T_{0i} = hf_{0i} * \beta_i = hf_{0i} * \beta_0 * \gamma_{0i} \quad (113)$$

Prawdziwy sens fizyczny oscylatora staje się zrozumiałym z następującego przekształcenia:

$$E_{0i} = k_i * T_{0i} = (hf_{0i} * \beta_i) * T_{0i} = hf_{0i} * \beta_i * 1 / \beta_i = hf_{0i} \quad (114)$$

Stało się jasnym, że rzeczywistym generatorem energii są drgania oscylatora o wysokiej częstotliwości, a temperatura układu jest tylko sposobem pośredniego zmierzenia tej częstotliwości, bazującym na korelacji między zmianami energii i objętości układu w procesie izobarycznym.

Mówiąc inaczej, termodynamiczna temperatura jest umowną wielkością, i to aż tak umowną, że jeżeli istniałaby możliwość prostego i bezpośredniego pomiaru częstotliwości drgań oscylatorów układu, my moglibyśmy zrezygnować z jej wykorzystania we wszystkich sferach ludzkiej działalności.

Biorąc jednak do uwagi historyczną drogę rozwoju nauki, zdajemy sobie sprawę z tego, że aktualnie bez pojęcia "temperatura" nie może istnieć termodynamika, a ponieważ tak jest, zajmiemy się pogłębioną analizą tego zagadnienia.

Z równania energii oscylatora wynika następująca zależność:

$$k_i T_{0i} = h * f_{0i} \quad (115)$$

skąd można wyprowadzić dwie "nowe" wielkości:

$$\xi_i = h/k_i, \text{ K}^{-1} * \text{s}^{-1} \quad (116)$$

$$\psi_i = k_i/h, \text{ K} * \text{s} \quad (117)$$

gdzie: ξ - stała temperaturowa i-tej substancji; ψ_i - stała częstotliwościowa i-tej substancji.

Nietrudno zauważyć, że słowo "nowe" wzięto w cudzysłów, a przyczyna tego kryje się w tym, że ta pierwsza wielkość, to "dobrze zapomniana stara", którą wyprowadził M. Planck w 1900 r. podczas analizy równania W. Wiena po rozkładzie energii promieniowania ciała czarnego. Z tamtej pory, ta wielkość nie miała samodzielnego zastosowania ani w jednym rozdziale fizyki.

Dzisiaj, tej wielkości podarowano drugie urodziny. Za jej pomocą jednoznacznie można wyliczyć liczbowy związek między temperaturą układu i częstotliwością jego oscylatorów.

$$f_{0i} = \psi_i * T_{0i} \text{ s}^{-1} \quad (118)$$

$$T_{0i} = \xi_i * f_{0i} \text{ K} \quad (119)$$

Rozpatrzmy niektóre konsekwencje wynikające z tych zależności, analizując stan helu (He) przy normalnym ciśnieniu i $T_i = 1^\circ\text{K}$

$$\psi_{\text{He}} = k_{\text{He}}/h = 2,0828241 * 10^{10} \text{ K}^{-1} * \text{s}^{-1} \quad (120)$$

$$\xi_{\text{He}} = h/k_{\text{He}} = 4,8011734 * 10^{-11} \text{ K} * \text{s} \quad (121)$$

$$f(T_1) = \psi_{\text{He}} * T_1 = 2,0828241 * 10^{10} \text{ s}^{-1} \quad (122)$$

$$E(T_1) = h * f(T_1) = 1,3801351 * 10^{-23} \text{ J} = k_{\text{He}} \quad (123)$$

Z powyższego wynika, że stała (ψ_i) jest częstotliwościowym odpowiednikiem jednego stopnia Kelwina w układzie oscylatorów i-tego gazu. Drugą konsekwencją jest to, że w pobliżu 0°K oscylatory ciągle jeszcze posiadają kolosalną częstotliwość drgań.

