

RAPORT ȘTIINȚIFIC

• Contract nr. 137TE/2025

Etapa nr. 1/2025

Titlu Proiect: Răspunsul detectorilor solizi de urme (SSNTDs) la fascicule de protoni monoenergetici: Aplicații de dozimetrie

ETAPA 1 Metode trasabile și reproductibile. Scopul acestei etape este de a stabili metode trasabile în corelație cu caracteristicile câmpurilor de fascicule de protoni / fascicule de electroni / fascicule mixte.

A1.1 Managementul proiectului. Proiectul alege să „opteze” pentru cerința de acces deschis la date. Proiectul a ales această opțiune deoarece livrabilele și/sau rezultatele proiectului includ publicații în reviste cu evaluare internațională. Un Plan de Management al Datelor (Data Management Plan) va fi elaborat în prima lună a proiectului și va fi extins pe întreaga durată a acestuia, fiind supravegheat pentru a asigura respectarea calendarului de lucru stabilit și desfășurarea întâlnirilor de proiect. De asemenea, vor fi acoperite următoarele aspecte:

- gestionarea datelor de cercetare pe durata și după finalizarea proiectului;*
- specificarea datelor care vor fi colectate, prelucrate sau generate;*
- metodologia și standardele care vor fi aplicate;*
- planuri pentru conservarea și arhivarea datelor (inclusiv după încheierea proiectului).*

Managementul proiectului este construit astfel încât să asigure o coordonare eficientă, un flux coerent al activităților și respectarea tuturor cerințelor legate de accesul deschis la date și de diseminarea rezultatelor. În conformitate cu orientările europene privind managementul datelor de cercetare, proiectul alege să opteze pentru cerința de acces deschis la date, considerând că rezultatele obținute – inclusiv publicațiile în reviste internaționale cu evaluare peer-review – trebuie să fie accesibile comunității științifice, autorităților și publicului interesat.

Un Plan de Management al Datelor (DMP) a fost elaborat în prima lună a proiectului și va funcționa ca un document actualizat pe întreaga durată a implementării. DMP-ul este monitorizat periodic în cadrul întâlnirilor oficiale de proiect, pentru a asigura:

- respectarea calendarului de lucru (conform Fig. 1)
- coordonarea responsabilităților între membri proiectului,
- compatibilitatea datelor generate,
- conformitatea cu standardele de date și cu cerințele finanțatorului.

Planificarea proiectului este structurată pe trei ani și include activități care acoperă întregul flux de lucru: management, pregătire, execuție experimentală, analiză și diseminare. Diagrama

Gantt reflectă o distribuție logică și echilibrată a sarcinilor, asigurând continuitatea activităților și evaluarea periodică prin rapoarte intermediare.

Etapa 1 – 2025

Etapa 1 este dedicată managementului proiectului și pregătirii experimentelor.

- Managementul proiectului: se desfășoară pe tot parcursul anului, incluzând coordonarea echipei, planificarea logistică și supravegherea administrativă.
- Pregătirea echipamentelor și mostrelor: implică achiziția detectorilor, configurarea instrumentelor și stabilirea geometriei experimentale.
- Experimente preliminare: realizate în ultimele luni ale anului, pentru obținerea datelor inițiale necesare optimizării metodei. La finalul etapei este prevăzut un raport intermediar care sintetizează activitățile și rezultatele preliminare obținute.

Planul de management al datelor este extins pe parcursul proiectului, în funcție de tipurile de date colectate, de stadiul activităților experimentale și de necesitățile de arhivare și diseminare.

Proiectul va avea:

- colectarea datelor;
- prelucrarea datelor (validare, curățare, analiză);
- protejarea integrității datelor în timpul procesării;
- stocarea sigură a seturilor de date brute și derivate;
- accesibilitatea datelor.

După finalizarea proiectului, datele vor rămâne disponibile cu acces deschis, care să permită reutilizarea și reproducerea analizelor, în limita legislației și a drepturilor de proprietate intelectuală.

Specificarea datelor care vor fi colectate, prelucrate sau generate, structura completă a datelor, incluzând:

- date brute;
- date procesate (seturi prelucrate, validate);
- date derivate (grafice, statistici, rapoarte);

Calendarul experimentelor și al activităților tehnice

Planificarea experimentelor în cadrul proiectului este structurată în două etape principale: etapa de experimente preliminare și etapa de validare completă. Calendarul a fost conceput astfel încât să permită testarea timpurie a metodologiilor, identificarea eventualelor ajustări necesare și asigurarea maturității tehnice înainte de faza de validare finală.

