

Anexa nr. 10 la Contract 10N/2019

Contractor: IFIN-HH

Cod fiscal: R 3321234 (anexa la procesul verbal de avizare interna nr.)

De acord,

DIRECTOR GENERAL

Dr. Nicolae Marius Marginean

Avizat,

DIRECTOR DE PROGRAM

Dr. Mihai Radu

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contract 10N/2019

Proiectul: Aplicatii interdisciplinare ale fizicii nucleare

PN 19 06 02 01

Faza: F8 Dezvoltari experimentale de linii de transport fascicule de protoni

Termen de incheiere a fazei : 14 iunie 2021

1. Obiectivul proiectului:

O.1 Caracterizarea si/sau modificarea proprietatilor materialelor (noi materiale de interes tehnologic, probe arheologice, biologice, geologice etc.)

O.2 Sisteme avansate de detectie și achiziție

O.3 Dezvoltarea de radioizotopi si radiofarmaceutice destinate radioimagnosticii moleculare si radioterapiei tintite (medicina nucleara)

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

- Realizarea de modele experimentale de sisteme de detectie și achiziție;
- Dezvoltarea de metodologii de analiza și prelucrare a datelor experimentale;
- Studii arheometrice asupra obiectelor de patrimoniu;
- Se vor fundamenta, valida și procedura tehnici analitice de mare sensibilitate.
- Contribuții la elucidarea fenomenelor fizico-chimice prin studiul reacțiilor nucleare induse de fascicule de protoni, studiul proceselor radiochimice de separare și radiomarcare, sinteze organice si caracterizarea compusilor prin metode analitice performante;

3. Obiectivul fazei:

Studii privind protectia radiologica in Hala de experimente de la Ciclotronul TR19; Diagnoza si monitorizarea fascicolului de protoni pe linii de transport: colimatori, cupa Faraday, sisteme de vizualizare, Steerer xy

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei

Studii interdisciplinare

5. Rezumatul fazei (maxim 5 pagini):

5.1 Dezvoltarea infrastructurii de iradiere a ciclotronului TR-19 in hala de experimente

5.1.1 Descrierea locatiei

Hala de experimente din cadrul CCR (Centrul de Cercetari Radiofarmaceutice), denumita in documentatii si "Camera de tinte" a fost prevazuta ca spatiu de cercetare utilizand fascicolul de protoni furnizat de ciclotronul TR19 (Producator Advanced Cyclotron System Inc, Richmond, Canada), inca din studiul de fezabilitate "DEZVOLTAREA INFRASTRUCTURII PENTRU CERCETARI DE FRONTIERA IN FIZICA NUCLEARA SI DOMENII CONEXE – IFIN-DIC

Hala de experimente are o suprafata de 125 m² si permite dezvoltarea experimentala propusa. Ea are ziduri de protectie radiologica cu grosimea de 1 m si dispune de un pod rulant de 3,2 tf, si de toate utilitatile necesare (electricitate, gaze tehnice, aer comprimat, apa de racire). Climatizarea acestui spatiu este asigurata de un circuit separat din cadrul uzinei de climatizare a CCR si realizeaza depresiunea necesara in timpul iradierilor si parametrii de temperatura si umiditate specificati.

5.1.2 Justificarea extinderii infrastructurii de iradiere

Ciclotroanele PET sunt proiectate pentru productia cu eficienta ridicata a radionuclizilor emitori de pozitroni de viata scurta pentru imagistica PET-CT (F-18, C-11, N-13, O-15). Extinderea capabilitatii de iradiere necesita extractia fascicolului printr-o linie externa si eventual transferul in alt bunker. Extinderea utilizarii unei astfel de masini pentru iradiere nemedicale este deci o provocare, care insa este fezabila cel putin din urmatoarele considerente:

- Exista un portofoliu de aplicatii si tipuri de experimente care pot utiliza astfel de fascicole de protoni. Ciclotronul TR19 din IFIN-HH avand energia variabila in domeniul 14-19 MeV protoni are un avantaj;
- Curenti de fascicul foarte mari extrasi (~300uAmp)
- Productia de radionuclizi pentru beneficiarii din medicina se desfasoara in timpul noptii pentru ca distributia moleculelor marcate catre centrele cu scanere PET-CT sa poata fi facuta dimineata. Astfel, timpii de fascicul pentru medicina nu se suprapun cu aplicatiile nemedicale;
- Se realizeaza o utilizare mai eficienta a centrului PET si un acces mai larg al cercetatorilor la acceleratoare de particule.

