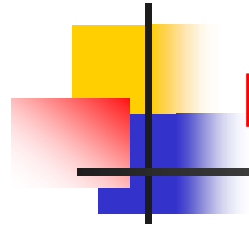


Hőmérsékletmérés

Gerzson Miklós

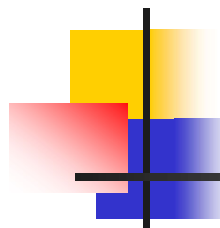
Pannon Egyetem, Villamosmérnöki és Információs
Rendszerek Tanszék

2019/2020 II. félév



Hőmérsékletmérés

- Hőmérséklet – fizikai állapotjelző
abszolút és relatív fogalom
- klasszikus elmélet: elemi mozgások,
hőtermelés, hőmérséklet
- relatív fogalom $\Rightarrow$ relatív skálák



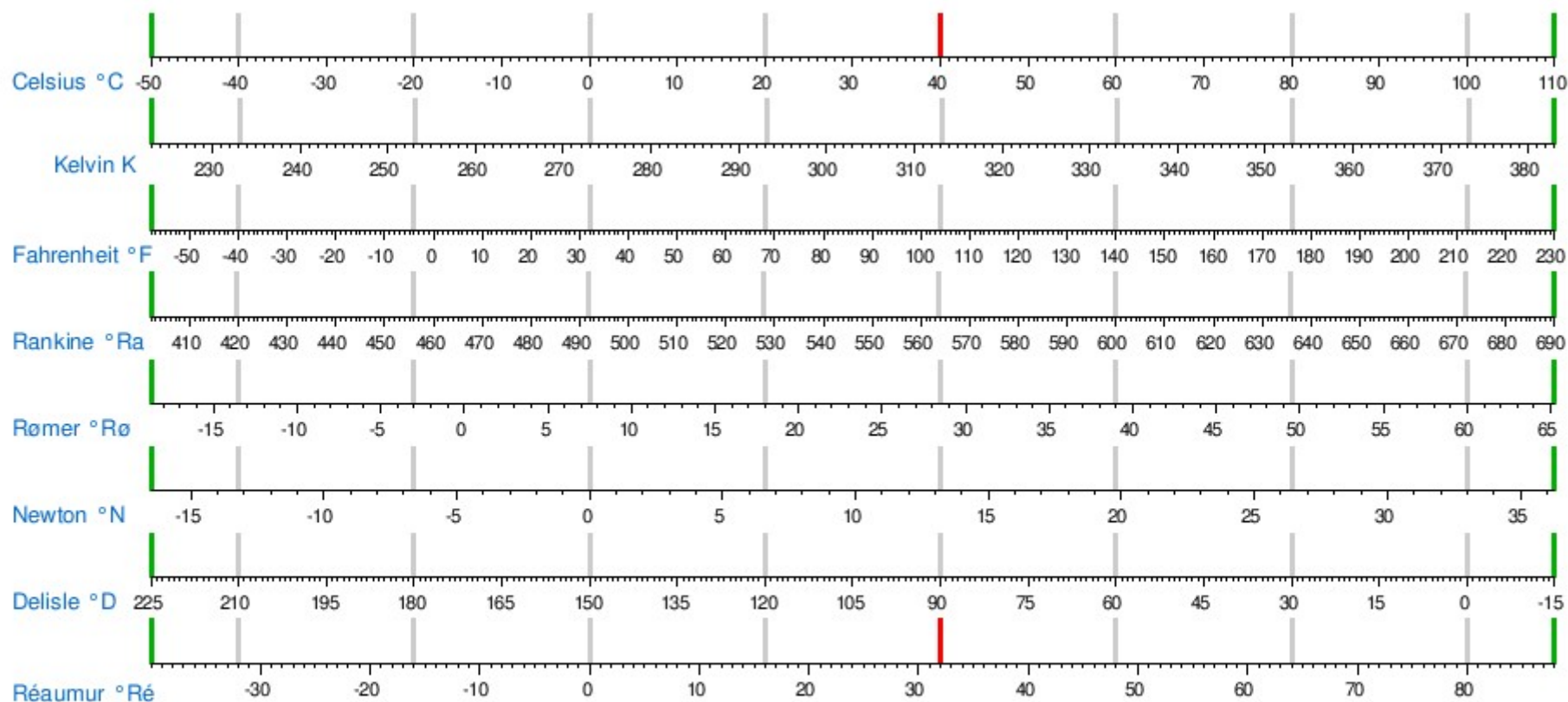
Hőmérsékletmérés

- mérési skálák:
 - Celsius skála (SI)
 - Kelvin skála SI
 - Fahrenheit skála USA
 - Rankine skála ...
- átszámítás
 - $y^{\circ}\text{F} = (9 \cdot x^{\circ}\text{C} / 5) + 32$ $x^{\circ}\text{C} = 5(y^{\circ}\text{F} - 32) / 9$
 - $z\text{K} = y^{\circ}\text{C} + 273.19$

(ahol az $x^{\circ}\text{C}$, $y^{\circ}\text{F}$ és $z\text{K}$ a Celsiusban, Fahrenheitben, illetve Kelvinben megadott érték)

Hőmérsékletmérés

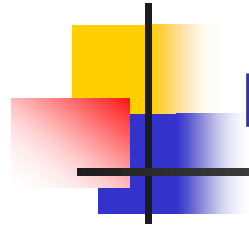
- Hőmérsékleti skálák



$$40\text{ °C} = 313.15\text{ K} = 104\text{ °F} = 563.67\text{ °Ra} = 28.5\text{ °Rø} = 13.2\text{ °N} = 90\text{ °D} = 32\text{ °Ré}$$

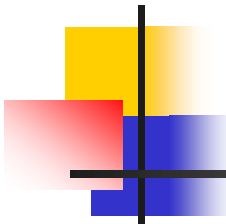
- IPTS-68 skála
 - „hőmérséklet etalonok”
 - 13 alappont, 31 kiegészítő pont
 - H₂ hármaspont 13.81K
 - H₂ forrpont 20.28K
 - víz hármaspont 273.16K abszolút alappont
 - Au olvadáspont 1337.58K
- Mérési tartomány
 - 0 K – több 10^9 K
 - 1-2 K – 15000 K

- hőérzékelő típusok
 - klasszikus hőmérők
 - üvegszáras
 - fémházas
 - bimetálok
 - ellenállás hőmérők
 - termisztorok
 - termoelemek
 - optikai pirométerek
 - ...



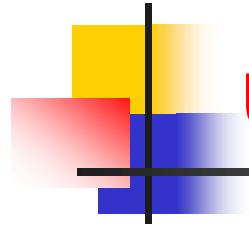
Hőmérsékletmérés

- választási szempontok
 - mérendő hőmérséklet, mérési tartomány
 - alkalmazható mérési elv
 - pontosság
 - ár
 - érzékelő mérete
 - válasz idő, érzékenység, stabilitás, linearitás,...
 - csatolható kiegészítő eszközök
 - környezeti tényezők



Hőmérsékletmérés

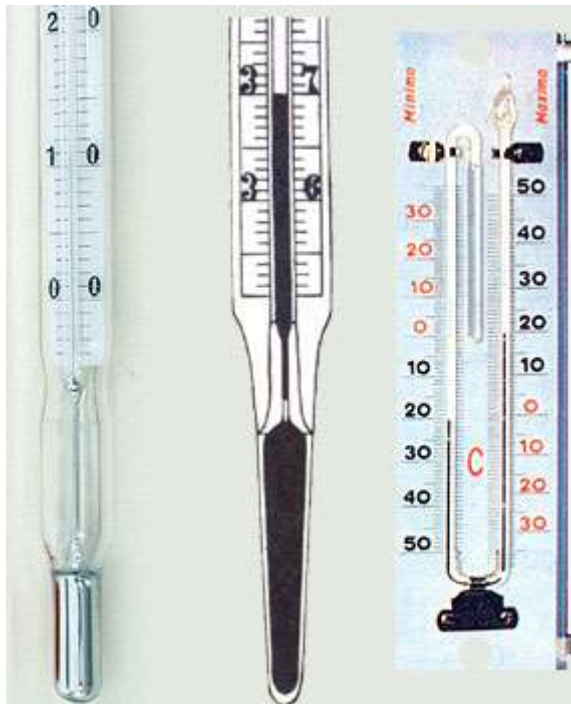
- gyakorlati szempontok
 - hőmérséklet homogenitása
 - lángok hőmérsékletének mérése
 - felület hőmérsékletének mérése
 - vezetékes, átadásos és sugárzásos hőátadás
 - önmelegítés
 - termoelektromos potenciál
 - válaszdő
 - „teljes hőmérséklet”
 - vibráció
 - sugárzás



