

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 20 (1992/1993)

Številka 2

Strani 92-95

Janez Strnad:

ŠUMENJE VODE V KOTLIČKU

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/20/1127-Strnad-voda.pdf>

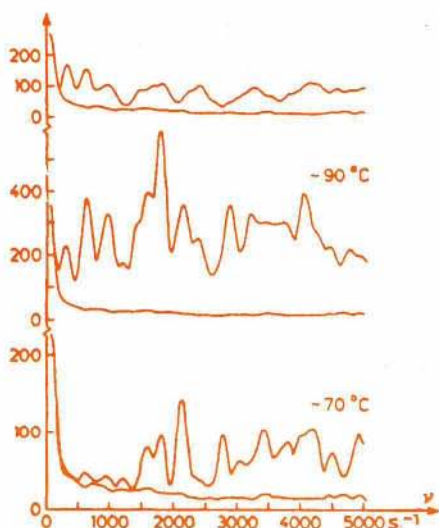
© 1992 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

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

ŠUMENJE VODE V KOTLIČKU

Kotliček, v katerem grejemo vodo za čaj ali črno kavo, oddaja značilni šum, ki postaja vse glasnejši, ko se voda greje, in se stiša, ko voda zavre.¹ Med prvimi fiziki, ki so se zanimali za brbranje, je bil Osborne Reynolds. Leta 1901 ga je primerjal s šumenjem vode v odprti cevi z ožino. William Bragg je v nizu predavanj za Kraljevo družbo ugotovil, da povzročajo šumenje vode, preden zavre, mehurčki pare, ki se sesedejo vase. Pri tem stena mehurčka udari ob steno kot "jeklo ob jeklo", kot da bi "udarjala brezštevilna kladivca." Lord Rayleigh je poznal brbranje, a ga v znani knjigi o akustiki ni niti omenil. Tedanji merilniki niso dopuščali, da bi podrobneje raziskali brbranje in šumenje vode. Novejši merilniki to dopuščajo, a zdi se, da se je zanimanje omejilo predvsem na zvok v toku vrele vode z mehurčki v reaktorjih. Šumenja vode, preden zavre, se ni lotil nihče. Pred nedavnim pa sta nadomestila zamujeno S.Aljishi in J.Tatarkiewicz s Planckovega inštituta za fiziko trdnin v Stuttgartu. V reviji *American Journal of Physics* 59 (1991) 628 sta objavila članek z naslovom *Žakaj nastane zvok pri segrevanju vode v kotličku*.



Na kuhalniku sta segrevala vodo v litrskih ali dvolitrskih kotličkih in valjastih steklenih in kovinskih posodah. V posodo sta postavila brezžični mikrofoni, ki je zvok spremenil v radijske valove. Valove je sprejemal sprejemnik v drugem

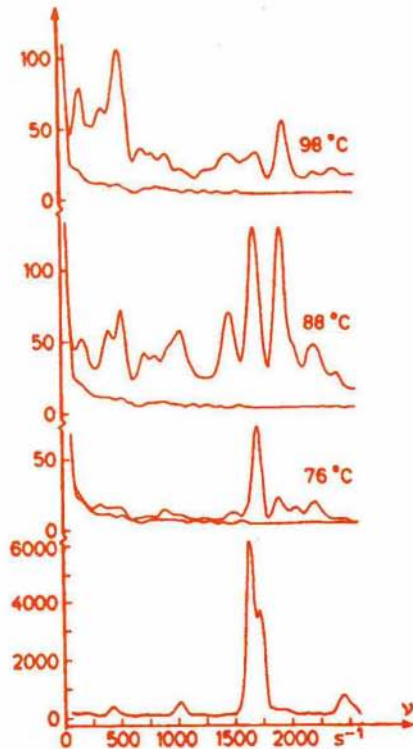
Slika 1. Zvočni spekter 1 litra navadne vode v kotličku. Na vodoravno os je nanesena frekvenca ν , na navpično pa spektralna gostota $dj/d\nu$, ki jo merimo v enotah $W/m^2(s^{-1})^{-1}$. V spektrih na slikah ni znano, kolikšen del tega meri uporabljena enota. Spodnja krivulja v nekaterih spektrih kaže ozadje, to je zvok, ki ga je sprejemal mikrofoni iz okolice, ko vode niso segrevali.

