

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 15 (1987/1988)

Številka 6

Strani 369-373

Janez Strnad:

ALI UGASNE PADAJOČA SVEČA

Ključne besede: fizika, Arhimed, Einstein.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/15/915-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.

ALI UGASNE PADAJOČA SVEČA?

Ob praznikih okoli novega leta smo videli prižganih veliko sveč. Prijetno in pomirjajoče je opazovati plamen sveče, ki se mirno vije navzgor, samo od časa do časa morda malo vztrepeta. Pri tem se navadno ne zavedamo, kako zapleteni fizikalni in kemijski pojavi se prepletajo pri gorenju sveče. Poskusimo jih samo površno naštet. Zaradi povišane temperature se stali vosek na vrhu sveče. (Dandanes so sveče navadno sestavljene iz stearina — estra stearinske kisline.) Nastalo kapljevino površinska napetost dvigne navzgor po luknjicah v stenju. Na vrhu stenja nastanejo iz kapljevine plinasti ogljikovodiki, se mešajo z zrakom in gorijo. Pri gorenju, to je pri spajanju ogljikovodikov s kisikom iz zraka, se sprošča sežigna toplota, ki jo odvajajo zgoreli plini. Del toplote se s sevanjem in prevajanjem prenese do vrha stenja in do vrha sveče, kjer se porabi za taljenje in izhlapevanje.

Zanimajmo se samo za eno stran zapletenih pojavov, za odvisnost od težnega pospeška. "Od težnega pospeška?" boste rekli. "Kaj pa ima ta opraviti z gorenjem?" Ima, ima. Spomnite se na Arhimedov zakon o vzgonu: na potopljeno telo deluje tekočina z vzgonom, ki je enak teži izpodrinjene tekočine. "Potopljeno telo" so zgoreli plini, ki imajo višjo temperaturo in zato manjšo gostoto od okolnega zraka. Ta zrak deluje nanje z vzgonom, ki povzroča tlačno razliko in ta poganja zgorele pline navzgor. Na njihovo mesto priteka hladen zrak s kisikom, ki je potreben za gorenje. Tlačno razliko med točkama, ki sta druga nad drugo, dobimo tako, da višinsko razliko točk pomnožimo s težnim pospeškom in razliko gostot okolnega zraka in zgorelih plinov. Tok nastane torej zaradi razlike gostot, ta pa zaradi razlike temperatur in ga štejemo h konvekciji.

Tlačna razlika je sorazmerna tudi s težnim pospeškom. Ali sveča torej ne more goreti, če je pospešek enak nič? V opazovalnem sistemu, ki prosto pada, na primer v prosto padajočem dvigalu, je težni pospešek enak nič. V takem sistemu namreč potekajo pojavi, kot da bi se sistem gibal premo enakomerno ali miroval daleč proč od teles z veliko maso. Tako smo pri vprašanju, ki smo ga postavili v naslov. Marsikdo bi po tistem, kar smo rekli, sklepal, da padajoča sveča ugasne. Ker ni teže (gravitacije), ni vzgona, ni odtoka zgorelih plinov in dotoka svežega zraka s kisikom, se ne sprošča sežigna toplota, vosek se ne tali in kapljevina ne izhlapi. Tako so mislili tudi nekateri znani fiziki, med njimi Albert Einstein.

Einstein je imel rad male fizikalne uganke, kakršna je na primer tale: Dobro zaprto svetilko vržemo s stolpa. Čeprav veter ne moti plamena, plamen ugasne, preden svetilka zadene tla. Zakaj? Odgovor: V padajoči svetilki ni gravitacije, zato vročih zgorelih plinov ne odnaša vzgon in zadušijo plamen.