Üvegszáras hőmérők

- üvegszáras hőmérők
 - mérési elv: folyadékok hőtágulása
 - felépítés
 - alkalmazott folyadékok: Hg, alkohol
 - tartomány: $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $400\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - alkalmazási területek
 - ipar
 - gyógyászat
 - „hétköznapi élet”

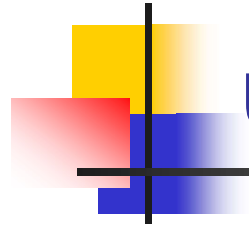
Üvegszáras hőmérők



Üvegszáras hőmérők

- Six-féle maximum-minimum hőmérő
 - baloldali szárban alkohol
 - jobb oldalon vákuum vagy alkohol gőz
 - a higany csak összekötő
 - rugós vagy mágneses jelölők



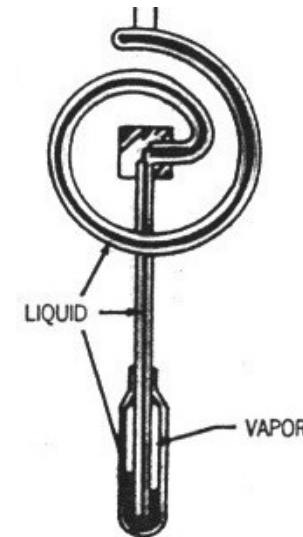


Üvegszáras hőmérők

- előnyök
 - alacsony ár
 - egyszerűség
 - hosszú élettartam
 - hosszú benyúló, „széthúzható” skála
- hátrány
 - leolvasás nehézkessége
 - törékenység
 - nehezen adaptálható irányító, regisztráló rendszerhez

Manometrikus hőmérők

- Fémházas (manometrikus) hőmérők
 - mérési elv: gázok, folyadékok hőtágulása
 - felépítés
 - tartomány: $-100\text{ }^{\circ}\text{C} - 600\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - alkalmazási területek
 - ipar



Manometrikus hőmérők

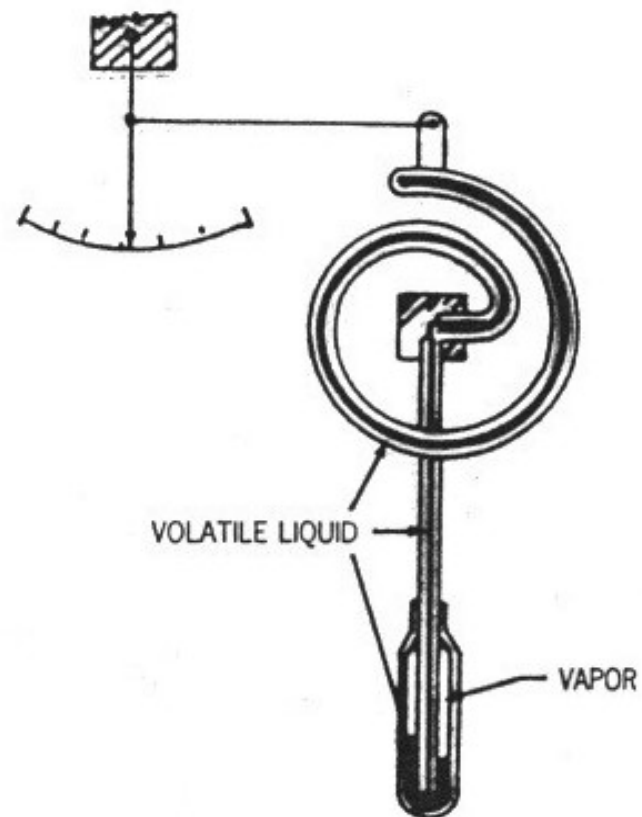


FIG. 4.6h
Class IIA vapor filling.¹

Manometrikus hőmérők

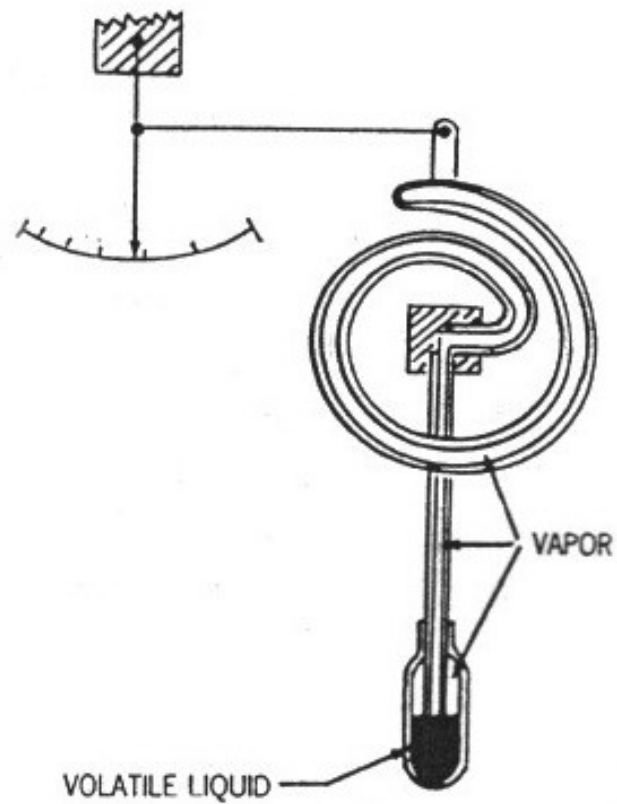


FIG. 4.6I
Class IIB-type vapor filling.¹

Manometrikus hőmérők

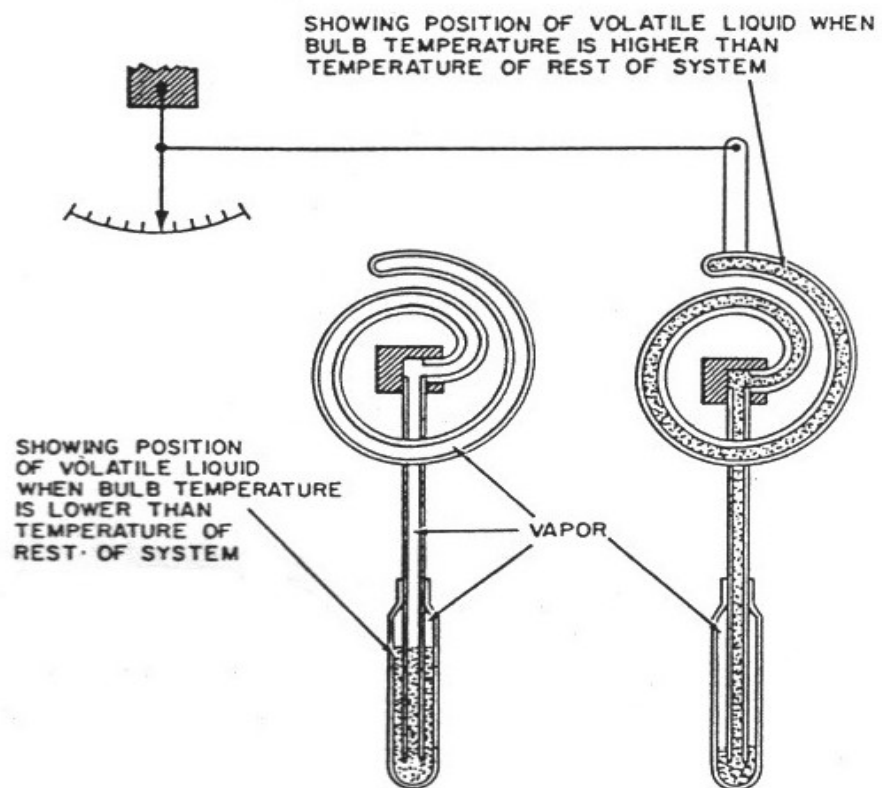


FIG. 4.6j
Class IIC system.

