

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 15 (1987/1988)

Številka 4

Strani 210-212

Janez Strnad:

HOJA PO ŽAREČEM KAMENJU

Ključne besede: fizika, ogenj, Leidenfrost.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/15/902-Strnad.pdf>

© 1988 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

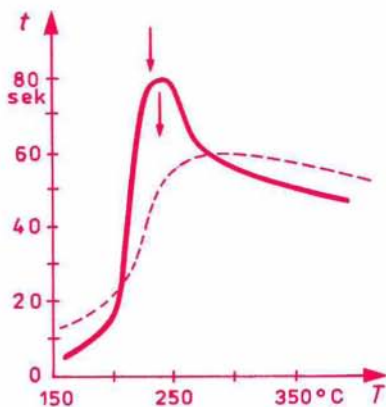
Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

HOJA PO ŽAREČEM KAMENJU

Na koncu sestavka o temperaturi teles ob dotiku smo vprašali, kako to, da si nekateri pri hoji po razžarjenem kamenju ali oglju ne opečejo podplatov. Kako to, da ne dobimo ozeblin, če na dlan ujamemo kapljo dušika pri vrelišču -196°C ? Vprašanje zasučimo drugače: Kolikšen čas se lahko dotikamo telesa z zelo visoko ali zelo nizko temperaturo, ne da bi temperatura na površju kože dosegla 100°C ali padla pod 0°C ? Na kratko poskusimo odgovoriti na to vprašanje.

Na začetku moramo omeniti *Leidenfrostov pojav*. Pojav je prvič opisal leta 1756 Johann Gottlieb Leidenfrost v *Spisu o nekaterih lastnostih navadne vode*. Spis v latinščini je bil dolgo časa pozabljen.

Pojav poznajo kuharice v več inačicah. Pri peki palačink preskušajo z njim, ali je ponev že dovolj vroča. Na dno ponve kanejo kapljo vode. Če se kaplja razleti in hitro izpari, je temperatura ponve še prenizka. Če pa se kaplja ne razleti in počasi izpareva, je temperatura že dovolj visoka. Tedaj majhen del vode iz kaplje ob dotiku s ponvijo takoj izpari in da tanko plast pare, po kateri se giblje kaplja kot vozilo na zračni blazini. Para kot vsi plini (razen vodika) razmeroma slabo prevaja toploto in kaplja le počasi izpareva. Pri nižji temperaturi med kapljo in vročo kovinsko ploščo ne nastane plast pare, kaplja se razleti na majhne dele, ki hitro izparijo. Pri mejni temperaturi Leidenfrostovega pojava se življenjski čas kaplje izrazito podaljša (slika 1). Pri višji temperaturi — kot



Slika 1. Življenjski čas kapljice v odvisnosti od temperature vroče kovinske plošče. Nad mejno temperaturo Leidenfrostovega pojava, ki jo kažeta puščici, življenjski čas izrazito naraste. Sklenjena krivulja velja za kapljice destilirane vode s prostornino $0,0103\text{ cm}^3$ in črtkana za kapljice vodovodne vode s prostornino $0,0119\text{ cm}^3$.

rečeno – kaplja počiva na tanki plinski plasti in počasi izpareva (slika 2).

Med vročim kamnom in kožo na podplatih ali med kapljo dušika in kožo na dlani nastane za Leidenfrostov pojav značilna tanka plinska plast. V prvem primeru je to plast vodne pare, ki izhlapi iz vlažne kože, v drugem pa plast dušika, ki izpari iz kaplje.

Koža, s katero se približamo telesu s temperaturo T , prejme skozi plinsko plast z debelino l' in s toplotno prevodnostjo λ' toploto, zaradi katere se na površju segreje od temperature T' na T_0 . Velja:

$$\lambda' t S (T - T_0) / l' = \lambda t S (T_0 - T') / l$$

Podobno enačbo, ki preko zakona o prevajanju toplote izenači prejeto in oddano toploto, smo srečali že zadnjič. Zdaj je drugače le to, da je debelina plinske plasti l' določena, za globino kože, do katere sega temperaturna sprememba, pa vstavimo $l = \sqrt{\lambda / \rho c_p} \sqrt{t}$.

