
Matjaž Koželj

**MERITEV FLUKSA TERMIČNIH NEVTRONOV S
KOMPENZIRANO IONIZACIJSKO CELICO**



Ljubljana, oktober 2013

revizija 0

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za matematiko in fiziko
Jedrska tehnika
Jedrska, reaktorska in radiološka fizika

Prejšnje izdaje:

1. izdaja: Eksperimentalne vaje, jedrska fizika, september 2006, avtor: *Matjaž Koželj*
2. izdaja: Eksperimentalne vaje, jedrska fizika, oktober 2012, avtor: *Matjaž Koželj*

Revizija: 0

1. izdaja, oktober 2013

Avtorji: *Vladimir Radulović, Gašper Žerovnik, Luka Snoj, Andrej Trkov*

Shranjeno v datoteki: *16_meritev_fluksa_termicnih_nevtronov.doc*
zadnjič shranjen *15.10.2013 19:20:00*

Tiskano: *7.11.2013 10:56:00*

KAZALO

1. Namen vaje.....	4
2. Teoretične osnove.....	4
3. Naloga.....	7
4. Oprema pri vaji.....	7
5. Izvedba vaje.....	7
6. Analiza rezultatov.....	8

1. Namen vaje

Seznani se bomo s principi delovanja ter z uporabo kompenzirane ionizacijske celice za merjenje fluksa termičnih nevtronov.

2. Teoretične osnove

Ionizacijska celica je lahko občutljiva za nevtrone, če vsebuje snov, ki daje pri reakcijah z nevtroni nabite delce z dovolj veliko kinetično energijo. V ta namen prevlečejo elektrode ionizacijske celice s plastjo bora, ki vsebuje izotop ^{10}B . Jedro ^{10}B ima namreč zelo velik presek za reakcijo s termičnimi nevtroni, pri kateri nastane delec alfa s kinetično energijo nekaj MeV (glej npr. vajo »BF₃ števec«). Delci alfa, ki se ne zaustavijo v sami borovi prevleki ionizirajo plin v celici.

Pogosto moramo meriti termični fluks v pogojih, ko predstavlja ionizacijski tok na račun žarkov gama relativno velik del celotnega ionizacijskega toka iz celice. Preprosto rešitev predstavlja **kompenzirana ionizacijska celica**, ki jo tvorita dva med seboj ločena dela, od katerih pa je na termične nevtrone občutljiv le eden (elektrodi, ki le-tega sestavljata, sta prevlečeni s plastjo bora). V primeru, da sta oba dela na žarke gama enako občutljiva in je polje žarkov gama homogeno, je razlika ionizacijskih tokov skozi oba dela kar sorazmerna fluksu termičnih nevtronov. Z odštevanjem lahko torej ionizacijski tok zaradi žarkov gama "kompenziramo".

Običajno služi pregrada med občutljivim delom kot skupna elektroda in ionizacijska tokova se kar električno odštevata, če priključimo na preostali elektrodi primerno izbrani napetosti nasprotnih predznakov (glej sliko 1, ki shematsko prikazuje zgradbo in tokovni krog preproste kompenzirane ionizacijske celice narejene iz treh vzporednih ploščatih elektrod).

V resnici bi bilo težko izdelati tako kompenzirano ionizacijsko celico, da bi bila njena dela vselej enako občutljiva na žarke gama. V tem primeru bi se ionizacijska tokova zaradi žarkov gama tudi res odštela. Pri nekaterih celicah dosegajo kompenzacijo mehansko tako, da spremenijo razmerje občutljivih volumnov.

Pri naši ionizacijski celici predstavljeni na sliki 2, ki jo sestavljajo trije koncentrični valji (tako nastane par občutljivih prostorov), pa prilagodimo občutljivosti na žarke gama z izbiranjem primerne pozitivne in negativne enosmerne napetosti. Srednji in zunanji valj tvorita ionizacijsko celico občutljivo na nevtrone in žarke gama, srednji in notranji valj pa ionizacijsko celico občutljivo samo na žarke gama. Volumna obeh celic sta enaka, vse skupaj se pa nahaja znotraj ohišja, ki je napolnjeno z vodikom.

