6. HŐMÉRSÉKLETMÉRÉS

A mérés célja: ismerkedés a villamos elven működő kontakthőmérőkkel; exponenciális folyamat időállandójának meghatározása.

Előismeretek: ellenállás hőmérsékletfüggése; ellenállás és feszültség mérése; érzékenység.

Hőmérséklet; hőmérők

A hőmérséklet a testek egyik állapothatározója. A hőmérséklet a test olyan sajátossága, ami meghatározza, hogy a test termikus egyensúlyban van-e más testekkel. Ezen alapszik a hőmérsékletmérés technikai kivitele.
A test hőmérséklete a testek egyéb állapothatározóinak valamilyen függvénye. Hőmérséklet mérésekor kiválasztunk egy testet –azt hőmérőnek nevezzük–; és kiválasztjuk ennek egy mérhető sajátosságát (pl. térfogat), és kölcsönösen egyértelmű megfeleltetést hozunk létre a sajátosság és a hőmérséklet értékei között.
A hőmérséklet mérési utasításának meghatározása három önkényes tényezőt tartalmaz:
- a hőmérőként használt test,
- a hőmérséklet méréséhez felhasznált sajátosság,
- a hőmérsékleti skála.

Egy jó hőmérőnek a hőkapacitása és a tehetetlensége kicsi, és jól reprodukálható.

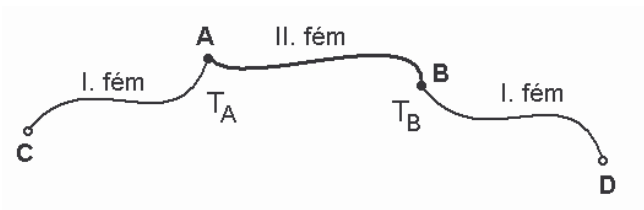
Az egyes hőmérőket a következőképpen csoportosíthatjuk:
a.) a mérendő testtel közvetlen érintkezésbe nem kerülő hőmérők;
b.) a mérendő testtel közvetlen érintkezésbe kerülő hőmérők (kontakthőmérők),
ezek 1.) mechanikus vagy 2.) villamos elven működnek.

a.) <u>A mérendő testtel közvetlenül nem érintkező hőmérők</u>.
Pirométerek: A testből emittált hőmérsékleti sugárzás hőmérsékletfüggésén alapuló hőmérők.

b/1.) <u>Mechanikus elven működő kontakthőmérők</u>
b/1/1.) *Fémrudas hőmérő*. Egy fémrúd lineáris hőtágulását használja fel.
b/1/2.) *Bimetál*. Két összeerősített, különböző hőtágulású fémrétegből áll. A hőmérsékletváltozás hatására a (gyakran spirális alakú) rendszerben hajlítófeszültség keletkezik, ezt a feszültséget használjuk hőmérsékletmérésre.
b/1/3.) *Folyadéktöltésű üveghőmérők*. A folyadékok (etanol, higany, pentán) térfogati hőtágulásán alapulnak. Ilyenek például a belső-skálás hőmérő, a bothőmérő (utóbbinál a skálát kívülről karcolják az üvegre), a hőmérsékletváltozások nagy pontosságú (0,001 K) mérésére használható Beckmann-hőmérő, valamint az elektromos berendezések (laboratóriumi termosztátok) vezérlésére használatos higanyos kontakthőmérő.
b/1/4.) *Folyadéknyomásos rugós hőmérő*. Egy merülőcsőből, összekötő vezetékből, és egy rugalmas fém érzékelőtartályból (Bourdon-cső) áll. Az egész rendszer folyadékkal van töltve. Növekvő hőmérsékletnél nő a folyadék nyomása, s ezt a nyomásváltozást használjuk fel.
b/1/5.) *Gőznyomásos hőmérő*. Hasonló az előző típushoz, de nincs teljesen megtöltve folyadékkal. Itt a folyadék fölötti telített gőz nyomásának hőmérsékletfüggését használjuk fel.
b/1/6.) *Gázhőmérő*. A tökéletes gáz állapotegyenlete szerint a konstans térfogatú gáz nyomása arányos a termodinamikai hőmérséklettel. A héliumtöltésű gázhőmérők jól megközelítik ezt a viselkedést.

