PRESEK
List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652
Letnik **19** (1991/1992)
Številka 1
Strani 22–27

Janez Strnad:

MEHURČKI

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: http://www.presek.si/19/1075-Strnad.pdf

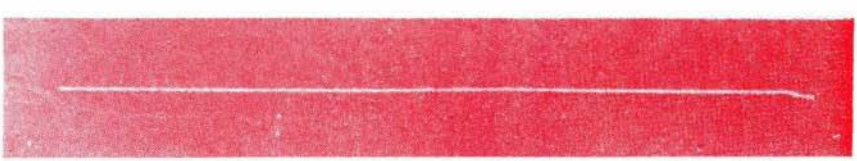
© 1991 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije
© 2010 DMFA – založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

MEHURČKI

Merilniki za naelektrene delce so dokaj zapletene naprave. Delci iz sveta atomov v njih povzročijo razpoznaven dogodek v svetu velikih teles. Zato merilniki izkoriščajo pojave, ki jih delec z razmeroma zelo majhno energijo zgolj sproži, potrebna energija pa pride iz okolice. Naelektreni delec se pri prehodu skozi snov obreguje ob atome in izbija iz njih elektrone. Ionski pari, kakor imenujemo elektron in pozitivni ion, imajo pomembno vlogo. V plinskem merilniku sproščeni elektroni v močnem električnem polju okoli pozitivne elektrode na kratki razdalji pridobijo dovolj energije, da povzročijo nastanek novih in novih ionskih parov. Nastane sunek električnega toka in na uporniku med elektrodama sunek napetosti. Tega ojačijo in zaznajo. Potrebno energijo da izvir napetosti. Podobno je v polprevodniškem merilniku. V fotografski emulziji naelektreni delci izbijejo elektron iz kristalnega zrnca za svetlobo občutljive soli, ki počrni, ko film razvijemo.

Nekateri merilniki se odlikujejo po tem, da v njih naelektreni delec zapusti sled, ki jo je mogoče neposredno fotografirati. V teh je snov v neravnovesnem stanju. Pred osemdesetimi leti je C.T.R.Wilson razvil *megličnо celico*. V njej v prenasičeno vlažnem zraku naelektreni delci delujejo kot kondenzacijska jedra, na katerih se izločijo kapljice vode (slika 1). Prenasičen zrak naredimo tako, da nenadoma zmanjšamo tlak v nasičeno vlažnem zraku. Soroden pojav opazimo pri letalih v veliki višini: v prenasičenem zraku delujejo dimni delci izgorelega goriva kot kondenzacijska jedra, na katerih se izločijo kapljice vode. Z megličnо celico so spočetka odkrili precej novih delcev, na primer pozitron, in raziskali nekatere reakcije, posebno, dokler so bili navezani na naelektrene delce z veliko energijo iz vesolja. Po uvedbi velikih pospeševalnikov in po tem, ko se je zanimanje fizikov obrnilo k bolj kratkoživim delcem, se je pokazala slabost megličnе celice. Pot delcev z visoko energijo je bila v plinu megličnе celice prevelika, da bi lahko zasledovali delec od nastanka do razpada. Poskusili so z zelo gostim plinom pri tlaku, ki je bil celo tristokrat višji od navadnega zračnega tlaka. Vendar je moralo od poskusa do poskusa

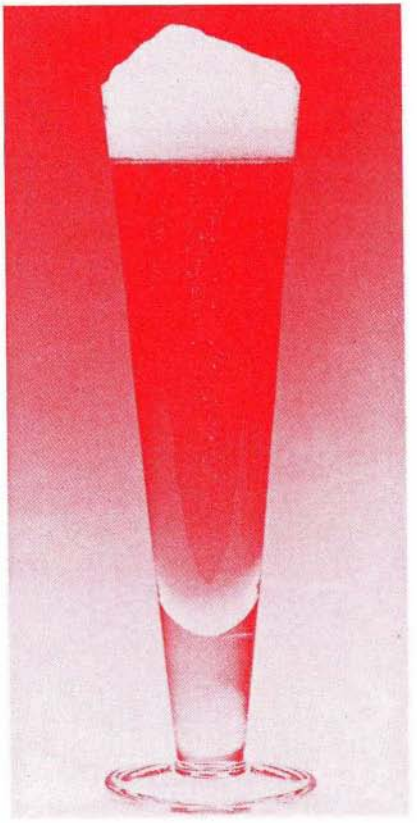


Slika 1. V prenasičeno vlažnem zraku megličnе celice zapusti hitri naelektreni delec sled kapljic. Eden izmed prvih posnetkov C.T.R. Wilsona je vzet iz njegovega govora ob podelitvi Nobelove nagrade leta 1927.

s tako meglično celico poteči pol ure. Ker je treba računati s številnimi neuspešnimi poskusi, ni upanja, da bi si lahko pomagali s tako celico.

