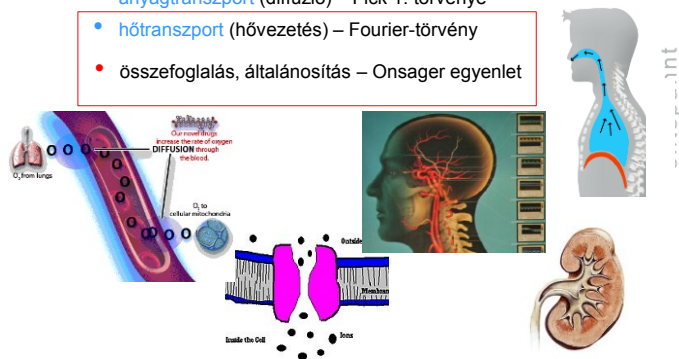


1

Transzportfolyamatok

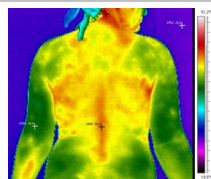
- térfogattranszport (áramlás) – Hagen–Poiseuille-törvény
- (elektromos) töltéstranszport (elektr. áram) – Ohm-törvény
- anyagtranszport (diffúzió) – Fick 1. törvénye
- hőtranszport (hővezetés) – Fourier-törvény
- összefoglalás, általánosítás – Onsager egyenlet



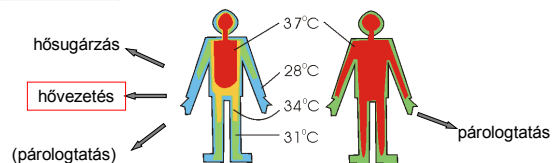
3

Az emberi test hőleadása

tevékenység	hő keletkezési ráta (W)
nyugalom	115
lassú séta	260
kerékpározás (15 km/h)	420
lépcsőzés (2/s)	700
futás (15 km/h)	1150

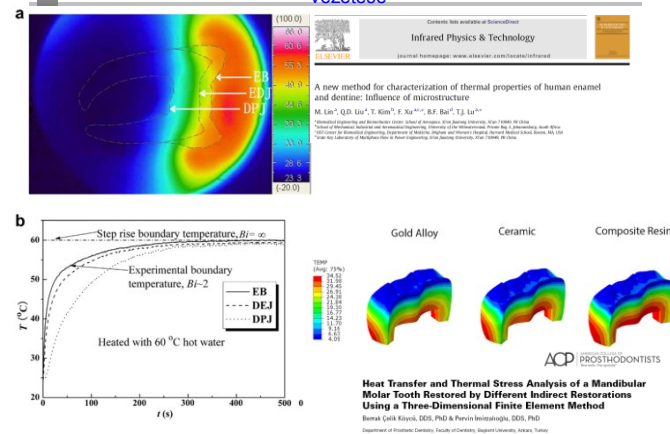


környezeti hőmérséklet
20°C → 35°C



2

Fogszövetek és fogászati anyagok hővezetése és hőmérséklet-vezetése



4

Hővezetés

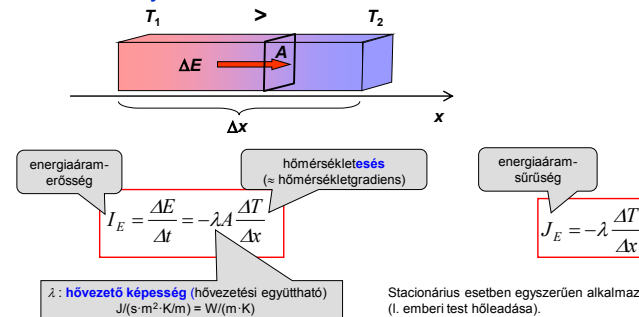
J. B. J. Fourier
1768-1830
matematikus fizikus



energiaáram-erősség (I_E): $I_E = \frac{\Delta E}{\Delta t}$ (J/s)

energiaáram-sűrűség (J_E): $J_E = \frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t}$ (J/(m²s) = W/m²)

Fourier-törvény:



5

Hővezető képesség (hővezetési együttható)

A hővezetés mechanizmusa:

- részecskék ütközése (minden anyagban lehetséges)
- szabad elektronok haladó mozgása révén (csak fémekben)

anyag	λ (W/(m·K))
ezüst	420
üveg	1
víz	0,6
fogzománc	0,9
dentin	0,6
izomszövet	0,4
bőr	0,25
zsírszövet	0,2
levegő	0,025

A hővezető képesség függ:

