

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 33 (2005/2006)

Številka 6

Strani 12-15

Andrej Likar:

DIFUZIJSKA MEGLIČNA CELICA

Ključne besede: fizika, fazne spremembe, kondenzacija, prenasičena para, meglična celica, kozmično sevanje, radioaktivno sevanje.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/33/1637-Likar.pdf>

© 2006 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.

Difuzijsko meglično celico

Andrej Likar

Ko vodo v posodi počasi ohlajamo, se pri ledišču začnejo izločati ledeni kristali. Temperatura mešanice tekoče vode in ledenih kristalov je pri dovolj izdatnem mešanju konstantna, le delež ledu

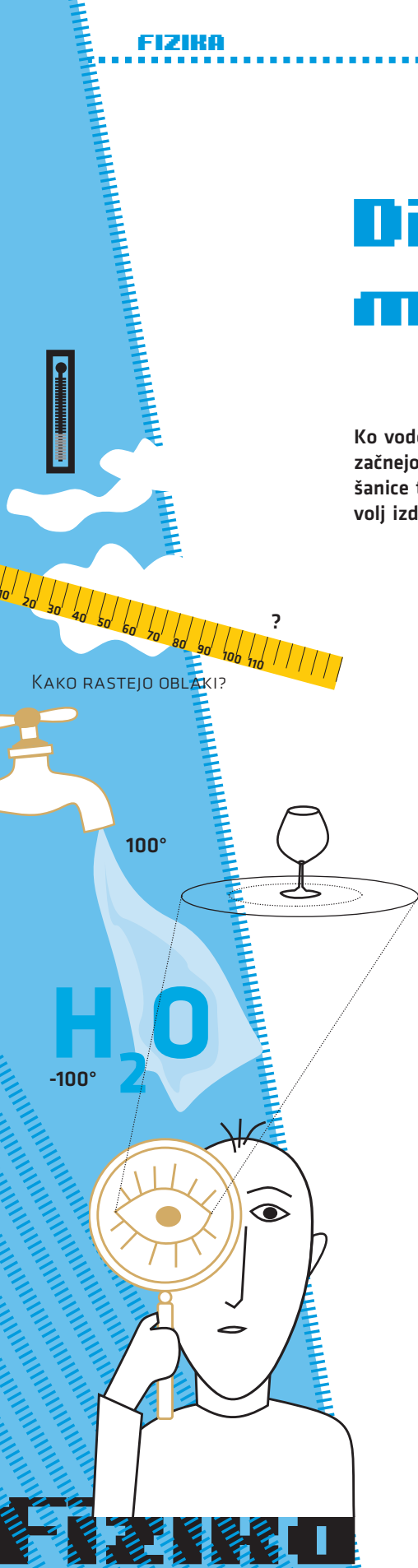
se povečuje. Prav tako se pri ohlajanju pare pri vrelišču začnejo iz plinaste faze izločati kapljice. Pravimo, da se vodna para kondenzira. Mešanica pare in vodnih kapljic ima prav tako konstantno temperaturo, dokler se para ne utekočini.

Šele tedaj se temperatura tekočine in majhnega ostanka pare začne nižati in slediti temperaturi okolice. Vsakdo pozna ta dva pojava, saj z njima

opisujemo fazne spremembe vode iz enega agregatnega stanja v drugega. Pri kondenzaciji in strjevanju se sprošča toplota, ki poskrbi, da ostaja mešanica pri konstantni temperaturi kljub temu, da se zunanja temperatura ves čas počasi niža.

Kondenzacija in strjevanje sta na nivoju molekul precej zanimiva pojava. Ko v pari nastane majhna kapljica kot skupek nekaj molekul, mora od tam toplota odteči. Toplota lahko teče le v smeri padajoče temperature. Torej mora biti okolišnja para nekoliko hladnejša od nastale kapljice, kapljica pa se pri kondenzaciji ne sme preveč segreti, da ponovno ne izpari. Da se kondenzacija zgodi v končnem času, moramo torej paro ohladiti nekoliko pod vrelišče. Podobno se dogaja pri zmrzovanju. Ledeni kristalček se ne sme preveč segreti, saj bi se pretopel hitro spet stalil. Tudi pri zmrzovanju mora biti tekočina nekoliko hladnejša od ledišča. Pri zelo počasnih faznih spremembah, ki jih imamo najpogostejše v mislih, je razlika temperatur zanemarljiva. Pri hitri spremembi pa morata biti temperaturi plina oz. tekočine precej nižji od vrelišča oz. tališča.

