

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 8 (1980/1981)

Številka 1

Strani 24-31

Janez Strnad:

MPEMBOV POJAV ALI ZMRZOVANJE VROČE IN HLADNE VODE

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/8/458-Strnad.pdf>

© 1980 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2009 DMFA - založništvo

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



MPEMBOV POJAV ALI ZMRZOVANJE VROČE IN HLADNE VODE

Najbrž se bo tudi bralcem *Preseka* zdel zanimiv pojav, o katerem razpravljajo v časopisih, posvečenih pouku fizike, že več kot deset let.

Anglež D.G. Osborne, ki je učil fiziko na univerzi v glavnem mestu Tanzanije Dar es Salaamu, je obiskal šolo v manjšem mestu Mkvavi. Po predavanju ga je študent Erasto Mpemba vprašal, zakaj vroča voda v posodi, ki jo damo v zmrzovalnik hladilnika, prej zmrzne kot hladna. Do tega da je prišel po lastnih poskusih, do katerih so ga privedle izkušnje izdelovalcev sladoleda. Ti so zatrjevali, da je sladolead prej gotov, če dajo v hladilnik vročo mešanico. E. Mpemba je vprašanje že prej postavil svojim učiteljem. Toda ti ga niso jemali resno in so ga celo dražili, da je v njegovi fiziki vse narobe. Tudi Osborne sprva ni verjel. Toda po vrnitvi v Dar es Salaam se je s poskusi prepričal, da je imel študent prav.

V steklene čaše za 100 cm^3 je nalil po 70 cm^3 vode in jih, podložene s plastjo stiropora za izolacijo, dal v zmrzovalnik gospodinjskega hladilnika. Meril je temperaturo vode in čas med postavitvijo čaše v zmrzovalnik in ohladitvijo vode na 0°C . Ugotovil je, da je ta čas odvisen od začetne temperature vode. Največji je za vodo z začetno temperaturo nekaj nad 20°C . Za vodo z nižjo in - presenetljivo - tudi za vodo z višjo začetno temperaturo je krajši (sl. 1).

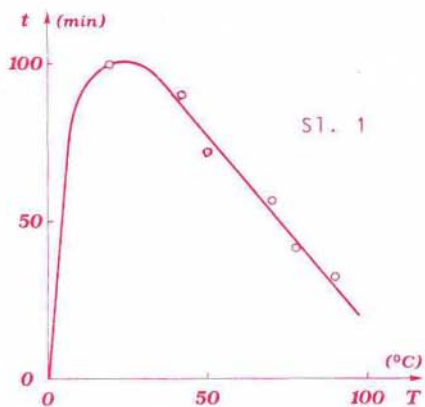
E.B. Mpemba in D.G. Osborne sta leta 1969 opisala zgodbo v angleški reviji *Physics Education*, ki je namenjena, predvsem pouku fizike na srednji stopnji. Njuna zgodba je zbudila veliko

zanimanja in od tedaj govorijo o *Mpembovem pojavu*. Uredništvo revije je dobilo precej pisem. Pokazalo se je, da so o pojavu pisali med drugimi že Aristotel (okoli leta -350), G. Marliani (1461), Francis Bacon (1620) in njegov sodobnik Albertus Magnus in Rene Descartes (1673).

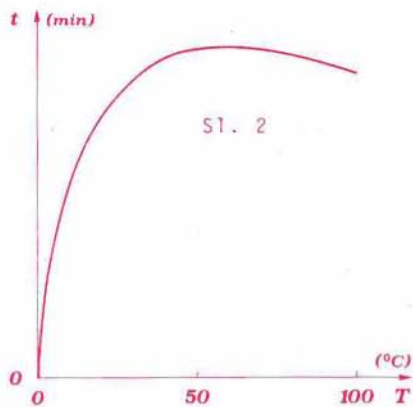
O pojavu je leta 1969 neodvisno od Mpemba in Osborna poročal Kanadčan G.S. Kell v reviji *American Journal of Physics*, ki je tudi posvečena pouku fizike, le da na višji ravni. Zelel je pojasniti nekaj v Kanadi znanih, na videz neverjetnih trditev. Drsališče da je bolje napolniti z vročo vodo, če naj čim prej zmrzne in avto da je bolje oprati s hladno vodo, če naj se na njem ne naredi led. V hladnem vremenu vroča voda v čeburu po mnenju kanadskih peric prej zmrzne kot hladna. (Po pričevanju profesorja I. Štalca so o tem prepričane tudi perice v Poljanski dolini.)

