

Skale i jednostki temperatury oraz ich konwersja

Temperatura towarzyszy człowiekowi od zarania dziejów. W toku rozwoju nauki różni fizycy próbowali ją okiełznać tworząc mniej lub bardziej skomplikowane skale. Zobaczymy, jakie skale temperatur zostały opracowane na przestrzeni ostatnich stuleci, jakie pozostały w obiegu, a jakie stały się tylko historyczną ciekawostką.



POWRÓT DO SZKOŁY, CZYLI CZYM JEST TEMPERATURA?

Temperatura jest miarą średniej energii kinetycznej ruchu i drgań wszystkich cząsteczek tworzących dany układ (lub ciało). Upraszczając – wszystkie materiały są zbudowane z atomów i cząsteczek, które są w ciągłym ruchu, wibrują lub obracają się. Im bardziej się poruszają, tym wyższa temperatura, jaką będzie miał materiał. Prędkość atomów w ruchu termicznym (w temperaturze zbliżonej do pokojowej) jest duża. W temperaturze bliskiej zera bezwzględnej prędkość ta osiąga minimalne wartości.

Jeśli dwa ciała mają tę samą temperaturę, to w bezpośrednim kontakcie nie przekazują sobie ciepła, gdy zaś temperatura obu ciał jest różna, to następuje przekazywanie ciepła z ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej – aż do wyrównania się temperatury obu ciał.

Termodynamiczna definicja temperatury pozwala porównywać jej wartości (wartość energii), ale nie określa jej skali. Dlatego fizycy konstruują skale temperatury. Skala temperatury zawiera charakterystyczne wartości temperatury i odpowiadające im zjawiska określające stan cieplny. Pierwotnie skale były konstruowane w oparciu o charakterystyczne wartości temperatury zmian stanów skupienia i przy założeniu, że rozszerzalność cieczy jest liniowa. Później konstrukcje opierano na właściwościach gazów, a współcześnie definiuje się temperaturę poprzez odwołanie do fizyki statystycznej.



SKALE TEMPERATURY

Pierwsi konstruktorzy termometrów i skal temperatury opierali swoje skale na znanych im zjawiskach. Najczęściej przyjmowano, że zmiana temperatury jest proporcjonalna do zmiany objętości cieczy (alkoholu, rtęci). W skalach tych, jako punkty odniesienia, przyjmowano wartości temperatury dwóch zjawisk zachodzących w dobrze określonych warunkach.



SKALA CELSJUSZA

Najbardziej rozpowszechnioną na świecie skalą temperatur jest skala Celsjusza – skala termometryczna, nazwana od nazwiska szwedzkiego uczonego Andersa Celsiusa, który zaproponował ją w roku 1742.

Celsjusz proponował wykorzystanie w pomiarach temperatury dwóch punktów – topnienia lodu oraz wrzenia wody – i podzielenia skali pomiędzy nimi na 100 stopni.

Według Celsjusza punkowi topnienia lodu miało odpowiadać 100 stopni, natomiast punkowi wrzenia – 0. Oznacza to, że w pierwotnej skali Celsjusza temperatura pokojowa odpowiadała 80 stopniom, a temperatura ciała człowieka 63,4 stopnia. Podczas mroźnego poranka pierwszy termometr Celsjusza mógł wskazywać 110 stopni (obecnie -10).

Dopiero później naukowcy doszli do wniosku, że lepiej połączyć wzrost liczby stopni z procesem ocieplania. Obecnie:

0°C punkt topnienia lodu
100°C punkt wrzenia wody (1013 hPa)

Obecnie skala Celsjusza jest zdefiniowana przez Międzynarodowe Biuro Miar i Wąg poprzez temperaturę zera bezwzględnego (-273,15°C) oraz temperaturę punktu potrójnego wody VSMOW (0,01°C), a zatem stopień Celsjusza to 1/273,16 tego przedziału.



SŁAWOMIR KOWALCZYK

Ukończył Wydział Automatyki Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Specjalność Systemy Pomiarowe. W Introlu pracuje od 1996 roku, obecnie na stanowisku kierownika działu kalibratorów.