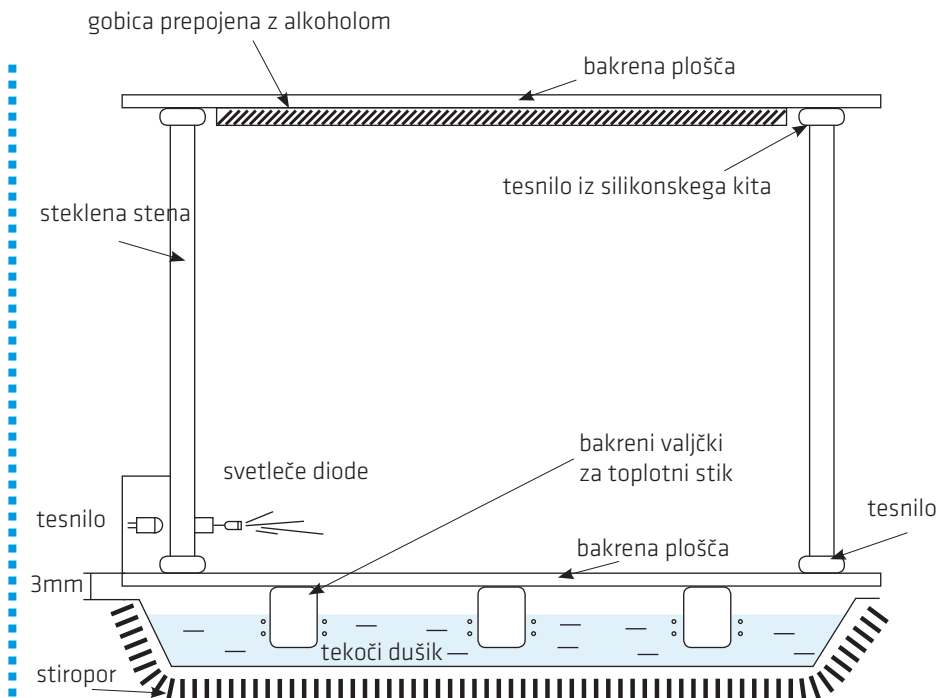
Zanimivo je, da lahko nekatere snovi ohladimo presenetljivo globoko pod tališče, pa se v tekočini kljub temu ne pojavijo kristalčki. Pri zelo podhlajeni tekočini zadošča že majhna motnja, da vsa snov v nekaj sekundah preide v trdno snov in se segreje. Pri nekaterih snoveh je pojav zelo izrazit. Alpinisti nosijo v nahrbtniku blazinicice s posebno podhlajeno tekočino. Ko s posebno



vzmetjo sprožijo zmrzovanje, se blaznica močno ogreje in ostane vroča dovolj dolgo, da si pogrejejo premrle prste. Kljub primerno ohlajeni okolici začetno kristalno zrno, okrog katerega začne tekočina hitro zmrzovati, spontano sploh ne zraste. Šele zunanja motnja ustvari prvo zrnce, ki sproži neustavljivo in slikovito nekajsekundno zmrzovanje celotne tekočine. Če v tekočini lebdijo drobni delci, se ledeni kristalčki začno tvoriti okrog njih že pri tališču. Znatnega podhlajevanja zato ne opazimo. Delcem, okrog katerih rastejo kristali ledu, pravimo kondenzacijska jedra.