Voda oddaja med ohlajanjem do ledišča in zmrzovanjem toploto okolici. Vroča voda mora najprej oddati toploto, da postane hladna. Zato bi pričakovali, da začne zmrzovati pozneje kot hladna. Voda oddaja toploto s prevajanjem skozi stranske stene zraku, ki navadno ne miruje, in skozi dno podlagi, na kateri stoji posoda. Pojavi na gladini so zapleteni. Najučinkovitejše je oddajanje toplote ob izhlapevanju. Da se ohladi kilogram vode za eno stopinjo, je treba odvesti dobrih štiri tisoč joulov toplote. Da izhlapi kilogram vode, pa je treba odvesti dobra dva milijona joulov. To izkoriščajo ob toplotnih elektrarnah hladilni stolpi, v katerih voda ob izhlapevanju odvaja toploto.

G.S. Kell je proučil možnost, da v izbranih okoliščinah oddaja voda toploto pretežno z izhlapevanjem. Se masa vode zaradi izhlapevanja med ohlajanjem toliko zmanjša, da je treba oddati preostali vodi v celoti manjšo toploto kot hladni vodi z enako začetno maso, če je skoraj nič ne izhlapi? Poenostavljen račun je pokazal, da je to mogoče. V odvisnosti od časa, v katerem se na prosto postavljena voda ohladi od začetne temperature na 0°C , je pri začetni temperaturi nad 50°C neizrazit maksimum (sl. 2).



Sl. 1

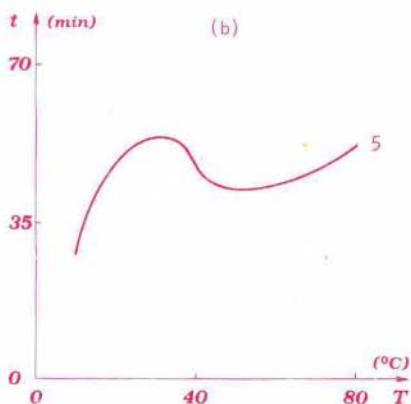
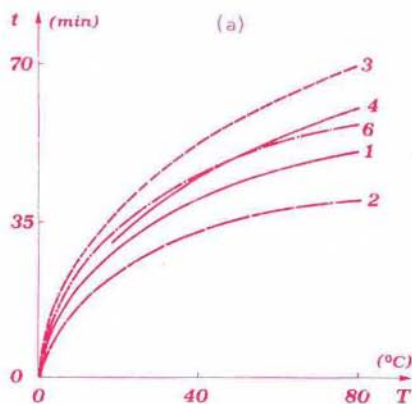


Sl. 2

Sl. 1: Izmerjeni čas ohlajanja t od začetne temperature T do 0°C v odvisnosti od začetne temperature (E.B. Mpenba, D.G. Osborne 1969).

Sl. 3: Izmerjeni čas ohlajanja t od začetne temperature T do 0°C v odvisnosti od začetne temperature: 1 plastična čaša, 2 aluminijeva čaša, 3 plastična čaša, več vode, 4 plastična čaša, solna raztopina, 5 plastična čaša, v vodi raztopljen ogljikov dioksid, 6 plastična čaša, v vodi raztopljen kisik (M. Freeman 1979).

Sl. 2: Izračunani čas ohlajanja t od začetne temperature T do 0°C v odvisnosti od začetne temperature pri zunanji temperaturi -10°C , če izgublja voda toploto samo ob izhlapevanju (G.S. Kell 1969). Kell je računal, da je temperatura vode po vsej posodi enaka, kot da bi vodo neprestano mešali. Če bi upoštevali, da je temperatura vode na gladini višja kot na dnu, bi dobil izrazitejše zmanjšanje časa ohlajanja pri višji začetni temperaturi.



Merjenje pokaže, da voda v posodi z dvojno steno (termovki) in dovolj veliko gladino med ohlajanjem z izhlapevanjem od začetne temperature 100°C do 0°C zgubi kar 16% začetne mase.

Pozneje je poročalo o Mpembovem pojavu v *Physics Education* več učiteljev fizike, ki so ga raziskovali sami ali skupaj s študenti. Nekateri ga sploh niso opazili, drugi so ga opazili, a so dobili drugačne rezultate.

M. Ahtee s Finskega s čisto vodo ni zasledil Mpembovega pojava (1969). Poskuse je nadaljeval z vodno raztopino kuhinjske soli. Ugotovil je, da je masa ledu, ki nastane v danem času, odvisna od koncentracije soli. Z naraščajočo koncentracijo se najprej manjša in nato poveča. Po tem je sklepal, da je Mpembov pojav posledica primesi vodi.

I. Firth je iskal vzrok pojava drugje (1971). Čim višja je začetna temperatura vode v čaši, ki jo damo v zmrzovalnik, tem več ledu se tam stali okoli njenega dna. Nastala voda prepoji izolacijsko plast pod čašo in pozneje zopet zmrzne. Tako je čaša, v kateri je na začetku toplejša voda, v boljšem toplotnem stiku z zmrzovalnikom, hitreje oddaja toploto in hitreje zmrzne.

