

Contractor: IFIN-HH
Cod fiscal : RO 3321234

Anexa 10 la Contract nr. 21N/2023
(anexa la procesul verbal de avizare interna nr. 1165/14.09.2023)

De acord,
DIRECTOR GENERAL
Dr. Nicolae Marius Mărginean

Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM
Dr. Mihai Radu



RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: 21N/01.01.2023

Proiectul: PN 23 21 01 03

Cercetare fundamentala a dinamicii si structurii materiei nucleare pe domenii largi de temperatura, presiune, densitati de energie si cercetare aplicativa a straturilor subtiri.

Faza: Nr.1

Studii comparative de imbatranire pentru detectorii MSMGRPC cu schimb de gaz prin difuzie si curgere directa in spatiile dintre electrozii rezistivi.

Termen de încheiere a fazei: 14.09.2023

1. Obiectivul proiectului:

Dezvoltarea activitatilor de cercetare fundamentala in fizica atomica si nucleara si domenii conexe

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

Detectorii MSMGRPC cu curgere directa indeplinesc cerintele impuse de subdetectorul CBM-TOF, atat in termeni de performante de detectie cat si in ce priveste minimizarea efectelor de imbatranire datorate operarii indenungate in experiment.

3. Obiectivul fazei:

Studii comparative de imbatranire pentru detectorii MSMGRPC cu schimb de gaz prin difuzie si curgere directa in spatiile dintre electrozii rezistivi

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

Optimizarea arhitecturii detectorului, compozitiei si ratei de curgere a gazului de operare astfel incat sa se minimizeze efectele de imbatranire.

Studii comparative de îmbătrânire pentru detectorii MSMGRPC cu schimb de gaz prin difuzie și curgere directă în spațiile dintre electrozii rezistivi

1 Introducere

Experimentul cu țintă fixă Compressed Baryonic Matter (CBM) de la viitoarea facilitate experimentală FAIR aflată în construcție la Darmstadt, Germania este dedicat explorării diagramei de fază a materiei nucleare în regiunea densităților barionice mari și temperaturilor moderate [1]. Experimentul CBM este proiectat pentru măsurători de precizie ale corelațiilor multidimensionale dintre diferite observabile, incluzând particule cu secțiuni de producere foarte mici cum ar fi hiperonii, nucleeele hiperonice, hadronii constituiți din cuarci grei sau obiecte încă necunoscute formate din combinații de cuarci și gluoni. Aceste măsurători vor fi posibile deoarece facilitatea de accelerare FAIR va furniza fascicule intense de până la 10^9 ioni/s, făcând posibilă realizarea de experimente la rate de interacție care pot ajunge până la 10^7 interacții/s. Subdetectorul de timp de zbor (Time-of-Flight) al aranjamentului experimental CBM [2, 3] este destinat identificării tuturor particulelor încărcate rezultate din interacție. Este poziționat în experiment la o distanță de 9 m față de țintă și este bazat pe detectori cu preluare a semnalelor pe electrozi multi-strip (MSMGRPC)[4]. Datorită ratelor de interacție foarte mari și geometriei cu țintă fixă a experimentului, fluxul de particule în regiunea unghiurilor polare mici este foarte mare, în zona internă a CBM-TOF poate ajunge până la 50 kHz/cm². În timp ce detectorii cu electrozi rezistivi cu spații multiple (MRPC) [5] folosiți în experimentele aflate în desfășurare își păstrează performanțele până la rate de numărare de cel mult 1 kHz/cm², detectorii MSMGRPC cu care va fi echipată zona internă a CBM-TOF sunt proiectați pentru a face față ratelor mari de numărare menționate anterior având performanțele cerute de experiment, și anume o eficiență de peste 90% și o rezoluție temporală a sistemului mai bună de 80 ps. Rezultatele obținute în testele în fascicul realizate la aranjamentul experimental mini-CBM (mCBM) [6] de la acceleratorul SIS18 de la GSI Darmstadt au arătat o eficiență mai bună de 90% și o rezoluție temporală a sistemului (detector MSMGRPC + detector referință) de 70 ps, respectiv de ~50 ps rezoluție individuală a MSMGRPC, până la rate de numărare de 30 kHz/cm² (cea mai mare rată accesată în acest test în fascicul) [7]. Totuși, este bine cunoscut că operarea pe termen lung a detectorilor MRPC cu amestec gazos bazat pe C₂H₂F₄ și SF₆ determină apariția în timp a unor efecte de îmbătrânire complexe [8]. (Îmbătrânirea, în acest context, se referă la multitudinea de fenomene fizico-chimice produse progresiv în detector și care duc la deteriorarea în timp a performanțelor acestuia). Deoarece experimentul CBM va fi operat timp de 10 ani câte două luni pe an la rate mari de interacție, efectuarea de studii detaliate de "îmbătrânire", al căror rezultat să fie folosit pentru a optimiza proiectarea și/sau operarea detectorului MSMGRPC astfel încât efectul acestor procese de îmbătrânire să fie minimizat, este extrem de importantă. Efectul dozelor mari de radiații asupra detectorilor MSMGRPC dezvoltati în grupul nostru, a fost studiat de către noi folosind sursa de ⁶⁰Co cu o activitate de 360 kCi din dotarea Departamentului de Iradierii Tehnologice (IRASM) al IFIN-HH [9]. Rezultatele obținute au evidențiat un efect de impurificare a gazului de operare cu radicali chimici rezultați din descompunerea gazului folosit ca mediu de detecție, sub acțiunea fluxului intens de radiații gamma [10]. Acești radicali chimici au polimerizat și s-au depus pe suprafețele electrozilor rezistivi de tip anod și/sau au corodat suprafețele electrozilor rezistivi de tip catod. În jurul distanțorilor de nylon folosiți pentru a spația

