

# UTI CAJ MAGNETSKOG POQA NA ELEKTROLIT KROZ KOJI PROTI ^E ELEKTRI ^NA STRUJA

Marko Petkovi },  
Gi mnazi ja “Svetozar Markovi }”, Ni {

**REZI ME.** Anal i zi ran je uti caj magnetskog poqa na el ektrol i t kroz koji proti -e jednosmerna el ektri -na struja, a koji se sastoji u tome { to se el ektrol i t vrti stal nom ugaonom brzi nom oko ose paral el ne pravcu magnetskog poqa. Opi san je eksperi ment koji , ne samo da pokazuje taj uti caj, ve} omogu}uje da se on vi zuel no posmatra. I zlo` ena je teori ja koja obja{ wava opi sani eksperi ment i koja je potvr |ena eksperi mental no odre |eni m zavi snosti ma ugaone brzi ne kojom se vrti el ektrol i t od i ntenzi teta struje.

## 1. UVOD

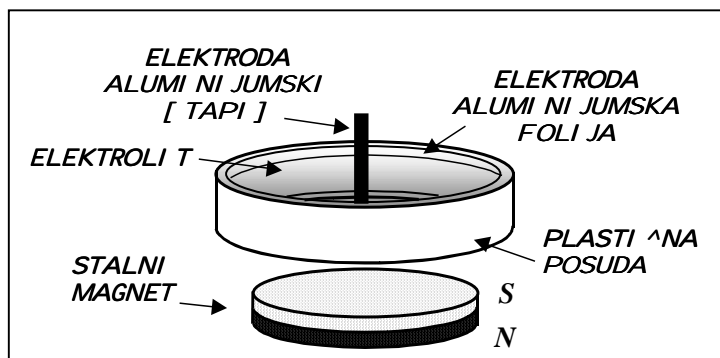
Proti cawe el ektri -ne struje kroz te~nosti (el ektrol i te) i mehani zmi koji to omogu}uju detaqno je opisano u li teraturi jer je u osnovi va` nih postupaka hemijske tehnologije [1-3]. Me|utim, to nije slu~aj sa uti cajem magnetskog poqa na el ektrol i te kroz koje proti -e el ektri -na struja, o ~emu se u li teraturi daju samo vrlo kratke i uzgredne napomene, i pored toga { to je jasno da magnetsko poqe mora da del uje si lom na el ektrol i t kroz koji proti -e struja, sl i -no kao { to del uje si lom na provodni k od ~vrstog materi jal a kroz koji proti -e struja [1] i li na el ektri sawe koje se kre}e [2]. Razl oge za to treba tra` i ti u ~i weni ci da ovaj efekat, kol i ko nam je poznato, jo{ ni je na{ ao prakti -nu pri menu [2], { to ne zna~i da se to u budu}nosti ne}e dogodi ti . Zbog toga, u ovom radu, mi }emo prou~i ti uti caj magnetskog poqa na el ektrol i te kroz koje proti -e el ektri -na struja i objasni }emo mehani zme tog uti caja.

U ovom radu, posle opi sa eksperi menta koji pokazuje uti caj magnetskog poqa na el ektrol i t kroz koji proti -e jednosmerna el ektri -na struja, ukratko }emo izlo` i ti teori ju koja obja{ wava taj eksperi ment. Teorijski zakqu~ci se dobro sl a` u sa eksperi mental no odre |eni m zavi snosti ma ugaone brzi ne kojom se vrti el ektrol i t od i ntenzi teta struje i dubi ne el ektrol i ta.

## 2. JEDAN JEDNOSTAVAN EKSPERI MENT

Uti caj magnetskog poqa na el ektrol i t kroz koji proti -e el ektri -na struja mo` e da se poka` e jednostavni m eksperi mentom. Za taj eksperi ment je potrebna mawa stakl ena i li plasti -na posuda vaqkastog obl i ka. Unutra{ wu stranu omo ta~a posude treba obl epi ti al umi ni jumskom fol i jom, koja treba da i ma ul ogu jedne el ektrode. Druga el ektroda je al umi ni jumski { tapi } (pre~ni ka oko 0,5 cm) koji se postavi tako da se pokl apa sa osom posude (kao na sl . 1). U posudu se si pa el ektrol i t. Mi smo kori stili i blagi (oko 0,1 mol/dm<sup>3</sup>) rastvor kuhi wske soli (NaCl) u vodi. Kada se izme|u el ektroda prikqu~i jednosme~ran napon (stabi l i sani i sprav~a~ ~iji napon mo` e da se mewa do 20 V) kroz el ektrol i t pro~i -e struja koja je reda vel i ~i ne 200 mA, zavi sno od wegove koncentracije i napona.