5.1.3 Descrierea infrastructurii de iradiere propuse

Ciclotronul TR19 este proiectat pentru functionarea cu doua fascicule de protoni separat sau simultan cu un curent total extras pana la 300 uAmp impartit in orice raport intre 1:1 si 1:100. Un fascicul este extras in selectorul de tinte unde de regula sunt montate camere de reactie pentru radionuclizii PET, iar al doilea fascicul extras perfect simetric este transportat prin linia de extensie de 6 m in al doilea bunker. Linia externa este prevazuta cu optica de fascicul necesara (magnet steerer, colimatori pasivi, triplet de magneti cuadrupolari) si o pompa criogenica de vacuum. Linia se termina in Hala de experimente cu o vana electropneumatica DN100. Datele de simulare furnizate de producatorul ACSI referitor la emitanta fascicolului la capatul liniei de 6 m sunt: X=9.00, X'=0.0058, Y=7.76, Y'=0.0063.

5.1.4 Extinderea liniei de fascicul de protoni cu 3 cai de fascicul dedicate in Hala de experimente

In imaginea de mai jos este figurat Planul tehnic al zonelor de interes din cadrul CCR in care se instaleaza echipamentele din proiect: Bunkerul ciclotronului, Hala de experimente si camera pentru echipamente.

- tunarea fascicolului de protoni pe intregul parcurs de la extractie si pana la tinta
- maximizarea protectie radiologice prin interlockarea noilor echipamente instalate in sistemul general de interlocking al ciclotronului. Sistemul de control al ciclotronului este bazat pe automata PLC produsa de Rockwell Automat. Comunicatia la distanta intre echipamente si sistemul de control central se face via Ethernet.

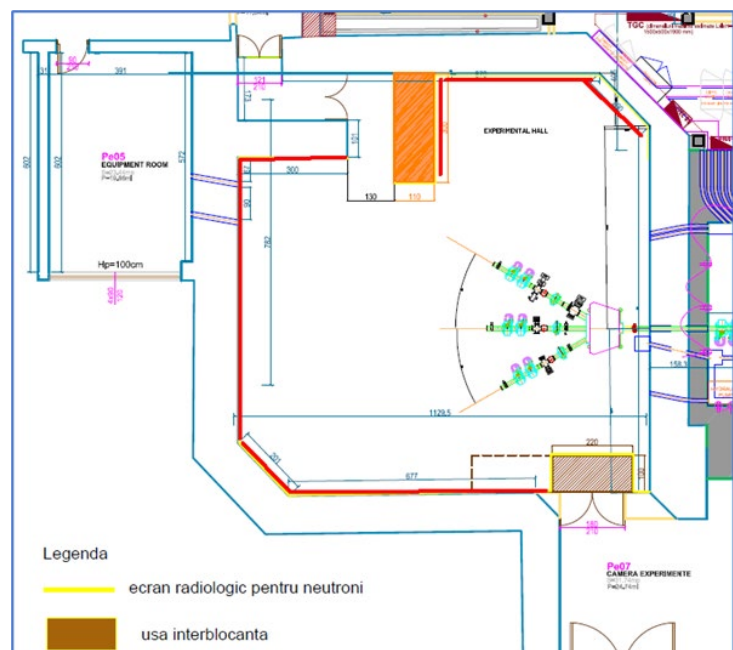
Toate interconectarile electrice ale echipamentelor instalate sunt realizate in aceeasi logica ca si in cazul acceleratorului ciclotron, a liniei externe de fascicol si a celorlalte echipamente existente. Modul unitar de concepie este foarte important pentru operatiile de mentenanta, depanari, teste si verificari.