Ali ne bi bilo bolje, če bi se delec gibal po kapljevini, ki je več stokrat gostejša kot plin? Na to možnost je pomislil ameriški fizik Donald Glaser pred štiridesetimi leti. Ali bi bila namesto prenasičenega zraka uporabna s plinom prenasičena kapljevina? Tako kapljevino dobro poznamo. Nastane, ko odpremo steklenico sodavice, mineralne vode, piva, šampanjca. Iz vode, ki je prenasičena z ogljikovim dioksidom, izhajajo mehurčki plina. Spočetka jih je pogosto toliko, da se na vrhu zberejo v peno. Pozneje pa se razvijajo mehurčki na mestih, na katerih so na steni steklenice ali kozarca z mikroskopom vidne neenakomernosti (slika 2). Ali se ne bi mehurčki izločali tudi na naelektrenih delcih ionskih parov, ki bi jih zapustil na svoji poti hiter naelektreni delec? Donald Glaser je segrel nekaj steklenic piva in sodavice, da je bila kapljevina kolikor mogoče prenasičena. Potem jih je odprl in postavil obnje radioaktivni izvir, a ni opazil, da bi se pojavili zaradi tega dodatni mehurčki.

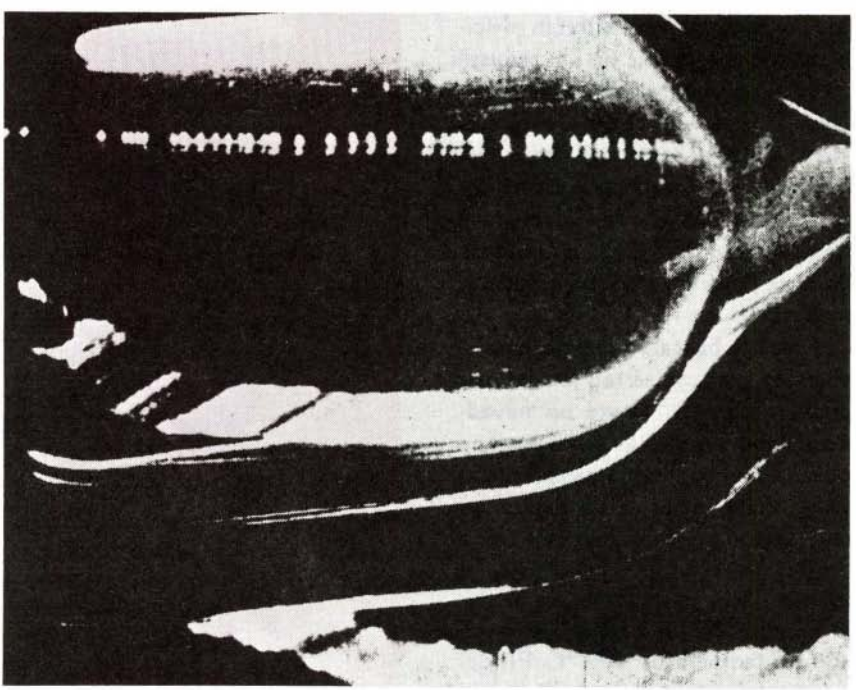
Več je obetala pregreta kapljevina. Za poskuse se mu je zdel najpripravnejši eter, ki vre pri navadnem tlaku pri 35 °C. (Ima majhno površinsko napetost in nizek kritični tlak. Voda je kar se da nepripravna.) Ocenil je, da bi bilo eter treba pregreti do 140 °C. V nekem članku iz leta 1924 je prebral, da je bilo mogoče več ur obdržati pregreti eter pri temperaturi 130 °C. Pri deset stopinj višji temperaturi pa je v povprečju po minuti sunkovito zavrel sam od sebe. D.Glaser je uvidel, da je na pravi poti, ko se je prepričal,



Slika 2. V pivu se dvigajo mehurčki ogljikovega dioksida, ki se razvijajo ob neenakomernostih v steni.

da so si približno v tolikšnem času sledili hitri naelektreni delci iz vesolja ali iz radiaoktivnih elementov v okolici, ki so zadeli posodico z etrom. Kmalu je opazil prve sledi naelektrenih delcev v pregretem etru (slika 3). Nato so ugotovili, da je v ta namen uporaben tudi pregreti vodik pri zelo nizki temperaturi. Reakcije delcev z jedri vodika iz enega samega protona so kar se da pregledne. Tako so naredili načrte za *mehurčno celico*, s katero so pred nekako tridesetimi leti odkrili veliko novih delcev in raziskali veliko reakcij med delci. Leta 1960 je Donald Glaser dobil za svoje odkritje Nobelovo nagrado.