b/2.) <u>Villamos elven működő kontakthőmérők</u>

b/2/1.) ***Termoelemek***. Ha két különböző fémet fémesen összeérintkeztetünk, akkor a két fém között elektromos potenciálkülönbség (*kontaktpotenciál*) lép fel. E kontaktpotenciálok összege zárt vezetőhurokban zérus, amennyiben a csatlakozási pontok azonos hőmérsékletűek. Ha viszont a csatlakozási pontok között hőmérsékletkülönbség van, akkor a körben (általában egy nem zérus) *termoelektromotoros erő* lép fel.
Tekintsük az 1. ábrán lévő elrendezést:



1. ábra. A termoelem sémája

A két különböző (I. és II.) fém két pontban (**A, B**) csatlakozik egymáshoz. A **C** és **D** szakadási pontok között mérhető feszültség a *termofeszültség*. Ha a **C** és **D** között zárjuk a kört, termoáram lép fel. A termofeszültség (ε) függ a két fém anyagi minőségétől és függ a csatlakozási pontok hőmérsékletétől:

$$\varepsilon = f\,(T_A, T_B) \qquad (1)$$

Ez a függvény olyan, hogy $T_A = T_B$ esetén $\varepsilon = 0$. Ha ez nem így lenne, akkor a termoelem alkalmas volna egy egyetlen hőtartályos hőerőgép létrehozására, ami azonban a termodinamika II. főtétele szerint lehetetlen.

Első közelítésben az f lineáris függvény, ε arányos a hőmérsékletkülönbséggel:

$$\boxed{\varepsilon = a\,T_{AB}\,, \qquad \text{ahol} \quad T_{AB} = T_A - T_B.} \qquad (2)$$

A második közelítés esetén az f függvény T_{AB}-ben kvadratikus tagot is tartalmaz:

$$\varepsilon = a\,T_{AB} + b\,(T_{AB})^2 \qquad (3)$$

A sorfejtés együtthatói természetesen függenek a T_B referenciahőmérséklettől.
Rendszerint már a (2) lineáris alak is elég széles hőmérséklet-tartományban igen jó közelítést ad.

A termoelemek érzékenységét a

$$W = \left.\frac{\partial\,\varepsilon}{\partial\,T_{AB}}\right|_{T_A} \qquad (4)$$

kifejezéssel definiáljuk. Az érzékenység az előbb mondottak szerint széles tartományban független a hőmérséklettől. Látható, hogy az érzékenység a (2) lineáris alak esetén:

$$\boxed{W = a} \qquad (5)$$

A termoelemek tehetetlensége kicsi.
Az 1. ábrán lévő elrendezés egy leegyszerűsített, de lényegileg helyes képe a valóságos termoelemeknek. A valóságos termoelemekben rendszerint egy harmadik fém is van az áramkörben (pl. a mérőműszerben). Ha azonban ennek a vezetődarabnak a csatlakozási pontjai azonos hőmérsékletűek, akkor a járulékos kontaktpotenciálok semlegesítik egymást. Ugyanezen okok miatt a termofeszültség változatlan marad, ha a fémes érintkezést hegesztés helyett forrasztással hozzuk létre.

b/2/2.) ***Ellenálláshőmérők***. Az elektromos ellenállás függ a hőmérséklettől. Az ellenállás hőmérsékleti koefficiense, β, egy arányossági tényező a relatív ellenállásváltozás és a hőmérsékletváltozás között:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \beta\,(T - T_0)\,. \qquad (5)$$

