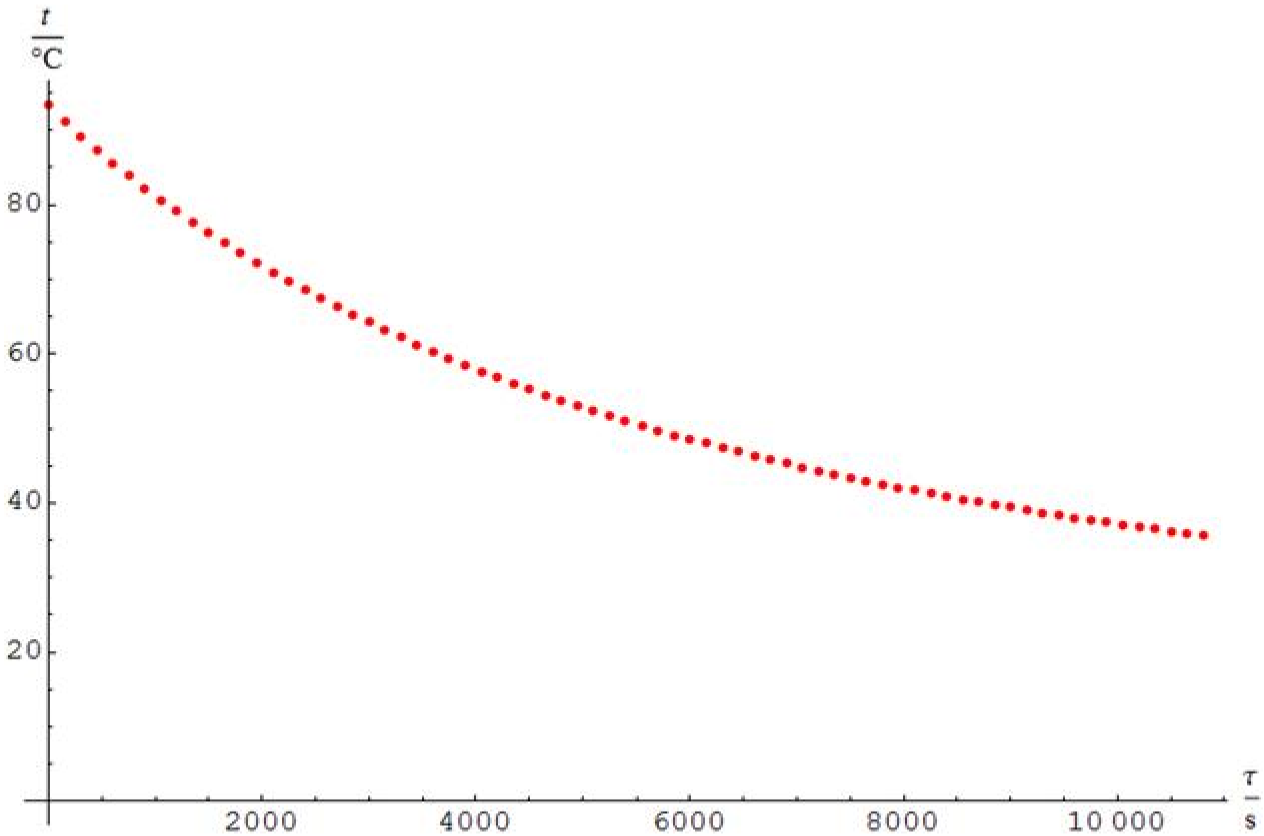
Chladnutí kávy

Téměř každodenním problémem, který člověk ráno řeší, je, za jak dlouho může vypít čerstvě zalitou kávu, aniž by se spálil. Tento problém je spojen s vedením tepla z kávy do okolního prostředí. Během tohoto děje se vyrovnávají teploty kávy a okolí; káva má tedy po vychladnutí stejnou teplotu, jako je teplota okolí (okolního vzduchu).

V dalším textu budeme předpokládat, že se teplota okolního vzduchu, ve kterém se káva nachází, nemění. Změna teploty vzduchu je totiž vzhledem ke změně teploty kávy zanedbatelná: vzduchu je totiž v okolí výrazně více, než je kávy v hrnečku nebo skleničce. Kdybychom změnu teploty vzduchu uvažovali, pak by se tato teplota velmi nepatrně zvýšila vzhledem k počátečnímu stavu.

Předpokládejme, že počáteční teplota kávy je t_0, její okamžitá teplota v daném čase τ je t a teplota okolí je t_{ok}. Pokles teploty kávy v závislosti na čase má exponenciální průběh (viz obr. 7). Tento průběh lze zjistit přímým měřením teploty kávy v pravidelných časových intervalech a následným vynesením naměřených hodnot do grafu. Exponenciální průběh lze ale také odhadnout na základě jisté zkušenosti se zkoumáním fyzikálních dějů.



Obr. 7

Teplo ΔQ, které odevzdá káva za dobu $\Delta\tau$ do okolí, můžeme psát ve tvaru

$$\Delta Q = -k \cdot (t - t_{ok}) \cdot \Delta\tau\,, \tag{1}$$

kde k je koeficient výměny tepla mezi kávou a okolím.

Při srovnání vztahu (1) se vztahem popisujícím vedení tepla obecně je zřejmé, že koeficient k

závisí na obsahu plochy, kterou teplo přechází do okolí, na tloušťce stěny, kterou teplo přechází, a na součiniteli tepelné vodivosti materiálu nádoby, v níž je káva nalita. Zavedením jediného koeficientu *k* situaci zjednodušíme: bude možné popisovat jedním vztahem přenos tepla z kávy její hladinou i stěnami nádoby, v níž je káva nalita.

Při odevzdání tepla ΔQ do okolí, změní káva o hmotnosti *m* a měrné tepelné kapacitě *c* svojí teplotu o Δt, přičemž platí:

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta t \,. \tag{2}$$

Porovnáním vztahů (1) a (2) získáme vztah

$$-k \cdot \left(t - t_{\text{ok}}\right) \cdot \Delta\tau = m \cdot c \cdot \Delta t \,, \tag{3}$$

ze kterého je možné získat závislost okamžité teploty kávy na čase. Přitom můžeme postupovat dvojím způsobem:

1. přesným výpočtem;
2. numerickým řešením pomocí vhodného software (tabulkový kalkulátor nebo sofistikovanější matematické programy).

Zatím uvedený model pro nalezení časové závislosti poklesu teploty kávy je zjednodušený. Nevzali jsme totiž v úvahu další fyzikální jevy, které chladnutí kávy mohou ovlivnit: vedení tepla z kávy do hrnku, ve kterém je nalita, vypařování vody z povrchu chladnoucí kávy, sálání kávy do okolí, sálání tepla z okolí do kávy, vedení tepla z hrnku do okolí, sálání tepla z hrnku do okolí, sálání tepla z okolí do hrnku, ... Tyto jevy mohou způsobit pomalejší nebo rychlejší chladnutí kávy, ale dominantní vliv mít nebudou.

::subtree::