¹ Na Inštitutu za slovenski jezik so ljubeznivo pojasnili, da voda med segrevanjem šumi, ko vre, pa *brbra* ali *brbota*. Ker imenujemo v fiziki šum vsak zvok z zveznim spektrom, bi bilo pripravno imeti posebno ime za zvok, ki ga oddaja voda med segrevanjem, preden zavre. Takega imena ni. *Mrrmanje* uporabljajo le pisatelji.

prostoru, po frekvenci razvrstil spektralni analizator, pisalni instrument pa je spekter narisal. Mikrofon je zaznaval zvok s frekvenco od najnižjih frekvenc do 5000 s^{-1} . Uporabila sta destilirano vodo ali vodovodno vodo, ki sta jo pred poskusom prekuhala in s tem izgnala iz nje večino raztopljenega zraka. Natančno sta merila temperaturo tik pod vodno gladino, nista pa se zanimala za podrobni temperaturni profil.

Preden nadaljujemo, je treba povedati nekaj besed o spektru. (Daljši prispevek *O spektrih* najde bralec v Preseku 13 (1986) 322.) V šumu, ki ga oddaja voda ob segrevanju in vretju, so zastopane sestavine zvoka z določeno frekvenco - toni - s širokega pasu frekvenc - od najnižjih do 5000 s^{-1} . Podatek o zastopanosti tonov v zvoku da spekter, ki je v tem primeru zvezen. Sprejemnik zazna del jakosti zvoka dj , ki odpade na ozek frekvenčni pas med $\nu - \frac{1}{2}d\nu$ in $\nu + \frac{1}{2}d\nu$. Spektralni analizator določi *spektralno gostoto* $dj/d\nu$ v odvisnosti od frekvence ν s sredine ozkega pasu. Pisalni instrument nariše $dj/d\nu$ v odvisnosti od frekvence ν . Krivulja nazorno kaže, kako je jakost zvoka porazdeljena po frekvenci. Ploščina pod krivuljo podaja jakost zvoka j na vsem preiskanem širokem frekvenčnem pasu.

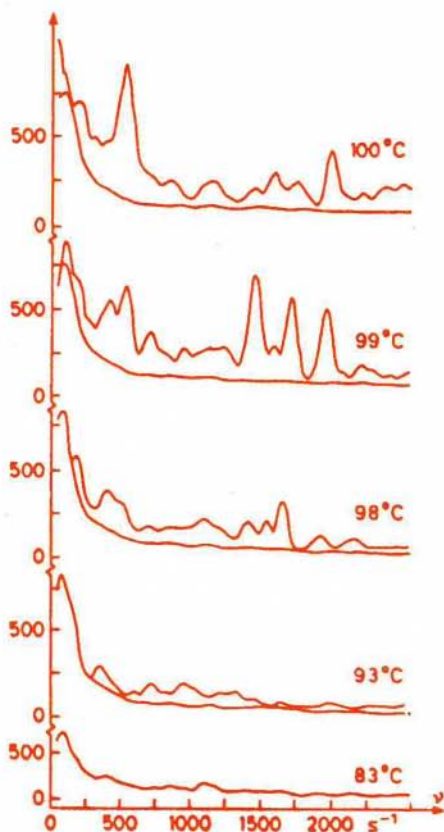
S. Aljishi in J. Tatarkiewicz sta posnela pri različnih temperaturah zvočne spektre 1 litra navadne vode v kotličku (slika 1) ter 1 litra navadne vode (slika 2) in 1 litra destilirane vode v dvolitrski valjasti stekleni posodi (slika 3). V prvem primeru voda ni oddajala skoraj nobenega zvoka pri temperaturi pod $70 \text{ }^\circ\text{C}$.



Slika 2. Zvočni spekter 1 litra navadne vode v dvolitrski valjasti stekleni posodi. Na spodnji sliki je spekter lastnega nihanja posode, ko so jo udarili s plastičnim ravnilom.

Pri tej temperaturi se je pojavil zvok, v katerem so bile močnejše zastopani toni z visokimi frekvencami. Pri temperaturi $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ je postal zvok močnejši in v njem so se pojavili tudi toni z nižjimi frekvencami. Ob vrelišču je postal zvok nenadoma mnogo šibkejši in v njem so bile domala enakopravno zastopani toni z nižjimi in višjimi frekvencami. Prav po tem prehodu pri kuhanju čaja ali kave sklepamo, da je voda zavrela.