Kada i spod posude stavi mo ja~i stalni magnet zapazi }emo da se el ektrol i t okre}e oko central ne el ektrode



Slika 1. [ ematska predstava aparature.

konstantnom ugaonom brzi nom. Okretawe el ektrol i ta jo{ boqe mo`emo vi deti ako po wegovoj povr{ini pospemo sastruganu kedu ili opi{ke stiropora obojene mastilom. Ako se zameni polaritet elektroda ili promeni smer magnetnog poqa (okretawem stalnog magneta za 180<sup>0</sup>), promeni }e se i smer rotacije el ektrol i ta. Kada se magnet udaqi od posude ili kada se iskqu-i struja, rotacija el ektrol i ta prestaje.

### 3. TEORI JSKO OBJA[ WEWE EKSPERI MENTA

Da bi smo objasnili i opisali eksperiment, razmotri }emo provo|ewe struje kroz el ektrol i t i uticaj magnetskog poqa na nael ektri sane jone u wemu. Po{ to smo eksperimentalno utvrdili da el ektrol i t rotira stalnom ugaonom brzi nom, zakqu-ujemo da je moment sile kojom magnetsko poqe deluje na el ektrol i t uravnote`en momentom sila vi skoznog trewa i zme|u sl ojeva el ektrol i ta. Tako }emo odrediti ti ugaonu brzi nu kojom se el ektrol i t okre}e oko centralne el ektrode.

Ako su  $n_+$  i  $n_-$  koncentracije,  $q_+$  i  $q_-$  nael ektri sawa  $v_+$  i  $v_-$  brzi ne pozi tivni h i negati vni h jona, gusti ne wi hovi h el ektri -ni h struja su [1]:

$$j_+ = n_+ \cdot q_+ \cdot v_+ , \quad j_- = n_- \cdot |q_-| \cdot |v_-| \quad (1)$$

Ukupna gusti na struje  $j$  u el ektrol i tu jednaka je zbi ru prethodne dve:

$$j = j_+ + j_- = n_+ \cdot q_+ \cdot v_+ + n_- \cdot |q_-| \cdot |v_-| \quad (2)$$

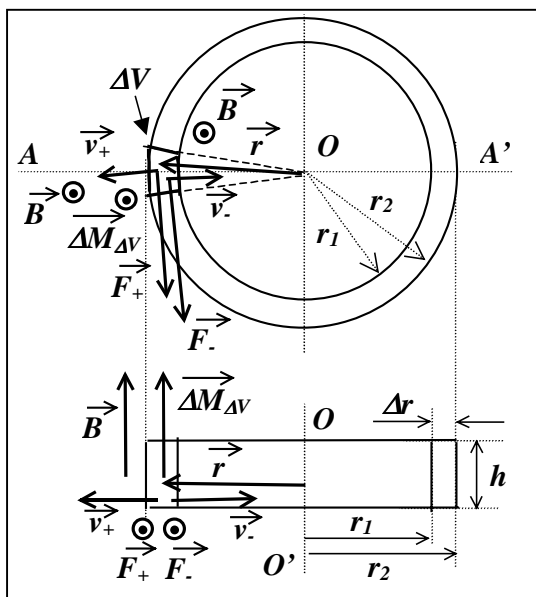
Kada je el ektrol i t u sudu sa cil i ndri -nom geometrijom (sl. 1), gusti na struje zavi si od pol upre-ni ka  $r$ , ali je ista u svakoj ta-ki cil i ndri -ne povr{ i ne pol upre-ni ka  $r$  i vi si ne  $h$ , tako da je ukupna struja kroz tu povr{ i nu jednaka [2]:

