

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 21 (1993/1994)

Številka 3

Strani 142-145

Janez Strnad:

O DRSANJU PO LEDU

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/21/1174-Strnad.pdf>

© 1993 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.

O DRSANJU PO LEDU

Pred časom je Presek prinesel prispevek o tem, zakaj se lahko smučamo in drsamo (18 (1990/91) 194). Smučanja in drsanja ne omogoča znižanje tališča ledu zaradi povečanega tlaka pod smučko ali drsalko. To razlago je ponudil že leta 1861 James Thomson, brat Williama Thomsona, lorda Kelvina. Vendar pokaže preprost premislek, da je zgrešena. Tlak bi namreč moral preveč narasti, denimo, za 130 barov, da bi se tališče ledu znižalo za 1 stopinjo na $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kljub temu najdemo razlago to v številnih fizikalnih knjigah.

Ni pomembno znižanje tališča zaradi povečanega tlaka, ampak trenje, pri katerem se sprosti toplota. Zaradi nje se stali tanka plast ledu in zmanjša koeficient trenja. To ugotovitev so podprli poskusi F.P.Bowdena in T.P.Hughesa leta 1939 in F.P.Bowdena leta 1953, o katerih je poročal prispevek. Kar zadeva smučanje, je to zares poglavitni razlog za to, da je koeficient trenja pri drsenju smučke po snegu razmeroma majhen. Pri drsanju pa taljenje zaradi trenja ni edini razlog za to, da je koeficient trenja majhen. Drugi razlog je tanka plast vode na ledu zaradi pojava, ki mu pravijo *površinsko taljenje*. Površinsko taljenje se pojavi, četudi ni povečanega tlaka in ni trenja. To ne velja samo za led, ampak tudi za kristale drugih snovi. Energijsko je ugodneje, da se zelo tanka plast trdnine na površju stali. To velja tudi pri temperaturi, ki je znatno nižja od tališča, če kapljevina omoči trdnino. Tanko plast kapljevine med njeno paro in trdnino smemo primerjati z nihalom v najnižji legi, trdnino in njeno paro pa z nihalom, ki je malo izmaknjeno iz te lege: ko ga spustimo, zaniha proti najnižji legi. O tem, kako kapljevina omoči steno ali ne, govorimo v zvezi s površinsko napetostjo. Podrobno pa obdelajo te pojave v *fiziki površin*, ki se je kot posebna veja razvila v zadnjem času.

Na tanko plast vode na ledu je pomislil že leta 1842 angleški fizik Michael Faraday, eden od najspretnjših eksperimentatorjev. Tega leta je začel vrsto poskusov, ki je trajala dvajset let. Že spočetka je ugotovil:

- Če stisnemo moker sneg, zmrzne v kepo (z vodo) in ne razpade, kakor razpade moker pesek ali kaka druga snov.
- Ob toplem vremenu zmrzneti kosa ledu v en kos, če ju položimo drugega vrh drugega in ovijemo s flanelasto krpo.
- Vse to namiguje, da voda pri $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ne bo obstajala kot voda med dvema površjema ledu, ki se dotikata ali sta zelo blizu skupaj.
- Led deluje kot jedro, vendar se zdi, da učinek enega površja ledu na vodo ni enak kot skupni učinek dveh površij.

Kljub temu, da je podobne poskuse naredil leta 1856 tudi John Tyndall (ki smo ga srečali pri Stefanovem zakonu o sevanju in ki je enako kot Jožef Stefan umrl pred sto leti), je tedaj prevladalo mnenje Jamesa Thomsona. Šele po sto letih se je pokazalo, da je imel Faraday prav.

Vendar v Faradayevem času ni bilo mogoče neposredno opazovati kapljevine plasti na kristalu ali celo ugotoviti njene debeline. To so lahko fiziki storili šele v zadnjih letih. Najprej so leta 1982 poskušali ugotoviti debelino kapljevine plasti na kristalih galija in kalija. Po ugotovitvah, ki niso bile nedvoumne, se je zdelo, da tanka plast sicer obstaja, vendar le pri temperaturi, ki ni znatno nižja kot tališče. Potem so leta 1986 začeli delati poskuse s plastmi žlahtnih plinov na grafitu. V odvisnosti od debeline plasti so merili specifično toploto, to je toploto, ki jo je bilo treba dovesti, da se je - preračunano - kilogram plasti segrel za eno stopinjo. Zasedli so izrazito temperaturno odvisnost: pri določeni temperaturi je bila specifična toplota veliko večja kot pri nižji in višji temperaturi. To so pojasnili z nekakšno fazno spremembo v plasti. Podrobnosti pri debelini deset molekul ali manj so nakazovale površinko taljenje.

