
Matjaž Koželj

ŠTEVEC BF₃

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

Avtor: *Matjaž Koželj*

Shranjeno v datoteki: *4_stevec_bf3.doc*
zadnjič shranjen 24.10.2013 16:42:00

Tiskano: 24.10.2013 16:44:00

KAZALO

1. Namen vaje	4
2. Teoretične osnove	4
3. Detektor BF ₃	5
4. Ozadje zaradi žarkov gama	5
5. Števec BF ₃	6
6. Delovanje števnega sistema	7
7. Nastavitev števnega sistema	7
8. Izvedba vaje	7
9. Rezultati meritev.....	8

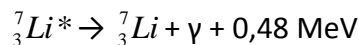
1. Namen vaje

V reaktorski tehniki moramo pogosto preverjati prisotnost nevtronov in meriti količine, ki so z njimi povezane. V ta namen uporabljamo različne detektorje. Najbolj razširjen je detektor BF_3 , s katerim se bomo seznanili pri vaji. Določili bomo tudi parametre, ki zagotavljajo njegovo pravilno delovanje.

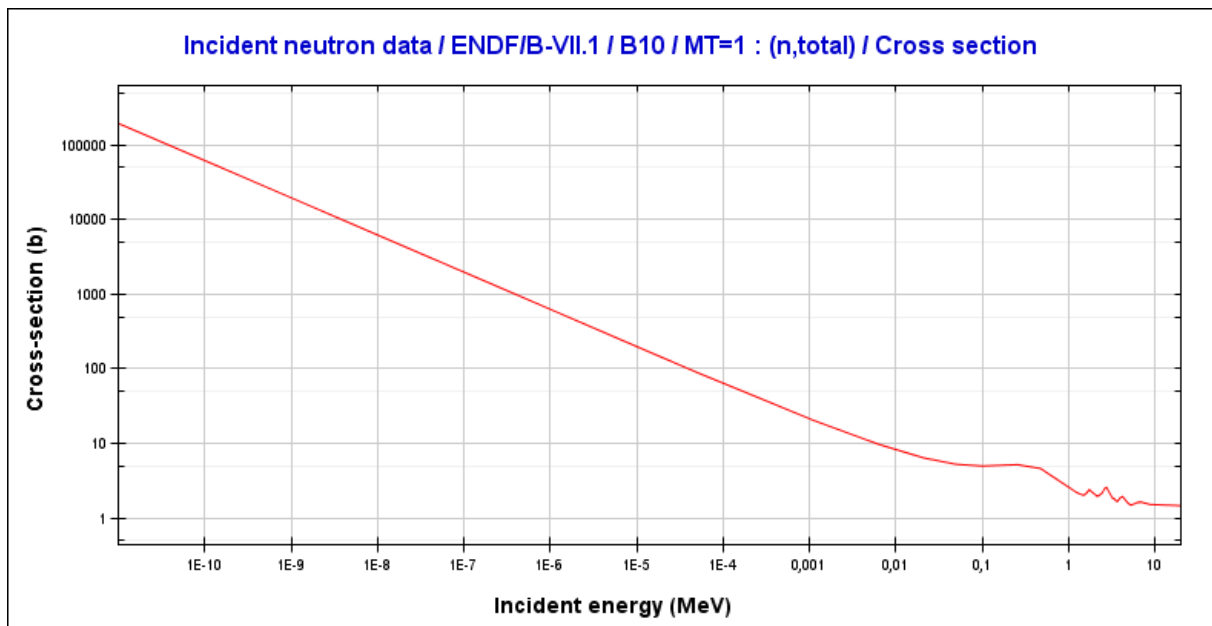
2. Teoretične osnove

Nevtroni so električno nevtralni delci. Zaradi tega jih lahko zaznamo le posredno, preko reakcij, ki jih povzročajo v snovi. V detektorju je torej prisotna snov, ki z nevtroni znatno reagira. Reakcija mora biti izrazita, da jo lažje razlikujemo od drugih pojavov v detektorju.

