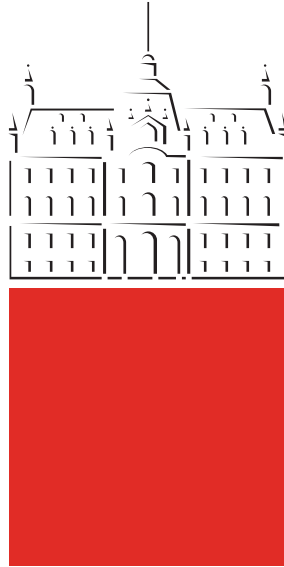


Univerza v *Ljubljani*
Fakulteta za *matematiko in fiziko*

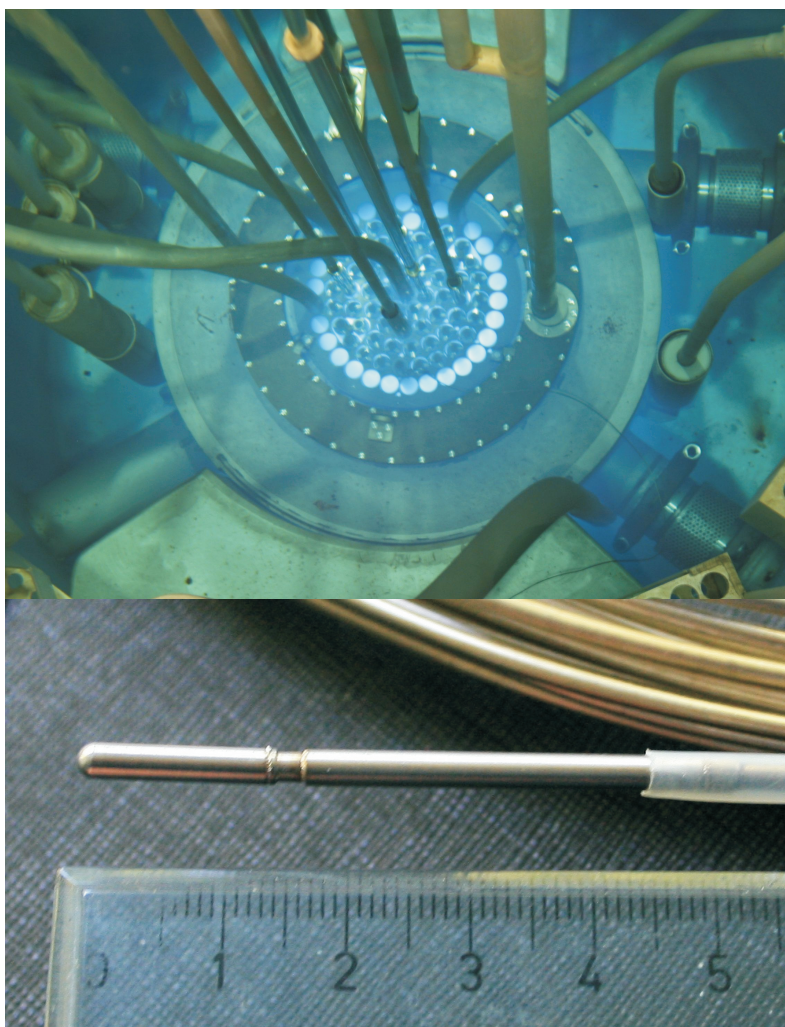


Zbirka vaj za praktikum jedrske, reaktorske in
radiološke fizike

Ljubljana, november 2013

Merjenje žarkov gama v reaktorju

Vladimir Radulović
Gašper Žerovnik
Luka Snoj
Andrej Trkov



1 Namen vaje

Namen vaje je spoznavanje delovanja ionizacijske celice ter meritve signala zaradi žarkov gama znotraj ter v bližini reaktorske sredice. Dodatna aktivnost v okviru vaje je meritev padanja signala zaradi žarkov gama v reaktorju po njegovi zaustavitvi.