Podobno dogajanje opazimo v plinu. Pri postopnem ohlajanju vlažnega zraka se pri določeni temperaturi začno izločati kapljice. Temperaturi pravimo rosišče in je odvisno od količine vode v zraku. Tudi tu lahko paro brez primesi močno podhladimo, če v njej ni delcev prahu. Opazili so, da so ionizirane molekule zelo učinkovita kondenzacijska jedra. Prvi je na to opozoril Charles Thomson Rees Wilson, ki ga je zanimala rast oblakov. V laboratoriju je zato zgradil posebno napravo – meglično celico. V njej je zrak z vodno paro močno ohladil s razpenjajnem. Pri tem se je temperatura pare hitro znižala globoko pod rosišče, para je postala prenasršena. Wilson je opazil, da so se v celici takoj po razpenjanju pojavile drobne kapljice, a ne po vsem prostoru kot megla, temveč so se nanizale v vrsto in bile videti kot zelo tanke niti. Kmalu je ugotovil, da so te nitke sledi delcev, ki so pri prehodu skozi paro ionizirali molekule plina. To odkritje je v tistem času pripomoglo k razvoju fizike elementarnih delcev. Leta 1932 je Carl David Anderson z meglično celico v močnem magnetnem polju (2,5 T) odkril pozitron, nekaj let kasneje pa še mion. Pri tem ni imel posebej prirejenega izvora teh delcev, zanašal se je na kozmično sevanje.

Meglična celica je zapletena naprava z batom, ki ga moramo sunkovito prema-



Slika 1. Prerez skozi celico. Dno je narejeno iz 3 mm debele bakrene plošče, da je njegova temperatura povsod, kar se da, enaka. Sedem valjčkov skrbi za primeren toplotni stik dna s tekočim dušikom pri temperaturi -196°C .

kniti, da se vlažni zrak dovolj hitro ohladi. Precej preprostejša je difuzijska meglična celica, ker nima gibljivih delov. Med pokrovom in dnom celice je velika temperaturna razlika. Pokrov ima navadno sobno temperaturo, nekoliko ga lahko pogrejemo z likalnikom ali fenom. Dno je v stiku s tekočim dušikom, a le toliko, da je njegova temperatura okrog -50°C . Stranske stene so steklene, da vidimo v notranjost. Med pokrovom in dnom nastane velik temperaturni gradient. Pri tem mislimo, da je zrak tik pod pokrovom tople, tik nad dnom zelo hladen, vmes pa ima temperaturo, ki je odvisna od oddaljenosti od dna celice. V približju je temperaturna razlika med dnom celice in plastjo zraka na izbrani višini sorazmerna z višino. Na pokrov z notranje strani prilepimo gobo, ki jo prepojimo z etilnim alkoholom. Ta je z vreliščem pri $78,3^{\circ}\text{C}$ in tališčem pri -114°C ravno prava delovna snov. Ko

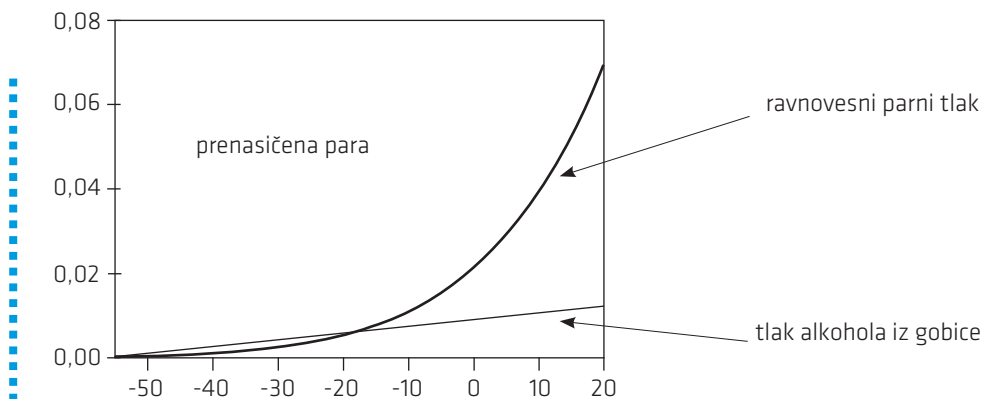
alkohol izpareva, difundira para proti dnu in na določeni višini postane prenasršena. V tej plasti lepo vidimo sledi delcev, ki so posledica kozmičnega sevanja. Če pa postavimo v celico radioaktivni izvor, lepo vidimo sledi izsevanih delcev alfa, nekoliko manj izrazite pa so sledi delcev beta. Med dno in pokrov, ki sta navadno kovinska, priprimo pola napetostnega vira, da iz občutljive plasti odstranujemo ione.

