

18. ročník, úloha IV. E ... čaj po večeři (8 bodů; průměr 5,33; řešilo 24 studentů)

Organizátoři FYKOSu popíjeli v menze po večeři výborný čaj. Protože jsou to zvědaví lidé, zamysleli se někteří z nich nad procesem chladnutí čaje. Předmětem sporu bylo, do jaké míry přispívají k chladnutí čaje procesy vypařování, vedení tepla a vyzařování. Pokuste se stejný problém řešit experimentálně. *Námět na úlohu zaslal do konference Jirka Franta.*

Teorie

Čaj chladne díky vypařování, vyzařování a vedení tepla. Ze Stefanova-Boltzmannova zákona můžeme už předem říci, že vliv vyzařování bude nepatrný.

Jak to naměřit? Jedním z možných způsobů bylo zjišťovat poměr tepel odevzdaných čajem jednotlivými způsoby okolí v různých časech a tím i při různých teplotách. Platí následující vztahy

$$Q_1 = ml_v, \quad Q_2 = \frac{\lambda S \Delta T \tau}{d}, \quad Q_3 = \sigma T^4 S \tau,$$

kde Q_1 je teplo odevzdané vypařováním, Q_2 je teplo odevzdané vedením a Q_3 je teplo odevzdané vyzařováním. (T je teplota, τ je čas. Pozor, l_v není měrné skupenské teplo varu, je to měrné skupenské teplo vypařování.) Při měření Q_1 měříme úbytek hmotnosti čaje v hrníčku v závislosti na čase, pro zjištění tepla odevzdaného vedením stačí pouze proměřit plochu nádoby, tloušťku jejích stěn, teplotu a zaznamenávat čas, u vyzařování to je podobné. Vše ostatní nalezneme v tabulkách. Při určování tepla odevzdaného vypařováním je však nutno odfiltrvat zbylé dva faktory (vyzařování a vedení), analogicky při měření obou zbylých tepel. (Viz dále.)

Druhý přístup, který lze zvolit, je následující. Nejprve proměřit časovou závislost teploty čaje v hrnku, kde jsou odstíněny všechny tři vlivy, poté měřit za přítomnosti pouze jednoho z faktorů, pak přidat druhý faktor a nakonec ten třetí. Dostaneme graf, kde jsou nad sebou čtyři křivky a z mezer mezi nimi vidíme podíl jednotlivých faktorů na chladnutí při různých teplotách.

Jak provést odstínění? Vypařování se zbavíme přikrytím hladiny (zaujal mě nápad *Zuzany Jungrové* „přikryt“ hladinu nalitím oleje), vedení odstraníme co nejlepší tepelnou izolací (např. zavřít hrníček do kalorimetru) a vyzařování lze odfiltrvat zabalením do alobalu. Žádný z faktorů však bohužel neodfiltrujeme stoprocentně.

Experiment

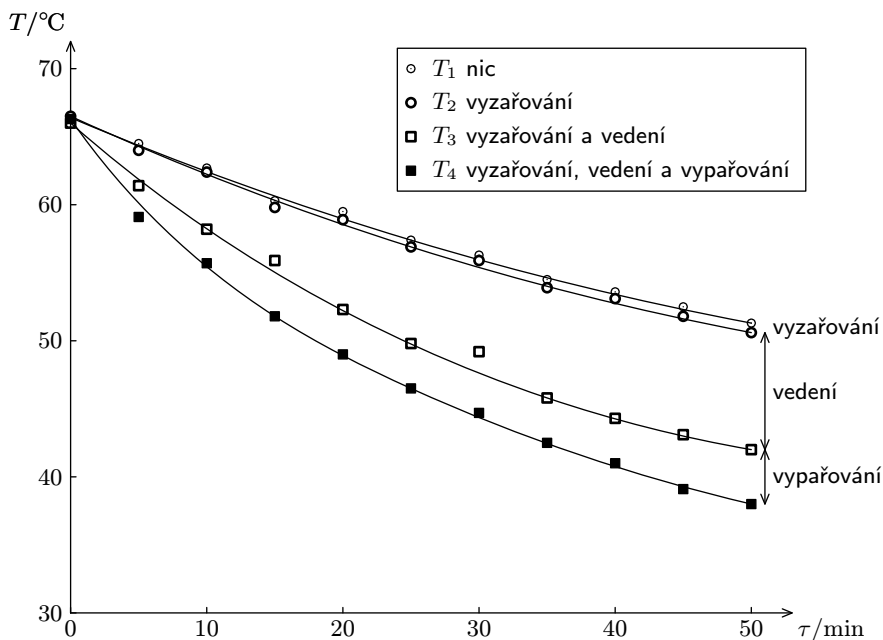
Pro svůj experiment jsem zvolila druhý postup. K měření jsem použila digitální teploměr. Jako chladnou kapalinu jsem si opatřila originální výborný čaj z menzy. K odstranění odpařování jsem používala igelit, na tepelné odizolování jsem si zapůjčila kalorimetr a vyzařování jsem brzdila alobalem. Výsledky jsou v grafu na obrázku 1.

t [min]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
T_1 [°C]	66,4	64,5	62,7	60,3	59,5	57,4	56,3	54,5	53,6	52,5	51,3
T_2 [°C]	66,5	64,0	62,4	59,8	58,9	56,9	55,9	53,9	53,1	51,8	50,6
T_3 [°C]	66,0	61,4	58,2	55,9	52,3	49,8	49,2	45,8	44,3	43,1	42,0
T_4 [°C]	66,3	59,1	55,7	51,8	49,0	46,5	44,7	42,5	41,0	39,1	38,0

Závěr

Jak je vidět z grafu, podíly jednotlivých faktorů na chladnutí výborného čaje z menzy dost závisí na teplotě. Ve vlivu na chladnutí ve výsledku vede vedení, vypařování se výrazněji

uplatňuje pouze na začátku (při vyšších teplotách), jak si jako jediný správně všiml *Pavel Motloch*. Vyzařování je skutečně zanedbatelné.



Obr. 1

Poznámky k došlým řešením

Většina řešitelů taktéž použila druhou metodu, avšak s tím rozdílem, že odfiltrovali pouze jeden faktor a zkoumali, jak se tato křivka liší od té, při jejímž měření nebylo odfiltrováváno nic. Někteří z vás se pokoušeli o procentuelní odhad zastoupení jednotlivých faktorů v procesu chladnutí. Ti, kdo poctivě provedli měření pro všechny tři faktory, zjistili, že po sečtení dostanou znatelně méně než 100 %. Je to způsobeno tím, že se nám zdaleka nepodařilo dosáhnout dokonalého zabránění ani vypařování, ani vyzařování a už vůbec ne dokonalé tepelné izolace. Všechny tři jevy se tedy ve skutečnosti více či méně překrývaly. Z toho je vidět, že úvaha typu „vedení je 40 %, vypařování 20 %, takže vyzařování musí být 40 %“ nebyla zrovna nejšťastnější.

Jana Ringelová
jana@fykos.mff.cuni.cz