

Karakterizacija DT generatorja nevtronov

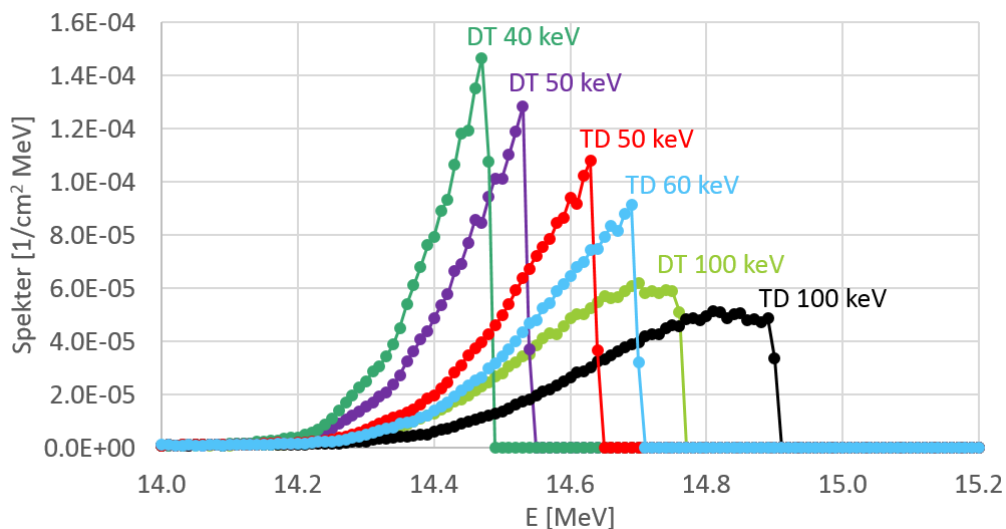
...

Aljaž Čufar

Postopek kalibracije detektorjev nevtronov v velikih tokamakih temelji na meritvah odziva teh detektorjev na kalibracijski izvor v vakuumski posodi in stohastičnih izračunih v podporo meritvam (Syme in sod., 2014). Preko kalibracijskih meritev se tako izmeri odziv detektorjev na poznan (kalibracijski) izvor, z izračuni pa upošteva razlike med eksperimentom kalibracije in običajnim eksperimentom. Običajno so najpomembnejše razlike v spektrih izsevanih nevtronov, v konfiguraciji reaktorja (Snoj in sod., 2013) in razlike zaradi različnih geometrij izvorov.

Zaželeni lastnosti kalibracijskega izvora sta dobro poznana intenziteta in spekter izsevanih nevtronov. Ugodno je tudi, da je spekter nevtronov kalibracijskega izvora enak spektru nevtronov, ki jih želimo meriti. Ker običajno ni mogoče uporabiti kalibracijskega izvora nevtronov s spektrom identičnim DD ali DT plazemskemu izvoru, se za kalibracijo odziva na DD nevtrone ($E = 2.45$ MeV) kot izvor pogosto uporablja ^{252}Cf , na DT nevtrone ($E = 14.1$ MeV) pa DT generator nevtronov. ^{252}Cf je izvor nevtronov, ki deluje na osnovi spontane cepitve. Spekter izsevanih nevtronov je dobro poznan, za uporabo v kalibracijske namene pa je potrebno še dobro poznavanje anizotropije takega izvora – sam nastanek nevtronov preko spontane cepitve ^{252}Cf je sicer izotropen proces, a pride do anizotropije zaradi geometrije izvora in zaradi pomožnih materialov, ki pomagajo pri rokovanju z izvorom nevtronov. Spekter ^{252}Cf je sicer drugačen od spektra nevtronov izsevanih kot posledica DD reakcije v plazmi, a so energije primerljive, kar pomeni, da je tipičen računski popravek zaradi razlike v spektrih majhen (do nekaj %). Ker niso znani razpadi, kjer bi velik del izsevanih nevtronov imel energije primerljive z energijami nevtronov nastalih v DT reakciji, se za kalibracijo na DT nevtrone uporabljajo DT generatorji nevtronov, ki tipično delujejo na osnovi pospeševalnika. V takem generatorju nevtronov žarek ionov devterija vpada na tarčo, kjer se nahaja tritij, pride do reakcije zlivanja jeder devterija in tritija (DT reakcija) in nastanka nevtronov z energijo okrog 14.1 MeV. Zaradi zahteve po ohranitvi energije in gibalne količine je taka DT reakcija anizotropna, kar se izraža tako v anizotropiji števila izsevanih nevtronov kot

