

## PROJEKTOVANJE SISTEMA ZAŠTITE OD ZRAČENJA NA AKCELERATORSKOJ INSTALACIJI TESLA

Radojko Pavlović

Institut za nuklearne nauke "VINČA"

Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "ZAŠTITA"

Sadržaj - U Institutu za nuklearne nauke VINČA u toku je izgradnja Akceleratorске instalacije TESLA koju čine izohroni ciklotron VINCY za ubrzavanje jona u domenu srednjih energija, teškogjonski izvor mVINIS i izvor jona D i H - pVINIS, tri niskoenergetska i pet visokoenergetskih eksperimentalnih kanala.

U ovom radu su prezentirani neki od problema vezanih za projektovanje i realizaciju globalnog sistema zaštite od zračenja, a naročito problemi vezani za projektovanje zaštitnih zidova bunkera ciklotrona, eksperimentalnih prostora i transportnih linija.

### 1. UVOD

Pri kreiranju koncepta Akceleratorске instalacije TESLA osnovni cilj je bio realizacija višenamenskog postrojenja koje će biti u mogućnosti da ubrzava jone u širokom opsegu specifičnih naselektrisanja. Osnovni zahtev je da se dobiju teški joni sa energijama daleko iznad Kulonove barijere, odnosno daleko iznad 5 MeV po nukleonu, kako bi se instalacija mogla koristiti za istraživanja u nuklearnoj fizici. Drugi, ali ne manje značajan zahtev je da je instalacija u stanju da da dovoljno intenzivne snopove protona i deuteronu energija većih od 60 MeV, da bi se efikasno mogla koristiti za medicinske primene, i to kako za terapiju jonskim snopovima, tako i za proizvodnju radionuklida [1].

Niskoenergetski eksperimentalni kanali Akceleratorске instalacije TESLA su kanali predviđeni za eksperimente sa jonima iz jonskog izvora mVINIS. To su: kanal za istraživanja u oblasti fizike višestruko naselektrisanih jona - L1 kanal za istraživanja u oblasti fizike površina - L2 i kanal za istraživanja u oblasti nauke o materijalima - L3.

Visokoenergetski eksperimentalni kanali Akceleratorске instalacije TESLA predviđeni su za korišćenje snopova jona ubrzanih u ciklotronu VINCY. To su: kanal za nuklearnu spektroskopiju i hiperfine interakcije - H1, kanal za istraživanje nuklearnih reakcija teških jona - H2, kanal za istraživanja u oblasti tankih kristala i nauke o materijalima, teškim jonima visokih energija - H3, kanal za proizvodnju radionuklida i istraživanja neutronske interakcije u domenu srednjih energija neutrona - H4 i kanal za protonsku terapiju - H5.

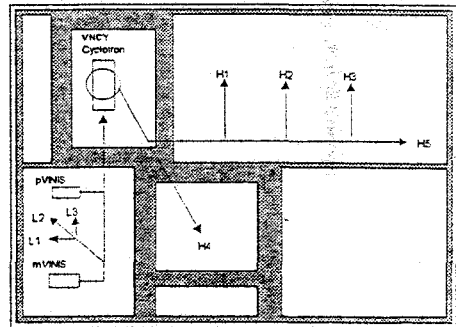
Na jonskim snopovima iz ciklotrona VINCY se, takođe, planiraju istraživanja značajna i za oblast zaštite od zračenja, kao što su istraživanja u oblasti elementarnih procesa interakcije ubrzanih jona i neutrona u izloženim materijalima, slabljenja

neutronske zračenja kroz zaštitne materijale, kao i istraživanja u oblasti mikrodozimetrije i analize strukture tragova ubrzanih jona i neutrona i depozicije njihove energije u materijalu.

VINCY ciklotron bi trebalo da bude u mogućnosti da daje ubrzane snopove sledećih karakteristika:

- $\approx 1 \mu\text{A O}^{8+}$  jona energije do 36 MeV po nukleonu,
  - $\approx 0.1 \mu\text{A Ar}^{16+}$  jona energije do 23 MeV po nukleonu,
  - $\approx 0.7 \mu\text{A Xe}^{28+}$  jona energije 7 MeV po nukleonu i
  - teže jone energije oko 3 MeV po nukleonu.
- Ciklotron će, takođe, biti u mogućnosti da daje:
- $\approx 20 \mu\text{A}$  deuteronu energije 73 MeV,
  - $\approx 2 \mu\text{A}$  protonu energije 66 MeV,
  - deuteronu nižih energija - iznad oko 43 MeV i
  - 30 - 50  $\mu\text{A}$  protonu u oblasti energija do 36 MeV.