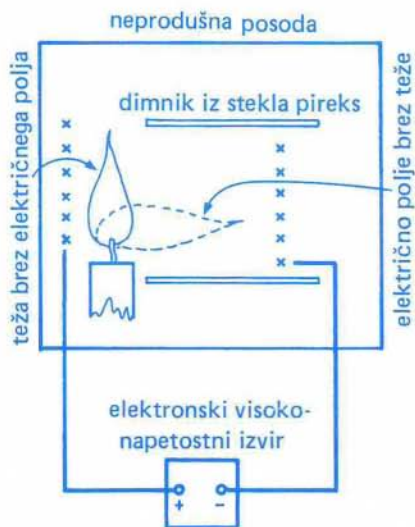
E. Straus, Einsteinov asistent od 1944 do 1948

Uresničitev takega opazovalnega sistema vidimo, na primer, v pogosto omenjenem dvigalu, ki se je odpelo in zdaj prosto pada. Nikakor ni novo, da v njem ne opazimo učinka gravitacije. Zaradi tega bi v njem na primer ugasnila goreča sveča, ker plamen ne more obstajati brez delovanja teže na zgorele pline.

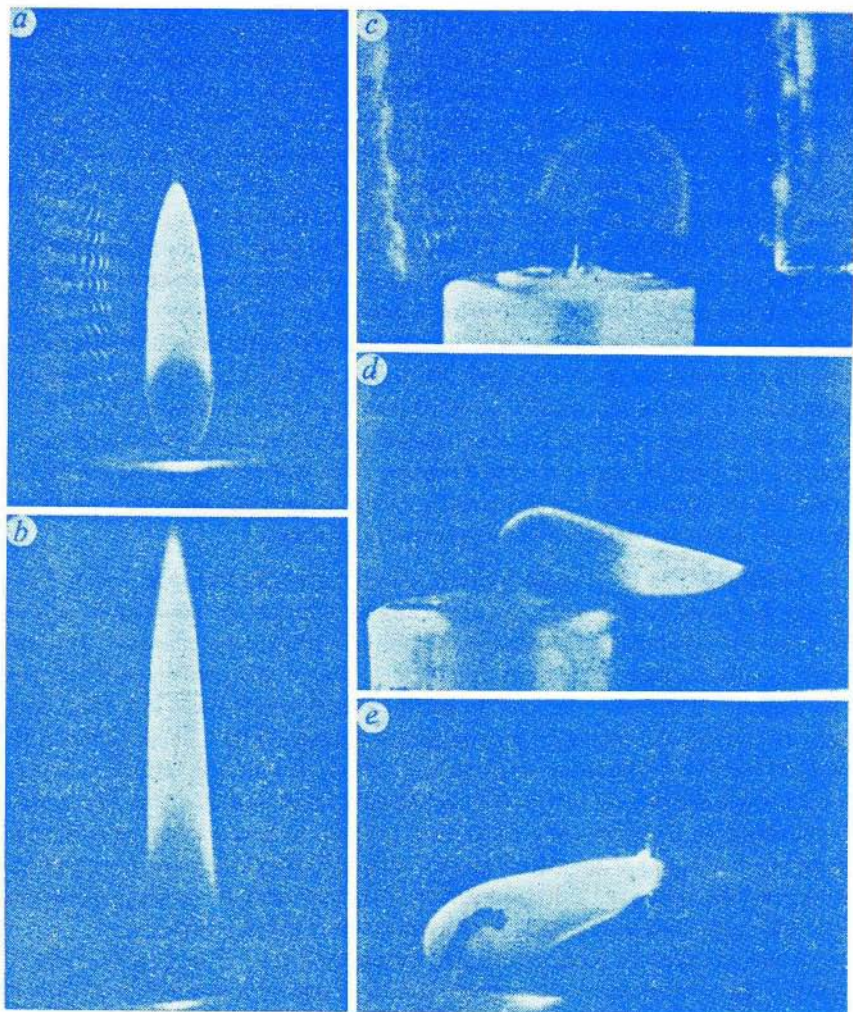
Max von Laue

O čem nas pouči poskus s padanjem? Ne pokaže nič drugega kot nenaden prehod plamena, ki ga napajata konvekcija in difuzija, k čisto difuzijskemu plamenu. V padajoči steklenici ni konvekcije zaradi razlike gostot vročih zgorelih plinov in okolnega zraka.