electrozii rezistivi, s-a observat o intensificare a depunerilor ca urmare a unui schimb de gaz redus în zonele de contact dintre distanțor și electrodul rezistiv. Aceste efecte s-au manifestat într-o creștere a zgomotului detectorului, respectiv a ratei de semnale generate în absența sursei de radiații, parametru denumit rată de numărare de întuneric. Efectele menționate pot conduce la deteriorarea performanțelor detectorului și de aceea este dorit să se găsească soluții tehnologice care să păstreze suprafețele cât mai curate posibil. În studiile de îmbătrânire raportate în [10], gazul a fost circulat prin cutia etanșă în care detectorul a fost instalat, schimbul de gaz în spațiile de detecție realizându-se exclusiv prin difuzia moleculelor gazului. Studii raportate în literatura de specialitate [11] demonstrează că rata de polimerizare este invers proporțională cu rata de curgere a gazului, respectiv un schimb de gaz mai rapid decât cel realizat prin difuzia moleculelor de gaz diminuează efectele de polimerizare și depunere a radicalilor chimici rezultați din descompunerea moleculelor gazului. De aceea, un schimb de gaz intensificat în spațiile de detecție dintre electrozii rezistivi ai detectorului este de așteptat să diminueze rata de depunere a radicalilor chimici pe suprafața electrozilor din sticlă rezistivă. Luând în calcul cele menționate mai sus, au fost proiectate și asamblate două prototipuri de MSMGRPC cu curgere directă a gazului între electrozii rezistivi și un număr redus de distanțori poziționați în zona activă a detectorului, ca soluție pentru minimizarea acestui efect.

2 Detalii de proiectare a detectorului MSMGRPC cu curgere directă a gazului în spațiile de detecție

Două prototipuri cu cea mai ridicată glanularitate a subdetectorului CBM-TOF, ambele având aceeași structură internă, similară cu cea a detectorilor cu schimb de gaz prin difuzie [12] au fost proiectate și asamblate. Figura 1 prezintă schematic configurația acestor detectori.

