

# PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 29 (2001/2002)

Številka 3

Strani 140-142

Janez Strnad:

## ALI STEKLO TEČE?

Ključne besede: fizika, zgradba snovi, steklo, deformacije.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/29/1478-Strnad.pdf>

© 2001 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.

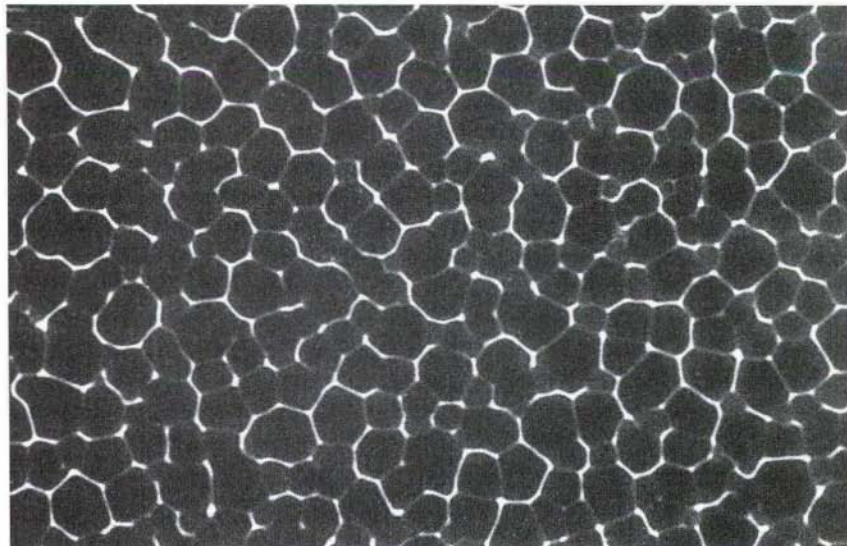
## ALI STEKLO TEČE?

Od časa do časa v tej ali oni fizikalni reviji oživi razprava o tem, ali steklo zaradi teže teče, podobno kot med, samo veliko počasneje. Nekateri zatrjujejo, da steklo teče zato, ker ni prava trdnina, ampak podhlajena kapljevina. O tem naj bi pričale šipe srednjeveških katedral, ki da so na spodnjem delu debelejše kot na zgornjem. Na mnenje, da steklo teče pri sobni temperaturi, naletimo v Evropi ter Južni in Severni Ameriki, tako da utegne biti res dokaj razširjeno po svetu. Trditve te vrste najdemo celo v nekaterih učbenikih in strokovnih knjigah, npr. v izdaji *Britanske enciklopedije* iz leta 1966.

Steklo je izjemna snov, ki je imela že v preteklosti velik pomen in ga ima tudi dandanes, posebej če upoštevamo, da svetlobni vodniki prenesejo čedalje več sporočil. Navadno silikatno steklo sestavljajo oksidi silicija  $\text{SiO}_2$  (73,2 %), natrija  $\text{Na}_2\text{O}$  (13,4 %), kalcija  $\text{CaO}$  (10,6 %), aluminija  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (1,3 %), kalija  $\text{K}_2\text{O}$  (0,8 %), magnezija  $\text{MgO}$  (0,7 %) in primesi. Navedeni masni deleži so tipični za navadno današnje steklo, pogosto pa naletimo tudi na nekoliko drugačno sestavo. Nekdanja stekla so, npr., vsebovala več kalijevega oksida kot natrijevega.

Zgradba stekla je posebnost in je ni lahko opisati. Pri sobni temperaturi steklo ni v toplotnem ravnovesju. Dostikrat primerjajo steklo z raztopino ali zlitino. Sestavljajo ga gruče atomov, velike po okoli 100 nanometrov s po sto milijoni atomov. V gručah sicer nihajo atomi okoli svojih ravnovesnih leg, kot je značilno za kristal, vendar gruče ne moremo obravnavati ne kot drobne kristale ne kot ogromne molekule. Ne samo, da so različno velike, ampak delujejo nanje zelo različne mehanične napetosti. Zato v steklu na večjih razdaljah ne opazimo urejenosti. Na krajših razdaljah pa opazimo urejenost, značilno za nekristalne trdnine (slika 1).

Pri temperaturi pod  $400^\circ\text{C}$  se steklo kaže kot trdno telo, ki se mu pod vplivom zunanje sile sicer spremeni oblika, a se vrne v prvotno obliko, ko sila preneha. To je značilno za *prožno deformacijo*. Steklo se zlomi ali počí, če sila preseže določeno mejo, steče pa ne. Teža je v tej zvezi razmeroma šibka sila. Zaradi nje bi morda zasledili trajno, *neprožno* deformacijo stekla v času, ki bi presegel starost vesolja. Večkrat so v laboratoriju poskušali izmeriti, kako steklo teče, a pri tem niso uspeli. Stekljeni predmeti, stari več kot 3 000 let, so obdržali svojo obliko. Misel, da steklo pri navadni temperaturi pod vplivom teže nekako spreminja obliko, je "mit, ki nasprotuje izkušnjam arheologije in sodobnim raziskovanjem narave materialov".