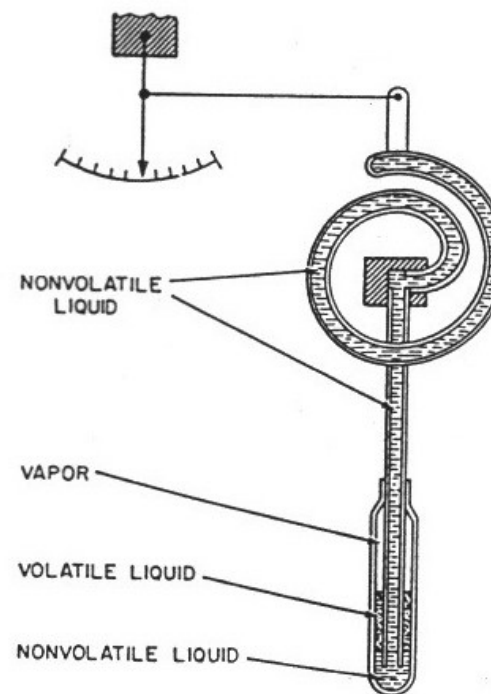
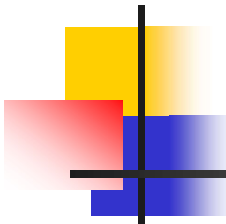


FIG. 4.6k
Class IID system.

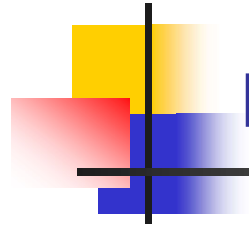
Manometrikus hőmérők





Manometrikus hőmérők

- előnyök
 - alacsony ár
 - egyszerűség
 - robusztus
 - könnyen szerelhető
 - nem kell segédenergia
 - automatizálható

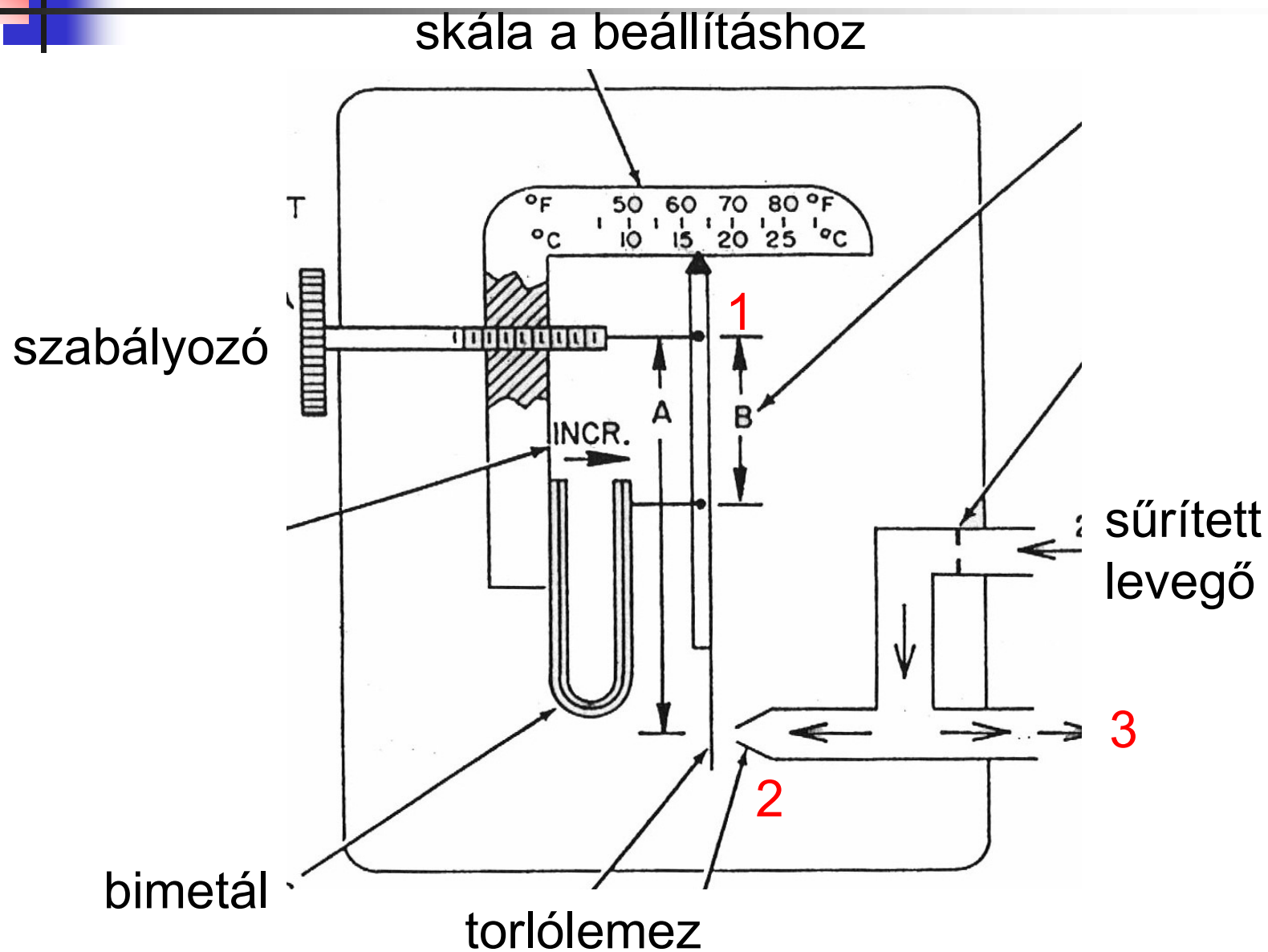


Manometrikus hőmérők

- hátrány
 - helyigény
 - lassú – viszonylag nagy időállandó
 - nem lehet széthúzni a tartományt
 - gyárilag javítható

- Bimetálok
 - mérési elv: fémek eltérő hőtágulása
 - felépítés
 - hossz, hőmérséklet
 - vastagság
 - alkalmazott fémek: invar – Ni-Fe-Cr ötvözet
 - tartomány: $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $450\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - alkalmazási területek
 - ipar
 - közlekedés

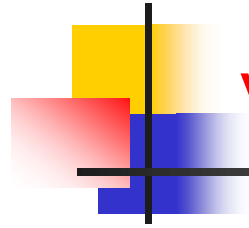
Bimetálok



Bimetálok

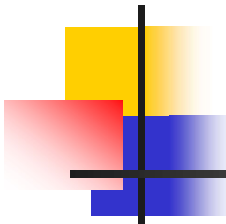


- előnyök
 - üvegszárassal szemben: nem törékeny, könnyebb leolvasni, automatizálhatóság
 - fémházas hőmérővel szemben: olcsóbb
 - villamos hőérzékelőkkel szemben: egyszerűség
- hátrány
 - kalibrálhatósági problémák
 - pontosság
 - hiszterézis