Difuzijske celice ni posebno težko zgraditi (glej sliko 1). Dno in pokrov sta pri naši celici bakreni plošči. Dno z debelino treh milimetrov je v toplotnem stiku s tekočim dušikom, ki ga nalijemo v izolirano plitvo posodico iz debelejše aluminijaste folije. Ker ima tekoči dušik izredno nizko temperaturo -196°C , moramo toplotni stik prilagoditi tako, da plošča ni prehladna. V tekoči dušik smo potopili sedem bakrenih valjčkov, ki so trdno priviti na

ploščo. Dimenzije smo priredili tako, da se je temperatura plošče ustalila pri -50°C . Pod to temperaturo bi imeli težave s tesnjenjem, morda tudi s steklenimi stenami, ki bi lahko počile zaradi velikih napetosti v steklu. Pri temperaturi dna nad -30°C prenasičena plast izgine. Morda bi jo lahko obnovili z izdatnim gretjem pokrova, a tega nismo poskusili.

Stranske steklene stene so nam izrezali in zlepili mojstri, ki gradijo akvarije. Za dobro tesnost med bakrenima ploščama in stenami poskrbi silikonsko tesnilo, ki ga zelo preprosto izdelamo sami. Silikonski kit nanese na rob akvarija in pokrijemo s stekleno ploščo, ki smo jo tesno ovili v tanko lepljivo gospodinjstvo folijo. Ko se kit čez noč strdi, se močno oprime roba akvarija, ploščo pa z lahkoto odstranimo, ker se kit na folijo ne prilepi. Silikonski tesnili sta trdni, ravni in odlično tesnita, tudi tisto na dnu, saj ostane elastično do temperature -50°C .

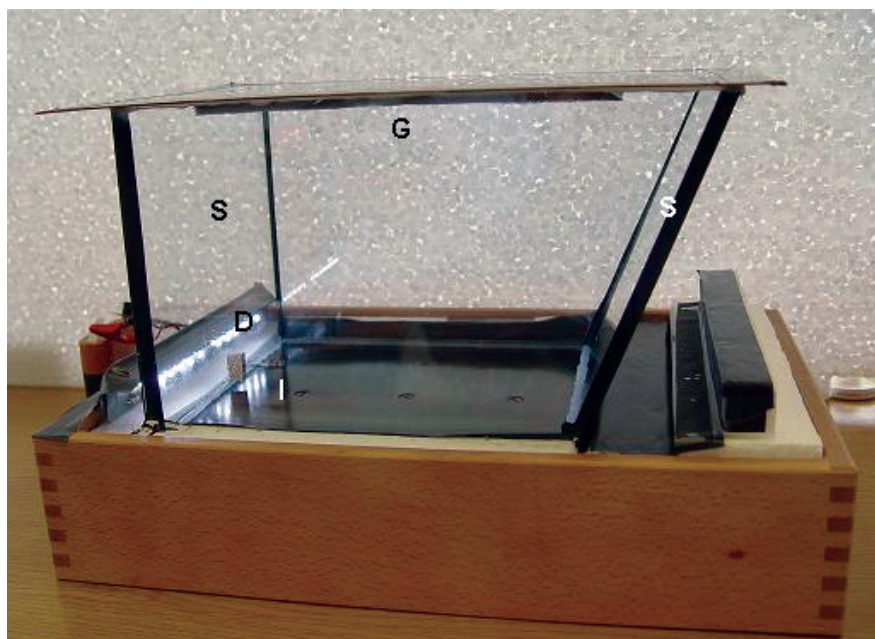
Celico smo postavili v ličen lesen zabojček (slika 2), dno in posodico za tekoči



dušik pa smo toplotno izolirali s stiroporom. Pri tem se dobro obnese belo lepilo za les. Pomembno je, da pravilno osvetlimo prenasičeno plast. Odlično vidljivost kapljic dosežemo z osvetlitvijo v smeri opazovanja, in sicer vzdolž sledi. Kot med vpadnimi in nazaj sipanimi žarki je takrat kakšnih 30° . Zgradili smo svetilo iz dvanajstih belo svetlečih diod, ki smo jih postavili v vodoravno vrsto tik ob dnu celice. Diode so izredno svetle ob zelo majhni porabi moči iz priključene baterije. Sipane svetlobe je bilo dovolj, da smo lahko posneli slike brez bliskavice. Dno

smo galvansko počrnili, da se svetle sledi na temni podlagi bolje vidijo.