E. Deeson je delal poskuse istega leta in je ugovarjal Firthovi razlagi. Eden njegovih študentov je pomislil, da je morda vzrok za Mpembov pojav v vodi raztopljeni ogljikov dioksid (CO_2). O tem se je želel prepričati z merjenjem. Poskusi niso ovrgli domneve, vendar je tudi niso dovolj prepričljivo potrdili.

Lani se je lotil merjenj londonski srednješolec M. Freeman. Tako kot drugi pred njim je delal poskuse v zmrzovalniku gospodinjanskega hladilnika pri temperaturi -10°C . Namenil se je dognati, katere so odločilne okoliščine. Napravil je več vrst poskusov in je pri vsaki vrsti spremenil po eno okoliščino. Pri prvi vrsti poskusov je dal po 50 cm^3 vode z različno temperaturo v čaše iz plastike, ki slabo prevaja toploto. V drugi vrsti poskusov je uporabil namesto plastičnih čaše iz aluminijevih

ja, ki dobro prevaja toploto. Voda v plastični čaši se ohlaja pretežno ob izhlapevanju, v aluminijevi čaši pa je upoštevanja vredno tudi prevajanje. Zares se je voda v aluminijevi čaši ohladila do 0°C znatno hitreje kot voda z enako začetno temperaturo v plastični čaši. V tretji vrsti poskusov je nalil v čaše več vode in tako spremenil razmerje med površino gladine in površino, v kateri se voda dotika čaše. V četrti vrsti poskusov je namesto čiste vode uporabil raztopino kuhinjske soli. V nobeni od teh vrst poskusov ni zasledil maksimuma v odvisnosti časa ohlajanja do 0°C od začetne temperature (sl. 3a).

V peti vrsti poskusov je raziskal vpliv raztopljenega ogljikovega dioksida. Vodo je najprej prevrel in tako izgnal iz nje raztopljene pline, jo ohladil in nato uvajal skozi njo ogljikov dioksid. To vodo je tik pred poskusom segrel do izbrane začetne temperature, jo nalil v plastično čašo in jo dal v zmrzovalnik. V tem primeru se je voda z višjo začetno temperaturo prej ohladila do ledišča kot voda z nižjo (sl. 3b). V šesti vrsti poskusov je uporabil kisik namesto ogljikovega dioksida. Voda z raztopljenim kisikom se je sicer počasneje ohlajala kot prevreta voda brez kisika, a voda z višjo začetno temperaturo se ni ohladila prej.

Z raztopljenim ogljikovim dioksidom bi bilo mogoče pojasniti, zakaj so nekateri eksperimentatorji do tedaj opazili pojav, drugi pa ne. To bi bila lahko v zvezi s koncentracijo ogljikovega dioksida, ki je niso merili. Večinoma so uporabljali deionizirano vodo, iz katere so odstranili raztopljene soli, ne pa ogljikovega dioksida. Tisti, ki so uporabljali destilirano ali prekuhano vodo, niso opazili Mpembovega pojava.

Vendar vprašanje še ni rešeno, četudi ponuja ogljikov dioksid možnost za razlago. Manjka zveza med začetno koncentracijo ogljikovega dioksida v vodi in izrazitostjo Mpembovega pojava in gotovost, da zadostuje ogljikov dioksid, ki se ga voda navzame iz zraka. Tudi Freeman namreč ni meril te koncentracije pred vsakim poskusom. Pri različnih vrstah poskusov z ogljikovim dioksidom, pri katerih je bila koncentracija najbrž različna, je

dobil različno odvisnost časa ohlajanja od začetne temperature. Mpembov pojav bi lahko pojasnili takole: ogljikov dioksid prejde iz zraka v vodo. (V vodi se pri 20°C topi 28-krat izdatneje kot kisik.) Masa ogljikovega dioksida, ki jo sprejme 1 kg vode, je tem manjša, čim višja je temperatura. V vodi, ki jo segreje mo in takoj damo v hladilnik, je tedaj tem manj ogljikovega dioksida, čim višja je začetna temperatura. Pojasnilo je sicer sprejemljivo, vendar ni popolno. Zakaj naj bi se voda, ki vsebuje malo več ogljikovega dioksida, ohlajala znatno počasneje? Voda z raztopljenim ogljikovim dioksidom ima sicer drugačne lastnosti kot čista voda. Toda gostota, specifična toplota, viskoznost, toplotna prevodnost in druge količine se malo spremenijo in ni lahko uvideti, odkod izvira odločilni pomen ogljikovega dioksida. Morda se spremembe navedenih količin med seboj nekako podpirajo.

