

# **PRESEK**

**List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje**

ISSN 0351-6652

Letnik **31** (2003/2004)

Številka 1

Strani 34-36, I, IV

Andrej Likar:

## **S TRENJEM DO VISOKIH TEMPERATUR**

Ključne besede: fizika, mehanika, trenje, toplota, gostota toplotnega toka.

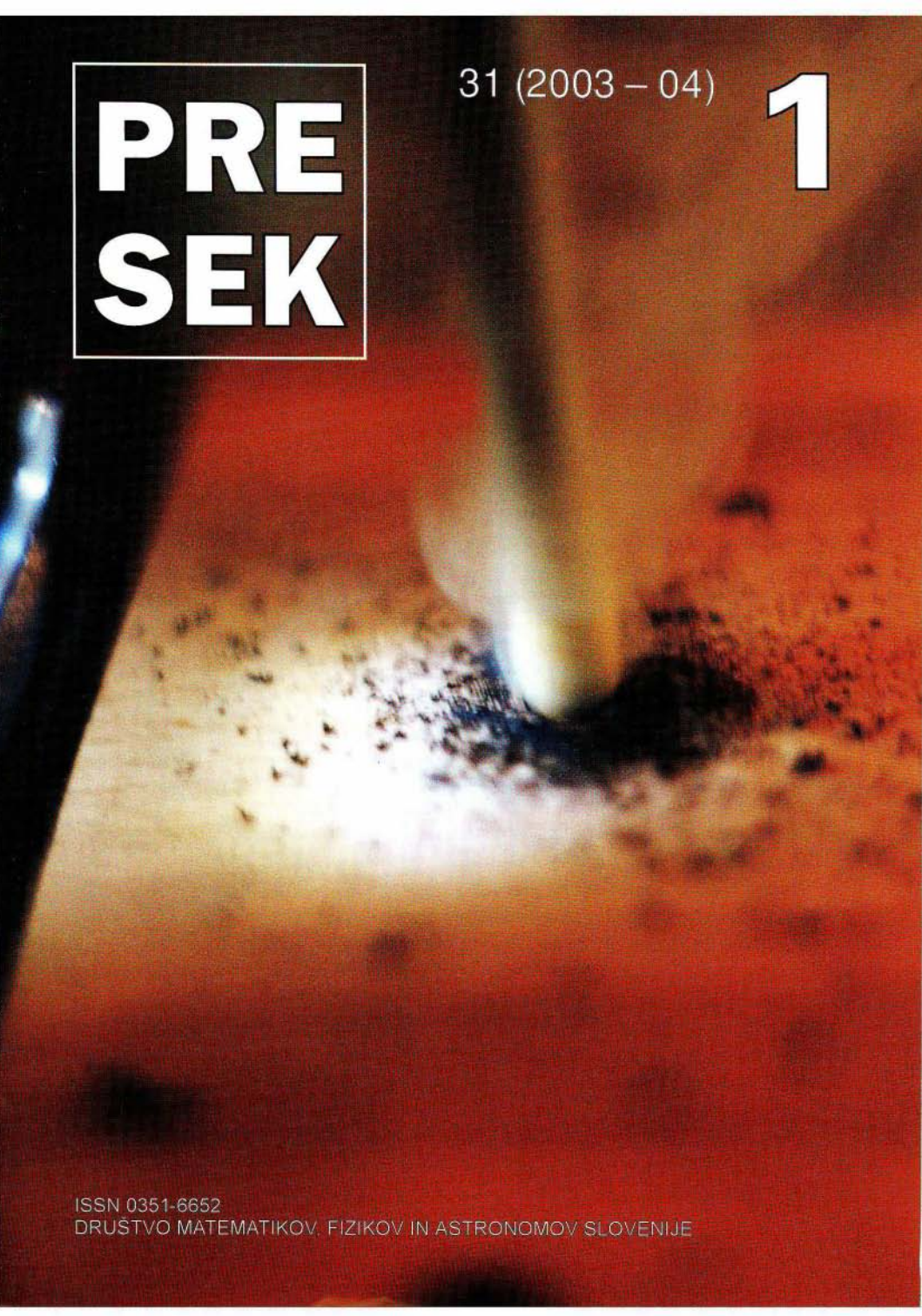
Elektronska verzija: <http://www.presek.si/31/1538-Likar.pdf>

© 2003 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.