1. Experimente preliminare (octombrie–noiembrie 2025)

În ultimele două luni ale anului 2025 au fost realizate experimente preliminare, cu scopul de a:

- testa fezabilitatea metodei experimentale propuse;
- calibra echipamentele și evalua precizia măsurătorilor;
- identifica eventuale dificultăți tehnice și corecta protocoalele;
- optimiza parametrii operaționali pentru etapa de validare.

Aceste experimente au permis stabilirea unei structuri robuste a procedurilor de laborator și au contribuit la definirea exactă a variabilelor experimentale care vor sta la baza validării ulterioare.

2. Validarea experimentală (ianuarie–iunie 2026)

Prima validare formală a metodologiei va avea loc în prima jumătate a anului 2026, conform următorului calendar:

- **Ianuarie–Aprilie 2026:** reluarea experimentelor cu metodologia optimizată în etapa preliminară; verificarea reproductibilității rezultatelor.
- **Mai:** realizarea setului complet de experimente de validare, cu monitorizare strictă a parametrilor și colectarea datelor brute.
- **Iunie:** analiza rezultatelor, evaluarea erorilor, compararea cu datele preliminare și ajustarea finală a procedurilor. Validare a metodologiei, documentarea, definirea protocoalelor standardizate și pregătirea rezultatelor pentru diseminare. 7th European IRPA Congress - 'Encouraging Collaboration in Radiation Protection', 1 – 5 June 2026, ACC Liverpool (UK)

Această planificare etapizată asigură un flux coerent al activităților experimentale, precum și maturitatea tehnică necesară pentru ca proiectul să furnizeze date robuste și reproductibile.

A1.2 Prezentare generală a tehnicilor de iradiere a detectoarelor solide de urme nucleare (SSNTDs) cu fascicule de protoni, prezentare generală a abordărilor teoretice pentru dezvoltarea metodologiei. Analiza capacităților și caracteristicilor fiecărui tip de SSNTD în raport cu particulele din fascicul care vor fi utilizate în experimente. Prezentare generală a tehnicilor de iradiere a detectoarelor solide de urme nucleare (SSNTDs) cu fascicule de protoni, prezentare generală a abordărilor teoretice pentru dezvoltarea metodologiei.

Motivația științifică din spatele acestui studiu este de a evalua în mod cuprinzător performanța materialelor CR-39, pentru a obține factorii de calibrare la diferite energii ale protonilor, folosind acceleratorul Tandetron de 3 MV.

Acest studiu pornește de la gama largă de aplicații și importanța detectorilor plastici CR-39, cunoscuți și sub denumirea de SSNTD (solid state nuclear track detectors – detectoare nucleare de urme în stare solidă). Acești detectori sunt utilizați pe scară largă în dozimetria radiațiilor pentru diverse scopuri, precum dozimetria de personal pentru neutroni, dozimetria pentru radon, dozimetria pentru radiațiile spațiale etc. În plus, SSNTD-urile sunt explorate și pentru aplicații non-dozimetrice, incluzând spectroscopia fasciculelor de ioni generați cu laser, fizica razelor cosmice de înaltă energie și fizica nucleară. Dintre materialele disponibile, SSNTD-ul s-a dovedit a fi cel mai sensibil material detector de urme pentru ioni grei energetici. Caracteristicile specifice ale SSNTD-urilor, precum rezoluția spectroscopică, rezoluția spațială și pragul de detecție, le fac extrem de potrivite pentru aceste aplicații.

Cu toate acestea, în ciuda avantajelor SSNTD-urilor, apare o limitare cauzată de variația factorilor de calibrare furnizați de diferite companii comerciale producătoare de materiale SSNTD. Aceste diferențe ale factorilor de calibrare provin din variații ale purității materialului, sensibilității la particule și calității suprafeței.

Rezultatele experimentale curente:

Doua experimemte preliminare (Figura 1, Figura 2) ce au avut loc la acceleratorul de 3 MV al IFIN-HH: în primul experiment, SSNTD-urile de la Radosys au fost expuse la un fascicul de protoni de 618 fA (energia protonilor: 3 MeV) pentru diferite durate de expunere: 5 secunde, 20 secunde și 60 secunde; în cel de-al doilea experiment, aceiași detectori au fost expuși la 1 pA pentru următoarele durate: 20 secunde, 60 secunde și 90 secunde.