Nastanek prenasičene plasti pojasnjuje slika 3. Na abscisno os smo nanegli temperaturo plasti, na ordinatno pa nasičeni parni tlak etilnega alkohola. V celici temperatura narašča od dna do pokrova. Če je naraščanje enakomerno, si lahko mislimo, da predstavlja izhodišče grafa dno pri -55°C , pokrov pa desna stran pri 20°C . Na pokrovu alkohol izpareva iz prepojene gobice, para se z difuzijo prebija proti dnu, njen tlak enakomerno pada. Na nekem mestu je tlak pare večji od nasičenega parnega tlaka – tam se začneja prenasičena plast. Vidimo, da bo plast tem debelejša, čim večji bo parni tlak na pokrovu. Ta pa bo velik, če bo gobica z alkoholom dovolj topla. Ker je pokrov iz tanke, 0,5 mm debele bakrene pločevine, je toplotni stik z okolico zadosten, da alkohol izdatno izpareva. Para se kondenzira na dnu in tvori sprva drobne, potem pa vse večje kaplje. V eni uri se kondenzira kakšen milimeter debela plast alkohola. Drobne kapljice lepo opazimo tudi v prenasičeni plasti, kjer kar hitro »dežujejo« proti dnu s hitrostjo 0,5 cm/s. Morda bi kdo znal izračunati njihov premer?



Slika 2. Difuzijsko celico smo postavili v ličen lesen zabojček. Vidimo steklene stene (S), svetlobne diode (D), izvor (I) in pokrov z gobico, ki jo prepojimo z alkoholom (G). Zadnja stena je nagnjena, da ne moti odbita vpadna svetloba iz diod.

Slika 3. Krivulja ravnovesnega parnega tlaka etilnega alkohola ločuje med seboj področji prenasičene in nenasičene pare. Tlak alkohola, izparjenega iz gobice na pokrovu, je prikazan s premico. Privzeli smo, da se temperatura v celici spreminja enakomerno z višino. Od temperature -20°C pa do dna se razteza prenasičena plast, v kateri vidimo sledi hitrih nabitih delcev. Pri naši celici temperatura ne pada enakomerno. Blizu pokrova se z globino spreminja počasi, proti dnu pa vedno hitreje. Plast je zato tanjša, kot razberemo s slike.

Za vnete računarje navedimo nekaj podatkov. Izparilna toplota tekočega dušika je 200 kJ/kg , etilnega alkohola pa 850 kJ/kg , gostota alkohola je 800 kg/m^3 , gostota tekočega dušika 1200 kg/m^3 . Toplotna prevodnost bakra je 390 W/K m , stekla $1,1\text{ W/K m}$, zraka pa $0,03\text{ W/K m}$. Pomaga še podatek, da je višina celice 15 cm , širina 17 cm , dolžina pa 22 cm . Z enim litrom tekočega dušika celica deluje eno uro.

Na sliki 4 smo ujeli sledi delcev alfa iz radioaktivnega izvora Ra-226 z aktivnostjo $3,3\text{ kBq}$, to je s 3300 razpadi v sekundi. Iz ozke luknjice pride le nekaj delcev alfa v sekundi in sledove le-teh lepo vidimo v prenasičeni plasti. Mlade sledi so ostre, stare pa razpadejo kot sledi letal v nestabilnem ozračju. Slika 5 kaže delce beta, ki so mnogo lažji od delcev alfa in imajo po absolutni vrednosti dvakrat manjši naboj. Zato naredijo zelo rahle in ne prav dobro vidne sledi, še posebno, če jih primerjamo s sledmi delcev alfa. Na sliki 6 pa opazimo sledi delcev, ki jih pripišemo kozmičnemu sevanju, saj v celici ni bilo radioaktivnih virov. Delci nastanejo pri obstreljevanju ozračja s kozmičnim sevanjem in pri razpadu radona.



Slika 4. ☉ Posnetek sledi delcev alfa iz izvora radija Ra-226. Doseg delcev je le nekaj centimetrov.

Slika 5. ☉ Zavite sledi delcev beta, hitrih elektronov, ki jih izseva atomsko jedro, so mnogo šibkejšje, a daljše kot sledi delcev alfa.

Slika 6. ☉ Sledi, ko v celici ni bilo radioaktivnih virov. Delci nastanejo pri obstreljevanju ozračja s kozmičnim sevanjem in pri razpadu radona.