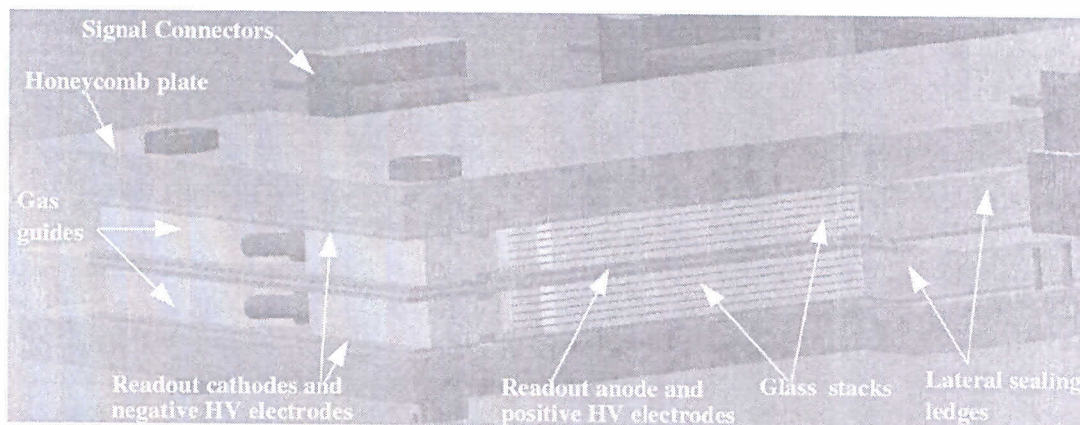


Figure 1: Schița 3D a MSMGRPC cu curgere directă.

Se observă că geometria internă a detectorului este bazată pe simetria față de electrodul central de preluare a semnalelor, respectiv anodul. De o parte și de alta a acestuia sunt poziționate două secțiuni oglindite, fiecare fiind realizată din șase electrozi plan - paraleli perfect aliniați unul deasupra celuilalt, astfel încât ei definesc cinci spații de detecție în fiecare din cele două secțiuni. Materialul din care sunt realizați electrozii rezistivi este o sticlă specială de rezistivitate joasă ($\sim 10^{10} \Omega \text{cm}$) [13]. Fiecare electrod are o grosime de 0.7 mm și o suprafață de 60 mm x 300 mm. Spațiile dintre electrozii rezistivi sunt de

200 μm și sunt definite de către diametrul firului de nylon care este poziționat între electrozi, foarte bine întins, paralel cu latura lungă a electrozilor rezistivi. În arhitectura inovativă a MSMGRPC dezvoltată de grupul nostru, atât electrozii de înaltă tensiune cât (HV) și cei de preluare a semnalelor au o structură de benzi metalice înguste denumite stripuri (figura 2). Fiecare electrod are un număr de 32 de stripuri, cu un pitch de 9.02 mm și o lungime de 56 mm în cazul acestui prototip, rezultând o arie activă a detectorului de $32 \times 0.902 \text{ cm} \times 5.6 \text{ cm} = 162.35 \text{ cm}^2$.