Zanima nas čas, v katerem doseže temperatura na površju kože T_0 najvišjo dovoljeno vrednost:

$$t = \lambda \rho c_p [l' (T_0 - T') / \lambda' (T - T_0)]^2$$

Toplotna prevodnost λ , gostota ρ in specifična toplota c_p zadevajo kožo in uporabimo zanje kar podatke za vodo: $\lambda = 0,63 \text{ W/Km}$, $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ in $c_p = 4200 \text{ J/kgK}$. Debelino plinske plasti ocenimo na desetino milimetra, torej $l' = 10^{-4} \text{ m}$, in postavimo za njeno toplotno prevodnost kar podatek za zrak $\lambda' = 0,026 \text{ W/Km}$. S temperaturami $T = 600^\circ\text{C}$, $T' = 36^\circ\text{C}$ in $T_0 = 100^\circ\text{C}$ sledi za čas 0,6 sekunde.

To je zgolj ocena. Tudi s snovnimi konstantami nismo ravnali posebno obzirno in nismo upoštevali, da so odvisne od temperature. Spomnimo se še, da pričakujemo za čas v splošnem prevelike ocene. Na drugi strani pa upoštevajmo, da se nekaj toplote porabi še za izparevanje vode in da se temperatura površja kamna zniža pod T . Tako smemo vztrajati pri času nekaj desetih se-



Slika 2. Kapljica vode na vroči kovinski plošči nad mejno temperaturo Leidenfrostovega pojava. Kapljica počiva na tanki plasti pare in počasi izpareva. Ta slika in prejšnja sta vzeti iz Walkerjevega članka v Scientific Americanu.

kunde. V tolikšnem času se segreje površje kože na 100°C , če ga od telesa s temperaturo 600°C loči tanka plinska plast. Nekaj desetink sekunde je dovolj, da prestopimo z noge na drugo nogo.

Če upoštevamo, da je temperatura na površju kamna le T_{k0} , velja:

$$\lambda_k t S (T - T_{k0}) / l_k = \lambda' t S (T_{k0} - T_0) / l' = \lambda t S (T_0 - T) / l$$

Ko vstavimo za debelino plasti $l_k = \sqrt{\lambda_k / \rho_k c_{pk}} \sqrt{t}$, dobimo:

$$\sqrt{\lambda_k \rho_k c_{pk}} (T - T_{k0}) / \sqrt{t} = \lambda' (T_{k0} - T_0) / l' = \sqrt{\lambda \rho c_p} (T_0 - T) / \sqrt{t}$$

Izenačimo prvi in zadnji izraz in izračunamo neznanu temperaturo T_{k0} :

$$T_{k0} = T - \sqrt{\lambda \rho c_p} (T_0 - T) / \sqrt{\lambda_k \rho_k c_{pk}}$$

S podatki za granit $\lambda_k = 1,4 \text{ W/Km}$, $\rho_k = 2,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ in $c_{pk} = 820 \text{ J/kgK}$ dobimo $T_{k0} = 500^{\circ}\text{C} - 55^{\circ}\text{C}$. S to oceno sledi po prejšnji enačbi, v katero vstavimo T_{k0} namesto T , nekoliko daljši čas 0,8 s. To pomeni, da je temperatura kamenja lahko še nekoliko višja kot 600°C , ali temperatura na površju kože ne doseže 100°C , pa bo še vedno za prestop z noge na nogo na voljo več desetink sekunde.

“Hoja po ognju”, če je dovolj urna na vročih snoveh z majhno specifično toploto in majhno toplotno prevodnostjo, ne povzroča opeklin. Leidenfrostov pojav, do katerega pride ... tudi zmanjša toploto, ki jo prejme površje telesa.

D.F. Marks, *Investigating the paranormal*, Nature 320 (1986) 19

Če vzamemo za $T = -196^{\circ}\text{C}$ in za $T_0 = 0^{\circ}\text{C}$ ter spremenimo znak obeh razlik, sledi $t = 1,3 \text{ s}$. Tako imamo dovolj časa, da spustimo kapljo dušika na tla ali jo prestavimo na drug del dlani.

Poskus s kapljo dušika lahko naredi vsakdo. Hojo po vročem kamenju ali oglju pa zmorejo samo tisti, ki so dovolj hladnokrvni, imajo dovolj debelo kožo na podplatih in pripravljeni prestatati tudi nekaj boležin. V vse, okoliščine njihovega dejanja se fizik ne more spuščati. Dovolj je, če razgrne njegovo fizikalno osnovo.

Janez Strnad