Za detekcijo termičnih in epitermičnih nevtronov (učinkovit je za detekcijo nevtronov energij nekje do reda velikost keV – njegova učinkovitost pada z energijo, slika 2.1) je zelo primeren element bor. Naravni bor vsebuje v povprečju 19,9 % izotopa $^{10}_5\text{B}$, ki s termičnimi in epitermičnimi nevtroni (če pozabimo na elastično sipanje, pri katerem se sestava jedra ne spremeni) reagira po shemi:



V 6 % primerov razpade neposredno v osnovno stanje. V 94 % primerov ostane jedro ${}^7\text{Li}$ v vzbujenem stanju. Razlika $2,78 \text{ MeV} - 2,30 \text{ MeV} = 0,48 \text{ MeV}$ odda tako, da izseva žarek γ . Ostala energija se sprosti v obliki kinetične energije produktov reakcije, torej ${}^4\text{He}$ in ${}^7\text{Li}$. Ker sta ta dva delca električno nabita, povzročita ionizacijo plina v detektorju, kar zaznamo kot sunek električnega toka.



Slika 2.1: Presek za reakcijo nevtrona z jedrom ^{10}B v odvisnosti od energije vpadnega nevtrona. Presek, ki je sorazmeren z verjetnostjo za reakcijo, pada z energijo nevtrona, odvisnost v širokem območju (nekje do ~ 10 keV) je $1/v$ oz. $1/\sqrt{E}$.

3. Detektor BF_3

Detektorji BF_3 so običajno valjaste oblike in zelo različnih velikosti. Zgrajeni so podobno kot Geiger-Müllerjeva števna cev. Katoda je kovinska cev, ki je hkrati tudi zunanja stena detektorja. Anoda je tanka žica, ki je napeta vzdolž osi te cevi. Katoda je največkrat iz aluminija, medenine ali nerjavnega jekla, anoda pa iz volframa.

Cev je napolnjena s plinom, borovim trifluoridom. Tlak v njej je od nekaj stotink bara do več barov. Pogosto je plin BF_3 obogaten z izotopom ^{10}B . V tem plinu je za tvorbo ionskega para v povprečju potrebnih 33 eV.

Od nevtronov, ki vpadajo v detektor BF_3 , jih del reagira z jedri ^{10}B . V plinu se razpadna produkta upočasnita in največkrat tudi zaustavita. Pri tem ionizirata plin (primarna ionizacija).

Napetost med elektrodama je taka, da detektor deluje v svojem proporcionalnem območju. Tipične vrednosti za faktor plinske ojačitve so od nekaj 10 do nekaj 100.

Odvisno od tlaka v detektorju, obogatitve, dimenzij in položaja, kar ima za posledico različne **občutljivosti** in **izkoristke**, je možno z detektorjem BF_3 meriti nevtronske flukse v območju od $10^{-2} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ do $10^6 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

4. Ozadje zaradi žarkov gama

Kadar imamo opraviti z nevtroni, moramo računati na prisotnost žarkov gama. Žarki gama na različne načine ionizirajo snov. Vendar pa žarek gama pri tem, ko preleti detektor ali se v

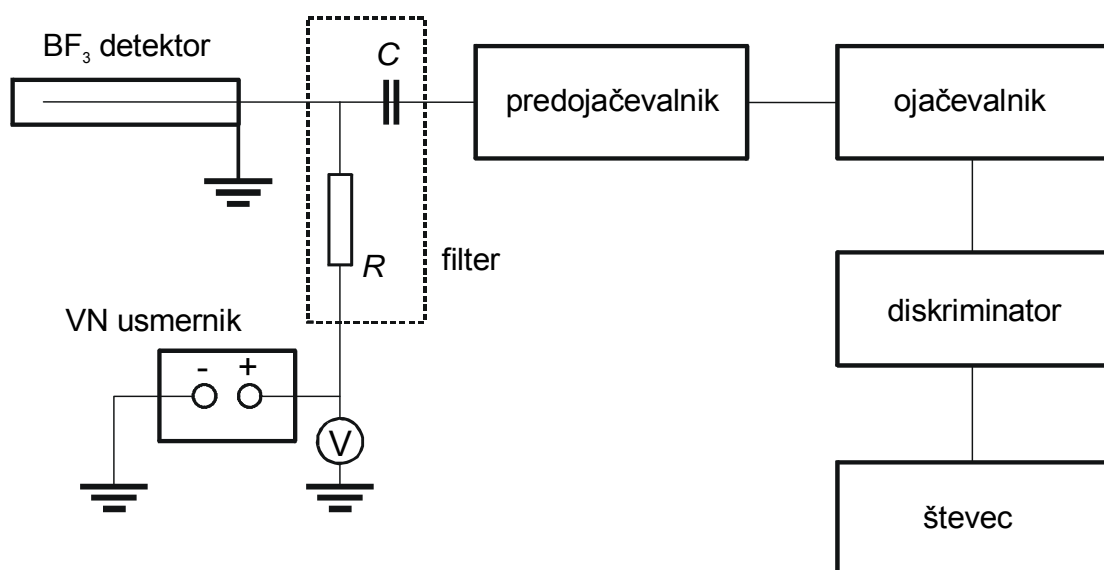
njem absorbira, zapusti v plinu v splošnem mnogo manj ionskih parov, kot pa jih ustvari reakcija, ki sledi zajetju nevtrona v izotopu $^{10}_5\text{B}$. Ker je višina pulza na izhodu iz proporcionalnega detektorja sorazmerna številu ionskih parov primarne ionizacije, so pulzi zaradi žarkov gama občutno nižji od nevtronskih pulzov.