Villamos hőmérsékletmérés

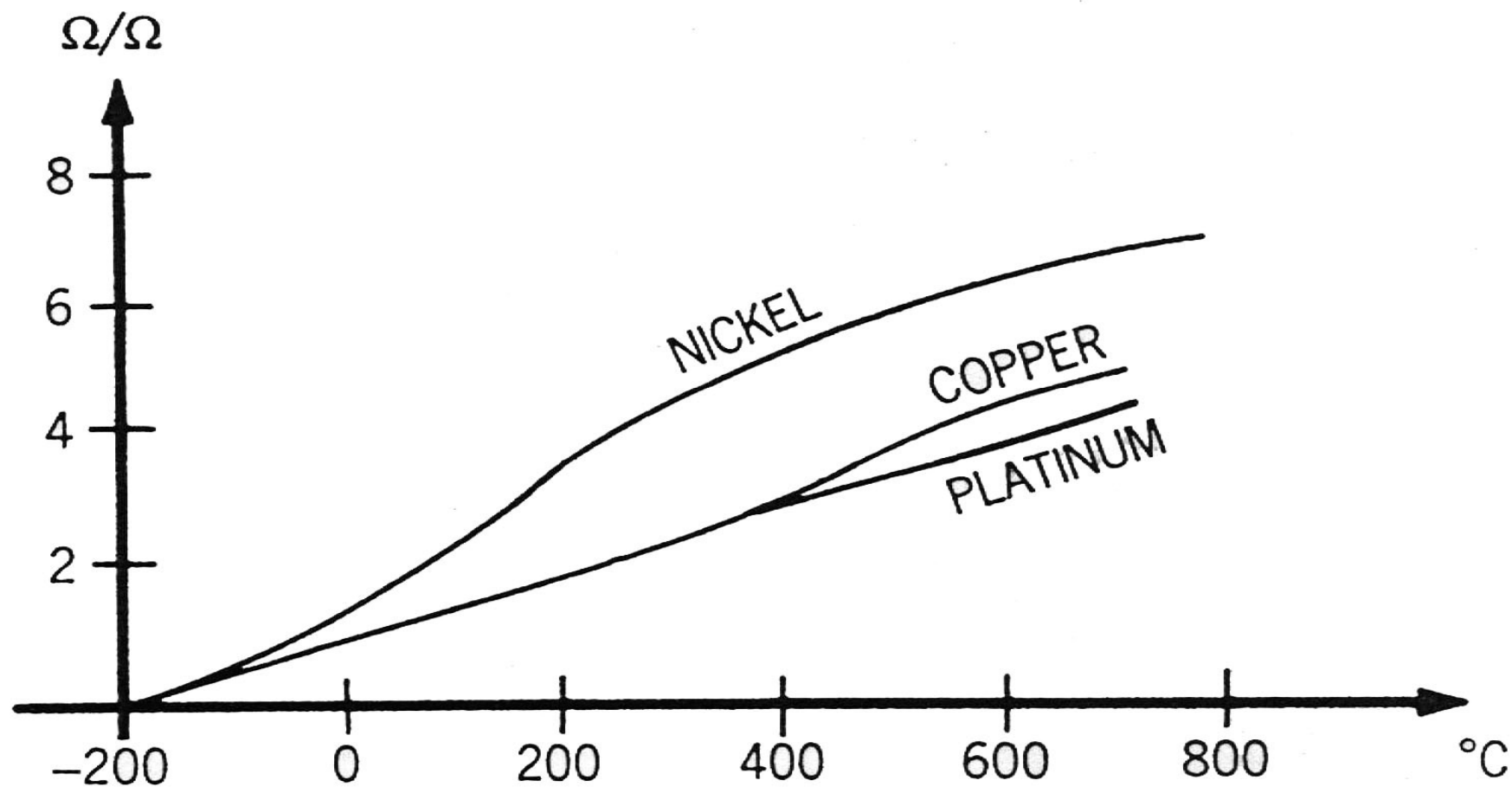
- Villamos hőmérsékletmérés
 - közös jellemzői
 - elektromos áram
 - automatizálhatóság
 - főbb típusai
 - ellenállás hőmérők
 - termisztorok
 - termoelemek

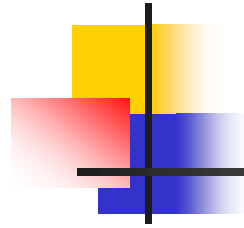


Ellenálláshőmérők

- Ellenálláshőmérők
 - mérési elv: fémek ellenállásának hőmérsékletfüggése (Davy, 1821; Siemens, 1871)
 - felépítés
 - hossz, hőmérséklet
 - alkalmazott fémek: Cu, Ni, Pt
 - tartomány: $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $850\text{ }^{\circ}\text{C}$

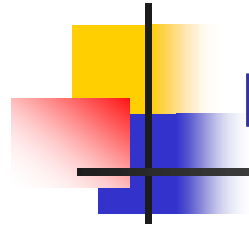
Ellenálláshőmérők





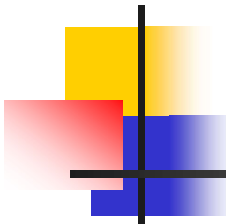
Ellenálláshőmérők

- réz
 - előnyei:
 - gyakoriság, előállíthatóság
 - linearitás
 - hátrányai:
 - alacsony fajlagos ellenállásváltozás
 - csak 100-150 °C-ig
 - korrózió, oxidáció
 - alkalmazás
 - járművek
 - olajtartályok



Ellenálláshőmérők

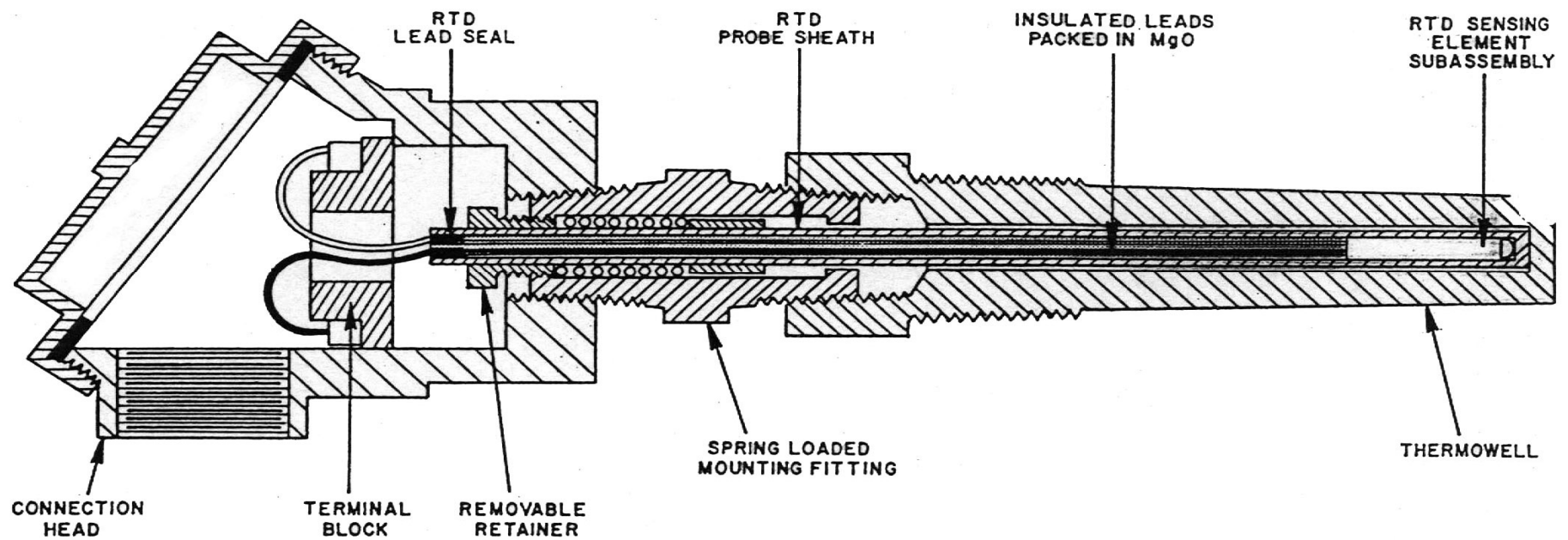
- nikkel
 - előnyei:
 - nagy fajlagos ellenállásváltozás
 - gyakoriság, előállíthatóság - közepes
 - hátrányai:
 - nemlinearitás, csak 300-350 °C-ig
 - alkalmazás
 - viszonylag ritka



Ellenálláshőmérők

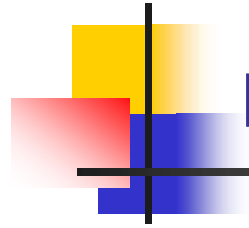
- platina
 - előnyei:
 - stabilitás
 - linearitás
 - kémiai ellenálló képesség
 - magas olvadáspont
 - hátrányai:
 - előfordulás, előállítás $\Rightarrow$ drága
 - alacsony fajlagos ellenállásváltozás
 - relatíve nagy méret
 - nedvesség, törékenység, önmelegítés

Ellenálláshőmérők



Ellenálláshőmérők





Ellenálláshőmérők

- alkalmazás
 - Pt100-as hőérzékelő
 - ikerszálas kivitel
 - mérőhidas kompenzáció, beépítése a fejbe
 - ΔT mérés