Átrendezve, ha T_0 hőmérsékleten R_0 az ellenállás, akkor T hőmérsékleten:

$$\boxed{R = R_0 + \Delta R = R_0\,(\,1 + \beta\,(T - T_0)\,)} \qquad (6)$$

Az (5) arányosság persze csak közelítés: β valójában nem független a hőmérséklettől. Ilyenkor is beszélhetünk viszont egy hőfoktartományon belül érvényes közepes β-ról.
Az ellenálláshőmérők fémből vagy félvezetőből készülnek.
A fém ellenálláshőmérők anyaga rendszerint Ni- vagy Pt-huzal. Szabvány szerint az ellenállásuk 0 °C-on 100 Ω. Tehetetlenségük viszonylag nagy.
Félvezetőből készített ellenálláshőmérő (*termisztor*) esetén az ellenállás nemlineáris függvénye a hőmérsékletnek, azaz a (6) összefüggés ekkor jóval szűkebb tartományban érvényes, mint a fémeknél. Egy adott hőmérsékleten ekkor is definiálhatjuk az ellenálláshőmérő érzékenységét differenciálisan:

$$\beta = \frac{1}{R}\frac{dR}{dT} \qquad (5a)$$

A termisztorok érzékenysége sokkal nagyobb, tehetetlenségük sokkal kisebb, mint a fém ellenálláshőmérőké.

A hőmérők tehetetlensége

A hőmérők mindig a saját hőmérsékletüket mérik. Amikor hőmérőt helyezünk egy rendszerbe, aminek a hőmérsékletét mérni szeretnénk, akkor egyrészt ezzel magát a rendszert is megzavarjuk, annak tulajdonságait, hőmérsékletét is megváltoztatjuk, mert a hőmérő más hőmérsékletű, mint a rendszer; másrészt a hőmérőnek –tehetetlenségénél fogva– időre van szüksége ahhoz, hogy felvegye a rendszer hőmérsékletét. Mindkét folyamat vizsgálatához a hőmérő és a rendszer hőkapacitását kell figyelembe vennünk.

A test *hőkapacitásának* az egységnyi hőmérsékletváltozáshoz szükséges hőmennyiséget nevezzük:

$$C = \Delta Q / \Delta T \qquad (7)$$

Mivel a hőcsere mértéke függ a folyamat jellegétől, ezért különböző folyamatokra a hőkapacitás értéke különböző lehet: gázoknál például ezért beszélünk izochor, izobár, vagy egyéb kitüntetett folyamattípusokra vonatkozó hőkapacitásról.

Homogén test hőkapacitása arányos a test tömegével, m-mel:

$$C = c\,m\,, \qquad (8)$$

ahol c az anyag *fajhője*. A fajhő függ a hőmérséklettől.

A hőmérőnek használt test hőkapacitásának kicsinek kell lennie a rendszer hőkapacitásához képest, hogy a mérendő hőmérsékletű rendszer állapota, hőmérséklete kevéssé változzon. A hőmérő kis hőkapacitása azért is kívánatos, mert ez teszi lehetővé, hogy minél hamarabb a kívánt mértékben megközelítse a hőmérő hőmérséklete a rendszer hőmérsékletét. Ezt röviden úgy is kifejezhetjük, hogy az a kívánatos, minél kisebb legyen a hőmérő *tehetetlensége*. A hőmérő tehetetlenségét az *időállandóval* ill. *felezési idővel* jellemezhetjük.

Vizsgáljuk a következő hőátadási folyamatot: Legyen a térben két -egymáshoz közel lévő- T_1 , ill. T_2 hőmérsékletű felület, amelyek közötti teret valamilyen közeg tölti ki. Ekkor a közegben a hőáramsűrűség, J_q (az egységnyi felületen átment hőmennyiség) közelítőleg arányos a $\Delta T = T_2 - T_1$ különbséggel:

$$J_q = \alpha \cdot \Delta T \qquad (9)$$

Az α együtthatót *hőátadási tényezőnek* nevezzük.

Ezen összefüggés alkalmazásával határozzuk meg, hogyan változik a (hőmérőként használt) test hőmérséklete az idővel, ha hidegebb (vagy melegebb) közegbe kerül. A probléma megoldása egyszerű, ha teszünk néhány egyszerűsítő feltételt:

- a test hőkapacitása (C) legyen a folyamat közben állandó;
- a test hőmérséklete a folyamat közben *időben* változik (T(t)),
  de a test egészére legyen azonos, *ne függjön a helytől*;
- a közeg hőmérséklete (T_k) legyen a folyamat közben állandó érték;
- a test és a közeg közötti hőátadási tényező (α) legyen a folyamat közben állandó.