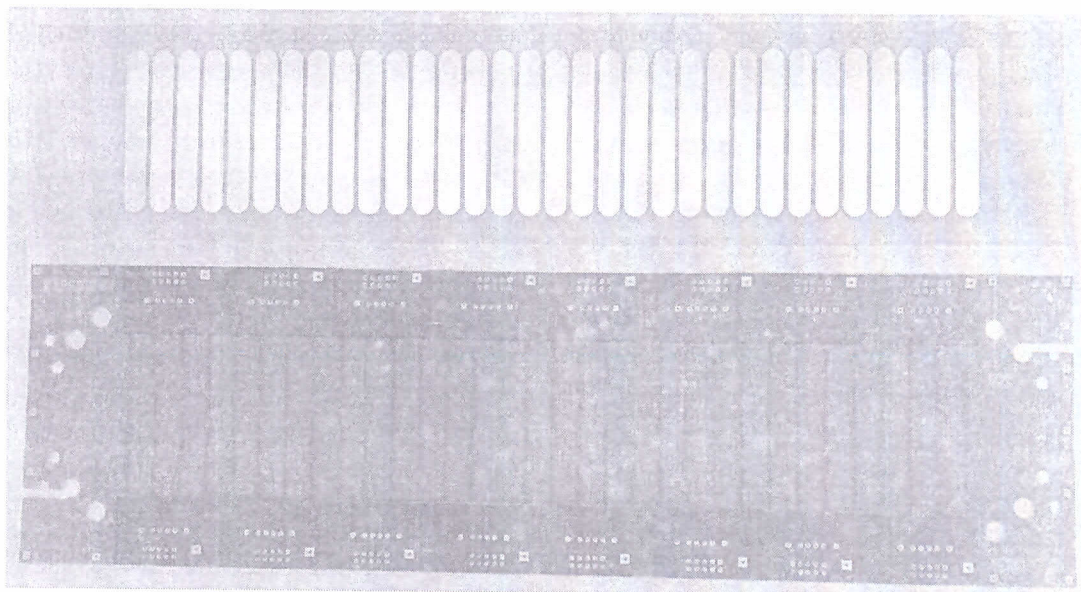


Figure 2: Electrocul de înaltă tensiune - partea de sus; electrocul de citire a semnalelor denumit anod - partea de jos.

Cei doi electrozi de înaltă tensiune ai fiecărei jumătăți de detector, (unul pentru tensiunea pozitivă, celălalt pentru tensiunea negativă), au structura prezentată în partea de sus a figurii 2. Aceștia sunt realizați din stecloțextolit de tip FR4 de grosime 0.5 mm, cu stripuri de Cu aurit pe fața internă (orientată spre interiorul structurii de detecție). Stripurile de înaltă tensiune ale fiecărui electrod sunt în contact cu electrozii rezistivi exteriori ai fiecăreia din cele două jumătăți simetrice. Electrozii situați spre centrul structurii sunt conectați la tensiunea pozitivă iar cei în contact cu electrozii rezistivi superior și respectiv inferior sunt conectați la tensiunea negativă (a se vedea figura 1). Cele două jumătăți identice sunt separate de electrocul de citire comun denumit anod, poziționat în centrul detectorului și care constituie planul de simetrie față de care cele două jumătăți sunt oglindite. Anodul, prezentat în partea de jos a figurii 2, este realizat pe suport din FR4 în tehnologie multi-strat, având o grosime de 0.6 mm (un strat central de stripuri de Cu între două straturi de FR4 de 0.3 mm grosime fiecare) și conține pe laturile lungi ale plăcii de FR4 piste de transmitere a semnalelor de la capetele stripurilor de semnal la conectorii de semnal, lipiți cu cositor pe cele două laturi lungi ale plăcii de FR4. Structura de detecție este închisă la cele două extremități de cei doi electrozi de preluare a semnalelor induse, denumiți catodi. Aceștia au stripuri pe fața interioară a unei plăci de FR4 de 0.5 mm grosime. Fiecare electrod de preluare a semnalului este izolat de electrocul învecinat de înaltă tensiune de o folie de capton de 50 μm grosime. Semnalele pozitive furnizate de cei doi electrozi exteriori de tip catod sunt sumate prin conexiune electrică realizată la nivelul plăcii anodice și trimise către conectori împreună cu semnalele negative induse pe anod. Alinierea electrozilor plan

