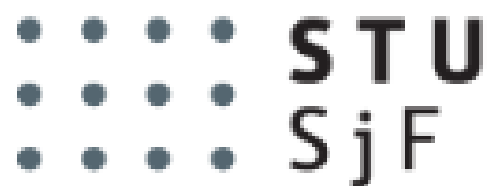


Úloha Medzinárodnej teplotnej stupnice ITS-90 v realizácii jednotky kelvin



Sohaibullah Zarghoon a kolektív

Strojnícka fakulta, Slovenská technická univerzita, Bratislava, Slovenská republika



SLOVENSKÁ TECHNICKÁ
UNIVERZITA V BRATISLAVE
STROJNÍCKA FAKULTA



Ústav automatizácie, informatizácie a merania

1. ÚVOD

Napriek redefinícii jednotky kelvin v sústave SI prostredníctvom pevne stanovenej hodnoty Boltzmannovej konštanty zostáva jej priama primárna realizácia metrologicky náročná [1]. Praktická realizácia jednotky termodynamickej teploty je preto aj naďalej založená predovšetkým na Medzinárodnej teplotnej stupnici ITS-90, ktorá zabezpečuje reprodukovateľnosť, nadväznosť a medzinárodnú porovnateľnosť meraní teploty [1; 2]. Príspevok analyzuje postavenie ITS-90 v súčasnej metrologickej infraštruktúre a jej vzťah k termodynamickej teplote definovanej v sústave SI. Stručne predstavuje princípy realizácie stupnice prostredníctvom definovaných pevných bodov a interpolačných prístrojov, poukazuje na rozdiely medzi hodnotami podľa ITS-90 a termodynamickou teplotou a diskutuje ich význam z pohľadu presných meraní [1; 3]. Pozornosť je venovaná aj súčasným trendom v oblasti primárnej termometrie a perspektívam budúceho vývoja realizácie jednotky kelvin. Cieľom príspevku je zdôrazniť, že ITS-90 aj po redefinícii SI predstavuje nevyhnutný praktický nástroj na zabezpečenie jednotnosti merania teploty v metrologickej, vedeckej a priemyselnej praxi.

Definícia kelvinu (SI od roku 2019)

Kelvin je jednotka termodynamickej teploty definovaná tak, že pevne stanovená hodnota Boltzmannovej konštanty je

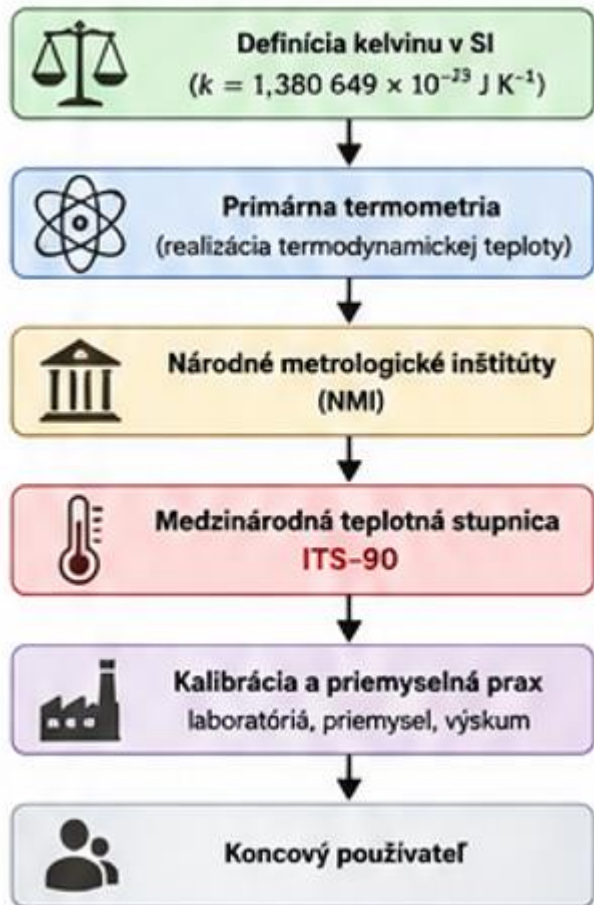
$$k = 1,380649 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$$

2. Čo je ITS-90?

ITS-90 je medzinárodne dohodnutá aproximačná stupnica termodynamickej teploty.

Jej hlavné ciele sú: reprodukovateľnosť meraní, nadväznosť na SI, vysoká presnosť, medzinárodná porovnateľnosť výsledkov.

ITS-90 je založená na: definovaných pevných bodoch, štandardných teplomeroch, interpolačných rovniciach.



3. Realizácia ITS-90

ITS-90 využíva sériu presne definovaných pevných bodov, ktoré predstavujú teploty fázových premien čistých látok.