V mehurčni celici so nenadno zmanjšali tlak, da je postal vodik pregret - njegova temperatura je bila nad vreliščem pri tistem tlaku. Kratek čas je bila celica pripravljena za zaznavanje. Na delcih ionskih parov, ki so jih puščali na svoji poti hitri naelektreni delci, so nastali mehurčki. Sledi so fotografirali s tremi kamerami, da so lahko rekonstruirali poti delcev v pro



Slika 3. V pregretem etru zapusti hitri naelektreni delec sled mehurčkov etra. Eden izmed prvih posnetkov D.Glaserja je vzet iz njegovega govora ob podelitvi Nobelove nagrade leta 1960.

storu. Celico so postavili v magnetno polje, da so po ukrivljenosti sledi določili kinetično energijo delca. Celica je bila pripravljena za zaznavanje vsakih nekaj sekund. Ker so pospeševalniki dajali sunke delcev tudi v tolikšnem časovnem razmiku, počasnost celice ni motila. Pozneje je tudi mehurčna celica začela kazati svoje pomanjkljivosti in je danes ne uporabljajo več. Nadomestili so jo predvsem merilniki z mrežo žičnatih elektrod, ki jih je mogoče priključiti neposredno na računalnik.

Pripovedujejo, da je D.Glaser pred odkritjem mehurčne celice ure in ure sedel v študentski pivnici in strmel v pivo, da bi opazil sled iz mehurčkov, ki bi jo povzročil kak hitri naelektreni delec iz vesolja. Vprašanje, ali nastanejo na poti hitrega naelektrenega v prenasičeni kapljevini, denimo v pivu, mehurčki, je raziskal na hitro. Iz njegovih poznejših izjav je bilo mogoče razbrati, da svoje ugotovitve nima za dokončno. Frank S.Crawford iz Lawrenceovega laboratorija in z oddelka za fiziko kalifornijske univerze v Berkeleyu, na katerem je delal tudi D.Glaser, se je odločil, da bo zadevi prišel do dna. Zgodbo o Glaserju je slišal prvič pred skoraj štiridesetimi leti, nato je sodeloval pri razvoju mehurčne celice pod Luisom Alvarezom.

F.S.Crawford se je z mehurčki v vodi in pivu ukvarjal pravzaprav iz drugega razloga. V člankih *The hot chocolate effect*, American Journal of Physics **50** (1982) 398 in *Hot water, fresh beer, and salt*, prav tam **58** (1990) 1033 je raziskoval predvsem znižanje najnižjega tona stolpca vode, ko se v vodi pojavijo mehurčki. Pojav je zanimiv in bi o njem kazalo poročati kdaj drugič. Frekvenca je sorazmerna s hitrostjo zvoka in ta je v vodi z mehurčki dokaj majhna. Tega ni težko razumeti. Hitrost zvoka je obratno sorazmerna s korenom iz stisljivosti in gostote. Voda ima zelo majhno stisljivost in veliko gostoto. Zrak ima precej večjo stisljivost kot voda, a manjšo gostoto, zato je v njem hitrost zvoka manjša kot v vodi. Voda z mehurčki ima stisljivost kot zrak in gostoto kot voda, zato je v njej hitrost zvoka še manjša kot v zraku. Sol je koristna, ker se vroča voda iz pipe ali pivo penita, ko vržemo vanju prgišče soli, čeprav sta se prej že prenehala peniti.