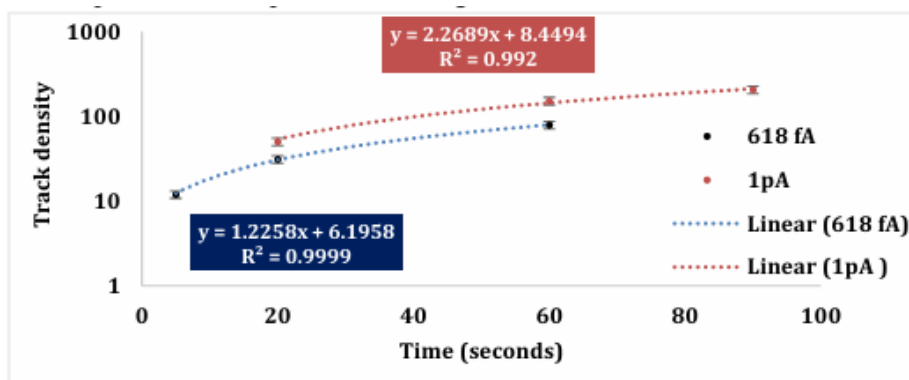


Figura 1 Densitatea de urme a protonilor pe SSNTD functie de timpul de iradiere si curentului fascicului estimat plan de camera Markus (pA)

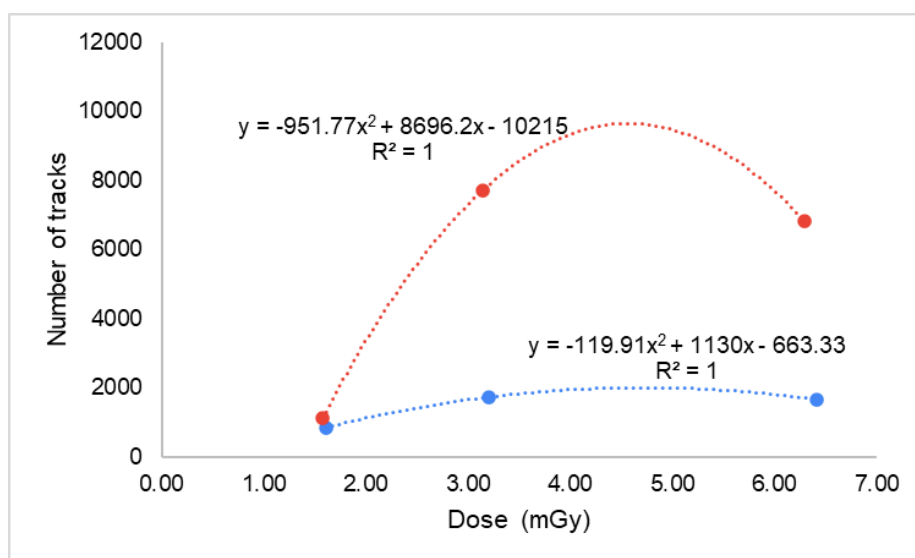


Figura 2 Numarul de urme a protonilor pe SSNTD functie de doza estimata in fascicul.

Totuși, deși rezultatele sunt promițătoare, este de așteptat ca densitatea de urme (numărul de urme pe cm^2) să fie considerabil mai mare (având în vedere că numărul de particule este de ordinul 10^4) decât cea obținută experimental, care a fost mult mai mică. Aceste rezultate au declanșat ideea că este necesar un factor de calibrare pentru SSNTD-urile expuse la fasciculul de protoni, pentru a obține rezultate corecte ale expunerii.

Metodologia de calcul nu este una simplă, deoarece ia în considerare densitatea de urme, pierderea de masă în timpul tratării chimice (Figura 5), timpul de tratare și viteza de tratare în volum. Toți acești parametri urmează să fie investigați.

Estimăm că cel puțin 3×12 SSNTD-uri vor fi utilizate pentru iradiere, poziționate pe traiectoria fascicului de protoni. Este necesară asigurarea alinierii corecte și stabilității detectorilor.

Utilizarea diferitelor unghiuri de incidență: metodele de investigare includ configurarea experimentală a SSNTD-urilor într-un aranjament care permite obținerea diferitelor unghiuri de înclinare. Stivele de detectoare, formate din două straturi de SSNTD, vor fi iradiate la patru unghiuri diferite ($\delta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$), pentru a corecta dependența de unghiul solid și sensibilitatea la unghiul critic.

În plus, vor fi realizate experimente pentru câteva energii diferite ale fascicului de protoni (3 energii diferite).

Procesul de iradiere:

Expunerea SSNTD-urilor la fasciculul de protoni pentru un timp specific de iradiere. Timpul de iradiere trebuie să fie suficient de lung pentru a obține o fluență măsurabilă de particule, dar suficient de scurt pentru a evita deteriorarea excesivă a detectorilor și altor echipamente precum camera Markus.