Kot vemo, je tok skozi ionizacijsko celico močno (v idealnih razmerah linearno) odvisen od jakosti sevanja in zelo malo odvisen od napetosti na celici. To seveda velja za celico, ki deluje pri napetostih, ko deluje v režimu ionizacijske celice (območje nasičenja). Na sliki 3 so predstavljene **karakteristike ionizacijske celice**, ki je občutljiva na sevanje žarkov gama in nevtrone, pri različnih tokovih oz. pri različnih jakostih sevanja. Kar vidimo na sliki je, da je napetost, ko celica začne delovati v območju nasičenja, dejansko odvisna od jakosti sevanja. Vidimo tudi, da ta napetost narašča pri močnejših poljih, ko je učinkovitost zbiranja naboja v robnih področjih celic višja. Dejansko bi potrebno napetost na celici lahko določili iz ocene

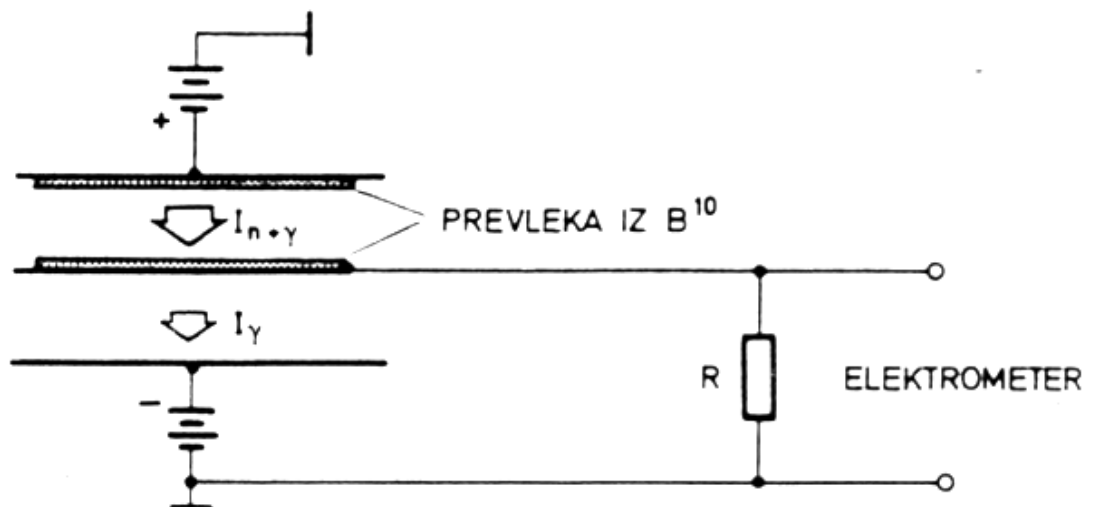
polj in znane občutljivosti celice za nevtrone in gama (glej podatke za celico), vendar bomo uporabljali neko vnaprej določeno napetost (400 V).

V idealnih razmerah, torej popolnoma homogenem polju žarkov gama, bi bilo s kompenzacijo možno doseči, da sta tokova zaradi žarkov gama v obeh celicah enaka in bi tok, ki bi ga namerili skozi skupno srednjo elektrodo dejansko samo tok zaradi nevtronov. V resnici pa polja žarkov gama nikoli niso popolnoma homogena in tega nikoli ne moremo doseči. Zato definiramo **kompenzacijsko razmerje**, to je količino, ki nam pove, kako »uspešni« smo pri kompenzaciji kot:

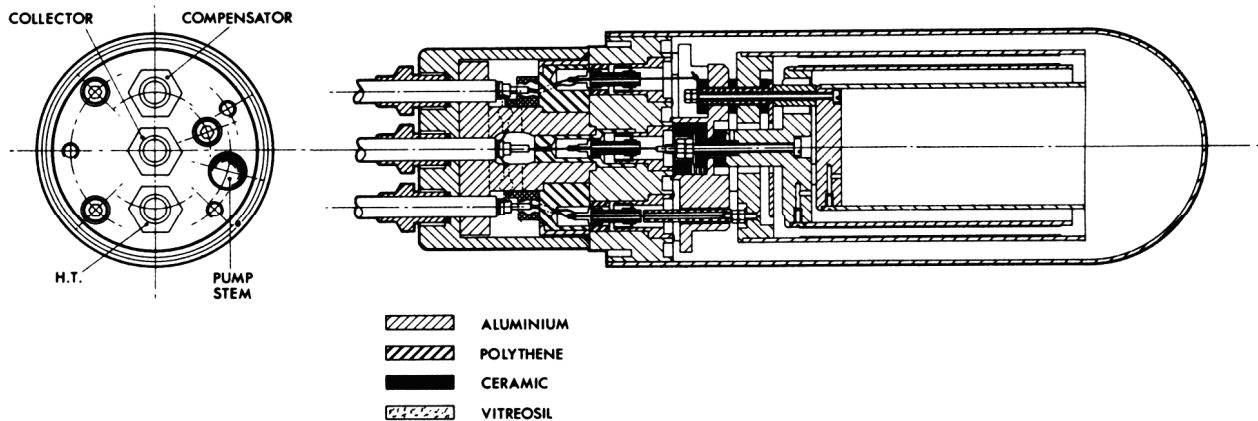
$$I_{n\gamma} / (I_{n\gamma} - I_{\gamma\gamma}) \quad (1)$$

kjer je $I_{n\gamma}$ tok zaradi gama v delu občutljivem za nevtrone in gama, ter $I_{\gamma\gamma}$ tok zaradi gama v delu občutljivem samo za gama.

Kompenzacijska razmerja so tipično 10:1, ali nekajkrat 10:1, vendar pod določenimi pogoji (nehomogenost polja gama!) lahko postane tudi negativno. To dejansko pomeni, da je tok skozi del celice občutljiv samo za sevanje gama večji od toka skozi del občutljiv za nevtrone in sevanje gama. Dejansko se to zgodi takrat, ko je poleg nehomogenosti polja gama uporabljena tudi zadosti visoka negativna napetost. Takrat govorimo o prekompenzirani ionizacijski celici, ki ni primerna za meritve predvsem manjših polj.

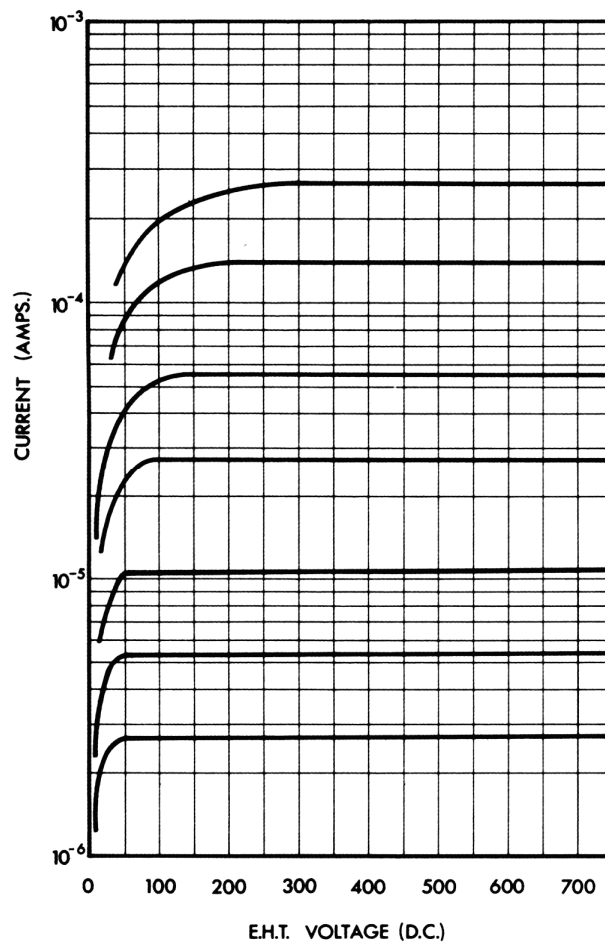


Slika 1: Shematski prikaz kompenzirane ionizacijske celice in pripadajočega tokokroga