5.2 Studii privind protectia radiologica in Hala de experimente de la Ciclotronul TR19

In Hala de experimente se executa instalarea unui sistem de ecrane de protectie radiologica cu scopul de a creste eficienta ecranarii radiologice la fluxurile de neutroni generate in timpul iradierilor pe echipamentele de pe liniile de fascicul dedicate – ecrane radiologice locale si placari cu caramizi de polietilena borata. De asemenea, se instaleaza o usa interblocaanta cu deplasare prin translatie cu scopul de a inchide un gol pentru asigurarea protectiei radiologice si a permite in acelasi timp introducerea in Hala a echipamentelor mari

a) Protectia radiologica pe perimetrul halei:

- A fost construit un zid din dale de beton special care creaza o sicana in zona usii de acces
- Se placheaza peretii halei cu caramizi din parafina cu dimensiunea 40x20x10 cm (in zonele marcate cu linie rosie)
- se monteaza o usa mobila din beton
- Usa de acces se dubleaza cu o usa plumbuita



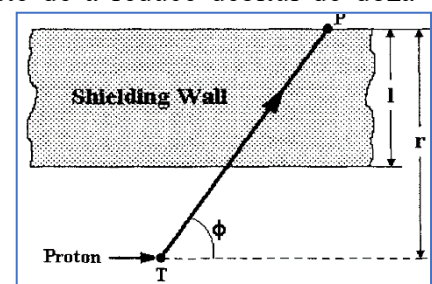
Principiile de calcul ale protectiei

Obiectivul principal al unei proiectari optime de radioprotectie este de a reduce debitul de doza achivalent de neutroni si gamma in punctele de interes la un nivel acceptabil recomandat de nomele in vigoare. Grosimea laterala a configuratiei de ecranare arataata in figura alaturata se calculeaza prin formule empirice verificate in practica

Debitul de doza in punctul de interes P datorat neutronilor produsi prin bombardamentul tinteii T cu protoni este:

$$D_P = H(r/\sin\Phi)^{-2} \exp(-l/\lambda \sin\Phi)$$

Unde, H=debitul de doza de neutroni echivalent la 1 m de tinta [Sv h⁻¹]



l = grosimea ecranului de radioprotectie [m]

r = distanta laterala dintre tinta T si punctul P de interes [m]

λ = lungimea de atenuare a neutronilor in materialul ecranului

Astfel, pentru ecranarea laterala la $\Phi=90^\circ$ debitul de doza de neutroni echivalent poate fi calculat ca:

$$D_P = H \exp(-l/\lambda) r^2$$

b) Radioprotectia prin ecrane locale

Scop. S-a avut in vedere proiectarea unei radioprotectii locale necesare pentru obtinerea unor radioizotopi in Hala de tinte la ciclotronul TR19.

Reactia nucleara: $^{100}\text{Mo}(p,2n)^{99m}\text{Tc}$

Particulele proiectil sunt protoni cu intensitatea $50\mu\text{A}$ - $300\mu\text{A}$

Simularea Monte Carlo este facuta cu codul FLUKA care evalueaza:

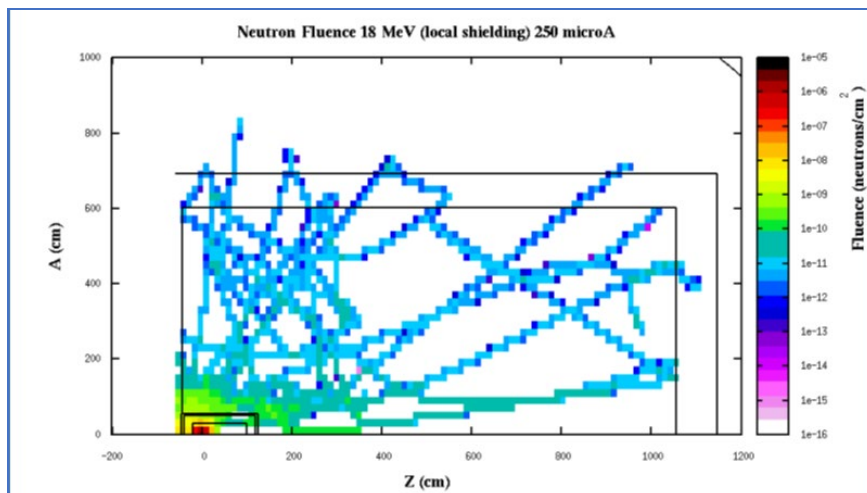
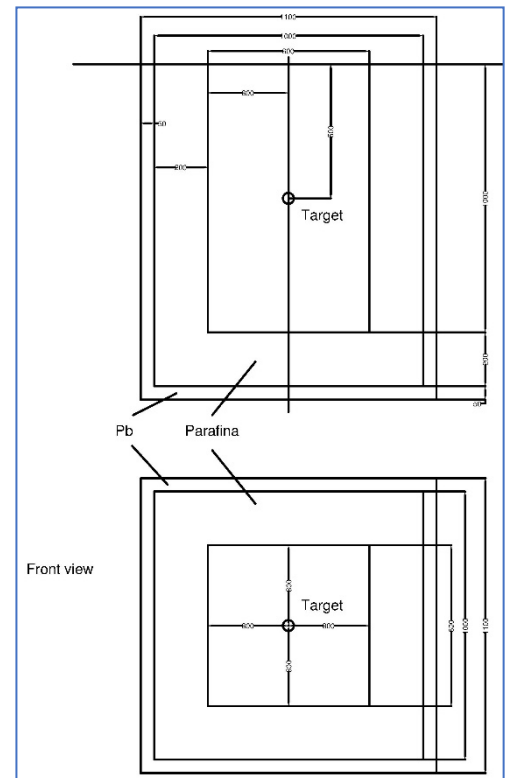
- Fluenta de neutroni
- Energia depusa
- Nuclei reziduali
- Doza echivalenta

Simularile au fost facute utilizand diferite profile de iradiere, geometrii de ecrane si combinatii de materiale

Ecranul de radioprotectie locala consta dintr-o cutie rectangulara care inconjoara tinta. Cavitatarea are dimensiunile: 100 cm adancime, 110 cm inaltime si 55 cm largime. Exteriorul ecranului este din caramizi de plumb de 5 cm grosime, iar interiorul ecranului este din blocuri de parafina standard de 20 cm grosime.