paraleli ai structurii de detecție este asigurată mecanic cu precizie foarte bună de două plăci de material cu structură de tip fagure de tip Nomex^(R), poziționate la exterior. Arhitectura unică a detectorilor MSMGRPC dezvoltată de grupul nostru, cu structură de stripuri atât pentru electrozii de preluare a semnalelor cât și pentru electrozii de înaltă tensiune [14, 15], permite realizarea adaptării de impedanță a liniei de transmisie a semnalului cu impedanța de intrare a electronicii front-end de prelucrare a semnalelor, pentru o geometrie internă dată (număr de spații de detecție/electrozi rezistivi), simultan cu satisfacerea cerinței de granularitate pentru zona de unghi polar căreia îi este destinat detectorul. Această adaptare este deosebit de importantă în special în experimentele care operează în regim de autotrigere, așa cum vor fi operați toți detectorii aranjamentului experimental CBM, pentru a evita procesarea unei cantități mari de date nefolositoare rezultate din reflexii. În timp ce impedanța este definită de lățimea stripului de preluare a semnalului pentru un număr fix de spații de detecție, granularitatea este definită de lățimea stripului de înaltă tensiune multiplicată cu lungimea stripurilor. O descriere detaliată a modului cum se realizează această adaptare în proiectarea detectorului MSMGRPC este prezentată în referința [16]. În cazul prototipurilor prezentate în acest raport, lățimea stripului de preluare a semnalului este de 1.3 mm, în timp ce cea a stripului de înaltă tensiune este de 7.4 mm, ambele având lungimea de 56 mm. La intrarea fiecărui canal al electronicii front-end au fost introduse ambele semnale ale stripurilor corespunzătoare, respectiv negative furnizate anod și pozitive furnizate de catodi, preluarea semnalelor făcându-se astfel în modul de procesare diferențial. În asamblarea prototipului P1 cu curgere directă și stripuri de 56 mm lungime s-au folosit doi distanțori de nylon poziționați în afara zonei de acțiune a câmpului electric, la o distanță de 1 mm de marginea electrodului rezistiv, așa cum se arată în partea stângă a figurii 3. Pentru a forța gazul să curgă direct prin spațiile de detecție dintre electrozii rezistivi, la

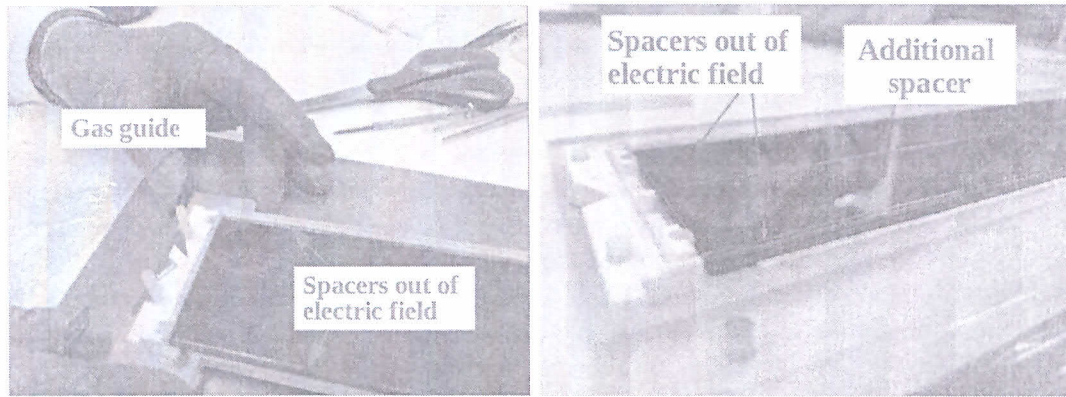


Figure 3: Ghid de curgere a gazului montat la unul din capetele detectorului. Distanțorii întinși transversal pe direcția stripurilor, la 1 mm de marginea electrodului rezistiv (stânga) și cu un distanțor suplimentar întins pe mijlocul electrodului rezistiv (dreapta).

cele două capete ale fiecăreia din cele două structuri simetrice s-au poziționat ghiduri de curgere pentru gaz, așa cum se arată în figura 3 pentru unul din capetele uneia din cele două jumătăți. O ramă de etanșare, definită de două bare de stecloxtolit poziționate paralel cu latura lungă a electrozilor rezistivi, (fiecare la 1 mm distanță de marginea electrodului rezistiv) și de cele două ghiduri de curgere a gazului, etanșate împreună cu pastă siliconică, închide volumul de gaz al fiecărei jumătăți.