Slika 2: Zgradba kompenzirane ionizacijske celice Centronic RC6

V ohišju iz aluminija, napolnjenim z vodikom, se nahajajo trije koncentrični valji (elektrode). Srednji in zunanji tvorita ionizacijsko celico občutljivo na žarke gama in nevtrone (prevleka iz bora), srednji in notranji pa ionizacijsko celico občutljivo samo na žarke gama. **Zunanji valj (H.T.)** priključimo na **pozitivno napetost**, **notranji (COMPENSATOR)** na **negativno napetost**, srednji valj (COLLECTOR) pa priključimo na elektrometer – instrument za merjenje majhnih tokov.



Slika 3: Tokovne karakteristike kompenzirane ionizacijske celice Centronic RC6

3. Naloga

1. V polju žarkov gama kompenziraj ionizacijsko celico!
2. Pri različnih močeh reaktorja izmeri fluks termičnih nevtronov! Pri treh močeh reaktorja izmeri tokovno karakteristiko kompenzirane ionizacijske celice (negativna napetost naj bo pri tem enaka nič)!

4. Oprema pri vaji

- **Kompenzirana ionizacijska celica**

Karakteristični podatki:

tip..... Centronic RC6EB: 180 cm Hg
število plošč 3 (2 celici)
prevleka plošč v eni celici bor (90 % ^{10}B)
občutljivi volumen 104 cm^3
polnilni plin vodik pri tlaku 2,4 bara
občutljivost na nevtrone $1,7 \times 10^{-14} \text{ A/cm}^2 \text{ s}$
občutljivost na žarke gama (brez kompenzacije) $7 \times 10^{-12} \text{ A/Rh}$
premer 90 mm
dolžina 230 mm
teža 1,6 kg
maksimalna delovna napetost 600 V

- **usmernika:** dajeta napetosti od 0 do -3000 V ter od 0 do +3000 V.

PRI DELU BOMO PAZILI, DA NAPETOST NE PRESEŽE 600 V!

- **voltmetra**, vgrajena v usmernika
- **Model Keithley 6517 Electrometer/ High-Resistance Meter**

5. Izvedba vaje

Kompenzirana ionizacijska celica je že nameščena ob sredici reaktorja TRIGA in vsi kabli so že priključeni. Celico bomo kompenzirali kar v polju žarkov gama, ki jih sevajo gorivni elementi v sredici.

Vodja vaj bo vklopil potrebne instrumente in razložil način uporabe. Navodil se moraš dosledno držati!

Pozitivno napetost nastavi na 400 V in postopoma dviguj negativno napetost (po 10 V od 0 V do 100 V ter po 25 V do 200 V) in beleži tok skozi skupno elektrodo (pazi na enote!). Pri tem za nastavitvev napetosti uporabljaj skalo na potenciometru in preklopniku, voltmeter pa naj ti služi samo za kontrolo. Tok skozi celico bo postopoma postajal manjši in celo negativen, ko bo celica prekompenzirana.

Določi kompenzacijsko napetost in izmeri tok pri tej napetosti.

Ko negativno napetost vrneš na 0 V, bo merilnik kazal samo tok skozi del celice občutljiv za nevtrone. Določi kompenzacijsko razmerje!

Ponovno nastavi kompenzacijsko napetost in zaprosi operaterja, da zažene reaktor na moč 100 W. Tok skozi celico se bo povečal zaradi prisotnosti nevtronov.

Ko izmeriš tok, bo operater dvignil moč na 500 W. Ponovno izmeri tok, potem pa zmanjšaj negativno napetost na 0 V in izmeri karakteristiko (nevtronsko občutljivega dela) ionizacijske celice.