- Termisztorok
 - mérési elv: fénoxidok ellenállásának hőmérséklet-függése (Bell Laboratórium) „thermally sensitive resistors”
 - felépítés
 - alkalmazott oxidok: Cu, Ni, Mn, Co, Pb, Zn, Fe, Mg, Ti oxidjai
 - nagy hőmérséklet koefficiens
 - tartomány: $(-240) - 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $320\text{ }^{\circ}\text{C}$

- a hőfok függés erősen nemlineáris:

$$R_T = R_0 \cdot e^{-\frac{b}{T}}$$

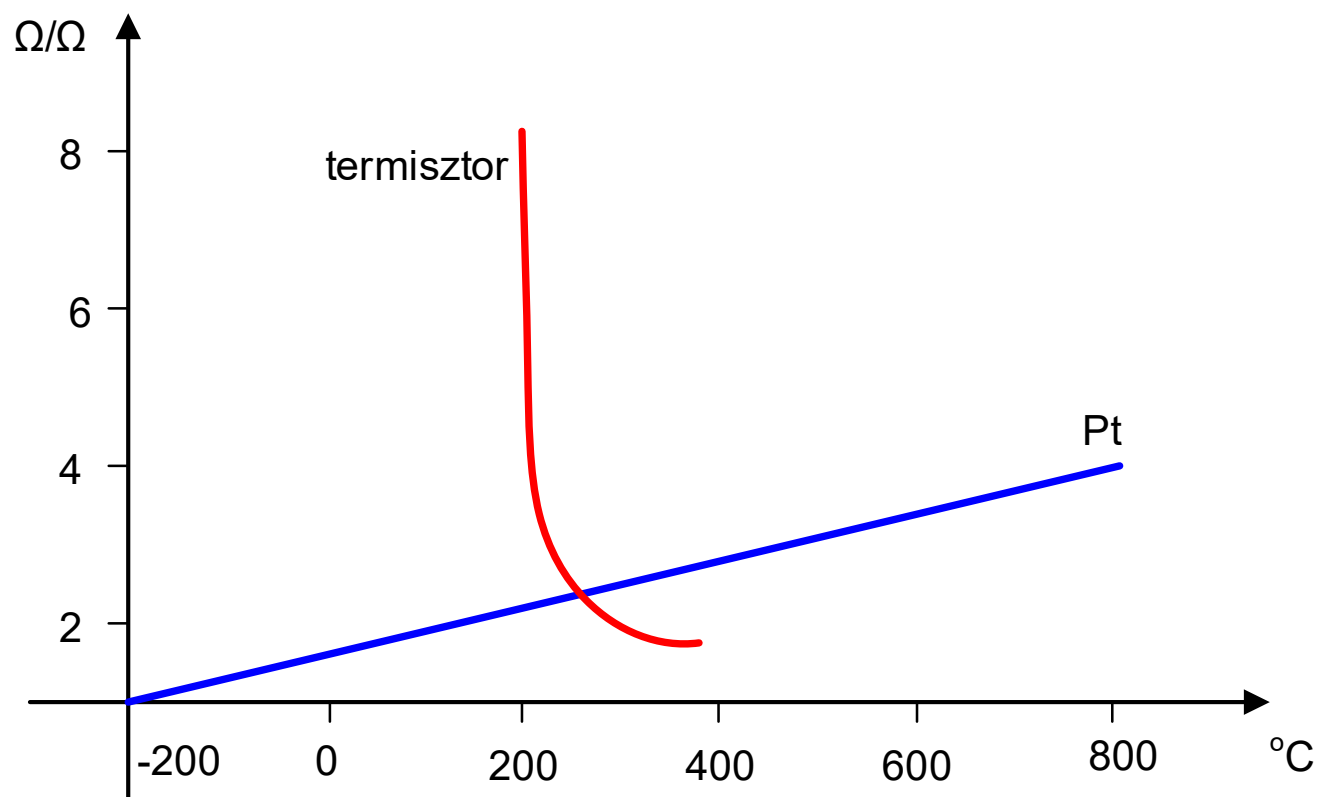
ahol

b – anyagi állandó

R_0 – ellenállás 0°C-on

T – hőmérséklet K-ben

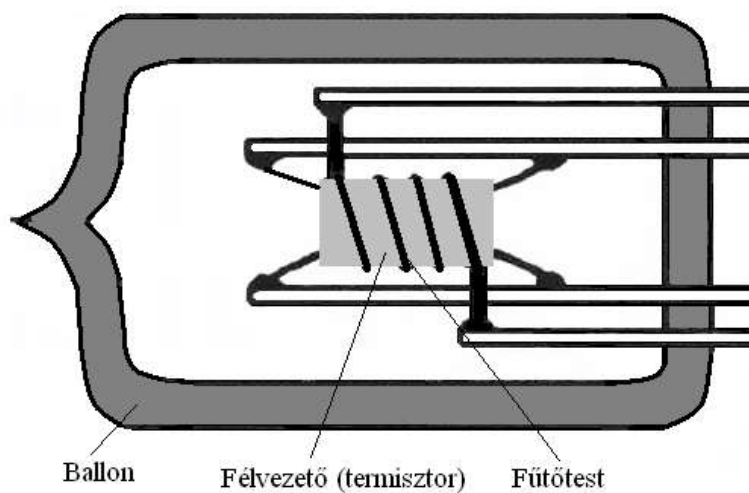
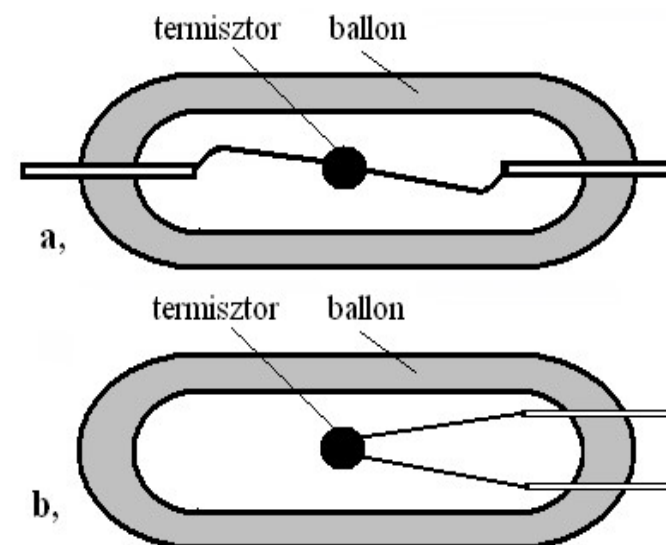
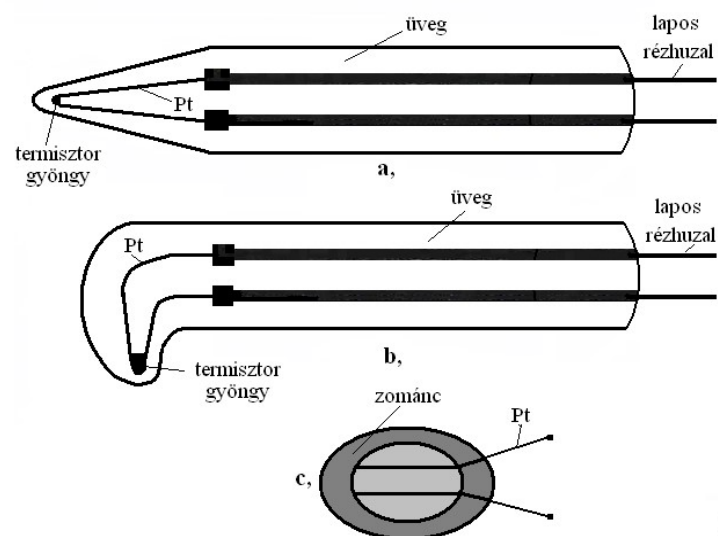
Negatív karakterisztikájú (NTK) termisztor és a Pt ellenálláshőmérő jelleggörbéinek összehasonlítása