Principijelna šema Akceleratorске instalacije TESLA prikazana je na Sl. 1.



Slika 1. Principijelna šema Akceleratorске instalacije TESLA

### 2. RADIJACIONA POLJA U POSTROJENJU AKCELERATORSKE INSTALACIJE

Radijacionu situaciju na akceleratorским postrojenjima treba posmatrati analizirajući dva odvojena radijaciona polja. Jedno od njih, koje se može opisati kao "promptno" direktno je vezano za rad akceleratorskog postrojenja. Sve komponente ovog polja iščezavaju praktično trenutno sa prestankom rada postrojenja. Drugo radijaciono polje, koje se opisuje kao "zaostalo", jer postoji i kada instalacija nije u pogonu, posledica je aktivnosti indukovanih radionuklida u komponentama akceleratorске instalacije.

1. Akceleratorско postrojenje sa aspekta radijacione sigurnosti se mora posmatrati kao kombinacija sledećih izvora zračenja [2]:
2. Meta - materijala određenih fizičko hemijskih karakteristika i konfiguracija na koje padaju snopovi ubrzanih naelektrisanih čestica, a koji su predviđeni za postizanje odgovarajućih ciljeva, kao što su dobijanje snopova ili polja zračenja definisanih karakteristika, proizvodnja radionuklida, predaju energije ubrzanih naelektrisanih čestica ili postizanje zahtevanih prostorno - energetskih karakteristika snopova ubrzanih naelektrisanih čestica i njihovo "gašenje";
3. Zaostalog vazduha u komponentama vakuumskih sistema, kroz koje prolaze ubrzane naelektrisane čestice;
4. Komponenta akceleratorскоg postrojenja sa kojima interaguju naelektrisane čestice koje, iz bilo kojih razloga, neregularno napuste režim ubrzavanja, ekstrakcije ili transporta;
5. Drugih, uspunih - parazitnih izvora zračenja.

Navedene grupe izvora zračenja su poredane u opadajućem nizu prema stepenu njihove neodređenosti i predvidljivosti, što, po pravilu, ne mora da odražava i njihovu značajnost pri rešavanju problema radijacione sigurnosti i zaštite od zračenja.

Osnovne karakteristike izvora prve grupe koriste se kao polazni parametri za definisanje radijacione situacije postrojenja i proračuna zaštite od zračenja. Ovo se naravno odnosi na one mete, odnosno mesta, na koje pada snop ubrzanih naelektrisanih čestica dobro definisanih karakteristika  $J_0$  (intenzitet snopa čestica - struja) i  $E_0$  (energija ubrzanih čestica). Proračun radijacione situacije u takvim slučajevima predstavlja prilično dobro definisan zadatak, sa faktorima neodređenosti jedino u domenu poznavanja karakteristika interakcije ubrzanih čestica sa materijalom mete.

Neodređenost i značajnost druge kategorije izvora zračenja direktno je povezana sa karakteristikama vakuuma u sistemu za ubrzavanje i transport ubrzanih čestica.

Treću grupu izvora zračenja karakteriše velika neodređenost upravo u domenu poznavanja parametara  $J_0$  i  $E_0$  i mesta interakcije ubrzavajućih ili ubrzanih naelektrisanih čestica, umaklih iz procesa ubrzavanja, ili u procesima ekstrakcije ili transporta snopa. Zbog toga je često neophodno radijacionu situaciju i zaštitu od zračenja proceniti na bazi apriornih informacija o parametrima  $J_0$  i  $E_0$  i položaja izvora zračenja (odnosno mestu gubitka snopa), koje moraju dati kompetentni stručnjaci u oblasti akceleratorских postrojenja, koji vrše projektovanje i gradnju konkretnog postrojenja [2]. Drugi način dobijanja parametara relevantnih za karakterisanje ove grupe izvora zračenja je korišćenje rezultata merenja dozimetrijskih parametara na akceleratorским postrojenjima sličnim po tipu i energiji ubrzanih naelektrisanih čestica, kao i po dizajnu. Ekstrapolacijom ili interpolacijom tih parametara prema definisanim zakonitostima moguće je proceniti radijacionu situaciju i projektovati neophodnu zaštitu za konkretnu akceleratorску instalaciju. Rešavanje problema se, takođe, može svesti i na određivanje dopuštenih gubitaka u određenim fazama ubrzavanja, ekstrakcije ili transporta snopa naelektrisanih čestica poznate energije  $E_0$

u odnosu na projektovanu autorizovanu granicu jačine ekvivalentne doze zračenja i projektovane zaštite.