Ilyen feltételek mellett a (testből kifelé áramló) hőáram, I_q (a test teljes felületén átment hőmennyiség) (7) alapján:

$$I_q = \frac{dQ}{dt} = -C\frac{dT}{dt}\,,$$

másrészt a hőáram kifejezhető a test „A” felületével és a J_q hőáramsűrűséggel is (9) alapján:

$$I_q = J_q A = \alpha A (T - T_k)\,,$$

ahol T a test (hőmérő) hőmérséklete, T_k a közeg (rendszer) hőmérséklete. A fentiekből kapjuk a

$$C \cdot \frac{dT}{dt} = -\alpha A (T - T_k) \quad \text{differenciálegyenletet,} \qquad (10)$$

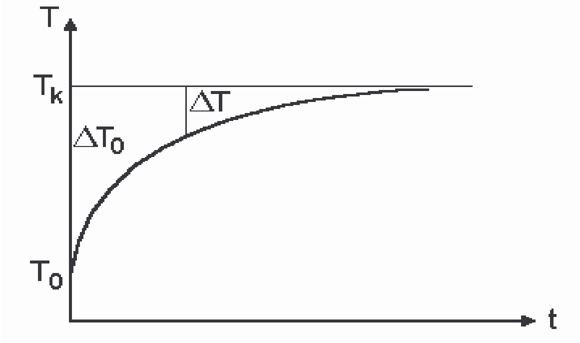
melynek általános megoldása:

$$\boxed{\mathbf{T(t) - T_k = \left(T(0) - T_k\right) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}}}, \qquad \text{ahol} \quad \tau = \frac{C}{\alpha A} \qquad (11)$$

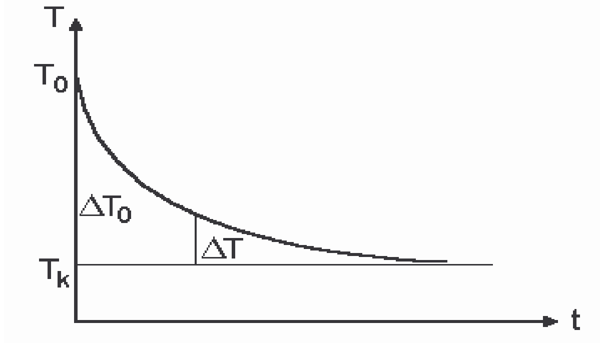
Ez a **Newton-féle hőátadási törvény**.

(11)-ből látható, hogy a hőmérsékletkülönbség exponenciálisan csökken, és a $t \to \infty$ határesetben eltűnik:

$$\lim_{t\to\infty} T(t) = T_k$$



Felmelegedési görbe



Lehűlési görbe

A hőmérséklet-kiegyenlítődés sebességének jellemzője a τ **időállandó**. Az időállandó az az időtartam, mely alatt a test és környezete közötti hőmérséklet*különbség* a kezdetinek "e"-ed részére csökken:

$$T(\tau) - T_k = (T(0) - T_k) / e.$$

Az időállandó (más néven karakterisztikus idő) annál nagyobb, minél nagyobb a test hőkapacitása (a tömeg és a fajhő szorzata), minél kisebb a hőcserénél szóbajöhető felület és a hőátadási tényező.
Szokásos τ helyett a $t_{1/2}$ *felezési időt* is használni, mely alatt a test és környezete közötti hőmérséklet-különbség az eredeti felére csökken. Ezzel a (11) egyenlet

$$T(t) - T_k = (T(0) - T_k) \cdot 2^{-t / t_{1/2}} \qquad (13)$$

alakba írható. Belátható, hogy a felezési idő és az időállandó közötti összefüggés

$$t_{1/2} = \tau \cdot \ln (2) \qquad (12)$$

Hasonlóképpen definiálható harmadolási, stb. idő is.