tel. 32 789 01 22



Autor: Olof Arenius
 Źródło – Wikipedia

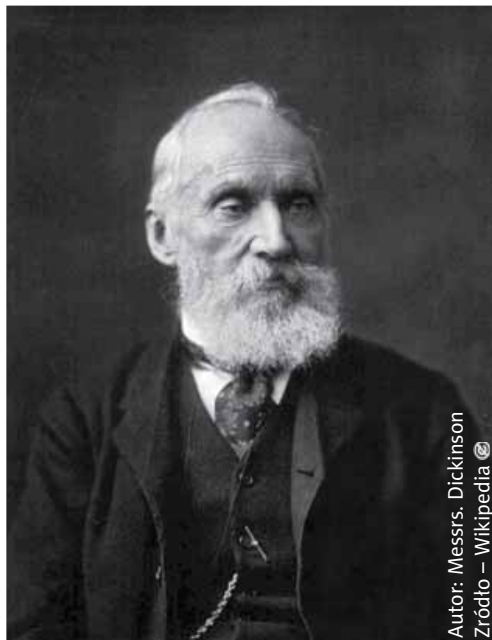
Rysunek 1
 Anders Celsius



SKALA KELWINA

Kelwin – jednostka temperatury w układzie SI, oznaczana symbolem K.

Nazwa pochodzi od szkockiego fizyka Williama Thomsona (1824-1907), lorda Kelvina.



Autor: Messrs. Dickinson
 Źródło – Wikipedia

Rysunek 2
William Thomson, lord Kelvin

Skala Kelwina (skala bezwzględna) jest skalą termometryczną absolutną, tzn. zero w tej skali oznacza najniższą teoretycznie możliwą temperaturę, jaką może mieć ciało. Jest to temperatura, w której (według fizyki klasycznej) ustały wszelkie drgania cząsteczek.

Temperatury tej nie da się jednak osiągnąć – obliczono ją na podstawie funkcji uzależniającej temperaturę od energii kinetycznej w gazach doskonałych. Funkcję tę opracował William Thomson, lord Kelvin, na którego cześć nazwano skalę i jednostkę temperatury.

Temperatura 0 K odpowiada temperaturze $-273,15^{\circ}\text{C}$. Ponieważ skala Kelwina oparta jest na skali Celsjusza i różnica temperatury jest w obu przypadkach ta sama, temperaturę w kelwinach otrzymuje się przez dodanie do liczby wyrażonej w stopniach Celsjusza stałej 273,15.

$$\begin{aligned} 0^{\circ}\text{C} &= 273,15 \text{ K} \\ 0 \text{ K} &= -273,15^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

W przeciwieństwie do skali Celsjusza, w skali Kelwina nie używa się wyrazu „stopień”, tj. temperatura 100 stopni Celsjusza to inaczej temperatura 373,15 kelwinów. Określenie „stopień Kelvina” zostało zastąpione nazwą „kelwin” na mocy 3. rezolucji XIII Generalnej Konferencji Miar i Wag.



SKALA FARENHEITA

Daniel Gabriel Fahrenheit (ur. 24 maja 1686 w Gdańsku, zm. 16 września 1736 w Hadze) – fi-

zyk i inżynier pochodzenia niemieckiego. Większość okresu naukowego spędził w Niderlandach. Wynalazca termometru rtęciowego, twórca skali temperatur używanej w niektórych krajach anglosaskich.

Skala Fahrenheita (jednostka $^{\circ}\text{F}$) – skala pomiaru temperatury, zaproponowana w 1724 roku i nazwana od nazwiska jej twórcy. Była używana do pomiaru temperatury w krajach stosujących imperialne jednostki miar do połowy XX wieku, kiedy została wyparta przez skalę Celsjusza. Nadal używana jest w USA, Kajmanach, Bahamach oraz Belize. W Kanadzie istnieje jako skala uzupełniająca.

32 $^{\circ}\text{F}$ punkt topnienia lodu
212 $^{\circ}\text{F}$ punkt wrzenia wody (1013 hPa)

Zależność między temperaturą wyrażoną w stopniach Celsjusza [$^{\circ}\text{C}$] i Fahrenheita [$^{\circ}\text{F}$] wynosi:

$$\begin{aligned} T^{\circ}\text{C} &= 5/9 \times (T_{\text{pF}} - 32) \\ T_{\text{pF}} &= 9/5 \times T_{\text{cC}} + 32 \end{aligned}$$



INNE SKALE TEMPERATURY

Istnieją też inne skale temperatur, której jednak są rzadko używane (historyczne) i o których nie uczą w szkołach ani na studiach (tak przynajmniej było ze mną). Warto jednakże wiedzieć, że istnieją.

Pisząc artykuł o skalach temperatur poszukiwałem zatem tych skal, które nie są tak oczywiste i nie są powszechnie stosowane. Impulsem do poszukiwań było to, że w kalibratorach firmy Beamex serii MC6 oprócz jednostek **$^{\circ}\text{F}$, $^{\circ}\text{C}$ i K są również dostępne $^{\circ}\text{Ra}$ oraz $^{\circ}\text{Ré}$. Stąd można wysnuć wniosek, że gdzieś na świecie wciąż są używane.**

Skala Rankine'a – skala termometryczna opracowana przez Williama Rankine'a.