$$I = 2\pi \cdot r \cdot h \cdot j \quad (3)$$

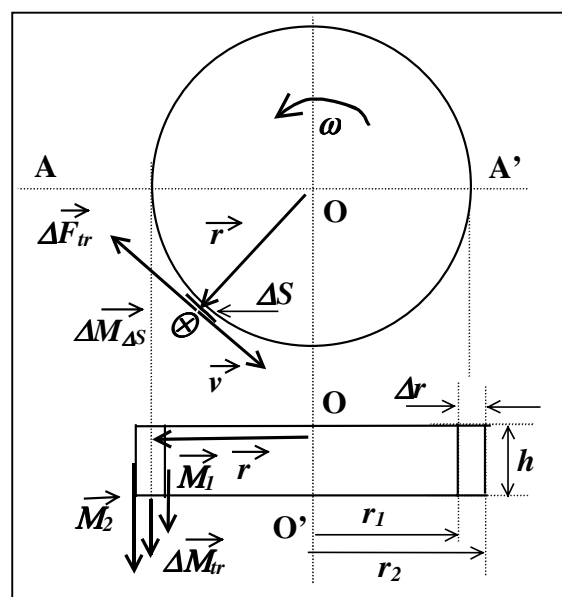
U el ektrol i tu koji se nalazi u magnetskom poqu i ndukcije  $B$  i kroz koji te-e struja, i ntenzitet Lorencove sile na pozi tivne, odnosno negati vne jone je:

$$F_+ = q_+ \cdot v_+ \cdot B = \frac{j_+}{n_+} \cdot B , \quad F_- = |q_-| \cdot |v_-| \cdot B = \frac{j_-}{n_-} \cdot B \quad (4)$$

Pravac i smer Lorencove sile je isti i za pozi tivne i za negati vne jone, jer wi hove brzi ne i maju suprotne smerove, ali se wen pravac (normal an na pravac  $B$  i pravac brzi ne) stal no mewa. Zbog toga, posmatra }emo malu zapremi nu  $\Delta V$  (sl. 2), u kojoj postoji  $n_+ \cdot \Delta V$  pozi tivni h jona na koje deluje sila  $F_+$  i  $n_- \cdot \Delta V$  negati vni h jona na koje deluje sila  $F_-$ , tako da je ukupna sila koja, zbog pri sustva



Sl i ka 2. Odre| i vawe momenta Lorencove sile.



Sl i ka 3. Odre| i vawe momenta sila vi skoznog trewa.

magnetskog poqa, deluje na deo elektrolita zapremine  $\Delta V$ :

$$\Delta F_{\Delta V} = (n_+ \cdot F_+ + n_- \cdot F_-) \cdot \Delta V = (j_+ + j_-) \cdot B \cdot \Delta V = j \cdot B \cdot \Delta V \quad (5)$$

Deo elektrolita zapremine  $\Delta V$  kreće se po kružnoj putanji polupreznika  $r$  ugaonom brzinom  $\omega$  pod uticajem sile  $\Delta F_{\Delta V}$ , odnosno wenog momenta, koji je:

$$\Delta M_{\Delta V} = r \cdot \Delta F_{\Delta V} = r \cdot j \cdot B \cdot \Delta V \quad (6)$$

Na svaki deo zapremine  $\Delta V$  u sloju elektrolita između dve koncentrične cilindrične površine polupreznika  $r$  i  $r + \Delta r$  (sl. 2), zapremine  $2\pi \cdot h \cdot r \cdot \Delta r$ , deluje moment sile koji je intenzitet dat relacijom (6), a pravac paralelan osi OO'. Ukupan moment na sloju elektrolita između ove dve cilindrične površine je:

$$\Delta M_B = \frac{\Delta M_{\Delta V}}{\Delta V} \cdot 2\pi \cdot h \cdot r \cdot \Delta r = 2\pi \cdot h \cdot j \cdot B \cdot r^2 \cdot \Delta r = I \cdot B \cdot r \cdot \Delta r \quad (7)$$