Četvrtu grupu zračenja čine izvori zakočnog zračenja koje generišu elektroni, koji su često neizbežan pratilac procesa ubrzavanja osnovnih naelektrisanih čestica ili elektrovakuumskih sistema prisutnih na akceleratorском postrojenju sa visokim električnim poljima (visokofrekventni generatori, elektrostatički separatori, sistemi za skretanje snopova ubrzanih naelektrisanih čestica i sl.).

Bez obzira na veliku raznolikost u dizajnu akceleratora naelektrisanih čestica, karakteristikama snopova i raznolikost ciljeva i načina korišćenja snopova ubrzanih naelektrisanih čestica, postoji velika sličnost karakteristika polja zračenja koji definišu radijacionu situaciju akceleratorскоg postrojenja [3]. Zapravo, činjenica je da, ako ne uzmemo u obzir dozimetriju snopa ubrzanih naelektrisanih čestica, što i nije primaran problem definisanja radijacione situacije postrojenja i zaštite od zračenja, polje promptnog zračenja čine uglavnom neutronska i elektromagnetska komponenta. Ovakva ocena naravno važi za polja zračenja van dobro ekraniranih akceleratorских sistema. Prema tome generalno se može smatrati da, u ovakvim uslovima, neutronska komponenta definiše radijacionu situaciju protonskih akceleratorских postrojenja. Uz nekoliko izuzetaka, neutroni predstavljaju dominantan problem u zaštiti od zračenja protonskih akceleratora, čak do energija protona od 10 - 20 GeV. Polja zračenja i radijaciona situacija na akceleratorским postrojenjima za ubrzavanje teških jona slična su onim na protonskim akceleratorima [3].

### 3. RADIJACIONA SITUACIJA PRE ZAŠTITNIH EKRANA

Najpotpuniju karakteristiku radijacione situacije akceleratorскоg postrojenja predstavlja prostorno - vremenska i energijsko - ugaona gustina struje čestica ili fotona (jačina fluensa). Međutim, za mnoge praktične zadatke zaštite od zračenja koriste se karakteristike polja zračenja, kao što su:

- broj čestica koje emituje izvor zračenja  $\Gamma$ ,
- fluks čestica  $\dot{\Gamma} := d\Gamma_s / dt$ , broj čestica koji u jedinici vremena padne na površinu  $s$ ;
- fluens čestica  $\Phi = d\Gamma_s / ds$ , broj čestica koje prođu kroz elementarnu sferu površine velikog kruga  $ds$ ;
- apsorbovana doza zračenja u tkivu  $D$  i jačina apsorbovane doze zračenja u tkivu  $\dot{D}$ ;
- ekvivalentna doza  $H$  i jačina ekvivalentne doze zračenje  $\dot{H}$ .

Prve dve veličine,  $\Gamma$  i  $\Gamma_s$ , se nazivaju izlazom čestica. Za ocenu radijacione situacije akceleratorских postrojenja do energije 500 MeV po nukleonu, najpogodniji parametar je upravo neutronska izlaz.

### 4. KRITERIJUMI ZA PRORAČUN ZAŠTITNIH ZIDOVA

Potpuno poznavanje karakteristika generisanog promptnog polja zračenja zahteva

poznavanje mehanizama i parametara primarnih interakcija ubrzanih jona u materijalima meta i parametara interakcije sekundarnog zračenja u materijalima meta, okolnih struktura eksperimentalnog postrojenja i materijalima zaštitnih zidova.

Dva su osnovna razloga za izgradnju zaštitnih zidova u akceleratorskim postrojenjima za ubrzavanje teških jona do srednjih i visokih energija. To su:

- ograničavanje ozračivanja profesionalno izloženih lica i stanovništva na prihvatljive nivoe, saglasno osnovnim principima i standardima u zaštiti od zračenja [4,5]
- zaštita od ozračivanja relativno osetljivih komponenti eksperimentalnih sistema i komponenti postrojenja.

Projektovanje zaštitnih zidova bunkera akceleratorskih postrojenja srednjih i visokih energija je složen zadatak. Pored proračuna potrebne debljine zaštitnih zidova, podova i plafona, on podrazumeva i vođenje računa o dizanju otvora, prodora, vrata i slično. Rešavanje često može biti zakomplikovano i ograničenjima nosivosti temeljnih konstrukcija, međuspratnih ploča, ali i nosivosti terena. Korišćenjem više metoda proračuna, moguće je za svako konkretno postrojenje naći optimalni dizajn u pogledu debljine zaštitnih zidova, oblika bunkera, vrata i tehnoloških prodora [6].

