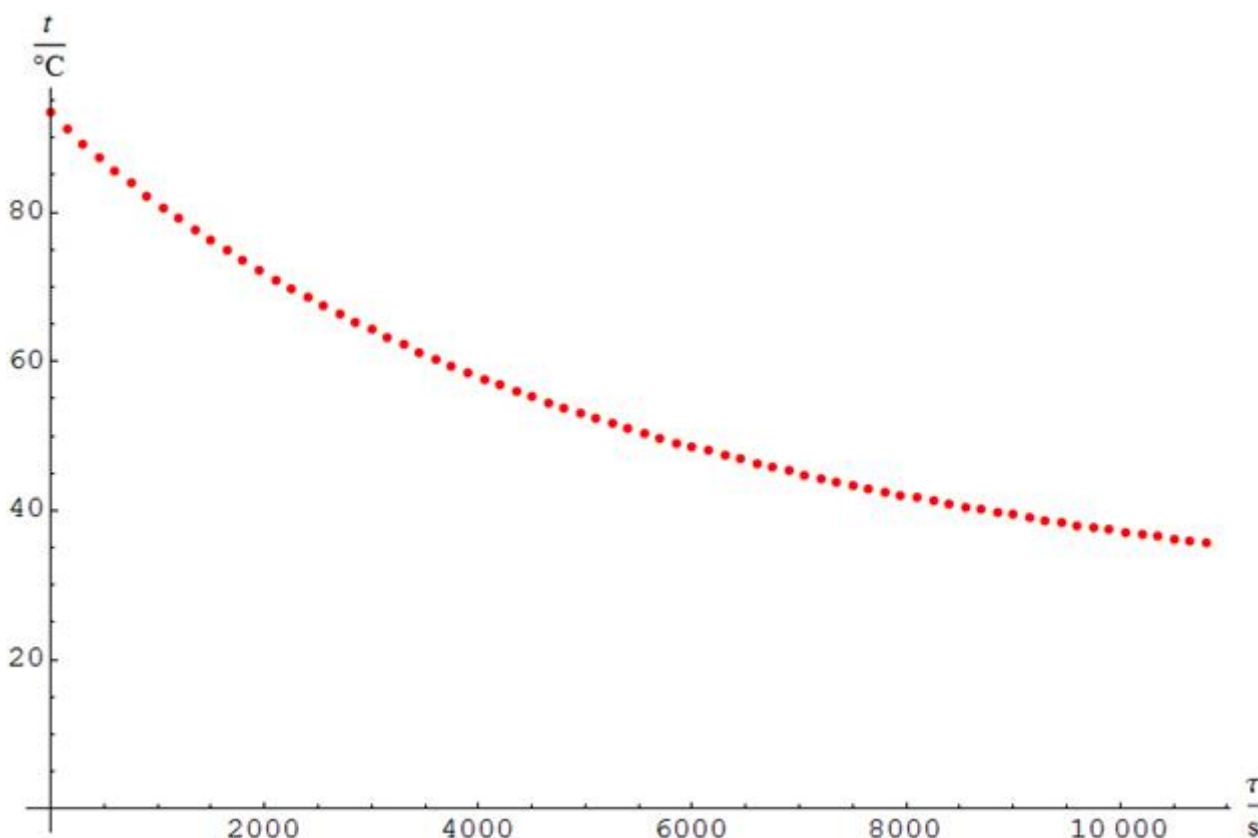


## Chladnutí kávy

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  $\tau$  je  $t$  a teplota okolí je  $t_{\text{ok}}$ . 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 vynesení naměřených hodnot do grafu. Exponenciální průběh lze ale také odhadnout na základě jisté zkušenosti se zkoumáním fyzikálních dějů.



Obr. 7

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

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

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  $\Delta Q$  do okolí, změní káva o hmotnosti  $m$  a [měrné tepelné kapacitě](#)  $c$  svoji teplotu o  $\Delta t$ , přičemž platí:

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta t. \quad (2)$$

Porovnáním vztahů (1) a (2) získáme vztah

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

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::