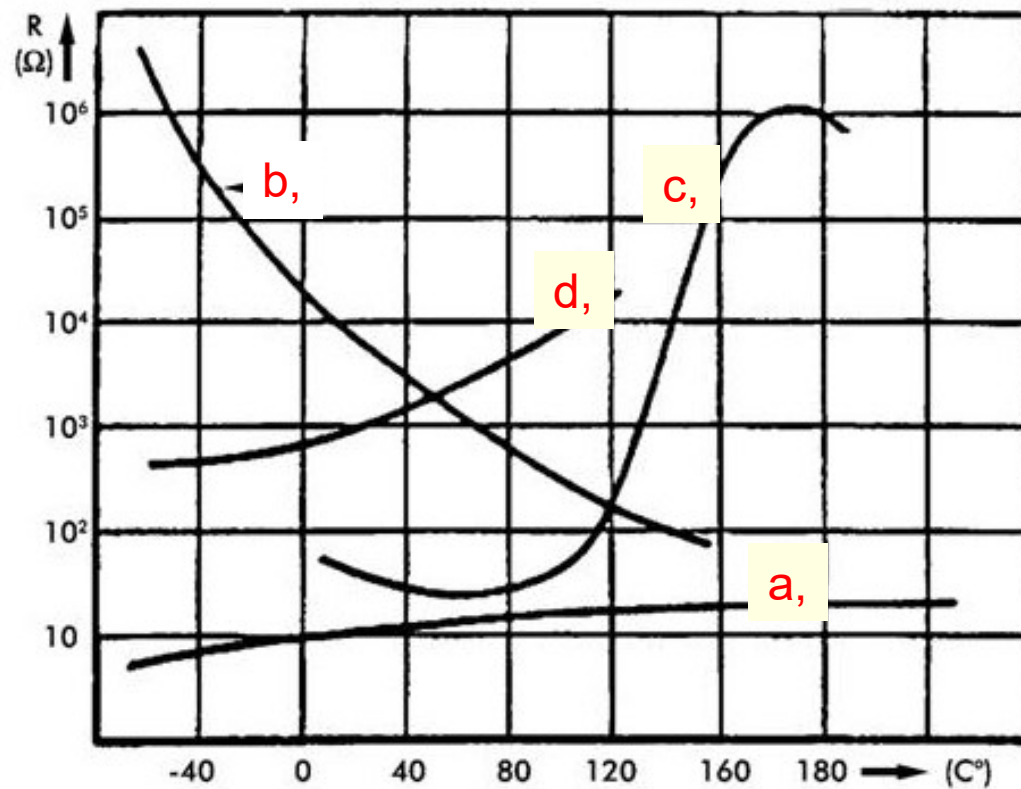
- következmények:
 - kicsi mérési tartomány
 - akár 1°C
 - nagy érzékenység
- alkalmazás
 - hőérzékelés
 - kapcsolóként
 - hőterképezés

Termisztorok

- Termisztorok kialakítása



Termisztorok



a, Pt ellenállás-hőmérő

b, NTK termisztor

c, PTK termisztor

d, terjedési ellenállás alapú Si érzékelő

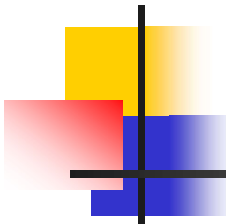
- NTK (negatív hőmérsékleti együtthatójú) termisztorok:
 - fénoxidok keverékéből szintereléssel készülnek;
 - sokféle kiviteli forma;
 - olcsó, nagy tömegű gyártás
 - gyöngytermisztor: gombostűfejnyi nagyságú termisztor (védő üvegcsőben);
 - tárcsatermisztorok: oxidpasztillák (kivezetés, védőlakk burkolat vagy fémszerelvény);
 - rúdtermisztorok (hossza és átmérője változó);
 - morzsatermisztorok ónozott kontaktusfelületű, apró hasáb alakú alkatrészek, (hibrid integrált, és felületen szerelt (SMD) áramkörök).

- További paraméterek:
 - termikus időállandó: hőtehetetlenség jellemzésére
Az időállandó azt az időt jelenti, amely szükséges ahhoz, hogy a termisztor és a környezete közötti hőmérsékletkülönbség a 63,2%-ot elérje.
 - feléledési idő: az az időtartam, amennyi idő ahhoz szükséges, hogy a megengedett maximális terheléssel üzemelő, a környezetével termikus egyensúlyban lévő NTK termisztor kikapcsolása után arra a hőmérsékletre hűljön le, amelyen ellenállásának értéke eléri a szobahőmérsékleten mért ellenállása értékének felét.

- Pozitív hőmérsékleti tényezőjű (PTK) termisztorok
 - alapanyaguk polikristályos báriumtitanát, amelyet kis mennyiségű fémdioxid adalékok (stroncium és titánoxidok) tesznek félvezetővé;
 - működési elve: a ferromágneses anyag Curie-pontja közelében elveszíti mágneses tulajdonságát és paramágnesessé alakul, ez egy bizonyos hőmérséklet tartományban következik be: 30°C – 50°C a felső határ az alsó pedig változó;
 - a PTK termisztorok ellenállása frekvenciafüggő, az impedanciája csökken a frekvencia növekedésével.

- előnyök
 - kis méret
 - szűk mérési tartomány
 - nagyon nagy érzékenység
 - nem kell speciális vezetékezés
 - sok féle forma
 - olcsó
 - stabilitásuk az élettartammal nő

- hátrányok
 - nemlineárisak
 - nem felcserélhetők
 - törékenyek
 - szűk mérési tartomány
 - önmelegítés
 - magasabb hőmérsékleten nem stabilak
(max. 320°C)
 - alsó határ – túl nagy ellenállás

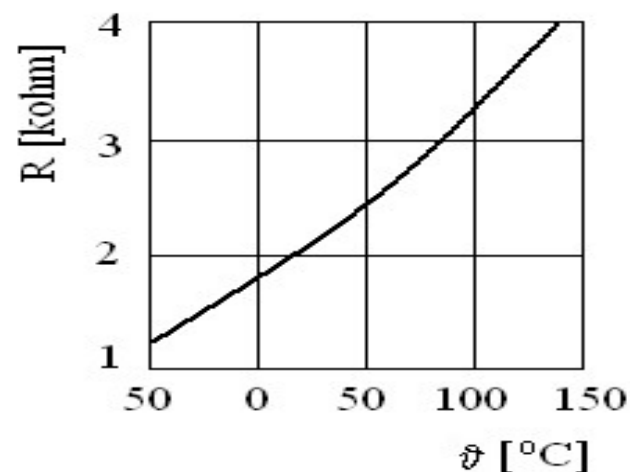
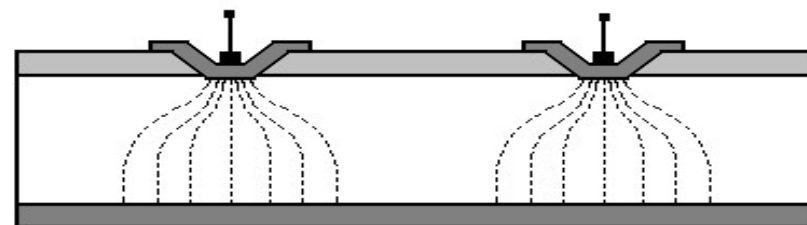
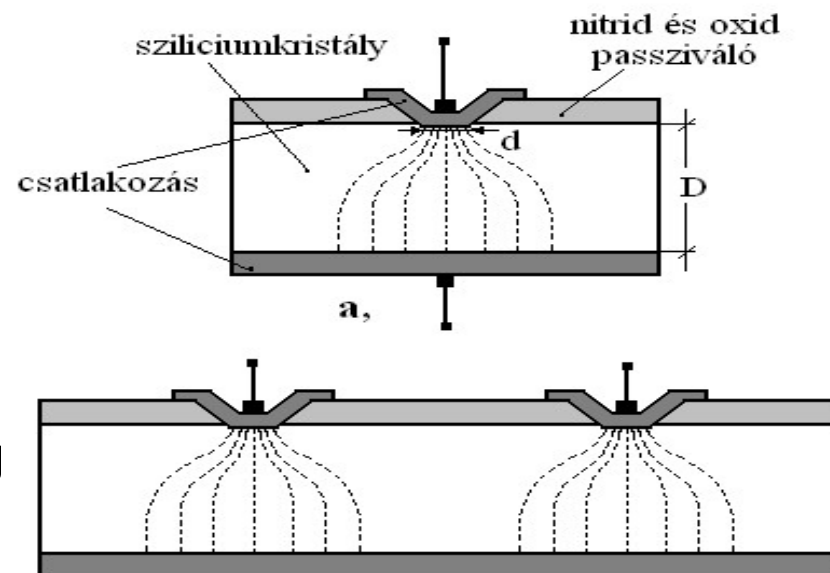


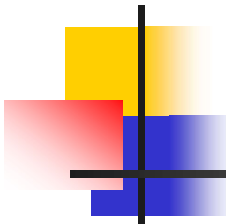
Hőérzékelés szilíciumkristállyal

- A terjedési ellenállás elvén alapuló eszközök
 - működési elve: a szilíciumkristály -50°C – 120°C közötti hőmérséklettartományban a hőmérséklet növekedésével növeli a töltéshordozók megkötöttségét, ami az ellenállás növekedését okozza. Ezt az ellenállást a kristály előlapján elhelyezett hegyes érintkező és a nagy felületen fémmel bevont hátlap között mérik.
 - az elrendezés tulajdonképpen egy kondenzátor, ahol a dielektrikumnak (Si) hőmérsékletfüggő ellenállása van.