U najboljem slučaju, proračun zaštite od zračenja akceleratora srednjih i visokih energija uključuje mnogo pojednostavljivanja i aproksimacija. Ipak, međutim, zbog velike cene koštanja zaštite, a i tehničkih i tehnoloških problema, najčešće je nemoguće u proračun i projektovanje zaštite ugraditi dovoljno veliki faktor sigurnosti, što, opet, s druge strane, potencira značajnost dobrog poznavanja mehanizama i parametara stvaranja i transporta sekundarnog zračenja [3,7].

Kao i kod drugih akceleratora teških jona i protona sa parametrima sličnim parametrima Akceleratorске instalacije TESLA dominantna komponenta promptnog radijacionog polja i najznačajniji problem za proračun i projektovanje zaštite predstavlja neutronska zračenje.

## 5. ZAKLJUČAK

Gubici čestica iz snopova, odnosno čestice koje iz bilo kojih razloga napuste regularan režim ubrzavanja ili transporta, kao i snopovi ubrzanih čestica, interagujući sa komponentama akceleratorске instalacije, eksperimentalnim metaima i ozračenim materijalima prouzrokuju generisanje intenzivnih neutronske polja, koja moraju na adekvatan način biti ekranirana, ali koja, takođe, izazivaju radijaciona oštećenja komponenti akceleratorskih sistema i indukuju radionuklide u njima. Čija zračenja čine "zaostalo" radijaciono polje. Komponente zaostalog polja mogu značajno doprineti ozračivanju profesionalno izloženih lica a naročito radnika koji rade na remontu, popravkama ili pripremi akceleratorskog postrojenja i eksperimentalnih struktura.

Eksperimentalni podaci o intenzitetu neutronske polja, njihovoj energetskoj i prostornoj raspodeli, nastalih pri interakciji ubrzanih protona i deuteronu relativno su dobro poznati za energije ubrzanih čestica iznad 100 MeV. Za protone i deuteronu nižih energija, a naročito u opsegu 50 - 100 MeV, u kojem se preseci za neelastična rasejanja značajno menjaju sa promenom energije, eksperimentalni podaci o intenzitetima neutronske polja i njihovim energetskim i prostornim karakteristikama su vrlo oskudni [8,9].

Problem zaštite od zračenja na Akceleratorskoj instalaciji TESLA će, stoga biti rešavan korišćenjem ovih eksperimentalnih podataka uz primenu metoda interpolacije i ekstrapolacije, ali i korišćenjem iskustava sa sličnih akceleratorskih instalacija.

## LITERATURA

- [1] Nešković et al, *Tesla Accelerator Instalation*, Tesla Report 1/93, VINČA Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, 1993.
- [2] M.M. Komočkov, V. N. Lebedev, *Praktičeskoe rukovodstvo po radiacionoj bezopasnosti na uskoriteljah zarjazonih častic*, Energoatomizdat, Moskva 1986
- [3] H. Wade Patterson and Ralph H. Thomas *Accelerator Health Physics*, Academic Press, New York and London (1973)
- [4] ICRP Publication 60, *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, 1991.
- [5] *International Basic Safety Standards (or Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*, Safety Series No. 115-I (Interim edition) IAEA Vienna 1994.
- [6] NCRP Report No 51, *Radiation protection design guidelines for 0.1 - 100 MeV particle accelerator facilities* (1977)
- [7] Technical Report Series No. 283, *Radiological safety aspects of the operation of proton accelerators*, IAEA, Vienna (1988)
- [8] Fasso A. and Hoefert M, Distributions of Secondary Particles Around Various Targets Exposed to 50 MeV Protons, *Nucl. Instr. Meth.* 133, pp.213-218
- [9] T.A. Broome, D.R. Perry, G. B. Stapleton, D. Duc, Particle distribution around a copper beam stop 72 MeV protons, *Health Physics* Vol. 44, No.5, pp.487-499, 1983

Abstract. In the Institute of Nuclear Sciences VINČA, the Accelerator Instalation TESLA which is an medium energy ion accelerator facility consisting of an isochronous cyclotron VINCY, a heavy ion source, a  $D^+$ / $H^+$  ion source, three low energy and five high energy experimental channels is now under construction.

Some problems in defining radiation protection and safety programme, particularly problems in construction appropriate shielding barriers at the Accelerator Instalation TESLA are discussed in this paper.

RADIATION PROTECTION SYSTEM ON THE  
TESLA ACCELERATOR INSTALATION  
Radjoko Pavlović