

**Úloha I.1 ... kávu si omléčním**

3 body; průměr 2,86; řešilo 74 studentů

*Kdy je nejhodnější nalít do horké kávy chladné mléko, abychom ji mohli pít co nejdříve? Nepožadujeme přesný výpočet, ale podrobný slovní popis toho, jak káva chladne a jak byste postupovali.*

*Terka*

*S. se zarazila při výroku: Už jsem Ti do toho kafe dala mléko, aby Ti to rychleji vystydlo.*

Naším cílem při řešení této úlohy bude najít praktickou radu, podle které se můžeme opravdu při pití kávy řídit. Zcela obecný rozbor by byl velmi náročný i pro jednoduché modely chladnutí, neboť závisí na alespoň pěti parametrech: počáteční teplota kávy  $T_k$ , teplota okolí  $T_o$ , teplota vhodná k pití  $T_p$ , teplota mléka  $T_m$  a poměr objemu mléka k objemu kávy  $\varepsilon$ . Abychom získali jedno konkrétní řešení, je potřeba rozumně odhadnout hodnoty těchto veličin. My budeme volit hodnoty blížíící se reálné situaci  $T_k = 100^\circ\text{C}$ ,  $T_o = 20^\circ\text{C}$ ,  $T_p = 60^\circ\text{C}$ ,  $T_m = 10^\circ\text{C}$  a  $\varepsilon = 0,5$ . Kdybychom volili kávu s velkým obsahem mléka, jako například cappuccino nebo latte, úloha by postrádala smysl – u těchto typů kávy musíme totiž mléko naopak přihřát, aby nebyla výsledná směs moc chladná, a může se do hrnku přidat okamžitě. K našim předpokladům ještě přidáme zjednodušení, že výměna tepla mezi kávou a mlékem proběhne okamžitě.

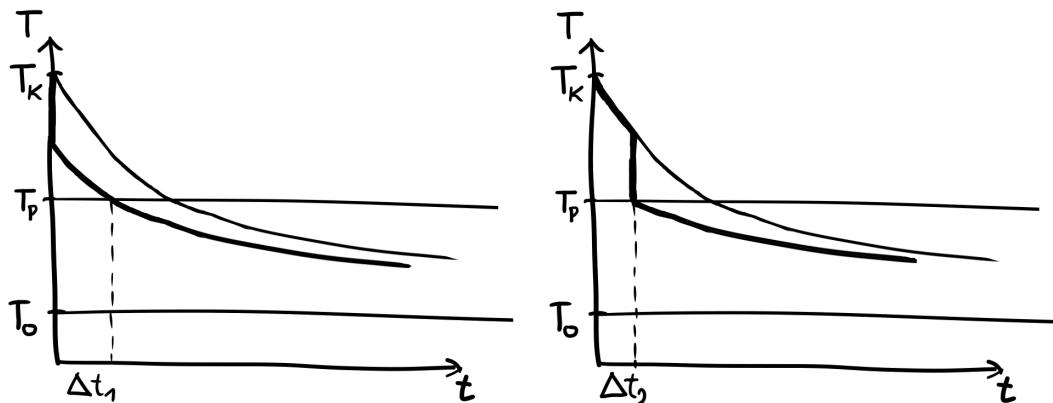
Mezi vzduchem a kapalinou v hrnku probíhá tepelná výměna. Zásadní charakteristikou této výměny je, že tepelný tok (teplo vyměněné za čas) s časem klesá. Teplota kávy se tedy postupně blíží teplotě okolí, ale čím dál tím pomaleji. Jinými slovy, graf závislosti teploty na čase je představován konvexní funkcí. Podle našich odhadů je teplota mléka  $T_m$  výrazně nižší než teplota kávy  $T_k$  a minimální teplota kávy, při které ji přidání mléka nezchladí pod  $T_p$ , je o dost blíž  $T_k$  než  $T_p$ . Proto pokud přidáme mléko později, bude dosažený pokles teploty jen o zanedbatelně málo nižší, než když mléko přidáme dříve.

Nyní uvažujme případ A, tj. že mléko přidáme do kávy ihned. Potom jsme z teploty na  $T_k$  skočili na jistou teplotu  $T_k - \Delta T > T_p$  a pak bychom čekali, až káva ochladne na  $T_p$ . Přeskočili bychom tedy oblast rychlého chladnutí (horká káva chladne rychleji) a ponechali bychom oblast pomalého chladnutí (studená káva chladne pomaleji). Pokud však chvíli počkáme – případ B – a ochladíme kávu rychle na teplotu zhruba  $T_p + \Delta T$ , potom můžeme přidat mléko, srazit tak teplotu na  $T_p$  a oblast pomalého chlazení přeskočit. Káva musí stejně vychladnout o  $T_k - T_p - \Delta T$ , v případě B bude toto chladnutí ale probíhat při vyšší teplotě než v případě A. Na základě této úvahy je lepší přidat mléko později, viz grafické znázornění na obrázku 1.

Znovu však zdůrazněme, že v závislosti na zvoleném modelu a počátečních parametrech mohl každý dospět k jinému výsledku. Pro ilustraci, pokud bychom předpokládali, že jsme ochotni pít kávu poměrně horkou, přidáváme pouze malé množství mléka. Navíc můžeme tvrdit, že chladnutí je zpočátku přibližně lineární. V tomto případě bychom získali opačný výsledek. Mléko by bylo kvůli lineárnímu chladnutí vhodné nalít do kávy co nejdříve, protože výsledná teplota je váženým průměrem teploty kávy a mléka, a proto „potenciál zchladit“, který mléko má, klesá s teplotou (a tedy i s časem). Jinými slovy,  $\Delta T$  zmíněné v případě A, by bylo zanedbatelně větší než  $\Delta T$  v případě B. Tento rozdíl by přebil vliv konvexity křivky chladnutí.

Jako bonus si můžete zkusit najít model popisující čas chladnutí na danou teplotu a najít optimální čas přilít s rozbořením všech případů v závislosti na počátečních parametrech.

Na závěr ještě poznamenejme, že pokud pijeme kávu s malým množstvím mléka, tak se pravděpodobně jedná o celkově malý objem nápoje, který sám o sobě bude chladnout rychle.



Obr. 1: Náčrt křivek chladnutí pro případ, kdy nalijeme mléko do kávy dříve (vlevo) a později (vpravo). Jak je naznačeno, v druhém případě je čas chladnutí  $\Delta t_2$  kratší než čas chladnutí  $\Delta t_1$  z prvního případu.

Proto rozdíl způsobený pozdním či brzkým přilítím mléka pravděpodobně nepoznáte.

*Miroslav Hanzelka*  
mirek@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported. Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.