Najprej je uporabil radioaktivni izvir iz kobaltovega izotopa ^{60}Co, v katerem je na sekundo razpadlo po 370 tisoč jeder. Izvir je približal kozarcu s pivom in poskušal ugotoviti, ali je nastalo kaj več mehurčkov. Opazil ni nobenega povečanja števila mehurčkov. Nato je uporabil tisočkrat močnejši izvir, ki ga je bilo treba držati ob kozarcu s kleščami. Tudi v tem primeru ni bilo nobenega učinka. Naposled je poskusil z zelo velikim izvirom biomedicinskega oddelka Lawrenceovega laboratorija, v katerem je razpadlo po 74 bilijonov jeder na sekundo. Kozarec je bilo treba z daljinskim upravljanjem postaviti v razdaljo dobre pol metra od izvira in opazovati preko televizije. Tudi v tem primeru ob obsevanju ni bilo mogoče ugotoviti dodatnih mehurčkov.

Po enominutnem obsevanju se ni pojavilo nič dodatnih pen.

D.Glaser je F.S.Crawfordu povedal za svoje poskuse z radioaktivnim izvirom in mu svetoval, naj uporabi curek delcev α. V Berkeleyu so nekdanji slavni protonski pospeševalnik bevatron, s katerim so na primer prvič zaznali antiprotone, spremenili v pospeševalnik za ione. Curek ionov z zelo veliko energijo uporabljajo tudi za obsevanje bolnikov. Na kraj, na katerem s curkom ionov iz bevatrona obsevajo bolnike, so postavili plastično prozorno posodo s kvadratno osnovno ploskvijo s pivom. Delci α so prihajali iz pospeševalnika v sekundnih sunkih s po 40 milijardami delcev, ki so si sledili na 4 sekunde, in se zaustavili v pivu. Dodatnih mehurčkov niso zaznali.

F.S.Crawfordu so svetovali, naj uporabi še curek železovih ionov, ki jih izkoriščajo v "vesoljskih bioloških raziskovanjih". V vesolju je namreč veliko delcev z visoko energijo in med njimi so razmeroma pogosti železovi ioni. Pospeševalnik je dajal sekundne sunke s po 20 milijoni ionov vsake štiri sekunde. Tudi obsevanje z železovimi ioni ni dalo dodatnih mehurčkov. Če bi vsak ion rodil mehurček, bi se moralo pivo izdatno peniti.

Naposled so obsevali pivo še z uranovimi ioni. V sekundnem sunku je bilo po dvesto tisoč uranovih ionov in sunki so se ponavljali na pet sekund. Kljub vsemu prizadevanju tudi v tem primeru niso zaznali dodatnih mehurčkov. Tako je mogoče s precejšnjo gotovostjo trditi, da v vodi, prenasičeni z ogljikovim dioksidom, hitri naelektreni delci ne rodijo mehurčkov. F.S.Crawford svojih poskusov ne bi mogel narediti, če ne bi bilo v njegovem laboratoriju velikih naprav in če mu znanci, ki delajo ob njih, ne bi bili pripravljeni pomagati. O poskusih - imenoval jih je "zgodovinski zaključek" - je poročal lani v *American Journal of Physics*, reviji, ki je posvečena poučevalskim in kulturnim vidikom fizike, in ne v raziskovalnih revijah.

Aprila letos se je s pismom uredniku te revije odzval P.C.Mangelsdorf, ki je Crawfordu očital, da prevečkrat pije pivo s fiziki, premalo pa s fizikalnimi kemiki. Ti bi ga opozorili, da se v vodi raztopi mnogo manj plina, če ji dodamo katero koli sol. V koncentrirani raztopini elektrolita ob raztapljajočem se zrncu soli lahko pivo obdrži le malo raztopljenega ogljikovega dioksida. Zato nastajajo dodatni mehurčki, ne samo zaradi tega, ker zrnca delujejo kot jedra, ob katerih se nabirajo molekule dioksida. Po Mangelsdorfu kemija elektrolitov tudi pojasni, zakaj sunek hitrih ionov v pivu ne rodi dodatnih mehurčkov. Čeprav je dokaj razredčena raztopina elektrolita, je v litru piva veliko ionov, denimo milijonkrat manj kot je delcev v kilomolu. Sunek hitrih ionov povzroči nastanek samo milijonkrat manj ionov. Četudi bi vsi ioni nastali v milijonini litra, to je v kubičnem milimetru, bi jih nastalo zgolj toliko, kolikor je bilo v njem prej ionov elektrolita. Ob tem bi se ta kubični milimeter segrel za

kako polovico stopinje. Zaradi povišane temperature bi se morda izločilo malo dodatnih mehurčkov, ne pa zaradi povečanja števila ionov za dvakrat. Tako ni upanja, da bi lahko opazovali sledi naelektrenih delcev v prenasičeni kapljevi, posebno ne takšni, ki jo je mogoče piti.

Janez Strnad