Prema Wutnovom zakonu sile viškoznoštreva između dva sloja tečnosti koji se kreću jedan u odnosu na drugi brzina koje se razlikuju za  $\Delta v$ , je [1,2]:

$$F_{tr} = \eta \cdot S \cdot \frac{\Delta v}{\Delta r} = \eta \cdot S \cdot \omega \quad (8)$$

gde je  $\eta$  koeficijent viškoznoštreva, a  $S$  je dodirna površina izmeđuslojeva. Pri tome je uzeto u obzir da elektrolit rotira konstantnom ugaonom brzinom  $\omega$ , tako da se na rastojaju  $\Delta r$  u pravcu normalnom na pravac proticavatečnosti brzina tečnosti promeni za  $\Delta v = \omega \cdot \Delta r$ . Pravac sile viškoznoštreva između dva sloja tečnosti je u pravcu kretavatečnosti, a u ovom slučaju u pravcu tangente na cilindričnu površinu (sl. 5). To znači da se pravac sile treva mewa i duži po kružnici koja leži na cilindričnoj površini. Zbog toga mora da se odredi moment sile koji je istog intenziteta i pravca za svaki deo cilindrične površine, tako da je ukupan moment izmeđudva sloja elektrolita koje deli cilindrična površina (polupreznika  $r$  i površine  $S = 2\pi \cdot r \cdot h$ ) jednak:

$$M_{tr} = r \cdot \eta \cdot S \cdot \omega = 2\pi \cdot h \cdot \eta \cdot \omega \cdot r^2 \quad (9)$$

Na taj način za priređaj momenta sile treva koji deluje na sloju elektrolita izmeđudve cilindrične površine polupreznika  $r$  i  $r + \Delta r$  se dobija:

$$\Delta M_{tr} = 4\pi \cdot \eta \cdot h \cdot \omega \cdot r \cdot \Delta r \quad (10)$$

Kako sloju elektrolita rotira stalnom ugaonom brzinom, moment sile kojom magnetsko poqe deluje na wega jednak je momentu sile viškoznoštreva, tj.  $\Delta M_B = \Delta M_{tr}$ , tako da se smenom iz relacija (7) i (10) dobija:

$$\omega = \frac{I \cdot B}{4\pi \cdot \eta \cdot h} \quad (11)$$

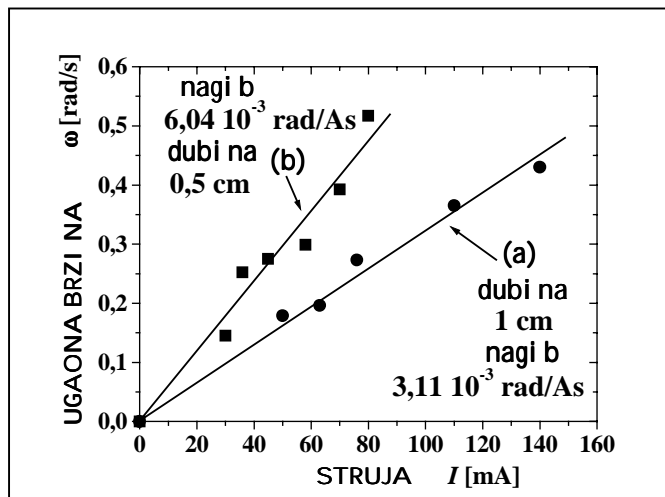
Prema tome, ugaona brzina  $\omega$  kojom sloju elektrolita rotira ne zavisi od  $r$  i direktno je proporcionalna struji  $I$  i intenzitetu magnetne indukcije  $B$ , a obrnuto proporcionalna viškoznoštreva elektrolita  $\eta$  i wegovoj visini  $h$ .

#### 4. REZULTATI MEREWADI SKUSIJA

U cilju provere relacije (11) mereno je vreme ( $t_{10}$ ) za koje elektrolit pri rotaciji napravi deset obrtaja (štoperi com, sa tačnošću 0,1 s). Ugaona brzina rotacije elektrolita je raunata prema relaciji  $\omega = 2\pi \cdot 10 / t_{10}$ . Struja kroz elektrolit je mewana u granicama od 30 mA do 150 mA, i kontrolisana je miliampermetrom sa tačnošću 1 mA. Merewa su ponovqena za dve različite dubine elektrolita (0,5 cm i 1 cm), koja je merena levirom, sa tačnošću 0,1 cm.