K. Clusius



Slika 1. Poenostavljena risba poskusne naprave.



Slika 2. Fotografije plamena sveče pri navadnem težnem pospešku (a), pri dvojnem težnem pospešku, ko se letalo po letu po paraboli izravna (b), pri pospešku zelo blizu nič (c), pri pospešku nič in električnem polju (d) in pri pospešku nič in močnejšem električnem polju (e). Slika je vzeta iz članka F.B. Carleton, F.J. Weinberg, *Electric field-induced flame convection in the absence of gravity*, Nature 330 (1987) 635.

Toda vse kaže, da navedeni odgovor ne drži. O tem pričajo poskusi s svečo v steklenici, ki je privezana na dolgo vrv in jo spustijo izpod stropa predavalnice. V temi dobro opazimo, da se plamen spremeni, ko začne sveča padati. Oslabi in postane kroglast, a ne ugasne. Ugasne pa, ko sunek vrvi zadrži steklenico. Sveča torej ne ugasne zato, ker ni težnega pospeška, ampak zato, ker težni pospešek nenadoma nastopi in povzroči vzgon. Ta posrka zgorele pline od stenja in hladen zrak vdre s strani proti stenju in upihne plamen.

Znani fizikalni kemik Klaus Clusius se je s sodelavci ponovno prepričal o tem leta 1963. 9 milimetrov debele sveče je dal v litrske steklenice in jih spustil z vratom navzdol — okoli vratu je pritrdil polkilogramski svinčeni obroč — z 19 metrov visoke stavbe fizikalno—kemijskega inštituta v Zürichu. V steklenici je bilo dovolj zraka, da so sveče gorele 30 sekund. Vseh pet poskusov je potekalo enako. Ko so steklenico spustili, se je plamen napihnil in oslabil. Tak je ostal 2 sekundi, kolikor je trajalo padanje. Ugasnil je šele ob padcu. Poskuse so nadaljevali s 55 metrov visoke stavbe kantonske bolnišnice. Izid poskusov je bil enak. Sedem opazovalcev se je strinjalo v tem, da med 3,3 sekunde trajajočim padanjem sveče niso ugasnile in da so ugasnile ob padcu.

Na *difuzijo*, to je na mešanje dveh plinov na molekulski ravni, ne da bi se pojavil tok plina (veter), teža ne vpliva. Oblika difuzijskega plamena je kroglasta in površina večja kot površina konvekcijsko—difuzijskega plamena. Tok plinastih ogljikovodikov iz stenja se nadaljuje še potem, ko preneha dotok kisika s konvekcijo. Difuzijske plamene, ki gorijo, četudi ni teže, je že leta 1952 opazoval H. Mayer. Raziskoval je gorenje vodika v okolju iz 82% helija in 18% kisika. Čim manj je bil povečan tlak vodika v posodi, iz katere je iztekal, tem bolj je bil plamen okrogel in tem bolj se je bližal difuzijskemu plamenu. Pri manjši tlačni razliki je dobil popolnoma okrogel plamen. V tem primeru ni prišlo do znatne konvekcije, ker se gostoti zgorelih plinov in okolnega plina nista znatno razlikovali. Gorenje sveč pri znižanem tlaku je zanimalo že mnogo prej Johna Tyndalla. Leta 1859 je opazoval tudi gorenje sveče na Mt. Blancu.