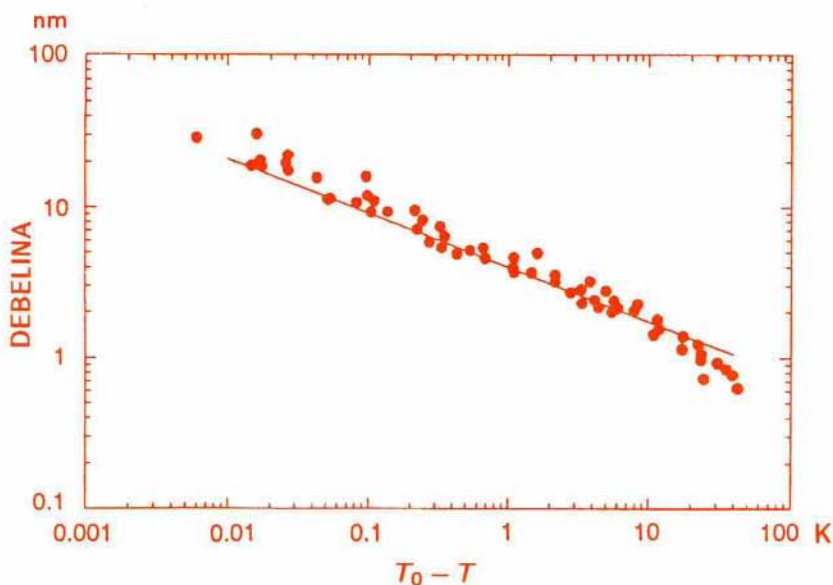
Potem so delali poskuse s plastjo kapljevinega svinca na velikih kristalih svinca, katerih določene kristalne ploskve so raziskovali s curkom ionov vodika, tako da so merili delež sipanih ionov v smeri nazaj. Plasti kisika na grafitu in metana na magnezijevemu oksidu so raziskali z nevtroni. Pri teh poskusih so ugotovili kapljevine plasti po tem, da v njih molekule niso bile urejeno razporejene kot v kristalu. Pokazalo pa se je tudi to, da tik ob kristalu molekule kapljevine niso tako neurejene kot v navadni kapljevine, ampak se v povprečju prilagodijo urejeno razporejenim molekulam v kristalu. Mejna plast, ki nastane zaradi površinskega taljenja, ustvari nekakšen postopen prehod od urejenega kristala do popolnoma neurejene pare.

Pri ledu so zamisel o površinskem taljenju najprepričljiveje podprle nove izvedbe starih poskusov, s katerim so nekdaj utemeljevali taljenje zaradi znižanja tališča ob povečanem tlaku. *Regelacije*, ki ji po novo raje rečejo *sintranje ledu*, ni težko pokazati. Na ledeno klado obesimo žico z utežema. Pod žico se zaradi povišanega tlaka zniža tališče in se led stali. Žica se spušča in na njeni zgornji strani voda zopet zmrzne. Hitrost, s katero se spušča žica, je odvisna od prevajanja toplote skozi žico. Naposled se žica spusti skozi klado in pade z utežema po tleh, klada pa ostane v enem kosu. Poskus naredimo kar v razredu ali predavalnici pri sobni temperaturi, kar tudi vpliva na čas, v katerem pride žica skozi klado.

R.R.Gilpin pa je leta 1980 pri poskusih nadzoroval temperaturo vse naprave. Žico je tako malo obtežil, da ni bilo treba upoštevati znižanja tališča zaradi povišanega tlaka. Toda žica se je kljub temu spuščala skozi klado. Hitrost, s katero se je spuščala, je bila odvisna od debeline kapljevinske plasti, ki je nastala zaradi površinskega taljenja, ne zaradi znižanega tališča, in od upora pri gibanju žice po vodi. Tanko plast vode na ledu je zasledoval do temperature $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Že prej so napovedali, da je pri danem tlaku in temperaturi T debelina kapljevinske plasti na trdnini odvisna od temperaturne razlike $T_0 - T$, če je T_0 tališče pri tem tlaku. Pri kristalih, v katerih so vezane molekule, je kapljevinska plast sorazmerna z

$$\frac{1}{(T_0 - T)^{1/3}}$$



Slika 1. Debelina vodne plasti na ledu v odvisnosti od razlike med temperaturo in tališčem $T_0 - T$ po Gilpinovih merjenjih. Črta ustreza odvisnosti z eksponentom $\frac{1}{3}$. Slika sta povzela članka J.G.Dash, *Surface melting*, Contemporary physics **30** (1989) 89 in J.D.White, *The role of surface melting in ice skating*, The Physics Teacher **30** (1992) 495.

Gilpinova merjenja so se skladala z napovedjo vsaj na območju med $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (slika 1). Pri temperaturi, ki je nižja od tališča, je plast vode na ledu zelo tanka. Pri temperaturi $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ meri samo 10 nm, to je deset milijonin milimetra. Debelina plasti izrazito narašča, ko se temperatura bliža tališču in ob tališču postane neomejena. Tedaj se trdnina stali po vsej globini, če je na voljo dovolj toplote in dovolj dolgo počakamo.

Pojavov, ki so povezani s tanko plastjo vode na površju ledu, še ne razumemo v celoti. Zato jih skrbno raziskujejo. Raziskovanja so zanimiva tudi zato, ker utegne biti vodna plast na ledu pomembna pri številnih pojavih, ki potekajo ob spreminanju temperature okoli ledišča, na primer pri spreminanju zemeljskega površja, pri poškodbah zgradb in cest ter celo pri elektrenju oblakov in nastanku neviht.

Janez Strnad