Ova merewa omoguđila su da se (koristeći raunarski program Microcal Origin [4]) nacrtaju zavisnosti ugaone brzine rotacije elektrolita od struje kroz wega, za dve različite dubine elektrolita koje su prikazane na sl. 4. Te zavisnosti su linearne, što se slaže sa teorijskim predviđawem, odnosno relacijom (11). Pored toga, nagib zavisnosti sa sl. 4, određen postupkom

linearnog fitovanja koristeći program Microcal Origin [4], je  $3,11 \cdot 10^{-3} \pm 1,7 \cdot 10^{-4}$  rad/As za zavisnost (a) koja se odnosi na elektrolit dubine  $h=1$  cm, dok je  $6,04 \cdot 10^{-3} \pm 5,6 \cdot 10^{-4}$  rad/As za zavisnost (b) koja se odnosi na elektrolit dubine  $h=0,5$  cm. Prema tome, kada je dubina elektrolita dva puta veća, nagib zavisnosti ugaone brzine rotacije elektrolita od struje kroz vega je (u granicama greške merenja) dva puta manji, što se i zvanredno dobro slaže sa teorijskim predviđanjem, odnosno relacijom (11).



Slika 4. Eksperimentalno određene zavisnosti ugaone brzine rotacije elektrolita od struje, za dve različite vrednosti dubine elektrolita.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisan je jednostavan eksperiment koji omogućuje vizuelno posmatranje rotacije elektrolita kroz koji protiče struja i koji se nalazi u magnetskom polju. Taj eksperiment pokazuje da, u slučaju malih struja kada je rotacija elektrolita spora, ugaona brzina je nezavisna od rastojanja, odnosno, da se ceo elektrolit obrće istom ugaonom brzinom.

Teorijsko objašnjenje ovog efekta zasnovano je na činjenici da rotaciju elektrolita izaziva moment Lorencove sile koja deluje na jone koji se kreću kroz elektrolit i da je taj moment uravnotežen momentom sila viškoznoeg trevanja između slabe elektrolita koji rotiraju, tako da je ugaona brzina svih slabe elektrolita stalna, a to se zapaža pri malim ugaonim brzinama. U tom slučaju, ugaona brzina kojom elektrolit rotira određena je relacijom (11). Eksperimentalno određene zavisnosti ugaone brzine rotacije elektrolita od intenziteta struje kroz elektrolit (sl. 4) dobro se slažu sa relacijom (11), odnosno potvrđuju teorijska predviđanja.

Uticaj magnetskog polja na elektrolite kroz koje protiče struja može se iskoristiti za mehanizam transporta elektrolita a isto tako i za određivanje njegove viskoznosti ili dubine. Ovi rezultati podstiču daq i istraživanja u cilju određivanja uslova pri kojima se u elektrolitima zapaža pojava slabe na Holovom efektu kod metalnih poluprovodnika i pored toga što se u literaturi (na primer [2]) navodi da je taj efekat kod elektrolita slabiji nego kod metala.

## ZAHVALNOST

Zahvaqujem se mom mentoru **Draganu Anđelkoviću**, profesoru Gimnazijske "S. Markoviće" u Nišu, na veliku pomoć pri izboru teme i izradi ovog rada.

## LITERATURA

- [1] Raspopović, M., Božić, S., Danilović, E. "Fizika za II razred gimnazijske", Zavod za učenje i nastavna sredstva, Beograd 1999.
- [2] Frič, S. E., Timorjeva, A. V. "Kurs optičke fizike, knjiga II: Električne i elektromagnetske pojave", Zavod za izdavanje učenja, Beograd 1970.
- [3] Rakočević, M., Horvat, R. "Optika hemija za I razred srednjoškole", Zavod za učenje i nastavna sredstva, Beograd 1998.
- [4] Microcal Origin 4.14 User's manual, Microcal Software Inc., Northampton USA, 1996.