Difuzijski plamen sveče ne ugasne, če toplotni tok, ki se sprošča v njem, zadošča, da se s sevanjem in prevajanjem stali dovolj voska in izhlapi dovolj kapljevine. Toda včasih je treba dovolj dolgo počakati, tudi minuto in več, da nastanejo stacionarne razmere, ko se s časom nič več ne spreminja. Pri poskusih s padanjem steklenic tega ni mogoče opazovati. Tudi če bi imeli dovolj visoko stavbo, se zaradi zračnega upora steklenice njena hitrost ustali že po 15 sekundah. Poskuse pa bi bilo mogoče delati na letalu, ki leti z ugasnjenimi motorji po paraboli, ali na umetnih satelitih.

Kot kaže, doslej še niso delali poskusov na umetnih satelitih. Delali pa so jih na letalih, ki so v poskusne namene letela z ugasnjenimi motorji po paraboli.

Walter Gerlach — postal je znamenit po *Stern—Gerlachovem poskusu* s curkom atomov srebra, ki je napovedal obstoj elektronskega spina — je kazal drugačen poskus. Majhno, s plinom polnjeno žarnico, katere nitka šibko sveti, spustimo na dolgem kablu, da pade z dovolj velike višine. Med padanjem žarnica precej močnejše sveti, ker nitka izgublja toploto samo s prevajanjem in ne s prevajanjem in konvekcijo kot v mirovanju. Poskuse s padajočo svečo in s padajočo žarnico lahko ponovijo tudi bralci Preseka.

V takem letalu potekajo poskusi kot v prosto padajočem dvigalu. F.B. Carletona in F.J. Weinberga z imperialnega koledža v Londonu je zanimalo, ali bi bilo mogoče poganjati plamen z električnim poljem namesto s težo. Gretje s plamenom, ki je razmeroma zelo učinkovito, bi namreč utegnilo priti prav tudi na umetnih satelitih. Če se hočemo izogniti tlačni posodi ali puhalu, ki poskrbi za vsiljeno konvekcijo, in s tem zvezane dodatne mase — izstreliti jo je treba v vesolje —, je električno polje kar pripravno.

V plamenu ogljikovodikov nastane obilo pozitivnih ionov, spočetka predvsem H_3O^+ , in elektronov. V močnem električnem polju, ki pa še ne povzroči preboja, ioni trkajo z molekulami zraka in poganjajo plinski tok, podobno kot ga povzroči teža preko vzgona. Tak tok je že leta 1899 opazoval K.P. Chattock. Carleton in Weinberg sta ugotovila, da je z električnim poljem mogoče doseči celo do osemstokrat tolikšen tok kot s težo. Pri tem hitrost plina ne preseže dobrih 5 metrov na sekundo, a to za plamen popolnoma zadostuje. Največja gostota električnega toka po čelnem preseku plamena ne preseže četrta ampera na kvadratni centimeter in ustrezna ploskovna gostota električne moči ne desetino vata na kvadratni centimeter. Elektronski visokonapetostni izvir je zato grajen lahko za majhno moč in je zelo lahek. (V uporabi je celo že elektrostatični pršilec insekticidov, ki shaja z drobno baterijo v ročaju.)

Zaradi varnosti so delali poskuse s svečo, ne pa s kakim večjim plamenom. Električno polje so ustvarili med navpičnima kosoma kovinske tkanine. Pozitivno elektrodo so približali plamenu (slika 1). Na dolgi poti po zraku se elektroni obesijo na molekule in nastanejo negativni ioni, ki potujejo po zraku podobno kot pozitivni ioni. Če bi bil plamen na sredi med elektrodama, bi se zato razdelil na dva simetrična dela.

Poskuse je financirala Evropska vesoljska agencija ESA na letalu KC 135 Severnoameriške vesoljske agencije NASA v Houstonu. Letalo je letelo po paraboli z ugasnjenimi motorji do 30 sekund. Tudi v tem času še niso dosegli stacionarnih razmer, a čas je bil dovolj dolg, da so posneli posrečene fotografije (slika 2). Brez električnega polja je nastal okrogel difuzijski plamen, ki je bil s prostim očesom komaj viden, a ni ugasnil.

Janez Strnad