Rezultate așteptate și posibile aplicații:

- Dezvoltarea și validarea metodei de obținere a factorilor de calibrare pentru fascicule de protoni pe SSNTD-uri:
- Alegerea configurației adecvate pentru SSNTD-uri în cadrul experimentului.
- Curba de calibrare: Pentru stabilirea unei curbe de calibrare, este necesară existența unor date de referință. Acestea pot fi obținute prin iradierea SSNTD-urilor cu o fluență de particule cunoscută.
- Calculul factorului de calibrare: Compararea numărului de urme de protoni observate în proba iradiată cu datele de referință. Calcularea factorului de calibrare ca raport între fluența cunoscută de particule și numărul de urme observate (Figura 3- 4).
- Realizarea unei analize statistice asupra datelor colectate pentru a evalua incertitudinea asociată factorului de calibrare (de exemplu, calculul deviațiilor standard, intervalelor de încredere etc.).
- Pentru a asigura acuratețea și fiabilitatea factorului de calibrare, este necesară efectuarea unor experimente suplimentare folosind energii și fluențe diferite ale protonilor. Ulterior, prin compararea rezultatelor măsurate cu curba de calibrare, se poate realiza verificarea și validarea factorului.

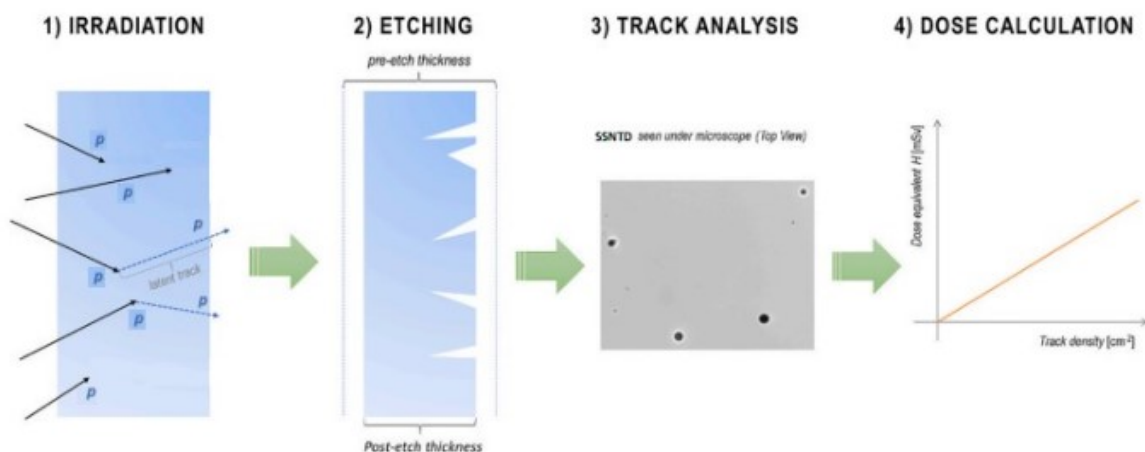


Figura 3 Pașii principali ai metodologiei aplicate pentru calcul dozei echivalente: 1) protonii interacționează cu materialul SSNTD producând urme; 2) tratarea chimică: SSNTD-ul iradiat este supus procesului chimic (de exemplu 4.5 h la 90 °C în soluție de NaOH 6.25 M; 3) Analiza urmelor: SSNTD-ul atacat este examinat la microscop (obiectiv 20×, pentru cadrul prezentat), unde urmele apar sub formă de elipse negre, iar acestea sunt analizate (de exemplu, sunt numărate și împărțite la suprafața scanată pentru a obține densitatea de urme); 4) Calculul dozei: doza este estimată pe baza analizei urmelor (prin convertirea densității de urme în doza echivalentă, folosind un factor de conversie, în acest exemplu).

Dozimetria protonilor folosind SSNTD se bazează în mod obișnuit pe evaluarea densității de urme (de ex. urme/cm²) și pe presupunerea unei relații liniare între densitatea de urme și doza echivalentă personală Hp(10):

$$H^M = N \cdot M \cdot \prod k_i$$

unde simbolurile utilizate sunt:

H^M este valoarea indicată pentru SSNTD, considerată o estimare a dozei echivalente personale;

N este factorul de calibrare;

M este citirea SSNTD corectată pentru fond (densitatea de urme);

iar k_i sunt coeficienți de corecție care țin cont de fenomenul de fading și dependența de energie.