2 Fizikalno ozadje

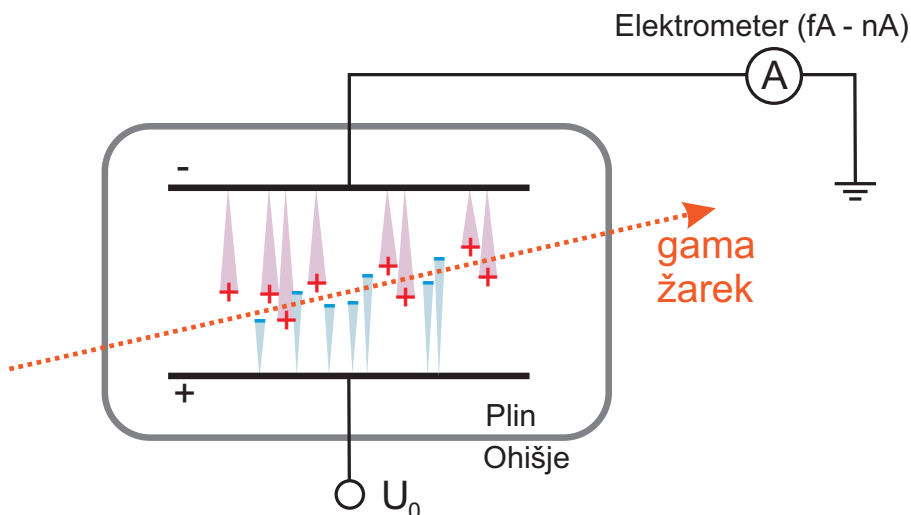
Verižno jedrsko reakcijo poganjajo nevtroni, ki se sproščajo ob cepitvah težkih jeder urana, vendar je poleg nevtronov v jedrskem reaktorju prisotnih več vrst sevanja, med njimi v veliki meri sevanje gama. Gama žarki v reaktorju nastajajo pri sledečih reakcijah:

1. **cepitev jeder**, poleg nevtronov, fisijskih produktov, nevtrinov, itd.,
2. **absorpcije**, oz. radiativnega zajetja nevtronov (reakcij tipa (n, γ))
3. **razpadanja** radioaktivnih cepitvenih ali aktivacijskih produktov v reaktorju.

Gama žarke, ki se sproščajo ob cepitvi ter ob absorpciji nevtronov poimenujemo kot *promptne*, oz. takojšnje. Gama žarki, ki izvirajo iz razpadanja radioaktivnih jeder, se sproščajo z zakasnitvijo, zato jih poimenujemo kot *zakasneli*. Med obratovanjem, je sredica reaktorja izvor mešanega polja sevanja, saj so hkrati prisotni nevtroni, žarki gama, delci beta, itd. Ko je reaktor zaustavljen populacije nevtronov ni več, prisotni so le žarki gama in beta delci iz razpadanja radioaktivnih jeder.

Merjenje gama žarkov v močnih poljih izvajamo z uporabo ionizacijske celice. V najpreprostejši izvedbi le-ta sestoji iz kondenzatorja, zaprtega v ohišje, ki je napolnjeno s plinom. Na kondenzator je priključena delovna napetost U_0 . V prisotnosti ionizirajočega sevanja (α in β delcev, γ žarkov) povzroča le-to ionizacije v plinu ionizacijske celice. Do nastanka pozitivno nabitih ionov in elektronov pride preko mehanizmov za interakcijo sevanja gama s snovjo, t.j. fotoefekt, Comptonovo sipanje in tvorba parov.

Električno polje znotraj kondenzatorja preprečuje takojšnjo rekombinacijo sproščenih pozitivnih ionov ter elektronov. Pozitivne ione privlači negativno nabita elektroda (katoda), elektrone pa pozitivno nabita elektroda kondenzatorja (anoda). Če ionizacijsko celico priključimo na občutljiv elektrometer, lahko merimo majhne električne tokove, ki so posledica interakcije sevanja s plinom znotraj celice. Jakosti električnega toka so tipično velikostnega reda fA - nA, odvisno od same zasnove celice in intenzitete polja sevanja. Na Sliki 1 je podan shematski prikaz ionizacijske celice.