Operater bo moč postopoma dvigal na 1 kW, 5 kW, 10 kW, 50 kW, 100 kW in 250 kW. Meritev karakteristike ponovi še pri moči 5 kW in 50 kW. Po meritvi ne pozabi vrniti kompenzacijsko napetost na določeno vrednost!

6. Analiza rezultatov

Nariši odvisnost ionizacijskega toka (ko je celica kompenzirana) od moči reaktorja. Na diagramu v logaritemskem merilu prikaži vse izmerjene tokovne karakteristike!

7. Rezultati meritev

Datum: _____

Kompensacija ionizacijske celice

$U_+ = 400 \text{ V}$

	U.[V]	I_{COL} [A]
1	0	
2	10	
3	20	
4	30	
5	40	
6	50	
7	60	
8	70	
9	80	
10	90	
11	100	
12	125	
13	150	
14	175	
15	200	

Na grafu predstavi odvisnost toka od napetosti U..

Iz grafa določena kompenzacijska napetost je $U. = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

Določanje kompenzacijskega razmerja

I_{COL} (pri kompenzacijski napetosti $U. = \underline{\hspace{1cm}} \text{ V}$) = $\underline{\hspace{2cm}}$ A

I_{COL} (pri kompenzacijski napetosti $U. = 0 \text{ V}$) = $\underline{\hspace{2cm}}$ A

Kompenzacijsko razmerje: $\underline{\hspace{2cm}} : 1.$

Meritve toka skozi celico v odvisnosti od moči reaktorja

Kompenzacijska napetost $U_c = \text{_____} \text{ V}$

	Moč reaktorja P_R	I_{COL} [A]
1	0 W	
2	100 W	
3	500 W (*)	
4	1 kW	
5	5 kW (*)	
6	10 kW	
7	50 kW (*)	
8	100 kW	
9	250 kW	
10		
11		

(*) Opravi meritev karakteristike (podatke vpisuj v 5.7.4).
Po meritvi ne pozabi vrniti kompenzacijsko napetost na določeno vrednost!

Nariši in priloži graf odvisnosti toka skozi ionizacijsko celico od moči reaktorja.

Določanje karakteristike kompenzirane ionizacijske celice pri različnih močeh reaktorja

Meritev karakteristike ionizacijske celice pri 500 W

$U_c = 0 \text{ V}$

	U.[V]	I _{COL} [A]
1	0	
2	5	
3	10	
4	15	
5	20	
6	25	
7	30	
8	40	
9	50	
10	60	
11	70	
12	80	
13	90	
14	100	
15	110	
16	120	
17	130	
18	140	
20	150	
21	160	
21	170	
22	180	
23	190	
24	200	
25	220	
26	240	
27	260	
28	280	
29	300	
30	325	
31	350	
32	400	
33	450	
34	500	

Meritev karakteristike ionizacijske celice pri 5 kW

U_c = 0 V

	U.[V]	I _{col} [A]
1	0	
2	5	
3	10	
4	15	
5	20	
6	25	
7	30	
8	40	
9	50	
10	60	
11	70	
12	80	
13	90	
14	100	
15	110	
16	120	
17	130	
18	140	
20	150	
21	160	
21	170	
22	180	
23	190	
24	200	
25	220	
26	240	
27	260	
28	280	
29	300	
30	325	
31	350	
32	400	
33	450	
34	500	

Meritev karakteristike ionizacijske celice pri 50 kW

$U_c = 0 \text{ V}$

	U.[V]	I _{COL} [A]
1	0	
2	5	
3	10	
4	15	
5	20	
6	25	
7	30	
8	40	
9	50	
10	60	
11	70	
12	80	
13	90	
14	100	
15	110	
16	120	
17	130	
18	140	
20	150	
21	160	
21	170	
22	180	
23	190	
24	200	
25	220	
26	240	
27	260	
28	280	
29	300	
30	325	
31	350	
32	400	
33	450	
34	500	

Nariši in priloži karakteristike pri različnih močeh na pollogaritemskem grafu!