Factorul de calibrare N se determină prin iradierea dozimetrelor de calibrare din același lot, în condiții de referință, și prin calcularea raportului dintre valoarea mărimii de referință H_0 și citirea medie M a acestor SSNTD:

$$N = \frac{H^0}{M}$$

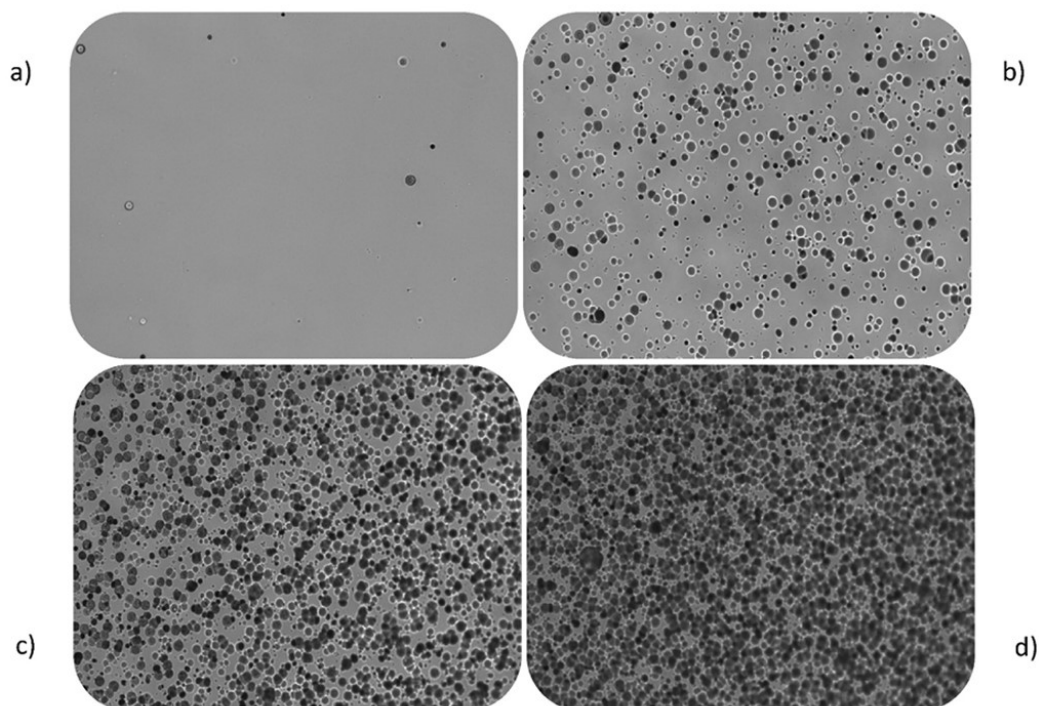


Figura 4 Modele de urme pe o suprafață de aproximativ 49mm^2 pentru detectoare iradiate la diferite doze: (a) 10 mSv, (b) 0,5 Sv, (c) 2,5 Sv și (d) 5 Sv

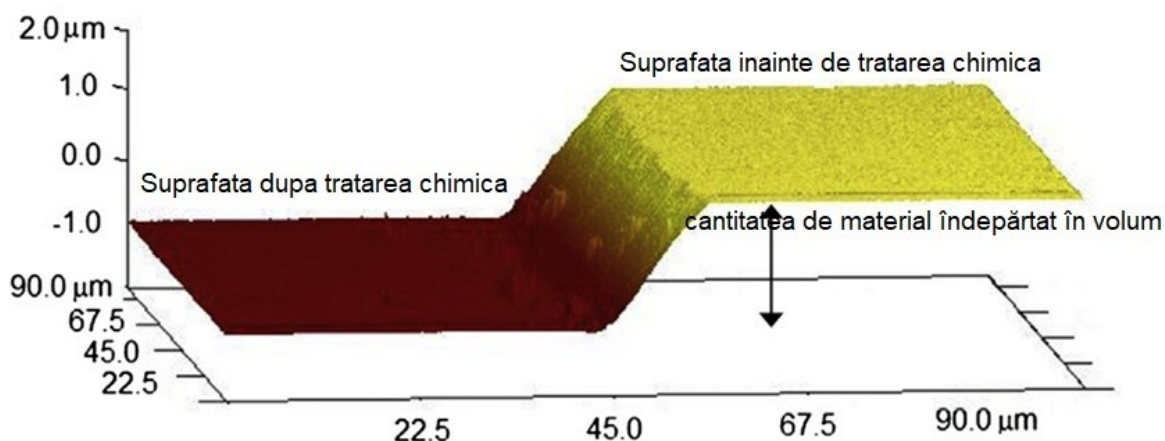


Figura 5 Imagine a suprafeței SSNTD atacate prin metoda mascării parțiale. Treapta dintre suprafața originală (neatacată) și suprafața atacată corespunde grosimii materialului îndepărtat în masa/volum [1].