Hőérzékelés szilíciumkristállyal

- Ha a hegyes érintkező „d” csúcsátmérője a kristály „D” vastagságához és a fémbevonat felületéhez képest kicsi, akkor az ellenállás értéke csak a fajlagos ellenállástól és a csúcssugártól függ.
- Enyhén görbült jelleggörbével és pozitív hőmérsékleti együtthatóval rendelkezik 150 °C-nál nagyobb hőmérsékleten szabad töltéshordozók képződnek és vezetővé válik.





Hőérzékelés szilíciumkristállyal

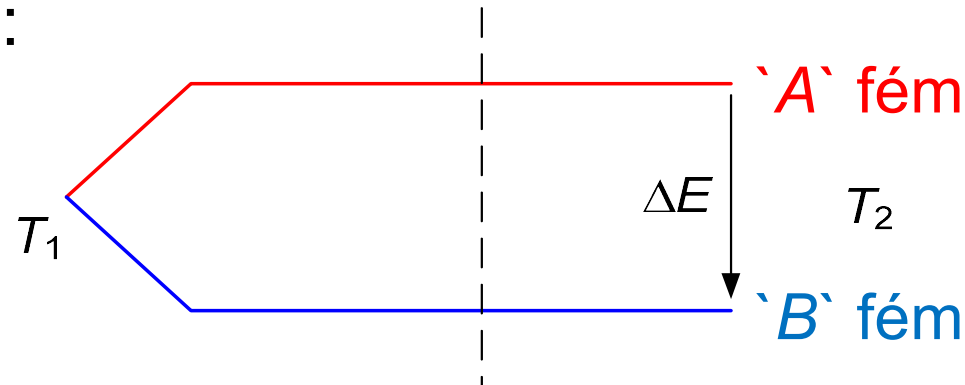
- Nagy előnye a termisztorokkal szemben:
 - hasonló meredekség mellett linearitása lényegesen jobb;
 - olcsóbb;
 - a hozzávezetések helyének megváltoztatásával az ellenállás értéke széles határok között megváltoztatható:

$$R = \frac{\rho}{2d}$$

ahol ρ - lineáris függvény a $-50 \dots +120$ °C tartományban

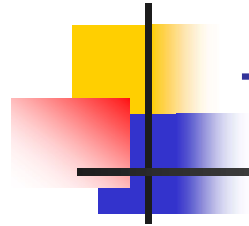
Termoelemek

- Termoelemek
 - mérési elv:



- ha két különböző fémet egyik végén összekötünk, akkor potenciálkülönbség lép fel a nyitott végek között, ha az összekötött végek és a nyitott végek különböző hőmérsékleten vannak
- Seebeck, Peltier, Thomson, Joule, Fourier

- leíró törvények
1. Azonos fémek esetén nincs termoelektromos indukció.
 2. A termoelektromos erő algebrai összege zérus, ha akárhány különböző fémeket kötünk össze, de azok azonos hőmérsékleten vannak.

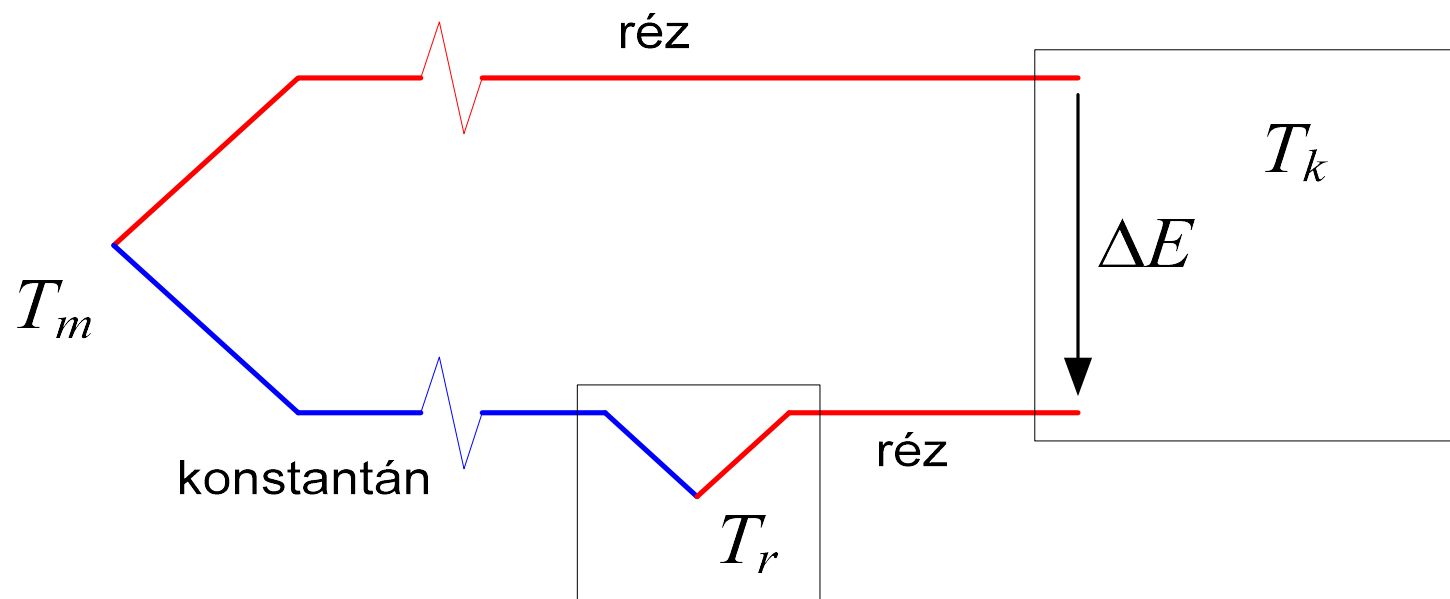


3. Ha két különböző fém esetén

- adott T_1 és T_2 hőmérsékleten E_1 elektromos erő indukálódik
- adott T_2 és T_3 hőmérsékleten E_2 elektromos erő indukálódik
- akkor T_1 és T_3 hőmérsékleten $E_1 + E_2$ nagyságú elektromos erő fog indukálódni

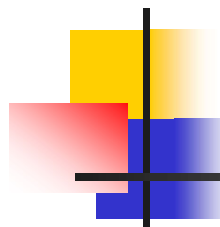
Termoelemek

- felépítés



- alkalmazott párok pl.:
 - Pt-Pt/Rh: 150 °C – 1770 °C (IPTS: 630 °C és 1063 °C)

- Cu-konstantán: oxidáló/redukáló közegekben
- Fe-konstantán: nagyon lineáris, olcsó
- választási szempontok:
 - olvadáspont
 - kémiai inertség
 - termoelektromos erő
 - vezetőképesség
 - homogén anyag előállíthatósága
- tartomány: $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$