Jest to skala absolutna, tzn. zero w tej skali oznacza najniższą możliwą temperaturę, jaką może mieć kryształ doskonały, w którym ustały wszelkie drgania cząsteczek (zero bezwzględne). Temperatura ta została obliczona na podstawie funkcji uzależniającej temperaturę od energii kinetycznej drgań cząsteczek w kryształach doskonałych. Jest odpowiednikiem skali Kelwina dla stopni Fahrenheita.

Przeliczenie:

$$\begin{aligned} T_{\text{(Ra)}} &= 9/5 \times T_{\text{K}} \\ T_{\text{(Ra)}} &= T_{\text{(F)}} + 459,67 \end{aligned}$$

Skala Delisle'a – skala termometryczna opracowana w 1732 roku przez francuskiego astronoma Josepha-Nicolasa Delisle'a. Termometr, jaki stworzył Delisle, był termometrem rtęciowym. Za temperaturę 0°D ustalił punkty wrzenia wody (100°C), zaś temperatura zamarzania wody wynosi 150°D . Skala ta była używana głównie w Rosji w XVIII wieku.

Przeliczenie:

$$\begin{aligned} T_{\text{D}} &= 3/2 \times (100 - T_{\text{cC}}) \\ T_{\text{cC}} &= 100 - 2/3 \times T_{\text{D}} \end{aligned}$$

„Pierwszymi konstruktorzy termometrów i skal temperatury opierali swoje skale na znanych im zjawiskach.”

Oznacza to w szczególności, że temperatury wyższe niż temperatura wrzenia wody są w skali Delisle'a ujemne, natomiast poniżej tego punktu im niższa temperatura, tym wyższa wartość liczbowo na tej skali.

Skala Newtona – skala termometryczna, nazwana tak od nazwiska brytyjskiego uczonego, Isaaca Newtona, który opracował ją około roku 1700.

Newton opracował skalę w oparciu o kilka wyznaczonych przez siebie temperatur odpowiadającym określonym zjawiskom. Skala była problematyczna w użyciu, dlatego dopiero później zmieniono jej opis, definiując dwa charakterystyczne punkty – topnienie i wrzenie wody, którym przypisał temperatury 0 i 33°N.

Jego skala stała się podstawą do opublikowania później przez Celsjusza własnej skali, którą tworzył mając wiedzę o pracach Newtona w tej dziedzinie.

Skala Réaumura – jedna ze skal termometrycznych, wprowadzona w 1731 roku przez francuskiego fizyka René de Réaumura (1683-1757), często używana w Europie Środkowej do początków XX stulecia.

W skali Réaumura temperatura topnienia lodu (zamarzania czystej chemicznie wody) wynosi 0°Ré (tak jak w skali Celsjusza), a wrzenia wody 80°Ré (100°C), dlatego 1°C odpowiada 0,8°Ré.

Przeliczanie:

$$T_{\text{°Ré}} = T_{\text{°C}} \times \frac{4}{5}$$

$$T_{\text{°C}} = 100 - \frac{3}{2} \times T_{\text{°Ré}}$$

Skala Rømera (zapisywana skrótem **°Rø**) – skala termometryczna, opracowana w 1701 roku przez duńskiego astronoma Ole Rømera. 0° w skali Rømera to temperatura zamarzania mieszaniny wody z solą. Temperatura wrzenia wody to 60°Rø, a jej zamarzania 7,5°Rø. Pierwotnie stopnie Rømera oznaczano symbolem °R, później zmieniono go na °Rø ze względu na częste pomyłki ze stopniami Rankine'a i Réaumura.

Na początku XVIII wieku prace Rømera na temat pomiarów temperatury studiował Gabriel Daniel Fahrenheit. W 1708 spotkał się on z Rømerem osobiście i przedyskutował z nim jego skalę. Później postanowił ją ulepszyć i po dodaniu szeregu zmian stworzył własną skalę.