Vybrané pevné body

Pevný bod	Symbol	Teplota (K)	Poznámka
Trojny bod vodíka	TP_H ₂	13,8033	Definičný bod stupnice
Trojny bod neónu	TP_Ne	24,5561	Definičný bod stupnice
Trojny bod kyslíka	TP_O ₂	54,3584	Definičný bod stupnice
Trojny bod argónu	TP_Ar	83,8058	Definičný bod stupnice
Trojny bod ortuť	TP_Hg	234,3156	Definičný bod stupnice
Trojny bod vody	TPW	273,16	Definičný bod stupnice
Tuhnutie cínu	FP_Sn	505,078	Fázový prechod (tuhnutie)
Tuhnutie zinku	FP_Zn	692,677	Fázový prechod (tuhnutie)
Tuhnutie hliníka	FP_Al	933,473	Fázový prechod (tuhnutie)
Tuhnutie striebra	FP_Ag	1234,93	Fázový prechod (tuhnutie)
Tuhnutie zlata	FP_Au	1337,33	Interpolačný bod
Tuhnutie medi	FP_Cu	1357,77	Koniec rozsahu ITS-90

Tieto referenčné body umožňujú veľmi presnú kalibráciu teplomerov.

4. Interpolačné prístroje

ITS-90 využíva rôzne typy teplomerov v závislosti od rozsahu teploty.

Platinový odporový teplomer (SPRT): Rozsah približne 13.8 K až 1235 K Najvyššia presnosť.

Plynné teplomery: Používajú sa pri primárnej realizácii veľmi nízkych teplôt.

Radiačné pyrometer: Používajú sa pri veľmi vysokých teplotách nad bodom tuhnutia striebra.



5. ITS-90 verzus termodynamická teplota

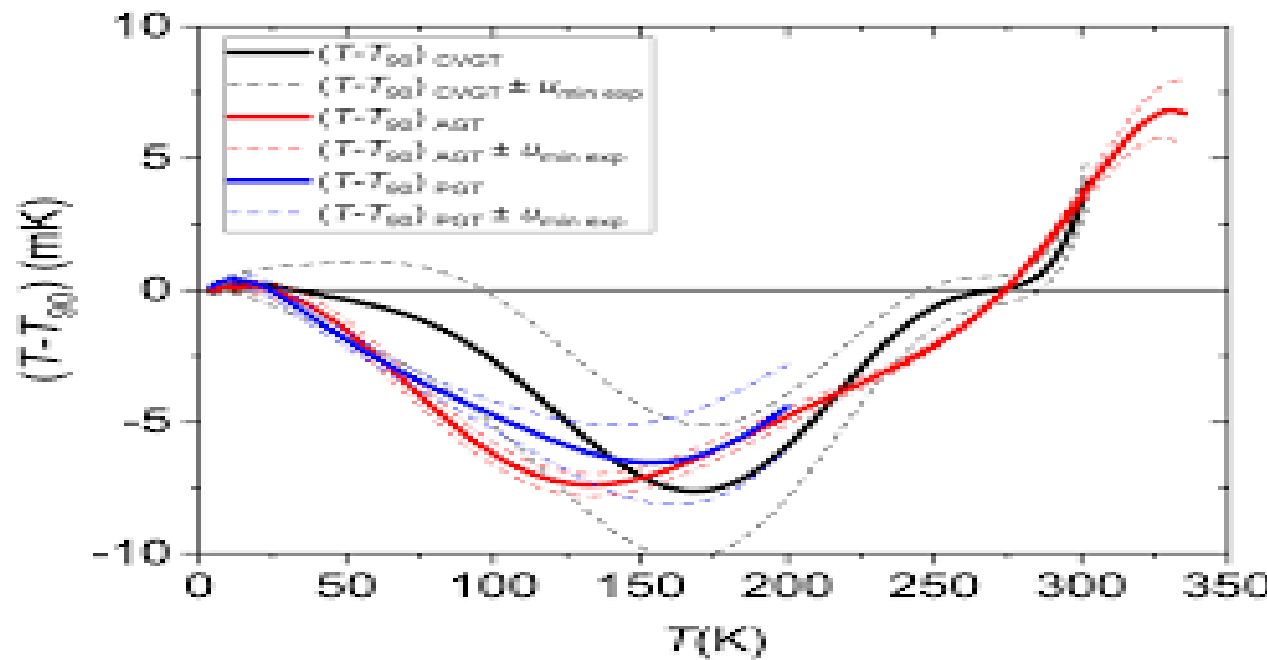
ITS-90 nie je presnou realizáciou termodynamickej teploty.

Platí: $\Delta T = T_{90} - T$

Kde: T je termodynamická teplota, T_{90} je hodnota podľa ITS-90.