Te dwie konsekwencje pozwalają twierdzić, że 0°K skali termodynamicznej jest tylko punktem przejściowym na drodze do zera absolutnego ($T_a = 0^\circ\text{K}$), po osiągnięciu którego rzeczywiście ustają drgania oscylatorów, co można zapisać następująco:

$$f_a = \psi_i * T_a = 0 \quad (124)$$

Jeśli jednak przyjąć, że osiągnęliśmy takie schłodzenie układu, przy którym częstotliwość drgań osiągnęła minimalną wartość $f_{\min} = 1 \text{ s}^{-1}$, to otrzymamy T_{\min} :

$$T_{\min} = \xi_i * f_{\min} \quad (125)$$

Dla helu temperatura ta wzniesie:

$$T_{\min}(\text{Hel}) = 4,8011734 * 10^{-11} \text{ K} \quad (126)$$

Widać, że graniczne ochłodzenie układu, przy którym mają jeszcze miejsce drgania, jak forma ruchu w mikroświecie, jest większa od zera absolutnego tylko na 1°K :

$$T_{\min} = T_a + t_{jed} \quad (127)$$

Gdy układ osiągnie taki stan, to jego energia również osiągnie swoją wartość graniczną E_{\min} :

$$E_{\min} = h * f_{\min} = 6,626268 * 10^{-34} \text{ J} \quad (128)$$

Z powyższego wynika, że jeżeli sekundowa energia oscylatora zmniejszy się n razy:

$$n = E_{0\text{He}}/E_{\min} = 37.729229 * 10^{-22}/E_{\min} = 5,6938881 * 10^{12} \quad (129)$$

to i temperatura układu też powinna się zmniejszyć w tyle samo razy i osiągnąć poziom $T_{\min}(\text{He})$:

$$T_{min}(\text{He}) = T_{0\text{He}}/n = 273,37342/n = 4,8011734 \cdot 10^{-11} \text{ K} \quad (130)$$

Można to wyrazić tak, że "n" jest stopniem zmniejszenia częstotliwości drgań oscylatorów, przy ochłodzeniu układu od T_0 do T_{min} :

$$n = E_{0i}/E_{min} = h \cdot f_{0i}/h \cdot f_{min} = f_{0i}/f_{min} = f_{0i} \cdot \tau_{jed} \quad (131)$$

Doszliśmy do punktu pozwalającego nam zbudować skalę temperaturową bazującą na ruchu drgającym oscylatorów dowolnego układu termodynamicznego. Znając dolną granicę tej skali (T_{min}) musimy wyznaczyć jej górną granicę (T_{max}). Z naszych analiz wynika (będą przedstawione w dalszej części opracowania), że maksymalna temperatura słońca wynosi $T = 2,16 \cdot 10^7 \text{ K}$.

W 1987 r. amerykańscy uczeni ogłosili, że osiągnęli w warunkach laboratoryjnych temperaturę plazmy równą $6 \cdot 10^7 \text{ K}$. Nikt nie może twierdzić, że to jest graniczna wartość (tym bardziej, że amerykańscy uczeni już informują o osiągnięciu temp. ok. 2 miliardów stopni), ale na dzisiaj możemy sobie pozwolić przyjąć tą temperaturę za graniczną:

$$T_{max} = 6 \cdot 10^7 \text{ K} \quad (132)$$

Częstotliwość oscylatorów plazmy, przy osiągnięciu tej temperatury wynosi:

$$f_{max} = T_{max} \cdot \psi_{\text{He}} = 1,2496944 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1} \quad (133)$$

Dla wyliczenia tej wartości wykorzystaliśmy ψ_{He} ponieważ do tej pory nie jest znana stała częstotliwościowa deuteru, trytu lub ich mieszaniny.

Tym sposobem ustalono przedział granicznych częstotliwości oscylatorów tworzących układ termodynamiczny:

$$f_{min} \rightarrow f_{max} = 1 \text{ s}^{-1} \rightarrow 1,2496944 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1} \quad (134)$$

Najbardziej zaskakujące, ale i naturalne zarazem jest to, że na skali częstotliwości brak jest ujemnych wartości, a więc nie ma przejścia przez zero skali.

Jeśli na matematycznej skali liczb mamy ciąg od $+\infty$ do $-\infty$, to na fizycznej skali częstotliwości poniżej T_a nie ma już niczego. Tam "króluje" absolutny bezruch.

Taki stan bardzo często można obserwować wewnątrz otaczających nas ciał materialnych i ... co wyda się najbardziej zaskakujące, ten stan istnieje również wewnątrz naszych ciał.