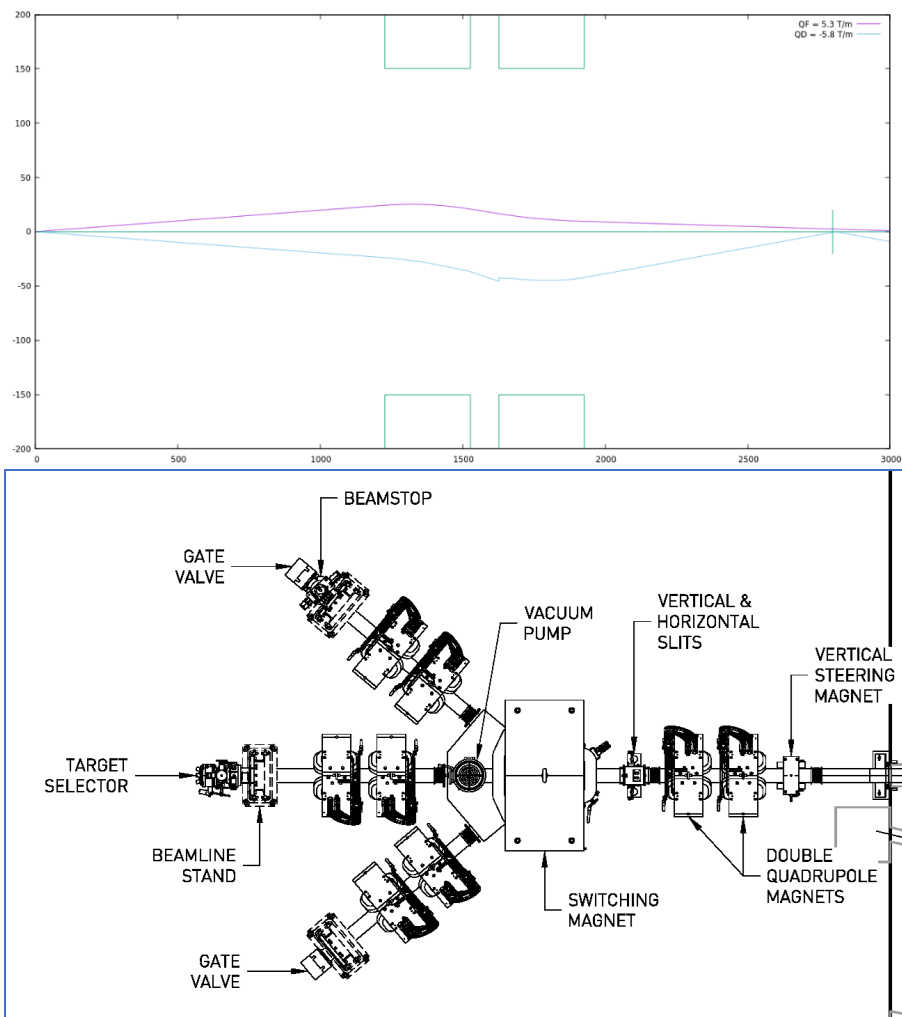
Un rezultat al simularii prin codul FLUKA este dat in figura de mai jos. Este reprezentata fluenta de neutroni (Neutron sec/cm^2) pentru un fascicul de protoni de 18MeV si 250 microAmp pe o tinta de 100Mo. Axa z este axa de simetrie a ecranului.

Se observa ca eficienta de ecranare pentru neutroni este foarte buna. Au fost folosite materiale standard, ceea ce simplifica realizarea ecranului.



5.3 Diagnoza si monitorizarea fascicolului de protoni pe linii de transport

Simularea transportului de protoni printr-un dublet de magneti cuadrupolari in scopul obtinerii de date de proiectare (figura de mai jos)



Elemente ale opticii de fascicul

Diferite dispozitive de diagnosticare sunt montate de-a lungul liniei fasciculului pentru a observa atât dimensiunea cât și poziția fasciculului. Aceste dispozitive măsoară curentul fasciculului care este interceptat. Aceasta oferă informații pentru direcționarea și focalizarea fasciculului, precum și protejarea componentelor mai sensibile de eventualele deteriorări ale fasciculului.

- Magneti cuadrupolari. Sunt utilizați pentru a focaliza fasciculul înainte de a intra în magnetul de comutare dipol. Ei asigură focalizarea finală a fasciculului înainte ca acesta să atingă ținta.
- Magnetul principal comutator. • Este utilizat pentru a direcționa fasciculul pe oricare dintre cele trei linii secundare ale fasciculului. • Include împreună cu magnetul de comutare cutia de vid și deflectoarele corespunzătoare. • O criopompă este, de asemenea, atașată la cutia de vid pentru a obține o presiune de vid a liniei fasciculului $<0,5$ uTorr
- Magnet steere vertical. • Este utilizat pentru a poziționa fasciculul înainte de a intra în dubletul cuadrupol. • Magnetul steere poate fi folosit și pentru a ajuta la poziționarea fasciculului pe țintă după ultimul dublet cuadrupolar.
- Colimatori, cupa Faraday. Cupa Faraday ajută la reglarea inițială a fasciculului și oferă un instrument valoros de diagnosticare

Obiectivele fazei au fost îndeplinite.

Intocmit,
Dr. Liviu Stefan Craciun

Responsabil proiect,
Dr. Florin Constantin