Rozdiely dosahujú spravidla

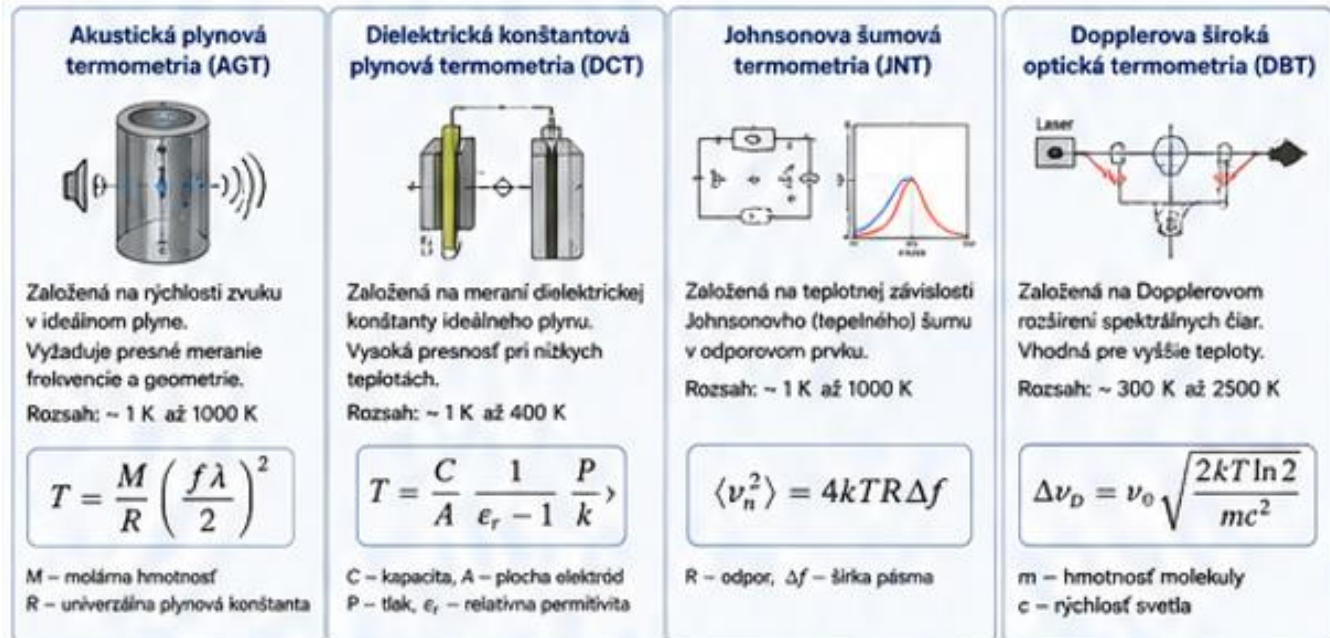
- niekoľko milikelvinov,
- vo väčšine aplikácií sú zanedbateľné,
- pri špičkovej metrológii sú významné.



6. Primárna termometria

Moderná metrológia rozvíja metódy priamej realizácie kelvina:

- akustická plynová termometria,
- dielektrická konštantná plynová termometria,
- Johnsonova šumová termometria,
- termometria pomocou Dopplerovho rozšírenia.



Tieto metódy realizujú termodynamickú teplotu a slúžia ako referencia pre porovnania s ITS-90.

7. Význam ITS-90

- zabezpečuje celosvetovú jednotnosť meraní

- umožňuje kalibráciu etalónov

- podporuje priemysel

- zabezpečuje presné vedecké experimenty

- je základom akreditovaných kalibrácií

- zostáva nevyhnutnou súčasťou metrologickej infraštruktúry aj po redefinícii SI.

8. Záver

Aj keď je kelvin od roku 2019 definovaný prostredníctvom Boltzmannovej konštanty, jeho praktická realizácia je stále založená najmä na Medzinárodnej teplotnej stupnici ITS-90. Tá poskytuje vysokú reprodukovateľnosť, nadväznosť a medzinárodnú porovnateľnosť meraní teploty. Súčasný vývoj primárnej termometrie smeruje k čoraz presnejšiemu priamemu určovaniu termodynamickej teploty, avšak ITS-90 zostáva aj naďalej základným praktickým nástrojom metrologických laboratórií po celom svete.

Podakovanie

Príspevok vznikol s podporou projektov KEGA číslo 028STU-4/2026, VEGA číslo 1/0363/26 a ČABELKA CAC-01-26. Autori tiež vyjadrujú poďakovanie Strojníckej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Bratislave za poskytnutú podporu.

Literatúra

- [1] ĎURIŠ, S.; PALEŇČÁR, R.; KNOROVÁ, R. Metrológia teploty. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2013. 165 s. ISBN 978-80-227-4019-7.
- [2] CHUDÝ, V.; PALEŇČÁR, R.; KUREKOVÁ, E.; HALAJ, M. Meranie technických veličín. Vydavateľstvo Bratislava: STU, 1999. 688 s. ISBN 80-227-1275-2.
- [3] KELEMENOVÁ, T.; DOVICA, M. Kalibrácia meradiel. 1. vyd. Košice: TU v Košiciach. Edícia vedeckej a odbornej literatúry, 2016. 232 s. ISBN 978-80-553-3069-3.