Nekaj podobnega so opazili v drugem primeru, le da so se v spektru pokazali izrazitejši vrhovi. Ti vrhovi so ustrezali lastnemu nihanju zraka nad vodo ali posode ali vode v posodi. Vse troje je imelo v tem primeru preprostejšo obliko kot pri kotličku. Vrhova pri frekvencah 1685 s^{-1} in 1910 s^{-1} nista bila odvisna od višine vode pri dodatnih poskusih in sta ustrezala lastnemu



nihanju posode. Izrazit vrh pri prvi frekvenci se je pojavil, ko so s plastičnim merilom udarili posodo (slika 2). Vrh, ki ga je bilo mogoče opaziti pri dodatnih poskusih med frekvenca-
ma 370 s^{-1} pri 0,2 litra vode in 860 s^{-1} pri 1,6 litra vode, je ustrezal lastnemu nihanju stolpca zraka nad vodo. Lastnemu nihanju vode je ustrezala visoka frekvenca 3850 s^{-1} , ki se je zaradi mehurčkov v vodi znižala na 2000 s^{-1} – 2500 s^{-1} . Pri temperaturah nad $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ sta se pojavila vrhova pri frekvencah 130 s^{-1} in 190 s^{-1} , ki ju je bilo mogoče dobro ločiti tudi z ušesom. Nista bila odvisna ne od višine vode v posodi ne od sno-

Slika 3. Zvočni spekter 1 litra destilirane vode v dvelitrski valjasti stekleni posodi.

vi, iz katere je bila posoda, ne od njene oblike. Njihova jakost je bila tem večja, čim več vode je bilo v posodi. Najbrž sta to lastni frekvenci, ki se pojavita pri izginjanju mehurčkov tik ob gladini vode.

V tretjem primeru je destilirana voda oddajala mnogo šibkejši zvok od navadne. Izrazitejši zvok se je pojavil šele pri temperaturi 98 °C. Nad to temperaturo je bilo mogoče opaziti vrhove pri enakih frekvencah kot prej.

Nastanek zvoka so pojasnili s pojavi v vodi, ki se segreva. Pri nižjih temperaturah imajo pri tem odločilno vlogo konvekcijski tokovi, ki ne rodijo zvoka. Pri višjih temperaturah pa je najpomembnejši pojav nastajanje mehurčkov. Nad temperaturo okoli 40 °C nastanejo v neprekuhani vodi na steni posode mehurčki zraka in potujejo navzgor, ne da bi pri tem nastal zvok. Pri temperaturi okoli 70 °C začnejo nastajati na dnu posode mehurčki pare. Najprej nastajajo in sunkovito izginevajo, in to do tridesetkrat in večkrat v sekundi. Sunke prenaša voda do sten, ki zanihajo z lastno frekvenco. Nad temperaturo okoli 90 °C se nastali mehurčki dvigajo in zginejo šele blizu gladine. Pri vretju pa nastajajo mehurčki v vsej prostornini vode. Jakost zvoka se zmanjša tedaj tudi zato, ker postane gladina neravna in zato voda nima več izrazitih lastnih frekvenc. V destilirani vodi nastanejo mehurčki šele tik pod vreliščem. To priča, da se v navadni vodi izločajo na steni posode raztopljene soli. Delci teh soli sestavljajo dodatna jedra, okoli katerih se razvijejo mehurčki. Več mehurčkov pomeni močnejši zvok. Podoben učinek kot z destilirano vodo je mogoče doseči v navadni vodi z močnim mešanjem, ki tudi zavira nastajanje mehurčkov.

Šumenje vode med segrevanjem lahko tedaj zmanjšamo, če uporabimo posodo brez lastnih frekvenc na opazovanem frekvenčnem pasu, če notranjo steno posode prevlečemo z zelo gladko plastjo, če uporabimo destilirano vodo ali če vodo mešamo. Mehurčki na steni namreč nastajajo ob drobnih izboklinah in jih je manj, če izboklin ni. Takšne posode pa zunaj laboratorija najbrž nihče ne bi navdušeno sprejel. Marsikdo bi pogrešal prijetne občutke, ki jih zbuja šumenje vode pri kuhanju čaja ali kave.

Janez Strnad

EUROBIT