V tej zvezi pomislimo na konvekcijo, to je na tokove, ki nastanejo v vodi zaradi temperaturne razlike. Pri temperaturi nad 4°C ima voda z višjo temperaturo manjšo gostoto in se zaradi vzgona sredi posode dviga. Voda z nižjo temperaturo ima večjo gostoto in se ob plašču posode spušča. Da je temperatura vode na gladini za več stopinj višja kot na dnu, dokler ne doseže 4°C , so ugotovili z merjenji Mpemba in Osborne, Freeman in drugi. Morda je konvekcija v vodi z ogljikovim dioksidom drugačna kot v čisti vodi? Z odgovorom na to vprašanje moramo počakati do natančnejših merjenj.

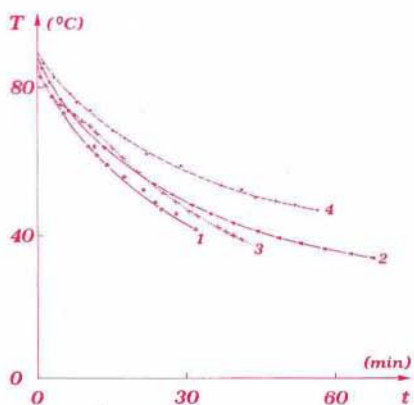
Ne bi bilo prav, če bi zamolčali dvom, da je morda za pojavom manj, kot mislimo. Tisti, ki zagovarjajo tako stališče, se lahko sklicujejo na neenotne rezultate merjenj in ugovarjajo načinu opazovanj in merjenj. Gospodinjski hladilnik ni pripraven kot laboratorijska naprava. Vroče ali hladno telo v zmrzovalniku utegne vplivati na to, kako pogosto se vključi hlajenje in kako stalna je temperatura. Čas ohlajanja ni nedvoumno določen, ker ni navedeno, kateri del vode v posodi mora doseči 0°C ; voda pa nima vsa enake temperature. Trditev o hitrejšem ohlajanju vroče vode bi bila lahko morda celo zabloda, kakrš-

nih v izročilu ni malo. D.G. Osborne, ki je zdaj član ene od londonskih univerz, je od starejših kuharic že slišal, da se hladna voda hitreje segreje kot vroča. Znano je, da so tudi znani možje postavili kako zgrešeno trditev. Tudi glede ohlajanja segrete vode bi se lahko motili, saj v njihovem času eksperimentiranje ni bilo v navadi.

Teh vnaprejšnjih dvomov ne kaže kar tako sprejeti. Vendar spodbujajo k previdnosti in zadržanosti pri izoblikovanju sklepa.

Na koncu ne bo odveč splošna pripomba. Opisani pojav ni tak, da ga ne bi mogli obvladati; zakone, ki veljajo zanj, vse poznamo. Nerodno je to, da so razmere nepregledne in da je vpletenih več količin, ki jih ni lahko vseh izmeriti ali poskrbeti, da imajo predpisano vrednost. Odtod izvirajo težave s ponovljivostjo merjenj in različni rezultati v raznih laboratorijih. Kljub temu bodo pojav prej ali slej razvozljali. Morda se bo kateri od bralcev lotil poskusov. Naj o svojih ugotovitvah poroča. Dobrodošla so tudi poročila o trditvah iz domačega okolja, da vroča voda prej zmrzne kot hladna.

Ob tem se zavemo, da uporablja fizika pri raziskovanju narave posebne prijeme. Poenostavlja, zanemarja, odmišlja, da ostanejo samo bistvene poteze kakega pojava, katerih medsebojne zve-



Sl. 4: Ohlajanje vode v skodelici: 1 voda, mešanje z žličko prvih petnajst minut, 2 voda, nič mešanja, 3 voda z umešano stepeno smetano (z žličko je bilo napravljeno samo nekaj krogov na začetku), 4 voda s smetano na gladini, nič mešanja. 0 merjenjih je poročal Jearl Walker v svoji rubriki Znanstvenik - amater v reviji *Scientific American* (1977). Iz narisane diagrama je mogoče razbrati nekaj značilnosti pri ohlajanju kave ali čaja. J. Walker je avtor knjige *The Flying Circus of Physics* (Leteči cirkus fizike), v kateri je zbranih mnogo zanimivih nalog, med njimi so tudi vprašanja iz vsakdanjega življenja.

ze ni težko pregledati. Pri pojavih, pri katerih ne moremo na hitro ločiti bistvenih potez od nebistvenih, pa ni mogoče doseči preglednih razmer, v katerih bi lahko takoj uporabili značajne zveze. Tedaj se znajde fizik v težavah. V vsakdanjem življenju je veliko takih pojavov. Pomislimo samo na sušenje perila, na ohlajanje čaja ali kave v skodelici (sl. 4), na vreme in druge pojave v ozračju in podobno.

Janez Strnad