1. Ellenállás-hőmérő tehetetlenségének mérése

Eszközök:

- Pt ellenállás-hőmérő,
- termosztált hőmérsékletű kerámiacső hőmérséklet-szabályozóval,
- univerzális műszer ellenállásmérésre,
- edény jeges vízzel,
- stopperóra.

A méréshez használt termosztát egy 24 V-os egyenirányított tápfeszültségről működtetett, házilag összeállított berendezés, ami egy szűk cső belsejében termosztálja a hőmérsékletet. A termosztált hőmérséklet értéke egy potenciométerrel szabályozható.

Feladat:

A mérés kezdetén a termosztátok hőmérsékletét (T_2) az oktató már beállította, és az ellenálláshőmérők is felvették a termosztát hőmérsékletét.
A mérést párokban végzik a hallgatók. Az adatokat a mérésvezető által kiosztott táblázatba kell írni.

- Először mérjük meg az ellenálláshőmérő ellenállását a termosztátban az univerzális műszerrel.
- Ezután vegyük fel az ellenálláshőmérő lehűlési görbéjét a következő módon: Tegyük át az ellenálláshőmérőt a jeges vizes edénybe (T_1), és ugyanebben a pillanatban indítsuk el a stoppert. Kezdetben 5 s-os, majd 10 s-os, majd egyre hosszabb időközönként mérjük meg az ellenállást (R(t)), mindaddig, míg az ellenállás értéke már gyakorlatilag nem változik.
  A T_1 viszonyítási hőmérsékletnek állandónak kell lennie a lehűlési görbe felvétele során; ügyeljünk arra, hogy elég jég legyen az edényben, és időnként keverjük meg!

- A lehűlési görbe felvétele után tegyük vissza az ellenálláshőmérőt a fűtött kerámiacsőbe (előtte a hőmérőt töröljük szárazra), és mérjük most meg a felmelegedési görbét.

Kiértékelés:
1. Számoljuk ki a mért ellenállás-értékekből (R(t)) a hőmérsékleteket (T(t)):
A (6) képlet szerint

$R(t) = R_0 (1 + \beta (T(t) - T_0))$, ahol $\beta = 0{,}00386$ 1/°C,
$T_0 = 0$ °C, és
R_0 a jeges vízben mért ellenállás.

2. Grafikonon ábrázoljuk a mért felmelegedési és lehűlési görbét, azaz az idő függvényében az ellenálláshőmérő hőmérsékletét!

3. Határozzuk meg a hőmérő időállandóját:
Először számoljuk ki a ΔT hőfokkülönbségeket:
– a lehűlési görbénél $\Delta T = T(t) - T_1$, T_1 a jeges víz hőmérséklete, vagyis $T_1 = 0$ °C;
– a felmelegedési görbénél $\Delta T = T_2 - T(t)$, T_2 a termosztát hőmérséklete (a mért ellenállásból tudjuk);
– ΔT_0 a kiindulási ΔT érték, vagyis $\Delta T_0 = T_2 - T_1$.
A (11) képlet átalakításával látható, hogy $\ln |\Delta T|$ az időnek lineáris függvénye:

$$\ln |\Delta T| = \ln |\Delta T_0| - t/\tau \, .$$

Ábrázoljuk $\ln |\Delta T|$-t az idő függvényében! A számítás lerövidítése céljából ehhez a grafikonhoz csak a táblázatban megjelölt 5 –célszerűen kiválasztott– mérési pontot használjuk fel.
A grafikon pontjaihoz illesszünk egyenest a legkisebb négyzetek módszerével, és ebből számítsuk ki a hőmérő τ időállandóját, felmelegedésre és lehűlésre is!
Megjegyzés: mivel az ellenálláshőmérő hőmérséklete és ellenállása lineárisan függenek egymástól, az időállandó számítható közvetlenül a mért ellenállásokból is.