Tak na przykład, w elementarnym atomie – neutronie, n_e elektronów i n_p elektrino ściśnięte są taką siłą, że wewnętrzneutronowe ciśnienie wynosi $P_n = 7,2 \cdot 10^{18} \text{ Pa} = 7,1 \cdot 10^{13} \text{ atm}$, przy którym jakkolwiek ruch cząsteczek nie jest możliwy!

Temperatura zera absolutnego panuje również wewnątrz Słońca i wszystkich gwiazd!!!

Nie widzimy potrzeby dowodzić, że jeżeli skala częstotliwościowa nie przechodzi przez "0", to i skala temperaturowa też nie powinna mieć tego przejścia. Jest to możliwe tylko w tym przypadku, gdy odrzucimy wszystkie sztuczne skale temperaturowe i zgodzimy się z następującym twierdzeniem: **moduły częstotliwości oscylatorów dowolnego układu termodynamicznego i temperatury tego układu są sobie równe.**

Tak, przy osiągnięciu $f_{min} = 1 \text{ s}^{-1}$ powinniśmy mieć i $T_{min} = 1^\circ\text{K}$, a przy $f_{max} = 1,2496944 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1}$ powinniśmy osiągać $T_{max} = 1,2496944 \cdot 10^{18} \text{ K}$. Sens fizyczny tej analizy prowadzi do odmowy od pojęcia "temperatura", co powinno stać się faktem w miarę opanowania nowej techniki pomiarowej, bazującej na pomiarze częstotliwości elementów układów termodynamicznych. Zanim jednak do tego dojdzie, śmiało można wykorzystywać równania (118 i 119), dla przejść między skalą temperaturową i częstotliwościową, w ramach obowiązującej skali termodynamicznej.

Teoretyczne aspekty zera absolutnego

Wszyscy doskonale wiedzą, że gaz rzeczywisty ma przejścia fazowe: gaz – ciecz – ciało stałe. Takie przejścia są możliwe tylko wtedy, gdy mamy do czynienia z pewną ilością oscylatorów. Jeśli

jednak rozpatrzmy przypadek, w którym układ zawiera tylko jedną globulę, to możemy z nią eksperymentować bez przejść fazowych w przedziale $f_{min} \rightarrow f_{max}$.

Wyobraźmy sobie taki przypadek z globulą helu posiadającą objętość V_a i $f = 1 \text{ s}^{-1}$. Załóżmy, że objętość V_a ma formę sferyczną i jest ograniczona ścianką stalową. Absolutność globuli w tym, że w przestrzeni V_a mamy do czynienia tylko z jednym oscylatorem helu, który oddziałuje tylko z atomami ścianki, ponieważ jego amplituda jest równa średnicy globuli (d_a).

Załóżmy, że izolowaliśmy globulę w tym momencie, gdy ona znajdowała się w warunkach normalnych i oscylator miał prędkość liniową równą $v_0 = 4,7165271 * 10^4 \text{ m*s}^{-1}$.

Wyliczymy i przeanalizujemy szereg ważniejszych charakterystyk termodynamicznych tej absolutnej globuli:

$$d_a = v_0 / 2f_{min} = 2,3582635 * 10^4 \text{ m}$$

$$V_a = \pi * d_a^3 / 6 = 6,867135 * 10^{12} \text{ m}^3$$

$$P_a = h * f_{min} / V_a = 9,6492467 * 10^{-47} \text{ Pa, J*m}^{-3}$$

$$\rho_a = m_{He} / V_a = 9,6788506 * 10^{-40} \text{ kg*m}^{-3}$$

$$T(f_{min}) = \xi_{He} * f_{min} = 4,801134 * 10^{-11} \text{ K}$$

Proszę przyrzeć się powyższym wielkościom jeszcze i jeszcze raz. Szokujące, prawda? To jednak nie abstrakcja i wielkości te powinny służyć drogowskazem dla specjalistów fizyki niskich temperatur.