Termoelemek

	TYPE E	TYPE J	TYPE K	TYPE R	TYPE S	TYPE T
	Nickel-10% Chromium(+) Versus Constantan(-)	Iron(+) Versus Constantan(-)	Nickel-10% Chromium(+) Versus Nickel-5%(-) (Aluminum Silicon)	Platinum-13% Rhodium(+) Versus Platinum(-)	Platinum-10% Rhodium(+) Versus Platinum(-)	Copper(+) Versus Constantan(-)
	-100°C to 1000°C ± 0.5°C 9th order	0°C to 760°C ± 0.1°C 5th order	0°C to 1370°C ± 0.7°C 8th order	0°C to 1000°C ± 0.5°C 8th order	0°C to 1750°C ± 1°C 9th order	-160°C to 400°C ± 0.5°C 7th order
a ₀	0.104967248	-0.048868252	0.226584602	0.263632917	0.927763167	0.100860910
a ₁	17189.45282	19873.14503	24152.10900	179075.491	169526.5150	25727.94369
a ₂	-282639.0850	-218614.5353	67233.4248	-48840341.37	-31568363.94	-767345.8295
a ₃	12695339.5	11569199.78	2210340.682	1.90002E + 10	8990730663	78025595.81
a ₄	-448703084.6	-264917531.4	-860963914.9	-4.82704E + 12	-1.63565E + 12	-9247486589
a ₅	1.10866E + 10	2018441314	4.83506E + 10	7.62091E + 14	1.88027E + 14	6.97688E + 11
a ₆	-1.76807E + 11		-1.18452E + 12	-7.20026E + 16	-1.37241E + 16	-2.66192E + 13
a ₇	1.71842E + 12		1.38690E + 13	3.71496E + 18	6.17501E + 17	3.94078E + 14
a ₈	-9.19278E + 12		-6.33708E + 13	-8.03104E + 19	-1.56105E + 19	
a ₉	2.06132E + 13				1.69535E + 20	

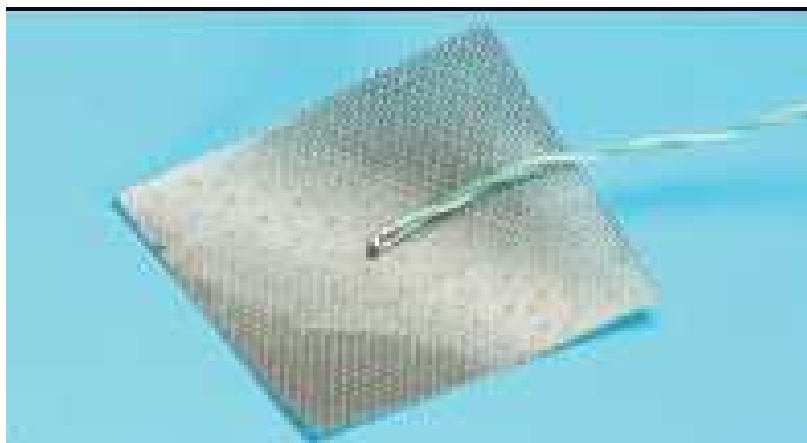
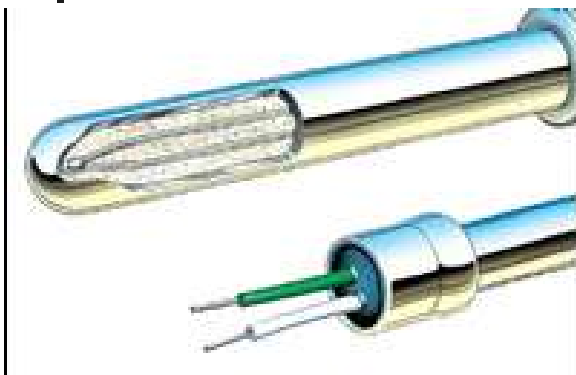
TEMPERATURE CONVERSION EQUATION: $T = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n$

NESTED POLYNOMIAL FORM: $T = a_0 + x(a_1 + x(a_2 + x(a_3 + x(a_4 + a_5 x))))$ (5th order)

where x is in Volts, T is in °C

NBS POLYNOMIAL COEFFICIENTS

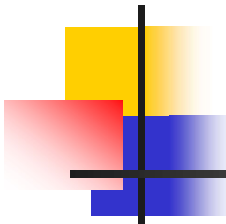
Termoelemek



- előnyök
 - kis méret
 - széles mérési tartomány
 - hajlékony, strapabíró
 - alacsony ár (!)
 - elegendően stabil, pontos, gyors

- hátrányok
 - kimenő jel gyenge és érzékeny a zavarásokra
 - nemlineárisak
 - erősítő kell
 - kalibráció változhat a felületi kontaminációval
 - vezetőképes közegben tokozni kell
 - vezetékek homogenitása – nehezen detektálható hiba

- ellenálláshőmérők:
pontosság, stabilitás
- termisztorok:
érzékenység
- termoelemek:
gazdaságosság, magas hőmérséklet



Optikai pirometria

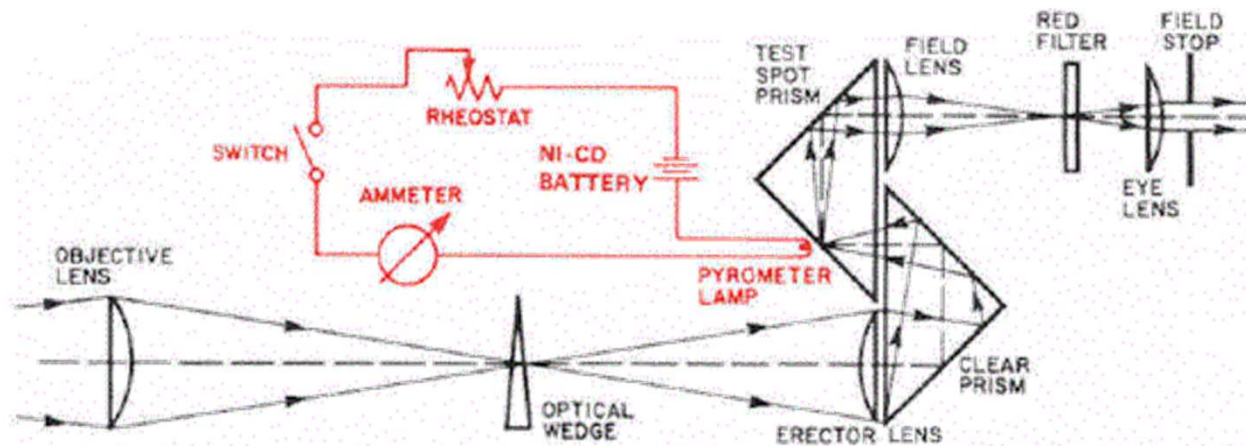
- Sugárzás alapú mérés – optikai pirometria
 - mérési elv (Kirchoff, Wien, Planck)
minden test hősugarakat bocsájt ki magából,
amelyek hullámhossza függ a test hőmérsékletétől;
látható fény tartományban a megfigyelő addig
változtatja az ellenőrző lámpa beleolvad a háttérbe,
és ennek alapján lehet a vizsgált közeg
hőmérsékletét meghatározni;
léteznek infravörös tartományban vagy
színképelemzés elvén működő eszközök is

Optikai pirometria

- PYRO cég készüléke



Optical Sensor Radiation Pyrometer
Rugged Lightweight Portable
Six Models Available
Accuracy $\pm 0.5\%$ of Reading
Single Double & Triple Temperature Ranges
1420°F - 5800°F (770°C - 3200°C)
Target Sizes to 0.055" (1.4mm), Small Target
Target Distance 12" to Infinity
Ni-Cad Rechargeable Battery



helyes



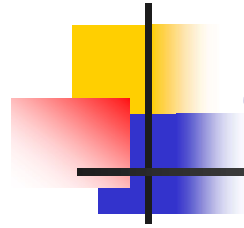
magas



alacsony

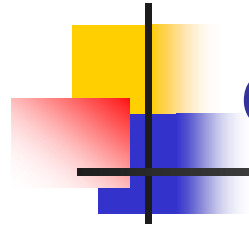
Optikai pirometria





Optikai pirometria

- előnyök
 - nem érintkezik közvetlenül a mérendő tárggyal
 - gyors válaszüldő (akár mozgó tárgy is mérhető)
 - kis méretű tárgyakat is lehet mérni (pl. Ø1,5mm)
 - felületnél átlaghőmérséklet meghatározás
 - széles mérési tartomány
 - hordozható/telepíthető



Optikai pirometria

- hátrányok
 - törékeny
 - drága
 - sugárzást elnyelő anyagok (pl. füst, por, pára) torzítják a mérést
 - nemlinearitás
 - nagy mérési tartomány...