2. Termoelem érzékenységének mérése

Eszközök:
- vas-konstantán ill. nikkel-krómnikkel termoelem,
- termosztált hőmérsékletű kerámiacső hőmérséklet-szabályozóval,
- univerzális műszer feszültségmérésre,
- edény jeges vízzel.

Feladat:
A termoelem melegpontját tegyük a termosztátba, a hidegpontot a jeges vízbe. Négy különböző hőmérsékleten –a négy termosztátban– mérjük meg a termofeszültséget (ε) az univerzális műszerrel.

Kiértékelés:
Készítsünk táblázatot: ε, $\Delta T = T - T_h$!
T_h a hidegpont hőmérséklete (jeges víz, 0 °C)
T a termosztátok hőmérséklete (az ellenálláshőmérővel mért értékekből számolva az előző feladatban)
Ábrázoljuk ε-t ΔT függvényében! (kalibrációs görbe)
Illesszünk egyenest a négy mérési ponthoz lineáris regresszióval és határozzuk meg a termoelem érzékenységét! (Vigyázzunk az illesztésnél, a tengelymetszet zérus!)
Szorgalmi feladat:
- Becsüljük meg a mérési hibákat és jelöljük be a grafikonba is!
- Illesszünk parabolát a mérési pontokhoz a legkisebb négyzetek módszerével, és határozzuk meg a termoelem érzékenységét 20 °C-nál!

Kérdések, gyakorló feladatok:

Igaz-e, hogy*
- ha egy hőmérőt 20 ºC-os szobahőmérsékletről 100 ºC-os vízbe rakunk, akkor hamarabb éri el a 40 ºC-ot, mint akkor, ha ugyanazt a hőmérőt 80 ºC-os vízbe raknánk?
- ha egy hőmérőt 20 ºC-os szobahőmérsékletről 100 ºC-os vízbe rakunk, akkor hamarabb éri el a 60 ºC-ot, mint ahogy elérné az 50 ºC-ot, ha 80 ºC-os vízbe raknánk?
- egy hőmérő gyorsabban melegszik, ha forró (100 ºC-os) vízbe tesszük, mint ha annak (szintén 100 ºC-os) gőzébe?
- lehűlési görbe felvételekor ellenálláshőmérővel negatív ellenállásokat mérünk?
- az időállandó az az idő, amikor az adott hőmérő leolvasási pontosságával elérjük a mérendő hőmérsékletet?
- az időállandó az az idő, ami alatt a hőmérő hőmérséklete az e-ed részére csökken?
- a felezési idő kétszer akkora, mint a negyedelési idő?
- ha egy termoelem hidegpontja 0 ºC-os jeges vízben van és a 23 ºC-os (szobahőmérsékletű) melegpontját betesszük a hidegpont mellé a vízbe, a termofeszültség zérushoz fog tartani?
- termoelem feszültsége soha nem lehet negatív?

**A válaszokhoz indoklást is kérünk!*

1. Mennyi idő alatt éri el a 22,2 ºC-os higanyos lázmérő a beteg 39,2 ºC-os hőmérsékletét 0,1 ºC pontossággal, ha időállandója τ = 90 s?
2. Jeges vízből forrásban lévő vízbe tesszük a hőmérőnket. Fél perc múlva 50 ºC-ot mutat. Mennyit mutat újabb fél perc múlva?
3. Ellenálláshőmérő ellenállása 20 ºC-on 108,0 Ω, 25 ºC-on 110,0 Ω.
Mennyi az ellenállása 45 ºC-on?
4. Termoelem hidegpontja jeges vízben van, meleg pontja a 23 ºC-os szobában. A mért termofeszültség ekkor 0,92 mV. Áttesszük a melegpontot egy 160 ºC-os termosztátba.
Lehetséges-e, hogy 3 perc múlva 9,20 mV-ot mérünk?
5. Egy lábasban 20 ºC-os tejet 220 ºC-os főzőlapra téve akarunk felforralni. A tejet folyamatosan keverjük, hogy ki ne fusson. A tej 1 perc múlva 43,5 ºC-os. Mennyi idő alatt forr fel?
6. Egy ellenálláshőmérő ellenállását 0,1 Ω pontossággal tudjuk megmérni. Ismeretlen hőmérsékletű termosztátban 128,8 Ω-ot mérünk. Mennyi a termosztát hőmérséklete, és mekkora hibával tudjuk azt meghatározni, ha az ellenállás-hőmérő ellenállása 0 ºC-on R_0 = 100,0 Ω és a hőmérsékleti koefficiens α = 0,0036 1/ºC ? (R_0 hibája elhanyagolható)
7. Forrásban lévő vízből jeges vízbe tesszük a hőmérőnket. 25 s múlva 80 ºC-ot mutat.
a) Mennyi a hőmérő időállandója?
b) Mikor mutat a hőmérő 40 ºC-ot?

