

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik **26** (1998/1999)

Številka 3

Strani 138–140

Janez Strnad:

ELEKTRIČNI TOK PO KAPLJEVINAH

Ključne besede: fizika, električni tok, električni naboj, elektroni, elektroliti, ioni.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/26/1373-Strnad.pdf>

© 1998 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 KAPLJEVINAH

V eni od prejšnjih številke je Presek obravnaval tok elektronov po kovini. Večina vodnikov je res iz kovine, navadno iz bakra, a elektriko prevajajo tudi druge snovi. Najprej pomislimo na tok po kapljevinah.

Čista voda zelo slabo prevaja elektriko. Veliko bolje jo prevaja vodna raztopina kisline, baze ali soli, tako imenovani *elektrolit*. Molekula plina ali kapljevine se ob raztapljanju v vodi razdeli na dva dela, od katerih je eden naelektrjen pozitivno in drugi negativno, na pozitivni in negativni *ion*. Na take ione se ob raztapljanju v vodi razdeli tudi kristal. Pozitivni in negativni ioni se v raztopini neurejeno prerivajo med molekulami vode in blodijo sem ter tja.

Med elektrodama, na kateri priključimo konstantno napetost, pa električna sila vleče negativne ione proti pozitivni elektrodi in pozitivne ione proti negativni. Zaradi tega se neurejenemu gibanju pridruži potovanje: negativni ioni potujejo proti pozitivni elektrodi, pozitivni pa proti negativni elektrodi. Oboji prispevajo k toku. Ta je v elektrolitu drugačen, kot v kovini, v kateri sodelujejo pri prevajanju samo negativni nosilci naboja. Ko izvir napetosti po elektrolitu požene tok, ioni potujejo, na elektrodah se izločajo snovi. To je *elektroliza*.

Pri kovini smo ugotovili, da je prevodnost, to je obratna vrednost specifičnega upora, tem večja, čim večja je absolutna vrednost naboja nosilca, čim večja je gibljivost nosilcev in čim večja je njihova gostota. Enačbo razumemo, četudi je ne izpeljemo. Ni je težko preoblikovati tako, da velja za elektrolit. Upoštevamo, da sodelujejo pri prevajanju v njem nosilci nabojev obeh znakov. Prevodnost elektrolita je tem večja, čim večji sta absolutni vrednost naboja obojih nosilcev, čim večji sta gibljivosti obojih nosilcev in čim večja je njihova gostota. Iz enačbe za kovino $1/\zeta = e_0\beta N/V$, v kateri je ζ specifični upor, $1/\zeta$ prevodnost, e_0 osnovni naboj, to je absolutna vrednost naboja elektrona, β gibljivost elektronov in N/V gostota števila elektronov, nastane tako enačba

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

Pri tem je naboj pozitivnega iona e_0 in naboj negativnega iona $-e_0$. Gostota pozitivnih ionov je enaka gostoti negativnih ionov, ker je elektrolit navzven električno nevtralen. β^+ je gibljivost pozitivnih ionov in β^- gibljivost negativnih ionov. Hitrost negativnih ionov zaradi električne sile ima nasprotno smer kot hitrost pozitivnih ionov. Minus zaradi nasprotni smeri hitrosti in minus zaradi negativnega naboja dasta pri množenju plus, zato imata oba člena v enačbi za prevodnost enak znak.

Smiselno je navesti gostoto ionov za kilomol raztopljenе snovi v 1 m^3 . V kilomolu je Avogadrovo število delcev $N_A = 6,0 \cdot 10^{26}$, tako da je v tem primeru produkt osnovnega naboja in števila delcev $e_0 N_A = 9,65 \cdot 10^7\text{ As} = e_F$. To je Faradayev naboj, ki smo ga že srečali. Prevodnost elektrolita, v katerem je del $\mathcal{M}$ kilomola spojine raztopljen v 1 m^3 , je

$$\frac{1}{\zeta_{\mathcal{M}}} = \mathcal{M}(\beta^+ + \beta^-) \frac{e_F}{V}.$$

Prostornina $V = 1\text{ m}^3$ v imenovalcu poskrbi za pravo enoto. Enak rezultat dobimo, če namesto s kilomolom na kubični meter računamo z molom na liter: kot je mol tisočkrat manjši od kilomola, je 1 liter, $1\text{ l} = 1\text{ dm}^3$, tisočkrat manjši od 1 m^3 . Prednost računanja s kilomoli ali moli je v tem, da veljajo zapisane enačbe za katerokoli snov. Če želimo pripraviti raztopino, pa moramo povedati, katero snov imamo v mislih in kolikšna je masa njenega kilomola ali mola.