Slika 1: Shematski prikaz ionizacijske celice

3 Naloga

1. Izmeri odziv signala iz ionizacijske celice zaradi žarkov gama v središču sredice v odvisnosti od moči reaktorja po korakih od 0 do 250 kW. Na ta način se preveri linearnost odziva ionizacijske celice
2. Izmeri aksialni profil gama polja v reaktorju pri moči 10 kW
3. Izmeri radialni profil gama polja v reaktorju pri moči 10 kW
4. Dodatek: izmeri padanje signala zaradi žarkov gama po ustavitvi reaktorja

4 Izvedba vaje

4.1 Oprema

Vaja se izvaja na reaktorju TRIGA Mark II na IJS v Ljubljani. Za merjenje polja žarkov gama se uporablja:

- Miniaturna ionizacijska celica CEA N. 2279 (prikazana na naslovnici)
- Aluminijsko vodilo za vstavljanje celice v reaktor
- Elektrometer Keithley 6517
- Osnovna zaščitna sredstva za vstop v kontrolirano območje reaktorja (halja, elektronski dozimeter)

Ionizacijska celica je premera okrog 3 mm, aktivni del je dolg okrog 4 mm. Celica je spojena z dolgim koaksialnim kablom, ki poleg merjenju signala služi tudi premikanju same celice. Celico bodo demonstrator in operaterji reaktorja vstavili v aluminijasto vodilo, le-tega pa v sredico reaktorja. Pri merjenju gama žarkov v različnih pozicijah v sredici se prestavlja celico in vodilo. Pri rokovanju s celico, kablom in konektorjem je vseskozi potrebna pazljivost, kajti oprema je zelo občutljiva.

4.2 Meritve

Prosi demonstratorja naj namesti ionizacijsko celico v vodilo (v kolikor še ni) in naj vstavi vodilo v eno od merilnih pozicij (MP) v zgornji rešetki reaktorja, najbližjih središču sredice. Namesti ionizacijsko celico na polovično višino sredice. Priklopi celico na elektrometer Keithley 6517. Nastavi napajalno napetost na celici na +250 V. Nastavi elektrometer za kontinuirno meritev toka. Priključi napajalno napetost na celico in izmeri ozadje. Oцени zašumljenost signala in opazuj če prihaja do lezenja.

Prosi operaterja naj zažene reaktor in da naj po korakih dviguje moč: (100 W, 500 W, 1 kW, 2 kW, 5 kW, 10 kW, 20 kW, 50 kW, 100 kW, 250 kW). Ob najavi podatka o moči reaktorja izmeri signal iz ionizacijske celice. Oцени zašumljenost signala, opazuj če prihaja do lezenja. Po potrebi uporabi povprečevanje meritev. Opomba: pri polni moči reaktorja 250 kW hitrost doze nad bazenom presega 1 mSv/h, zato se ne nagibaj nad bazen!

Prosi operaterja naj ustali moč reaktorja na 10 kW. Postavi ionizacijsko celico na dno vodila in jo po korakih (5-10 cm) vleci ven. Meri signal iz celice. Oцени negotovost v posameznih korakih.

Celico postavi na polovično višino sredice. Prestavi vodilo z ionizacijsko celico na rob reflektorja in izmeri signal. Celica naj bo ves čas na isti višini. Nato prestavi vodilo z ionizacijsko celico na rob reaktorskega tanka in spet izmeri signal.

Celica naj ostane na robu reaktorskega tanka. Prosi za spremembo moči na 250 kW, ter opazuj signal nekaj minut. Nato prosi za zaustavitev reaktorja in beleži padanje signala. Oцени časovno konstanto.

4.3 Obdelava meritev

Ionizacijska celica je bila projektirana za tipičen reaktorski spekter žarkov gama. Proizvajalec celice podaja konverzijski faktor za signal v izmerjen fluks žarkov gama:

$$\frac{\phi_{\gamma}}{I[\text{nA}]} = 3.54 \times 10^{10} \frac{1}{\text{cm}^2\text{s}} \frac{1}{\text{nA}} \quad (1)$$

Iz izmerjenih rezultatov izračunaj vrednosti fluksa žarkov gama. Oцени ozadje, t.j. signal zaradi žarkov gama, ko je reaktor ustavljen, ter njegovo razpadno konstanto. Ugotovi kakšen je odziv ionizacijske celice na moč reaktorja (linearen ali

ne), upoštevaj ocenjene negotovosti. Na graf nariši izmerjene profile fluksa gama žarkov. Upoštevaj ocenjene negotovosti.

5 Literatura

- (1) J. E. Martin, *Physics for Radiation Protection*, Wiley, 2008
- (2) J. R. Lamarsh, *Introduction to Nuclear Engineering*, ANS, 2002