

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 20 (1992/1993)

Številka 2

Strani 98-103

Zlatko Bradač in Jure Dobnikar:

OHLAJANJE IN ZMRZOVANJE VODE

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija:

<http://www.presek.si/20/1127-Bradac-Dobnikar.pdf>

© 1992 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

OHLAJANJE IN ZMRZOVANJE VODE

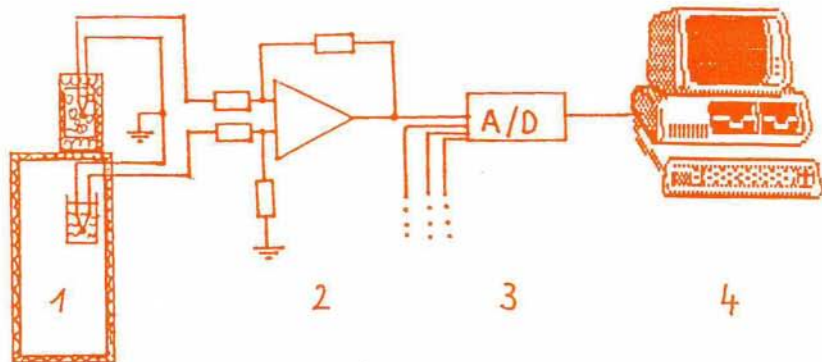
Na tekmovanju mladih fizikov so reševali tudi tole nalogo: Steklenico ore z začetno temperaturo 30°C postavimo v hladilnik. Oцени, čez koliko časa bo temperatura ore 15°C .

Ob ohlajanju se porodi več vprašanj: Kolikšno temperaturo imajo deli tekočine v steklenički? Ali pri odprti steklenički prispeva k ohlajanju tudi izhlapevanje? Kako vpliva oblika stekleničke na hitrost ohlajanja? Kolikšna je temperatura v hladilniku? Da bi odgovorila na nekatera od njih, sva začela zbirati in pripravljati opremo za poskuse.

K eksperimentiranju naju je vzpodbudil tudi članek o *Mpembovem pojavu*, ki obravnava ohlajanje segrete in hladne vode (Presek, VIII/1, str. 24). Ali zares prej zmrzne voda, ki je ob začetku poskusa imela višjo temperaturo?

Oprema za poskuse

Opazovala sva ohlajanje in zamrzovanje vode v zmrzovalniku kuhinjskega hladilnika. Temperaturo sva merila s štirimi termočleni. Termočlen sestavljata žički iz bakra in konstantana, ki sta na krajšičih zavarjeni. Če sta temperaturi obeh spojnih mest različni, nastane med spojnima mestoma napetost, ki je sorazmerna s temperaturno razliko.



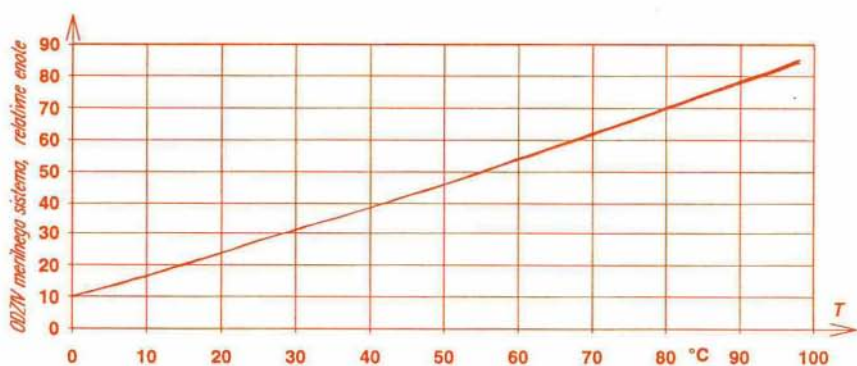
Slika 1. Merilni sistem. 1) hladilnik, 2) ojačevalnik, 3) analogno - digitalni pretvornik, 4) računalnik. V sistemu so še trije termoelementi in trije enaki ojačevalniki, ki so priključeni na pretvornik.