Naredimo račun za kalijev klorid KCl. V preglednici preberemo, da je vsota gibljivosti kalijevega in klorovega iona $1,55 \cdot 10^{-7}\text{ m}^2/\text{Vs}$. S tem podatkom da enačba za prevodnost $0,0015\text{ }(\Omega\text{m})^{-1}$, $0,15\text{ }(\Omega\text{m})^{-1}$, $15\text{ }(\Omega\text{m})^{-1}$, če v 1 m^3 po vrsti raztopimo desettisočino kilomola, stotino kilomola in en kilomol – ali v 1 l desettisočino mola, stotino mola in en mol. Relativna atomska masa kalija je 39,1 in klora 35,5, tako da ima kilomol kalijevega klorida maso 74,6 kg. Desettisočina kilomola kalijevega klorida ima maso 7,46 g, stotina kilomola pa 746 g. Tolikšno maso raztopimo v 1 m^3 vode ali tisočino te mase v 1 l .

Z merjenjem dobijo ustrezne prevodnosti $0,0015\text{ }(\Omega\text{m})^{-1}$, $0,147\text{ }(\Omega\text{m})^{-1}$, $11,2\text{ }(\Omega\text{m})^{-1}$. Pri elektrolitu z majhno gostoto ionov je dal račun pravo prevodnost, pri elektrolitu z večjo gostoto ionov pa je izmerjena prevodnost manjša od izračunane, in to tem bolj, čim večja je gostota ionov. Pojasnilo je hitro pri roki. V elektrolitu z večjo gostoto ionov ioni zaradi svojih nabojev delujejo drug na drugega z električno silo in se motijo. Električna sila med ionoma deluje na večji razdalji kot sila med nenaelektrenima molekulama, ki deluje le, če sta molekuli zelo blizu.

Izračunajmo še prevodnost žveplene kisline, če v 1 m^3 raztopimo desettisočino kilomola H_2SO_4 , ki ima maso 98,1 kg, torej 9,8 g. Iz preglednice dobimo $4,45 \cdot 10^{-7}\text{ m}^2/\text{Vs}$ za vsoto gibljivosti iona H^+ in iona SO_4^{--} . Toda člen za pozitivne ione moramo pomnožiti z 2, ker odpadeta na molekulo H_2SO_4 dva iona H^+ , člen za negativne ione pa zato, ker ima ion SO_4^{--} dva negativna osnovna naboja. Tudi ta elektrolit je navzven električno nevtralen. Tako dobimo za prevodnost $0,0086\text{ }(\Omega\text{m})^{-1}$. Na splošno velja enačba $1/\zeta_{\mathcal{M}} = z\mathcal{M}(\beta^+ + \beta^-)e_F/V$, če se molekula razdeli na z ionov enega znaka in ima drugi ion z osnovnih nabojev.

Nazadnje izračunajmo še prevodnost čiste vode. Pomagamo si s podatkom, da je del $\mathcal{M} = 10^{-7}$ molekul vode razdeljen na iona H^+ in OH^- . Z vsoto gibljivosti za ta iona $5,69 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{Vs}$ dobimo $1/\zeta = 5,5 \cdot 10^{-6} (\Omega\text{m})^{-1}$. To se ujema s podatkom za prevodnost vode pri temperaturi 22°C .

Nazadnje se ne moremo upreti skušnjavi, da bi poskusili oceniti gibljivost iona. To je eden od redkih primerov, ko je mogoča preprosta ocena. V približku opišimo upor pri gibanju iona z viskoznostjo η v zvezni snovi in spreglejmo, da delujejo na ion posamezne molekule vode ob trkih. Z linearnim zakonom upora dobimo $\beta = e_0/6\pi r\eta$, če je r radij iona. Razumljivo se zdi, da je gibljivost iona tem večja, čim manjši je ion in čim manj se kapljevina upira gibanju iona po njej. Z viskoznostjo 10^{-3} kg/ms in radijem iona kalija $1,33 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ dobimo za gibljivost oceno $6,4 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{Vs}$. Pogled na preglednico pokaže, da to ni slabo.

Ion	β^+	ion	β^-
H^+	$36,23 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{Vs}$	OH^-	$20,64 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{Vs}$
Na^+	$5,19 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{Vs}$	Cl^-	$7,91 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{Vs}$
K^+	$7,62 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{Vs}$	SO_4^{--}	$8,29 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{Vs}$

Gibljivost za nekatere ione v vodni raztopini pri temperaturi 25°C .

Janez Strnad