tudi anizotropiji spektra izsevanih nevtronov. Ker je DT generator nevtronov aktiven, lahko v sistem vnese dodatne negotovosti – potrebno je meriti število izsevanih nevtronov v času meritve. DT generatorji nevtronov so lahko relativno kompaktni (dolžina < 0.5 m) in prenosni (masa < 5 kg) (Chernikova in sod., 2014), kar pomeni, da so primerni za uporabo v notranjosti tokamaka. Na žalost pa se izkaže, da imajo kompaktni generatorji nevtronov tipično nekatere nezaželene lastnosti z vidika uporabe za kalibracijske namene. Običajno se namreč uporabljajo tarče, kjer se nahajata tako D kot T, žarki ionov so tudi mešanica teh dveh izotopov vodika, poleg tega pa se v pospeševalnikih lahko pospešujejo tudi ionizirane molekule. To privede do slabše definiranosti spektra, saj sta pomembna tako prispevek reakcije vpadnega devterija na tritirano tarčo kot tudi vpadnega tritija na devterirano tarčo. Ker se pospešujejo tako ioni kot iz različnih izotopov sestavljene molekule, reakcije na tarči potekajo pri različnih energijah, njihov prispevek pa je odvisen od razmerij atomov v tarči, ionov v žarku ter njihovih energij v težiščnem sistemu (vpadli D in T z enako energijo v laboratorijskem sistemu imata različni energiji v težiščnem koordinatnem sistemu). Razlike v spektrih (slika 7.1) so najbolj opazne v smereh vzporednih z žarkom ionov, med tem ko so razlike pri v smereh pravokotnih na žarek relativno majhne.



Slika 7.1: Spektri različnih komponent v kompaktnem generatorju nevtronov s pospeševalno napetostjo 100 keV v smeri od 0° do 5° glede na žarek ionov. "DT" označuje komponente, kjer devterijevi ioni vpadajo na tarčo, ki vsebuje tritij, "TD" pa komponente, kjer tritijevi ioni vpadajo na tarčo, ki vsebuje devterij.

Zelo pomemben del priprave na kalibracijo detektorjev nevtronov tokamaka JET za poskuse z DT plazmo je tako karakterizacija DT generatorja nevtronov, ki bo uporabljen kot kalibracijski izvor nevtronov. Kot del priprav na karakterizacijo generatorja nevtronov smo, na osnovi skice dobljene od proizvajalca, modelirali generator nevtronov. Primerjali smo rezultate pridobljene z uporabo različnih programov (pod-rutina ENEA-JSI (Milocco in sod., 2012), MCUNED (Sauvan in sod., 2010), DDT – program na osnovi programa »DRESS code« (Eriksson in sod., 2016)), da bi ocenili njihovo primernost za uporabo ter ocenili negotovosti kot posledice negotovosti v samih računskih modelih. Ker je skica generatorja nevtronov kazala relativno poenostavljeno sliko njegove notranjosti, je bilo narejenih več analiz, kjer smo ugotavljali občutljivost izračunanih fluksov nevtronov ter spektrov na neznane parametre v modelu generatorja. Eksperimentalni del karakterizacije generatorja je bil izveden v primernem laboratoriju (National Physical Laboratory, Velika Britanija) in sicer tako, da se je merilo odzive različnih detektorjev na različnih položajih okrog generatorja nevtronov. Iz rezultatov meritev bomo v prihajajočih mesecih rekonstruirali kombinacijo komponent v spektru, ki najboljše popišejo naš generator kot izvor nevtronov in po potrebi prilagodili model za program MCNP, da bo dajal rezultate, ki se bodo kar se da dobro skladali z meritvami. Na tak način bomo z meritvami izboljšali natančnost reprodukcije izseva nevtronov iz relativno enostavnega modela generatorja. Ker je bilo uporabljenih veliko različnih detektorjev (dva diamantna detektorja, scintilatorski detektor, silicijev detektor, različne aktivacijske folije in dolgi števcji), ki so bili postavljeni na različne položaje okrog generatorja, bo analiza vseh teh podatkov ter njihova uporaba v namen izboljšanja modela generatorja relativno dolgotrajen proces. Temu procesu bo sledila še priprava na kalibracijo detektorjev nevtronov tokamaka JET, ki bo potekala jeseni 2016, ko bo ta (takrat že karakteriziran) DT generator nevtronov uporabljen kot kalibracijski izvor nevtronov.

Literatura

- Chernikova, D., V.L. Romodanov in sod. (2014). »Experimental and numerical investigations of radiation characteristics of Russian portable/compact pulsed neutron generators: ING-031, ING-07, ING-06 and ING-10-20-120«. V: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 746, str. 74–86.
- Eriksson, J., S. Conroy in sod. (2016). »Calculating fusion neutron energy spectra from arbitrary reactant distributions«. V: *Computer Physics Communications* 199, str. 40–46.
- Milocco, A., A. Trkov in M. Pillon (2012). »A Monte Carlo model for low energy D–D neutron generators«. V: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 271, str. 6–12.
- Sauvan, P., J. Sanz in F. Ogando (2010). »New capabilities for Monte Carlo simulation of deuteron transport and secondary products generation«. V: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 614.3, str. 323–330.
- Snoj, L., I. Lengar in sod. (2013). »Calculations to support JET neutron yield calibration: Modelling of the JET remote handling system«. V: *Nuclear Engineering and Design* 261, str. 244–250.
- Syme, D.B., S. Popovichev in sod. (2014). »Fusion yield measurements on JET and their calibration«. V: *Fusion Engineering and Design* 89.11, str. 2766–2775.