Eno spojno mesto termočlena potisnemo v toplotno izolirano posodo s talečim ledom, drugo pa v posodo z vodo, ki ji merimo temperaturo. Ker je po dogovoru temperatura talečega ledu 0°C , je napetost sorazmerna s Celzijevo temperaturo drugega spojnega mesta. Žičke so tanke in jih zlahka speljemo iz hladilnika. Pri poskusu doseže napetost termoelementa nekaj milivoltov. Z ojačevalnikom jo najprej povečamo na nekaj voltov.

Meritve so dolgotrajne. Najkrajša traja eno uro in najdaljša pet ur, zato sva neprijetno zapisovanje podatkov prepustila računalniku. Napetosti iz štirih termoelementov sva preko ojačevalnikov priključila na analogno-digitalni vmesnik, tega pa na računalnik PC-XT (slika 1). Napisala sva program, ki je vsakih 6 sekund prebral štiri podatke in jih z ustreznim časom meritve shranil v spomin. Po vsaki meritvi sva dobila datoteko s 5-krat 1200 podatki. Podatke sva uredila in narisala diagrame s programskim orodjem Quattro Pro.

Merjenje

Merilnik je treba najprej umeriti. Spojna mesta ene vrste termočlenov potisnemo v taleči led, druga pa skupaj z živosrebrnim termometrom v vodo, ki jo dobro mešamo in počasi segrevamo od 0°C do 100°C . Ničle merilnikov sva na ojačevalnikih nastavila na $+0,50\text{V}$, po odčitavanju je program shranil to vrednost kot 10 relativnih enot. Najin vmesnik namreč ne zna pretvarjati negativnih napetosti (slika 2).



Slika 2. Umeritveni diagram. Krivuljo nadomestimo s premico $T = (8/6)(X - 10)$, z X označimo število, ki ga računalnik prebere z vmesnika.

Umeritvena krivulja je premica:

$$T = (8/6) \cdot (X - 10),$$

če je X vrednost, ki jo računalnik prebere z vmesnika. Umeritev sva preverila s temperaturami talečnega ledu, vode z 20°C in s 50°C . Po takšnem preskusu merilnikov sva ugotovila, da je najino merjenje negotovo za $1/2$ stopinje.

Ohlajanje enakih mas vode z različnimi začetnimi temperaturami

V jogurtove lončke in plastične pladnje sva dala plitvo plast vode. Prvič sva poskuse naredila, ne da bi dno posode toplotno izolirala od zmrzovalnika, pri nadaljnjih poskusih pa sva postavila posode v zmrzovalniku na 2cm debelo plast stiropora. Masa vode v lončkih je bila po 100g, v pladnjih pa po 150g. Časovno odvisnost temperatur kažejo diagrami na sliki 3.