Powoli, ale stanowczo i co najważniejsze konsekwentnie zbliżyliśmy się do zrozumienia pojęcia "próżnia absolutna", od której dzieli nas już tylko "pół kroku". Wyobraźmy sobie teraz, że zadziałał jakiś mechanizm, który związał ten jeden oscylator z jednym z atomów ścianki sferycznego naczynia i w przestrzeni V_a (zwracam jeszcze raz uwagę na fantastycznie szokującą wielkość tej objętości!) nie ma już ani jednego oscylatora. Jeśli do tej przestrzeni nie wpadają cząsteczki, które nazwiemy neutrino (sens fizyczny jakich będzie wyjaśniony w następnych częściach opracowania), to osiągnęliśmy w niej próżnię absolutną! Wszystkie wyliczone i przedstawione wyżej wielkości, charakteryzujące tę przestrzeń wyzerowują się!

Podsumowując tą część analizy podkreślę, że:

- 1. Pierwszy raz zarysowano realne kontury rzeczywistego zera absolutnego.**
- 2. Zaproponowano skalę częstotliwościową pokazującą rzeczywisty stan elementów budowy układu termodynamicznego.**

Skala temperaturowo-częstotliwościowa dla powietrza

L.p.	t (°C)	T (K)	f (częstotliwość oscylatora s ⁻¹)
1	-100	173,15	3,6066968387*10 ¹²
2	-110	163,15	3,3983978587*10 ¹²
3	-200	73,15	1,5237070387*10 ¹²
4	-210	63,15	1,3154080587*10 ¹²
5	-260	13,15	2,739131587*10 ¹¹
6	-270	3,15	6,56141787*10 ¹⁰
7	-272,15	1,0	2,0829898*10 ¹⁰
	-----	0,0	0,0
8	-280	-----	???

Jak widać, skala Kelwina zakończyła się w tym momencie, gdy oscylatory powietrza mają jeszcze tyle energii, że nawet nie przyjdzie im "do głowy" zatrzymać się w bezruchu. Jak wybrnęli naukowcy? Zamiast zmienić ograniczenie wynikające ze skali Kelwina, wprowadzili minus do potęgi wartości i dzisiaj w Wikipedii każdy może zobaczyć, że najniższą osiągniętą temperaturą jest 450 pikokelwinów = 4,5*10⁻¹¹ K

W tejże samej encyklopedii można przeczytać następującą myśl:

"Otrzymanie rzeczywiście ujemnych temperatur nie jest możliwe. Traktując temperaturę klasycznie jako miarę średniej energii kinetycznej cząsteczek, nie można uzyskać energii kinetycznej mniejszej od zera"

Teoria Rzeczywistej Fizyki pokazuje tę kolizję i proponuje odpowiednie rozwiązanie. W niej wyprowadzono stałą temperaturową substancji, która pozwala nam przekroczyć sztucznie wprowadzoną do skal temperaturowych barierę i pokazać realną temperaturę zera absolutnego dla powietrza.

$$\xi_{\text{pow}} = 2,0829898 \cdot 10^{10} \text{ K}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$f_i = \xi_{\text{pow}} \cdot T_i$$

Dla temperatur niższych od -273,15 °C wyliczamy współczynnik temperaturowy k_{i+1} :

$$k_{i+1} = t_i / t_{i+1}$$

a następnie f_{i+1} :

$$f_{i+1} = k_{i+1} \cdot f_i = t_i \cdot f_i / t_{i+1} = A / t_{i+1}$$

Przykład: $k_8 = t_7 / t_8 = 0,9719642857$

$$A = -5,6688567407 \cdot 10^{12} \text{ °C/s}$$

Stąd: $f_{i+1} = A / t_{i+1}$

8	-280		2,0245916931*10 ¹⁰
9	-290		1,9547781864*10 ¹⁰
10	-300		1,8896189135*10 ¹⁰
11	-600		9,4480945678*10 ⁹
12	-6000		9,4480945678*10 ⁸
13	-5,6688567407*10 ¹²		1,0
14	zero absolutne	zero absolutne	0

Temperatura zera bezwzględego została przez Lorda Kelvina wyznaczona na podstawie teoretycznych obliczeń temperatury kryształu doskonałego, w którym ustały wszelkie drgania tworzących ją cząsteczek.

Wniosek: Dla prawidłowej oceny zjawisk zachodzących w przyrodzie skale temperaturowe powinny być zbudowane w oparciu o skalę częstotliwościową.