

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 26 (1998/1999)

Številka 4

Strani 210-212

Janez Strnad:

ELEKTRIČNI TOK PO PLINIH

Ključne besede: fizika, električni tok, električni naboj, plazma, plini, samostojni tok, ioni.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/26/1376-Strnad.pdf>

© 1999 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.

ELEKTRIČNI TOK PO PLINIH

V prejšnjih številkah Preseka smo že spregovorili o toku po kovinah in elektrolitih, pomudimo se tokrat pri toku po plinih. Čist zrak ne prevaja elektrike. Molekule plina so električno nevtralne, tako da v zraku ni nosilcev naboja. Zrak prevaja le, če vanj nosilce naboja uvajamo ali jih v njem naredimo. To lahko dosežemo s plamenom, s kratkovalovno svetlobo ali pa z naelektrenimi delci. Pri tem se nevtralna molekula spremeni v *ionski par*, kakor imenujemo negativni elektron in pozitivni ion. Pravimo, da plin *ioniziramo*. V prostoru med elektrodama, na katerih je stalna električna napetost, se pozitivni ioni gibljejo proti negativni elektrodi, elektroni pa proti pozitivni elektrodi. Elektron se včasih obesi na molekulo in tedaj pri prevajanju poleg pozitivnih ionov in elektronov sodelujejo tudi negativni ioni.

Med elektrolitom in plinom je pomembna razlika. Elektrolit prevaja, dokler z elektrolizo ne porabimo vse raztopljene snovi. Da bi prevajal plin, pa ga moramo nenehno ionizirati. Ioni in elektroni se namreč združijo v nevtralne molekule ali odtečejo iz prostora med elektrodama, tako da tok preneha. Tok, ki preneha, če od zunaj na plin ne vplivamo, imenujemo *nesamostojni tok*. Nesamostojni tok opazimo v plinu pri razmeroma nizki napetosti. Pomemben je, ker lahko preko njega zaznavamo naelektrene delce, ki se gibljejo po plinu, ali kratkovalovno svetlobo, s katero obsevamo plin.

Pri visoki napetosti in nizkem tlaku se pojavi ti. *samostojni tok*. V njem elektron ali ion zaradi dela električne sile med zaporednima trkoma v povprečju pridobi dovolj veliko kinetično energijo, da ob trku molekulo plina ionizira. Čim nižji je tlak, tem večjo pot prepotuje elektron ali ion v povprečju med zaporednima trkoma in tem več kinetične energije pridobi. Tok v tem primeru vzdržuje samega sebe: v plinu, ki je navzven nevtralen in na katerega ne vplivamo od zunaj, trki nosilcev naboja z molekulami dobavljajo nove in nove elektrone ter ione. Takemu plinu pravimo *plazma*. Molekule v tem primeru tudi sevajo, izsevana svetloba pa dodatno ionizira plin. Pride še do drugih pojavov, zaradi katerih utegnejo biti razmere v plazmi dokaj zapletene.

V laboratoriju navadno dobimo plazmo z visoko napetostjo v plinu pri nizkem tlaku. Mogoče pa jo je dobiti tudi pri zelo visoki temperaturi. Zaradi termičnega gibanja postanejo trki med molekulami v tem primeru dovolj močni, da nastanejo ionski pari. Večkrat slišimo, da je plazma "četrto agregatno stanje", ki celo prevladuje v vesolju. Tako sredice zvezd sestavlja plazma, ki zelo dobro prevaja elektriko. V sredici zvezd so v plazmi pri zelo visoki temperaturi trki med atomskimi jedri tako močni, da

pride do jedrske reakcije, pri kateri se zlivajo lahka atomska jedra. Zlivanje le-teh dobavlja zvezdam energijo, ki jo izsevajo. V laboratoriju želijo posnemati razmere v zvezdah tako, da plazmo močno segrejejo. Težava pa je v tem, da se plazma razbeži, ker ni gravitacije, ki drži skupaj dele zvezde. Poskušajo si pomagati z magnetnim zadrževanjem redke plazme ali pa s ponavljanjem majhnih eksplozij v gosti plazmi.

Pri podrobnejšem obravnavanju začnemo z nesamostojnim tokom. Za prevodnost plina velja podobna enačba kot za prevodnost elektrolita, in sicer

$$\frac{1}{\zeta} = e_0(\beta^+ + \beta^-) \frac{N}{V},$$

e_0 je osnovni naboj, β^+ gibljivost pozitivnih ionov, β^- gibljivost elektronov, N/V gostota pozitivnih ionov, ki je enaka gostoti elektronov, ker je plin navzven električno nevtralen.

Enačba velja, če se elektroni ne obešajo na molekule in v plinu ni negativnih ionov. Tako je v žlahtnih plinih, npr. heliju in argonu, ne pa, npr. v kloru. Toda celo v žlahtnih plinih se lahko pojavijo zaplet. Za gibljivost ionov He^+ iz cevi s tokom pri znižanem tlaku v heliju so dobili precej več kot za delce α iz radioaktivnega izvira, ki so tudi ioni helija. Izid so pojasnili z ioni He_2^+ , ki poleg ionov He^+ sodelujejo pri prevajanju v heliju in ki imajo večjo maso, a tudi večjo gibljivost. Zato ne presenet, da vsebujejo različne preglednice podatke za gibljivosti, ki se med seboj nekoliko razlikujejo. Helij ima pri sobni temperaturi in navadnem tlaku prevodnost približno $13 (\Omega\text{m})^{-1}$, če je gostota elektronov 10^{21} m^{-3} . Prispevek ionov k prevodnosti lahko zanemarimo.

Ion	β^+	ion	β^+
H^+ v vodik	$12,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{Vs}$	Li^+ v heliju	$25,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{Vs}$
He^+ v heliju	$5,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{Vs}$	Na^+ v heliju	$22,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{Vs}$
Ar^+ v argonu	$1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{Vs}$	K^+ v argonu	$2,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{Vs}$
N_2^+ v dušiku	$2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{Vs}$		

Gibljivost ionov v nekaterih plinih pri sobni temperaturi in navadnem zračnem tlaku.

	β^-		β^-
v heliju	$500 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{Vs}$	v argonu	$800 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{Vs}$

Gibljivost elektronov v žlahtnih plinih pri sobni temperaturi in navadnem zračnem tlaku.

V plazmi, v kateri so ionizirane vse molekule, je prevodnost le malo odvisna od gostote ionov ali gostote elektronov in močno narašča z naraščajočo temperaturo (sorazmerno s $T^{3/2}$). V tem primeru gibljivost preneha biti konstantna in je ni smiselno navajati. Plazma je pri visoki temperaturi zelo dober prevodnik, npr. vodikova plazma pri temperaturi nad 20 milijonov kelvinov bolje prevaja kot srebro (pri navadni temperaturi). Prevodnost za elektrone je kakih dvajsetkrat večja kot prevodnost za ione, če oboje nosilce naboja obravnavamo ločeno. Vodikova plazma ima npr. pri temperaturi tisoč kelvinov prevodnost približno $100 (\Omega\text{m})^{-1}$ pri gostoti elektronov 10^{21} m^{-3} . Če se gostota elektronov milijonkrat spremeni, se prevodnost spremeni za manj kot dvakrat, zato podatek o gostoti elektronov ni pomemben. Tudi v tem primeru lahko prispevek ionov zanemarimo. Plazma iz težjih elementov ima manjšo prevodnost.

Janez Strnad