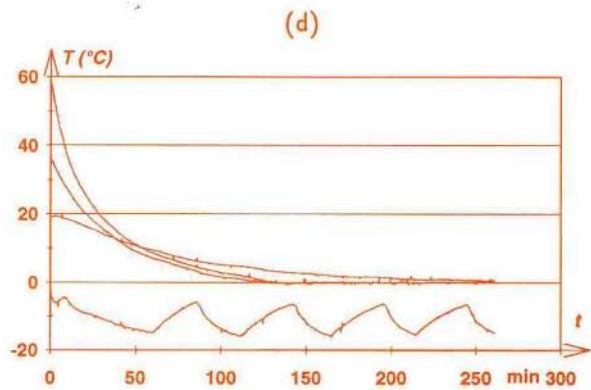
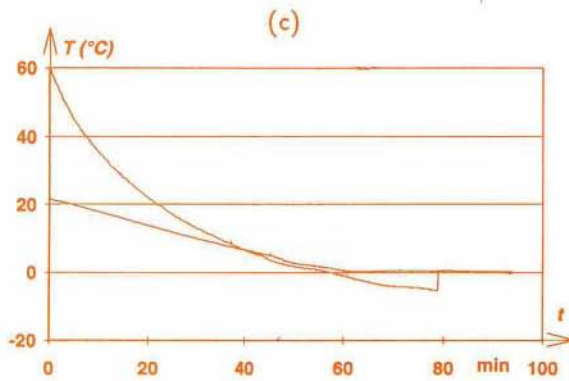
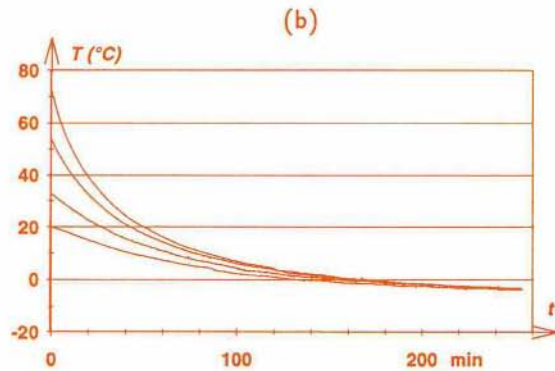
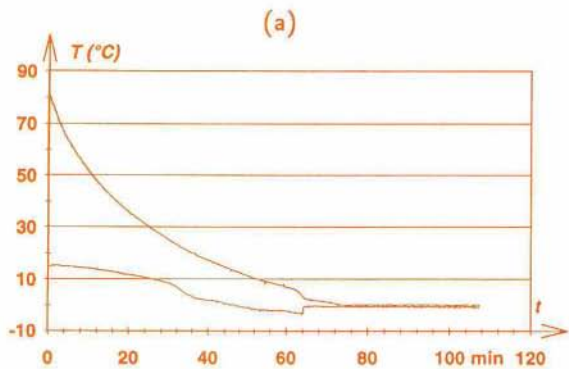
Podstavek iz stiropora približno dvakrat podaljša čas ohlajanja do 0°C . Značilni čas ohlajanja pri izbrani obliki posode, masi vode in izolaciji je presenetljivo malo odvisen od začetne temperature vode (sliki 3a, 3b). Ko postavimo 100ml vode v jogurtovem lončku v zmrzovalnik, voda zmrzne po približno 1 uri, če pa je dno izolirano, pa po 2 urah. Čeprav do Mpembovega pojava ni prišlo vedno, je pomembna ugotovitev, da sta časa ohlajanja do 0°C za vročo in hladno vodo približno enaka.

Voda se je večkrat podhladila. Pri majhni motnji iz okolice, recimo tresljaju hladilnika ob izklopu motorja, del vode zmrzne in temperatura hitro naraste na 0°C (slika 3c). Do podhladitve je prišlo tudi pri meritvi na sliki 3b, vendar tu še ni prišlo do preskoka temperature na 0°C . Mpembov pojav je viden pri ohlajanju vode v plitkih pladnjih (sliki 3c, 3d).

Voda v posodi z izoliranim dnom oddaja toploto zraku s prevajanjem in z izhlapevanjem.

Izračunajmo, kolikšen del toplote odda voda zaradi izhlapevanja. V pladnju je na začetku 150ml vode s temperaturo 85°C , končna temperatura

Slika 3. Temperature v odvisnosti od časa pri ohlajanju vode v zmrzovalniku hladilnika za: (a) dva lončka po 100ml vode, brez izoliranega dna; (b) štiri lončke po 100ml vode, z izoliranim dnom; (c) dva pladnja po 200ml vode, brez izoliranega dna in (d) tri pladnje po 150ml vode, z izoliranim dnom. Spodnja krivulja na sliki 3d kaže temperaturo zraka v zmrzovalniku.



je 0°C . Med ohlajanjem izhlapi 10%, to je 15g vode. Skupna oddana toplota je

$$Q = mc(T_2 - T_1) = 150 \text{ g} \cdot 4200 \text{ J/kgK} \cdot (-85 \text{ K}) = -54 \text{ kJ}.$$

Izhlapevanje prispeva

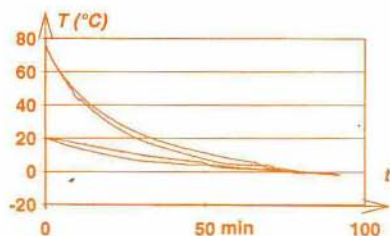
$$Q_i = -m_i q_i = -15 \text{ g} \cdot 2,3 \text{ MJ/kg} = -34 \text{ kJ}$$

toplote; v odstotkih je to $34\text{kJ}/54\text{kJ} = 63\%$. Pri ohlajanju vode v jogurtovem lončku je ta delež približno dvakrat manjši. Ker je Mpembov pojav izrazitejši pri ohlajanju vode v pladnju, ko je masa izhlapele vode večja, je izhlapevanje pomembno pri razlagi pojava.