- a halmazállapottól – szilárd fázisban a legnagyobb, folyadék fázisban kisebb, gázfázisban a legkisebb
- a sűrűségtől
- kis mértékben a hőmérséklettől

6

Hőleadási lehetőségek összefoglalása

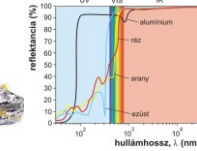
tevékenység	hő keletkezési ráta (W)
nyugalom	115

Hőmérsékleti sugárzás

$$\Delta P = \sigma \cdot (T_{\text{test}}^4 - T_{\text{környezet}}^4) \cdot A$$

$$T_{\text{test}} = 28^\circ\text{C} \quad T_{\text{környezet}} = 22^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta P = 65 \text{ W}$$

$$T_{\text{környezet}} = 0^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta P = 270 \text{ W} !$$



Hővezetés

$$P = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$T_{\text{test}} = 28^\circ\text{C} \quad T_{\text{környezet}} = 22^\circ\text{C} \Rightarrow P = 27 \text{ W}$$

- levegő ↔ víz !
- áramlás (szél!)



Párolgotatás

- a víz nagy fajlagos párolgási hője ($\approx 2400 \text{ kJ/kg } 30^\circ\text{C-nál}$) !!
- párolgotatás: állandóan $\approx 50 \text{ ml/h} \Rightarrow \approx 35 \text{ W}$
szélsőséges körülmények között $\approx 1600 \text{ ml/h} \Rightarrow \approx 1000 \text{ W} !!$
- áramlás (szél!)



7

Hővezetési együttható ↔ hőmérséklet-vezetési együttható

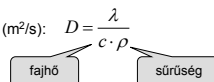
Nemstacionárius körülmények között:



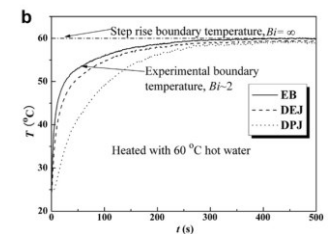
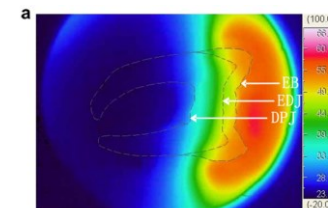
A késleltetés (csillapítás) oka: a közbelső szövetek felmelegítéséhez energia kell (energiát nyelnek el), így kevesebb energiát visznek át a pulpára. (Az energiaelnyelő képesség az egységnyi térfogatú szövet hőkapacitásától függ.)

Amikor a közbelső szövetek már felmelegedtek, termikus egyensúly áll be, a transzport stacionáriussá válik.

Hőmérséklet-vezetési együttható (hődiffúzitás) (m^2/s): $D = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$



8



Transzportfolyamatok összefoglalása

	Mi áramlik?	Erőssége?	Mi hajtja az áramlást?	Összefüggés?	
töltés-transzport	q	$J_q = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$	φ	$-\frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$	$J_q = -\sigma \frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$
térfogat-transzport	V	$J_V = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$	p	$-\frac{\Delta p}{\Delta l}$	$J_V = -\frac{r^2}{8\eta} \frac{\Delta p}{\Delta l}$
anyag-transzport	ν	$J_\nu = \frac{\Delta \nu}{A \cdot \Delta t}$	c	$-\frac{\Delta c}{\Delta x}$	$J_\nu = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$
hő-transzport	E	$J_E = \frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t}$	T	$-\frac{\Delta T}{\Delta x}$	$J_E = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$
általános	x_{ext}	$J = \frac{\Delta x_{\text{ext}}}{A \cdot \Delta t}$	y_{int}	$X = -\frac{\Delta y_{\text{int}}}{\Delta x}$	$J = LX$
	extenzív mennyiség	áram- sűrűség	intenzív mennyiség	termodinamikai erő	Onsager- összefüggés

Extenzív mennyiség: additív, transzportálódó mennyiség.

Intenzív mennyiség: nem-additív, kiegyenlítő mennyiség.

Egyensúly: nincs transzportfolyamat.

Termodinamika 0. főtétele: egy rendszer akkor és csak akkor van egyensúlyban, ha az intenzív mennyiségek térbeli eloszlása homogén.

Intenzív mennyiségek térbeli eloszlása inhomogén \Rightarrow transzportfolyamat

Transzportfolyamat erőssége és iránya:

$$J = LX$$

Onsager-féle összefüggés



Folyamat iránya: homogén eloszlás \Rightarrow irreverzibilitás!

a termodinamika 2. főtétele