Če štejemo pulze na način, ki omogoča razlikovanje po njihovi višini, lahko pri štetju izločimo pulze zaradi žarkov gama. Detektor mora zaradi tega delovati v proporcionalnem območju, čeprav ga uporabljamo kot del števca. V Geiger-Müllerjevem območju višina pulzov ni odvisna od primarne ionizacije in pulzov ne moremo diskriminirati po njihovem poreklu.

5. Števec BF_3

Napetostni sunki, ki jih dobimo na proporcionalnem plinskem detektorju, niso primerni za neposredno štetje. Da postanejo uporabni, jih moramo preoblikovati, ojačiti in izločiti sunke zaradi žarkov gama. To naredimo s števnim sistemom. Shematsko je predstavljen na sliki 5.1. Vloga posameznih delov števnega sistema je naslednja:

- **Detektor BF_3 :** detekcija nevtronov,
- **VN usmernik:** vir istosmerne napetosti za detektor BF_3 ,
- **Filter:** ločitev visokonapetostnega dela od nizkonapetostnega in začetno oblikovanje pulza, katerega višina je sorazmerna sproščnemu naboju v detektorju,
- **Predojačevalnik:** prilagoditev upornosti, ojačitev pulza,
- **Ojačevalnik:** ojačitev in oblikovanje pulza,
- **Diskriminator:** izločitev pulzov, ki imajo višino manjšo od nastavljene,
- **Števec:** šteje pulze v nekem določenem času.



Slika 5.1: Števni sistem

6. Delovanje števne sistema

Iz filtra, ki ločuje visokonapetostni del (detektor BF_3 , VN usmernik), dobimo pulze, katerih višina je sorazmerna sproščnemu naboju v detektorju. To pomeni, da so pulzi zaradi žarkov gama manjši od pulzov zaradi nevtronov. V predojačevalniku se pulzi ojačijo, končno ojačenje pa določimo na ojačevalniku tako, da dosežemo najugodnejše delovanje sistema. To je takrat, ko najvišji pulzi še ne dosežejo zasičenja na izhodu ojačevalnika. Še vedno imamo opravka s pulzi zaradi žarkov gama in nevtronov. Zato ojačene pulze vodimo na vhod diskriminatorja, na katerem določimo napetostni nivo diskriminacije. Diskriminator bo prepustil le pulze, ki so višji od nastavljenega nivoja. Če izberemo pravi nivo, bo števec, ki šteje pulze na izhodu diskriminatorja, štel samo pulze zaradi nevtronov.

7. Nastavitev števne sistema

Nastavitev števne sistema vsebuje določitev pravi ojačenja in določitev nivoja diskriminatorja. Potrebno napetost visokonapetostnega usmernika bi sicer lahko določili tudi z meritvijo, vendar imamo na razpolago napetost, ki jo podaja proizvajalec detektorja BF_3 . Ojačenje ojačevalnika določimo tako, da bodo izhodni signali iz ojačevalnika približno 75 % obsega. Pri tem si pomagamo z osciloskopom.