PRZELICZANIE JEDNOSTEK

W życiu zarówno osobistym, jak i zawodowym korzystamy z jednostek stopni Celsjusza (lub Fahrenheita w USA) i ewentualnie przeliczamy je na Kelwiny. Ale pamiętając o tym, że nie są to jedyne skale

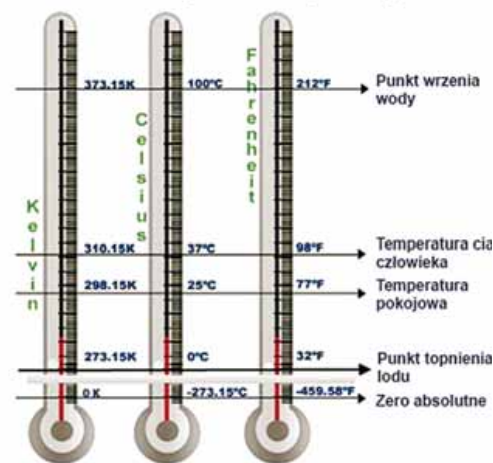
Skale	Na inne skale	Na skalę Newtona
Celsjusza	$[^{\circ}\text{C}] = [^{\circ}\text{N}] \times \frac{100}{33}$	$[^{\circ}\text{N}] = [^{\circ}\text{C}] \times \frac{33}{100}$
Fahrenheita	$[^{\circ}\text{F}] = [^{\circ}\text{N}] \times \frac{60}{11} + 32$	$[^{\circ}\text{N}] = ([^{\circ}\text{F}] - 32) \times \frac{11}{60}$
Kelvina	$[\text{K}] = [^{\circ}\text{N}] \times \frac{100}{33} + 273,15$	$[^{\circ}\text{N}] = ([\text{K}] - 273,15) \times \frac{33}{100}$

Tabela 1

Przeliczanie skali Newtona

warto przyjrzeć się wybranym charakterystycznym punktom w różnych skalach (Tabela 2).

Przedstawione w tabeli 1 i tabeli 3 wzory przeliczania z jednych jednostek na drugie nie należą do najłatwiejszych sposobów radzenia sobie z różnymi skalami. Na szczęście zdecydowanie łatwiejsze jest skorzystanie z dostępnych kalkulatorów przeliczeń jednostek, które w dobie Internetu są dostępne za jednym kliknięciem. W sieci znajdziemy ich mnóstwo, ja osobiście korzystam z przelicznika jednostek firmy Beamex: <https://www.beamex.com/resources/temperature-unit-converter/>



Rysunek 3

Punkty charakterystyczne w różnych skalach temperatury

Zjawisko	Kelwin	Celsjusz	Fahrenheit	Rankine	Delisle	Newton	Réaumur	Rømer
Zero absolutne	0	-273,15	-459,67	0	559,725	-90,142	-218,52	-135,90
Zero Fahrenheita	255,37	-17,78	0	459,67	176,67	-5,87	-14,22	-1,83
Zamarzanie wody	273,15	0	32	491,67	150	0	0	7,5
Średnia temperatura ciała człowieka	310,0	36,8	98,2	557,9	94,5	12,21	29,6	26,925
Wrzenie wody	373,15	100	212	671,67	0	33	80	60
Topnienie tytanu	1941	1668	3034	3494	-2352	550	1334	883
Temperatura efektywna powierzchni Słońca	5800	5526	9980	10440	-8140	1823	4421	2909

Tabela 2

Zilustrowanie przeliczania jednostek 3 podstawowych skal

	na °C	na °F	na K	na °R _a	na °Ré
z °C	1	$T_{\text{(°C)}} \times 1,8 + 32$	$T_{\text{(°C)}} + 273,15$	$(T_{\text{(°C)}} + 273,15) \times 1,8$	$T_{\text{(°C)}} \times 0,8$
z °F	$(T_{\text{(°F)}} - 32) / 1,8$	1	$(T_{\text{(°F)}} + 459,67) / 1,8$	$T_{\text{(°F)}} + 459,67$	$T_{\text{(°F)}} - 32) \times \frac{4}{9}$
z K	$T_{\text{(K)}} - 273,15$	$T_{\text{(K)}} \times 1,8 - 459,67$	1	$T_{\text{(K)}} \times 1,8$	$(T_{\text{(K)}} - 273,15) \times 0,8$
z °R _a	$(T_{\text{(°Ra)} - 491,67) / 1,8$	$T_{\text{(°Ra)} - 459,67$	$T_{\text{(°Ra)} / 1,8$	1	$(T_{\text{(°Ra)} - 491,67) \times \frac{4}{9}$
z °Ré	$T_{\text{(°Ré)}} / 0,8$	$T_{\text{(°Ré)}} \times \frac{9}{4} + 32$	$T_{\text{(°Ré)}} \times 1,25 + 273,15$	$T_{\text{(°Ré)}} \times \frac{9}{4} + 491,67$	1

Tabela 3

Wzory przeliczania temperatury jednych jednostek na inne