Pe de alta parte s-a observat o dependenta a diametrului urmelor lasate pe SSNTD functie de energia protonilor. Diametrele medii ale urmelor, D_t , cresc rapid odată cu energia protonilor, E_p , pentru energii din intervalul 0,2–1 MeV. Un diametru maxim este observat în jurul valorii de 1 MeV. Dincolo de acest maxim și până la 5,5 MeV, protonii cu energii mai mari produc urme mai mici (Figura 6).

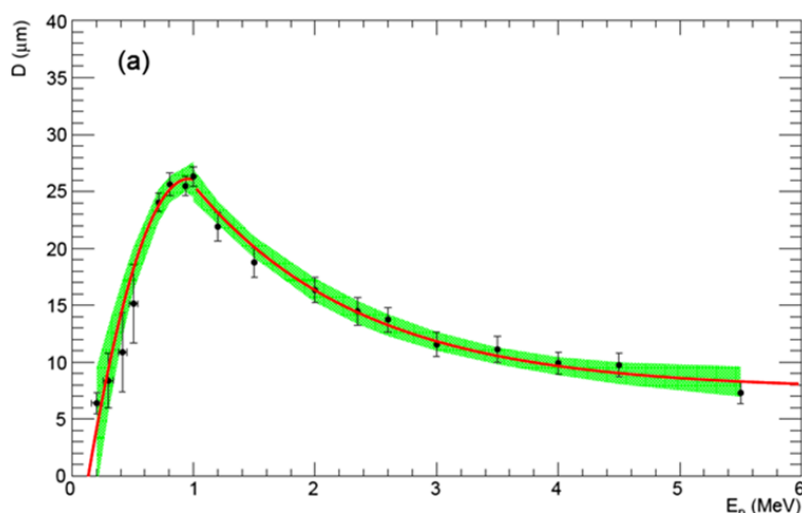


Figura 6 Diametrele măsurate ale urmelor în funcție de energia protonilor. (a) Tratarea chimica timp de 4 ore la 90 °C [2].

A1.3 Pe baza informațiilor din Activitatea 1.2, energiile exacte pentru expunere vor fi luate în considerare pentru experimentele de iradiere a detectoarelor solide de urme nucleare (SSNTDs), iar aranjamentele privind configurarea și alocarea timpului vor fi realizate.

Pe baza informațiilor din experimentele precedente au fost solicitate noi experimente în 2026. Pentru acest lucru s-a realizat o cerere oficială de „timp de fascicul/beam time” în cadrul întâlnirii de lucru „IFIN-HH PAC meeting”.

Solicitare de fascicul:

Configurația experimentală: acceleratorul Tandetron™ de 3 MV, IFIN-HH.

Detectors:

- Detectoare nucleare de urme în stare solidă (SSNTD)

Solicitare de fascicul la Acceleratorul Tandetron™ de 3 MV al IFIN-HH

Titlul experimentului: Răspunsul detectoarelor nucleare de urme în stare solidă (SSNTD) la fascicule monoenergetice de protoni: aplicații în dozimetrie.

Experiment realizat de: Ileana Rădulescu, Radu-Florin Andrei

Perioada dorită: 3 sesiuni diferite, cu intervale de 2–3 săptămâni între ele pentru evaluarea rezultatelor.

Proprietățile fasciculului dorit:

- Iradiere cu protoni în aer (configurația liniei de fascicul pentru radiobiologie)
- 10–50 pA (măsurat pe camera Markus)
- Protonii cu energie între 0.2–4 MeV, pentru diferite timpuri de iradiere (1–900 s)

Cerințe speciale pentru detectoare, electronică, sistemul de achiziție:

- Configurația experimentală aferentă instalației de iradiere în aer pentru bioexperimente.

Informații minime necesare pentru evaluarea riscului radiologic:

- Estimarea activității reziduale în urma iradierii*: 0 Bq
- Modalități de depozitare/transport al țințelor iradiate*: Nu sunt necesare măsuri speciale.