# PRE SEK



31 (2003 – 04)

1

ISSN 0351-6652

DRUŠTVO MATEMATIKOV, FIZIKOV IN ASTRONOMOV SLOVENIJE

## S TRENJEM DO VISOKIH TEMPERATUR

V prispevku *O trenju*, I. del, na strani 28, nas avtor spomni, da so nekdanj ljudje prav s trenjem prišli do ognja. Tako si še danes zakurijo lovci primitivnih plemen v področjih, kjer so odvisni predvsem od lastne iznajdljivosti (slika na IV. strani ovitka). Da je za tak način pridobivanja ognja potrebna posebna spretnost, se hitro prepričamo, ko z drgnjenjem lesenih ploščic drugo ob drugo skušamo ožgati njuni površini. Ni pa težko ožgati lesa pri vrtenju ali žaganju z električnim orodjem, pri katerem se sprošča precejšnja moč. Brez orodja se posreči z vrtenjem paličice, ki jo z ostrim koncem postavimo v luknjico v leseni ploščici (slika na naslovnici). Izurjenemu lovcu hitro zagori okrog luknjice naloženo predivo tudi, ko vrti palico med dlanmi. Če si pri vrtenju pomagamo z lokom, pri katerem je tetiva ovita okrog palice, ki jo na zgornjem koncu potiskamo navzdol s prikladnim kamnom, se posreči zakuriti tudi izletnikom, če je le les dovolj suh. V ne tako oddaljeni preteklosti so prišli do ognja s kresanjem kremenov, torej spet s trenjem. Iskre so padale na izredno tanka vlakna posušene drevesne gobe in jih zažgale.

Oglejmo si razmere pri drgnjenju lesenih ploščic, saj so tedaj računi najpreprostejši. Pri tem premagujemo silo trenja  $F_{tr} = k_t F$ , kjer je  $k_t$  koeficient trenja,  $F$  pa sila, s katero stiskamo ploščici. Pri drgnjenju opravljamo delo

$$A = F_{tr}s, \quad (1)$$

ko na poti  $s$  premagujemo silo trenja  $F_{tr}$ . Pri tem je moč  $P$  kvocient opravljenega dela in časa  $t$ , v katerem smo delo opravili, torej  $P = \frac{A}{t}$ . *Gostota toplotnega toka*  $j$ , ki ga tako dovajamo na površino  $S$  ploščic z delom, pa je določena kot moč, deljena s površino:

$$j = \frac{A}{St} = \frac{kFs}{St} = \frac{kFv}{S}. \quad (2)$$

Radi verjamemo, da bo prav gostota toplotnega toka odločilna pri segrevanju površine ploščic. Povezavo med to količino in potekom temperature na površini bomo le navedli, saj je pot do nje prezapletena. Temperatura stičnega mesta narašča s časom takole:

$$T(t) = j \sqrt{\frac{t}{\pi \lambda \rho c_p}} + T_0. \quad (3)$$

Začetno temperaturo lesa smo označili s  $T_0$ . V enačbi nastopajo še tri pomembne količine, in sicer toplotna prevodnost lesa  $\lambda$ , njegova