Temperaturne razlike v vodi, ki se ohlaja

Da bi dobila odgovor na vprašanje, kaj se dogaja med ohlajanjem v izbrani posodi, sva pri naslednjem poskusu merila temperaturo približno 1cm pod gladino in 1cm nad dnom v lončku (slika 4) ter na sredini in 1cm od roba v pladnju.

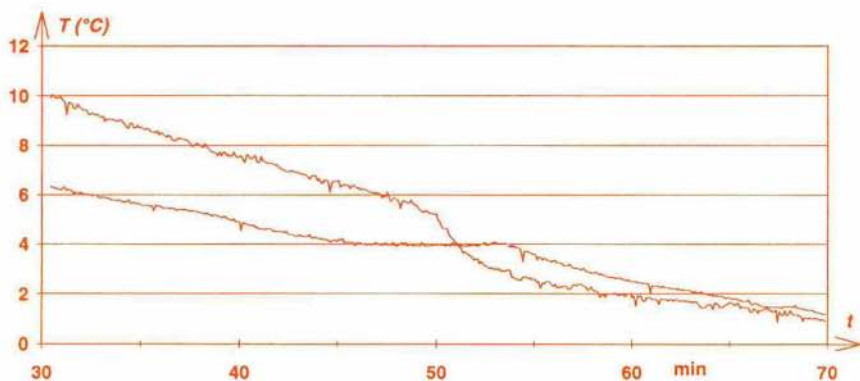
Temperaturne razlike v lončku dosežejo nekaj stopinj in povzročijo spremembo gostote delov vode. Zato pride do konvekcijskih tokov, ki mešajo vodo. Ta se zato hitreje ohlaja. V vodi z višjo začetno temperaturo so ti tokovi izdatnejši.



Slika 4. Potek temperature pri ohlajanju vode v dveh lončkih v zmrzovalniku. V vsakem lončku sta bila dva merilnika, eden 1cm pod gladino in drugi 1cm nad dnom. V neizoliranih lončkih je bilo po 100ml vode.

Opazovala sva tudi ohlajanje vode pod 4°C v lončku (slika 5). Pri temperaturi nad 4°C je toplejša voda v zgornjem delu lončka, pod to temperaturo pa v spodnjem. Takšen prehod povzroči anomalija vode. Gostota vode je pri 4°C največja in zato ostane voda s to temperaturo pri dnu posode. Tem-

peratura vode pri dnu se v okolici te točke ne spreminja, ohlaja se le zgornji del vode. Ohlajala sva še destilirano in mineralno vodo, da bi opazila vpliv primesi na hitrost ohlajanja. Nisva opazila kakšnih posebnosti.



Slika 5. Časovni potek temperatur zgornjega in spodnjega dela vode v lončku pri prehodu preko 4°C . Sprva ima zgornji del višjo temperaturo, po prehodu preko 4° pa je temperatura zgornjega dela vode nižja.

Mpembovega pojava ni lahko opaziti. Pri 21 poskusih sva ga opazila le trikrat. Kljub temu je bilo zanimivo opazovati podhlajevanje vode, temperaturne razlike znotraj posode in anomalijo vode.

* * *

Če imaš dva termometra, lahko opazuješ ohlajanje vode tudi doma. Pri temperaturi zunanjega zraka nižji od -5°C postavi na zunanjo okensko polico dve posodi, v katerih sta enaki masi vode, začetni temperaturi pa naj bosta različni. V posodi postavi še termometra tako, da boš lahko skozi okensko šipo videl nanju. Poskusi pokazati, da se sprva vroča voda prej ohladi do 0°C kot hladna.

* * *

Prispevek je del raziskovalne naloge v okviru srednješolskega natečaja znanost mladini.

Zlatko Bradač in Jure Dobnikar