Določitev nivoja diskriminatorja je bolj zahtevna. V ta namen določimo **diskriminacijsko krivuljo**. Meritev poteka tako, da na začetku postavimo diskriminacijski nivo kar se da nizko (nad šum) in izmerimo število pulzov v nekem času. Pri tem štejemo pulze od nevtronov in gama. Postopoma dvigujemo nivo diskriminatorja in pri vsaki nastavitvi zabeležimo število pulzov v enoti časa. Vedno štejemo samo pulze, ki so višji od nivoja diskriminatorja, kar pomeni, da bomo pri višji nastavitvi prešteli manjše ali kvečjemu enako število pulzov. Ker so pulzi zaradi gama žarkov manjši od pulzov zaradi nevtronov, bomo z dvigovanjem nivoja diskriminatorja postopno izločili vse pulze zaradi žarkov gama in ostali bodo le pulzi zaradi nevtronov.

Če narišemo število prešteti pulzov v odvisnosti od nastavljenega nivoja, bomo dobili **diskriminacijsko krivuljo**. Na njej določimo **diskriminacijski nivo** na mestu, kjer diskriminacijska krivulja neha strmo padati in se izravna. To je mesto, kjer diskriminator neha prepuščati pulze zaradi žarkov gama in prepušča samo pulze zaradi nevtronov.

8. Izvedba vaje

Potrebna oprema:

1. **Števni sistem:** vsebuje BF_3 detektor, VN usmernik, filter, predojačevalnik, ojačevalnik/diskriminator in števec ter vse potrebne kable. Detektor, filter in predojačevalnik so ločeni, ostale enote so skupaj v panelu. Ojačevalnik in diskriminator so del istega modula, ki je v bistvu enokanalni analizator, pri katerem izberemo integralni način delovanja.
2. **Nevtronski vir:** to je Am-Be vir v parafinski kocki. BF_3 detektor položimo na odprto

škatlo, v kateri je vir.

3. **Osciloskop:** služi nam za opazovanje pulzov na izhodih posameznih enot števnege sistema ter za nastavitvev ojačenja ojačevalnika.

Postopek meritve:

- Pokliči demonstratorja da preveri, če je sistem pravilno povezan, postavi detektor na odprt nevtronski vir in vklopi napajanja števnege sistema in VN usmernika. Po petih minutah preveri če napetost, ki jo kaže instrument na VN usmerniku, ustreza napetosti na listu ob števnem sistemu.
- Izhod ojačevalnika priključi na osciloskop in opazuj pulze. Ojačenje ojačevalnika uravnava potenciometer **GAIN FINE** (fina nastavitvev faktorja 0,5-1,5) in preklopnik **GAIN COARSE** (do 500) na modulu. Povezava na diskriminator je izvedena interno, izhod iz ojačevalnika pa lahko opazujemo preko konektorja **AMPLIFY OUT**. Ojačenje nastavimo tako, da so največji pulzi visoki približno 7,5-8,0 V.
- Nivo diskriminatorja nastavimo na 0 in vklopimo štetje na števcu. Čas štetja je že določen in znaša 100 s. Štetje prožimo s pritiskom na gumb **START**, pred začetkom naslednje meritve je treba rezultat resetirati.
- Postopno dvigujemo nivo diskriminatorja (po 0,1 V) in pri vsakem nivoju opravimo štetje. Ko nivo doseže približno 2 V, lahko povečamo razliko, za katero dvigujemo nivo v vsakem koraku. Končamo, ko števec prvič ne zabeleži nobenega pulza.
- Nariši **diskriminacijsko krivuljo**. Na absciso nanašaj nivo diskriminatorja E, na ordinato pa izmerjeno število pulzov. Ko se diskriminacijska krivulja izravna, potegni premico skozi točke. Za najustreznejši nivo diskriminacije določimo točko, kjer se padajoča krivulja spoji s premico. Naravnaj diskriminator na ta nivo. S tem smo **števni sistem pripravili za štetje nevtronov**.

9. Rezultati meritev

Datum meritve: _____

Am-Be izvor, BF₃ detektor LND 202

Delovna napetost BF₃ detektorja: _____ V

Ojačenje sistema: _____

Maksimalni pulzi: _____ V

	U _D	Čas štetja (s)	Št. pulzov (cel.)	N (s ⁻¹)
1				
2				
3				
4				
5				

6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
	U_D	Čas štetja (s)	Št. pulzov (cel.)	N (s⁻¹)
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				

44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				
51				
52				
53				
54				
55				
56				
57				
58				
59				
60				
61				
62				
63				
64				
65				
66				

Izmerjeni podatki za diskriminacijsko krivuljo:

Iz diskriminacijske krivulje je določen **diskriminacijski nivo U_D** :

$U_D = \underline{\hspace{2cm}} V$