1MV and 3MV Tandetron™ Presentations Schedule IFIN-HH PAC meeting, 27th of November 2025 (Bucharest time zone)

Zoom Meeting:
Meeting ID:
Passcode:



10' presentation + 5' questions

Day 1, Thursday 27th of November 2025 1MV and 3MV Tandetron™ open session

No.	Time	ID	Spokesperson	Proposal Title
Chair: Mihai Straticiu				
	09:20-09:40		Cristian Manailescu	Status of the 1 MV Tandetron™ Accelerator and Summary of Radiocarbon proposals
	09:40-10:00		Gihan Velisa	Status of the 3 MV Tandetron™ Accelerator
1	10:00-10:15	48_1MV	Petre Alexandru	Tracing the history of nuclear emissions using ¹²⁹ I concentrations in the rings of living trees
2	10:15-10:30	53_1MV	Daniela Pascal	Revealing past environmental changes on Livingston Island (Antarctica) using geochronological methods - ¹⁰ Be and ²⁶ Al dating
3	10:30-10:45	1_3MV	Roxana Bugoi	PIXE analyses @ 3 MV Tandetron accelerator of IFIN-HH on Medieval glass finds from Biserica Arbore
4	10:45-11:00	22_3MV	Dragoș Alexandru Mirea	PIXE analysis of the monetary hoard from Morunglav
Short break (15 minutes)				
Chair: Mihai Straticiu				
5	11:15-11:30	24_3MV	Alice Mirailier	PIXE characterization of braking particles from liquid suspensions
6	11:30-11:45	17_3MV	Andrei Stancalie	Testing optical fiber based platforms under proton irradiation
7	11:45-12:00	19_3MV	Radu Mihai	Biological effects of low energy accelerated protons in 2D cell cultures exposed in FLASH regimen
8	12:00-12:15	31_3MV	Tatiana Tozar	Irradiation of adherent breast cell lines in micro-channel chambers with low-MeV proton beams
9	12:15-12:30	51_3MV	Ileana Radulescu	Response of solid-state nuclear track detectors (SSNTDs) to monoenergetic proton beams: Dosimetry applications
10	12:30-12:45	20_3MV	Alexandra Spiridon	EURO-LABS Basic Training School 2026 (BTS26)

Referinte

1. S. Kodaira, N. Yasuda, T. Konishi, H. Kitamura, M. Kurano, H. Kawashima, Y. Uchihori, K. Ogura, E.R. Benton, Calibration of CR-39 with atomic force microscope for the measurement of short range tracks from proton-induced target fragmentation reactions, Radiation Measurements, Volume 50, 2013, Pages 232-236, ISSN 1350-4487, <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2012.10.001>.
2. M. Seimetz, P. Bellido, P. García, P. Mur, A. Iborra, A. Soriano, T. Hülber, J. García López, M. C. Jiménez-Ramos, R. Lera, A. Ruiz-de la Cruz, I. Sánchez, R. Zaffino, L.

Roso, J. M. Benlloch; Spectral characterization of laser-accelerated protons with CR-39 nuclear track detector. *Rev. Sci. Instrum.* 1 February 2018; 89 (2): 023302. <https://doi.org/10.1063/1.5009587>

Sumar al progresului – Etapa 1 / 2025

În etapa 1, proiectul a avansat conform planificării, fiind realizate activități esențiale pentru fundamentarea metodologică și experimentală a etapelor următoare. Progresul obținut a permis stabilirea unui cadru solid pentru realizarea experimentelor cu fascicule de protoni și dezvoltarea procedurilor de calibrare a SSNTD-urilor.

1. Livrabile realizate

L1 – Plan de Management al Datelor (DMP)

A fost elaborat și implementat în prima lună, incluzând:

- specificarea tipurilor de date (brute, procesate, derivate),
- protocoale de colectare, stocare, arhivare și acces deschis,
- standardele utilizate și măsurile de protecție a datelor.

L2 – Planificarea tehnică și calendarul experimentelor

A fost definit calendarul detaliat pentru:

- experimente preliminare (oct.–nov. 2025),
- prima validare experimentală (ian.–iun. 2026).

Au fost stabilite condițiile de iradiere, timpii, energiile, instrumentele și configurațiile experimentale.

L3 – Două experimente preliminare de iradiere la acceleratorul de 3 MV

Au fost obținute primele seturi de date privind:

- densitatea de urme pentru curenți de 618 fA și 1 pA,
- numărul de urme raportate la doza estimată,
- comportamentul SSNTD la diverse durate de expunere.

Rezultatele (Fig. 1–2) au evidențiat necesitatea introducerii unui factor de calibrare pentru protoni.