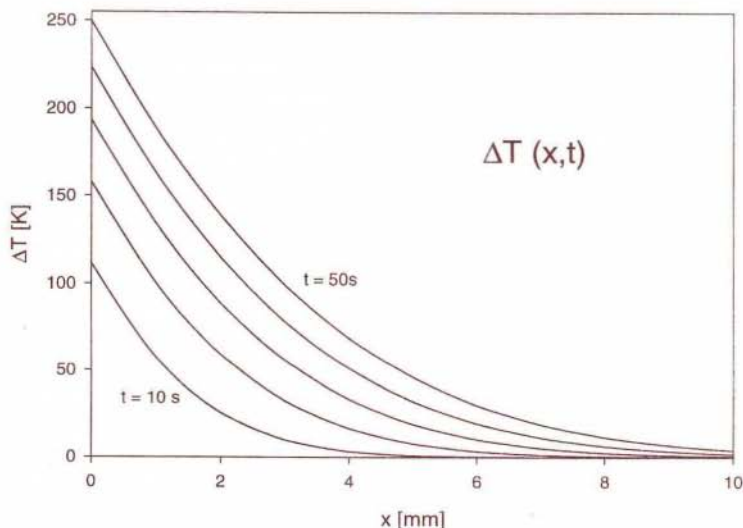
gostota  $\rho$  in specifična toplota pri konstantnem tlaku  $c_p$ . Zanimivo je, da temperatura narašča kot  $\sqrt{t}$ , torej zelo hitro na začetku drgnjenja, potem pa vse počasneje. V enačbi smo že upoštevali, da se grejeta obe ploščici. Vrednosti za omenjene količine pri lesu so blizu naslednjim:  $\lambda = 0.15 \text{ W/mK}$ ,  $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$ ,  $c_p = 1700 \text{ J/kgK}$ .

Kolikšna pa je gostota toplotnega toka? Ta je seveda odvisna od vneme, s katero ploščici drgnemo. Koeficient trenja med lesenima površinama je med 0,25 in 0,50. Če med drgnjenjem stiskamo ploščici s silo 50 N pri hitrosti ene ploščice glede na drugo  $1 \text{ ms}^{-1}$  in pri površini ploščic po  $1 \text{ dm}^2$ , je gostota toplotnega toka

$$j = \frac{kFv}{S} = \frac{0,550}{10^{-2}} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 2500 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}. \quad (4)$$

Z navedenimi podatki izračunajmo čas  $t$ , v katerem se površini segrejeta na temperaturo  $230^\circ\text{C}$ , ko začne les goreti. Če začnemo pri temperaturi  $20^\circ\text{C}$ , moramo les na površini segreti za  $\Delta T = 210^\circ\text{C}$ . Čas  $t$  dobimo iz enačbe (3) takole:

$$t = \pi \lambda \rho c_p \frac{(\Delta T)^2}{j^2}. \quad (5)$$



Slika 1. Potek temperaturne razlike pri drgnjenju ploščic pri gostoti toplotnega toka  $j = 20 \text{ kW/m}^2$ . Ostali podatki so navedeni v besedilu.

Ko vstavimo ustrezne vrednosti, dobimo  $t = 2260$  s. Dobljeni čas blizu ene ure jasno pove, da bo tako drgnjenje po vsej verjetnosti neuspešno. V enačbi za čas  $t$  lahko izdatno spreminjamo le gostoto toplotnega toka  $j$ , na ostale parametre lahko vplivamo le v manjši meri z izbiro ustreznega lesa. Moči  $k_t F v$  ne moremo bistveno povečati, vplivamo lahko le na površino  $S$ . Z zmanjšanjem le te za faktor  $10^2$  od  $1 \text{ dm}^2$  na  $1 \text{ cm}^2$  bi se čas skrajšal za faktor 10 000, torej od skoraj ene ure na del sekunde, kar je prav vabljivo. Razmere okrog tako majhne površine so sicer nekoliko drugačne kot med večjima ploskvama, enačbe pa vseeno tudi tedaj kar dobro veljajo. Tudi dovedena mehanična moč bo nekaj manjša. Pri kresanju kremenovih kamnov je dovedeno delo prav majhno, moč pa velika, saj traja kres delček sekunde. Gostota toplotnega toka pa je še posebno velika, ker je torna površina pri kresilu zelo majhna. S slike 1 razberemo, da se najprej znatno segreje le nekaj milimetrov tanka plast lesa. Debelina segrete plasti se s časom povečuje in ne preseže debeline enega centimetra, ko najbolj vroča plast doseže temperaturo vnetišča.

Računi in izkušnje torej kažejo, da ne gre obupati, ko se znajdemo brez vžigalnika kje na samem in bi se radi ob ognju pogreli.

*Andrej Likar*