Megoldott feladatok:

1. Dolgozatírás lesz és Petike nagyon lázasnak érzi magát. Anyukája odaadja neki a szobahőmérsékletű, 25 °C-os hőmérőt, de nagyon siet, és már 3 perc múlva megnézi. A lázmérő ekkor 37,0 °C-ot mutat. –"Ez csak hőemelkedés"– mondja, és már küldené is Petit az iskolába. Petike viszont tudja, hogy a lázmérő 1,5 perc időállandóval mér, megbecsüli, mennyi a láza és kiszámítja, meddig kell várni, míg a lázmérő a 0,1 °C leolvasási hibán belül már a valóságos hőmérsékletét mutatja. Ezt elmagyarázza anyukájának és végülis nem kell iskolába mennie.
a) Mennyire lázas Petike?
b) Mennyi idő múlva mutatja a lázmérő Petike valóságos hőmérsékletét a 0,1 °C leolvasási hibán belül?

Megoldás:

a) Legyen Petike hőmérséklete T_P, és írjuk fel a Newton-törvényt:

$$T_P - 37 = (T_P - 25) \cdot e^{-\frac{3}{1,5}}, \quad \text{ebből } T_P = 38,9\ °C.$$

b) $$0,1 = (38,9 - 25) \cdot e^{-\frac{t}{1,5}}, \quad t = 7,4 \text{ perc}.$$

2. Egy állandó T_k hőmérsékletű közegben lehűlő test hőmérséklete a

t_0 időpillanatban $T_0 = 77$ °C,

$t_1 = t_0 + \Delta t$ időpillanatban $T_1 = 65$ °C,

$t_2 = t_0 + 2\Delta t$ időpillanatban $T_2 = 62$ °C.

Mennyi T_k, és mennyi a hőmérő felezési ideje?

Megoldás:

$$T_1 - T_k = (T_0 - T_k) \cdot 2^{-\frac{\Delta t}{t_{1/2}}} \quad \text{és} \quad T_2 - T_k = (T_0 - T_k) \cdot 2^{-\frac{2\Delta t}{t_{1/2}}}.$$

Mivel $2^{-\frac{2\Delta t}{t_{1/2}}} = \left(2^{-\frac{\Delta t}{t_{1/2}}}\right)^2$, ezért $\frac{T_2 - T_k}{T_0 - T_k} = \left(\frac{T_1 - T_k}{T_0 - T_k}\right)^2$, vagyis $(T_0 - T_k) \cdot (T_2 - T_k) = (T_1 - T_k)^2 \Rightarrow$

$T_k = 61$ °C, $t_{1/2} = \Delta t / 2$.

3. Egy hőmérő ötödölési ideje $t_{1/5} = 3$ s, $t = t_0$ -ban $T_0 = 75$ °C-ot, $t_1 = (t_0 + 3)$ s-ban $T_1 = 95$ °C-ot mutat. Mennyi T_k, a környezet hőmérséklete?

Megoldás: A Newton-féle lehűlési törvényt felírva

$$T_1 - T_k = (T_0 - T_k) \cdot 5^{-\frac{t_1 - t_0}{t_{1/5}}}, \quad \text{behelyettesítve}$$

$$95 - T_k = (75 - T_k) \cdot 5^{-\frac{3}{3}}, \quad \text{amiből} \qquad T_k = 100\ °C.$$