L4 – Analiza preliminară a comportamentului SSNTD

Au fost determinate:

- variația diametrului urmelor cu energia (Fig. 6),
- efectele tratării chimice și pierderea în volum (Fig. 5),
- influența energiei asupra densității de urme.

2. Indicatori de rezultat

În etapa 1 au fost obținuți următorii indicatori măsurabili:

- 2 experimente preliminare realizate la acceleratorul Tandetron 3 MV.
- 12–15 mostre analizate (estimativ).

- 2 curbe preliminare:
 - densitatea de urme în funcție de timp (Fig. 1),
 - număr de urme versus doză (Fig. 2).
- 1 cerere oficială de timp de fascicul („beam time”) transmisă către IFIN-HH PAC meeting.
- 1 set complet de parametri experimentali definiți pentru etapa 2026: energii 0.2–4 MeV, 10–50 pA, timpi 1–900 s, unghiuri $\delta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$.

3. Diseminarea rezultatelor

Rezultatele preliminare au fost pregătite pentru diseminare internațională, iar proiectul este programat pentru prezentare la:

- 7th European IRPA Congress – Liverpool, 1–5 iunie 2026, cu tema: *Encouraging Collaboration in Radiation Protection*.

Această participare contribuie la vizibilitatea internațională și validarea metodologică a proiectului.

4. Justificarea diferențelor față de plan

În cadrul etapei 1 nu au existat întârzieri sau neconcordanțe semnificative. Singura diferență minoră este legată de necesitatea extinderii analizei preliminare, planificarea unor experimente suplimentare în 2026 pentru ajustarea metodologiei. Această diferență este justificată tehnic și contribuie la îmbunătățirea robusteii metodologice.

Rezumat Executiv al activităților realizate în perioada de implementare (Etapa 1/2025)

În prima etapă a proiectului „Răspunsul detectorilor solizi de urme (SSNTDs) la fascicule de protoni monoenergetici: aplicații de dozimetrie”, au fost realizate activități esențiale pentru fundamentarea metodologică și pregătirea fazei experimentale complete. Etapa 1 a vizat dezvoltarea metodelor trasabile, stabilirea cadrului tehnic de lucru și obținerea primelor rezultate experimentale, necesare pentru definirea parametrilor de calibrare.

O realizare majoră a fost elaborarea planului de management al datelor, ce asigură colectarea, procesarea, stocarea și diseminarea cu acces deschis a tuturor datelor generate în proiect.

În ceea ce privește activitățile tehnice, au fost desfășurate două experimente preliminare la acceleratorul Tandetron de 3 MV al IFIN-HH, utilizând detectoare SSNTD de tip CR-39. Aceste experimente au vizat expunerea detectorilor la fascicule de protoni de intensități mici (618 fA și 1 pA) și durate diferite de iradiere, pentru evaluarea comportamentului inițial al materialului. Au fost măsurate densitățile de urme, numărul total de urme în funcție de doză, pierderea în volum în urma tratării chimice și diametrele urmelor în funcție de energia protonilor. Rezultatele au evidențiat necesitatea introducerii unui factor de calibrare specific pentru protoni, deoarece densitățile de urme obținute au fost mai mici decât cele estimate teoretic.

Pe baza acestor rezultate, a fost definită metodologia preliminară de calibrare, incluzând etapele de iradiere, atac chimic, analiză microscopică și calculul dozei echivalente prin conversia

densității de urme. Totodată, a fost elaborată cererea oficială de timp de fascicul pentru anul 2026, incluzând specificațiile tehnice complete: energii 0,2–4 MeV, intensități 10–50 pA, iradiere în aer și trei sesiuni experimentale separate pentru validare.

Activitățile de planificare au fost completate prin stabilirea calendarului de lucru pentru etapa de validare (ianuarie–iunie 2026), care va include repetarea experimentelor în condiții optimizate, colectarea datelor brute și analiza statistică finală. Proiectul va fi reprezentat în cadrul comunității științifice internaționale prin programarea participării la *7th European IRPA Congress (Liverpool, 2026)*.

În concluzie, etapa 1 s-a desfășurat în conformitate cu planificarea, iar toate livrabilele prevăzute au fost realizate. Au fost stabilite baza metodologică, infrastructura experimentală, parametrii inițiali de lucru și instrumentele necesare pentru derularea etapelor experimentale ulterioare. Proiectul evoluează în grafic, cu premise solide pentru obținerea unor rezultate robuste și reproductibile pentru etapa de validare.

Director Proiect,

RADULESCU Ileana

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'I. Radulescu', is placed over a light blue rectangular background.