Slika 1. Vtis o zgradbi stekla da slika z elektronskim presevnim mikroskopom 60 nm debele plasti polprevodniškega stekla  $\text{As}_2\text{Se}_3$ . Povprečni premer gruč meri 100 nm, presledki med njimi so v povprečju po 3 nm široki in segajo v povprečju 57 nm globoko, ponekod tudi skozi vso plast. (1 nm, nanometer, je milijardina metra ali milijonina milimetra.) Slika je iz članka J. C. Phillipsa *The physics of glass*, *Physics Today*, februar 1982, str. 27.

Šipe v barvastih oknih srednjeveških katedral pa so kljub temu lahko na spodnjem delu debelejše. Pred letom 1890 so šipe izdelovali tako, da so s pihanjem naredili votel valj iz raztaljenega stekla, ki so ga prerezali po strani in sploščili, ali tako, da so kos takega stekla hitro vrteli na plošči. V obeh primerih so nazadnje pogosto narezali prizme s klinasto osnovno ploskvijo. Take šipe so vgradili v sestavljena okna tako, da so bile enako usmerjene, npr., da so bile spodaj debelejše. Le tako so dosegli, da je bilo videti ravne črte v okolici, ki so jih opazovali skozi sestavljeno okno, približno ravne. Ravne črte pa bi videli kot skokovito prekinjene, če bi kose šip vgradili neurejene.

Tudi pisec teh vrstic ima zaradi stekla nekoliko slabo vest. V drugem delu *Fizike* preberemo: "Velika zrcala je nekoliko lažje izdelati in namestiti v daljnogled kot enako velike leče. Steklo je namreč podhlajena kapljevina in obstaja nevarnost, da se zaradi lastne teže po dolgem času spremeni ukrivljenost ploskev leče." Omemba podhlajene kapljevine v tej zvezi zavede, še posebej, ker zadnji del trditve namiguje na neprožno deformacijo. Prvi del trditve pa velja. Zares je veliko zrcalo lažje vpeti in premikati kot

veliko lečo, ki jo je vrhu tega treba zbrusiti vsaj na dveh ploskvah. Od leta 1897 ima Yerkesov observatorij univerze v Chicagu daljnogled, katerega objektiv sestavljata dve leči s premerom 1 meter. Do leta 1908 je bil to največji daljnogled na svetu, do danes pa je ostal največji daljnogled z lečo.

Vendar moramo biti pri steklu pripravljene na presenečenja. Valjasto palico, vpeto na eni osnovni ploskvi, ob drugi za kratek čas obremenimo na zasuk, kot pravimo, na torzijo. Druga osnovna ploskev se zasučé glede na prvo in se vrne v začetno lego, ko obremenitev preneha. Pri dolgotrajni obremenitvi se ploskvi nekoliko bolj zasučeta druga glede na drugo in druga ploskev ostane malo zasukana, ko obremenitev preneha. Toda to ni neprožna deformacija, ker se čez dalj časa neobremenjena palica le vrne v začetno lego. Pojav pojasnijo z gibanjem natrijevih in kalijevih ionov: najprej razmeroma počasi odtavajo v lege, ki bolj ustrezajo obremenitvi, po prenehanju obremenitve pa odtavajo nazaj v začetne lege.

Družba Corning Glass, ena od večjih v ZDA, priporoča, da pri prevozu škatlo s steklenimi cevkami položijo na vodoravno podlago. To pa ni povezano z morebitno neprožno deformacijo cevk zaradi teže, ampak s tem, da bi se lahko cevke na krajišjih poškodovale, če bi škatlo postavili navpično. Pogosto so te cevke rahlo ukrivljene, največ za nekaj milimetrov na dolžini enega metra. Vendar tega ni kriva neprožna deformacija, ampak način izdelave.

Za konec še zanimivost. Pri kitajskih porcelanastih vazah poznajo pojav, da glazura teče in da je to mogoče opaziti v času z velikostno stopnjo 500 let. Pri tem nastane neprožna deformacija zaradi površinske napetosti, ki pride močnejše do izraza kot teža. Pojav celo uporabljajo, da določajo starost in pristnost vaz.

James Phillips je menil, da naj bi fiziki o lezenju stekla, ki ga ni, razmišljali kot o nečem, kar naj bi bilo. To bi jih spodbudilo, da bi skrbno razločevali med kristalnimi in nekristalnimi trdninami in se ne bi omejili samo na trditev, da kažejo prve periodično zgradbo, to je urejenost dolgega dosega, druge pa ne. Ali se nismo ravnali po tem namigu?

Zakaj je mogoče kovinsko pločevino ukriviti, to je neprožno deformirati, ploščice kremenca ali ledu pa ne? Pri roki je preprosta razlaga: vezi med atomi v izolatorju so usmerjene, vezi med ioni v kovini pa ne.