După asamblare, prototipul P1 a fost condiționat și testat preliminar în laboratorul de detectori ai Departamentului de Fizică Hadronică (DFH) din IFIN-HH. Ulterior, a fost testat

în fascicul, în condiții reale de operare, folosind produși de reacție rezultați din interacția unui fascicul de ^{16}O de 2 GeV/u cu o țintă de Ni, în aranjamentul experimental mCBM [6] de la acceleratorul SIS18 de la GSI Darmstadt. În testele efectuate detectorul a fost operat cu un amestec gazos de $97.5\%\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4 + 2.5\%\text{SF}_6$, (același care urmează să fie folosit și în experimentul real), circulat la presiune atmosferică. Rezultatele obținute, o eficiență de detecție similară cu cea obținută pentru detectorii cu schimb de gaz prin difuzie (i.e. $>95\%$) și o rezoluție temporală de 51 ps au fost raportate și publicate în referința [7]. În timpul măsurărilor în fascicul s-a observat că pentru o tensiune aplicată mai mare de 2×5.9 kV, detectorul devine instabil datorită creșterii bruște a curentului și apariției descărcărilor. Aceste efecte nu au permis operarea detectorului la tensiuni peste valoarea menționată, în timp ce detectorii cu schimb de gaz prin difuzie au fost operați până la o tensiune aplicată de 2×6.4 kV.

Pentru a înțelege aceste instabilități, ulterior detectorul a fost expus în laboratorul de detectori al DFH la fluxuri intense de radiații X, furnizate de două tuburi de raze X [17]. La o tensiune aplicată de 2×6 kV, sub acțiunea câmpului intens de radiații s-a observat dezvoltarea de descărcări continue. După ce detectorul a fost operat în acest regim pentru mai multe ore, a fost dezasamblat și inspectat. Rezultatul acestei investigații a fost observarea unor depuneri chimice pe mijlocul electrozilor rezistivi, pe toată lungimea lor. Aceste depuneri au indicat că sticla se curbează sub acțiunea câmpului electric și grosimea efectivă a spațiilor de detecție se îngustează în zona centrală a detectorului, câmpul electric fiind mult mai intens în această regiune ceea ce duce la dezvoltarea necontrolată a avalanșelor de sarcină electrică. Din acest motiv, un nou prototip a fost asamblat, cu un distanțor adițional poziționat pe mijlocul fiecărui electrod rezistiv, așa cum se poate observa în figura 3 - dreapta. Prototipul asamblat cu acest distanțor suplimentar se numește P2 și este prezentat în partea stângă a figurii 4, având cuplate cablurile care transportă semnalele de la conectorii lipiți pe marginea plăcii anodice la conectorii montați pe panoul de Al care închide etanș cutia. Acest panou

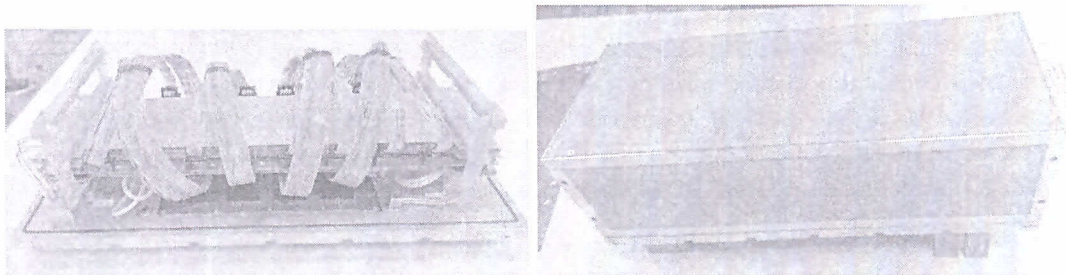


Figure 4: Prototipul P2 cu curgere dirijată, montat pe panoul de Al (stânga) și cutia etanșă la gaz în care este închis acesta (dreapta).

de Al conține suportii mecanici de susținere a detectorului, conectorii de înaltă tensiune și pe cei de semnal, precum și trecerile prin care se circulă amestecul de gaz de lucru. Cutia etanșă la gaz în care este închis detectorul, este prezentată în partea dreaptă a figurii 4. Aceasta este realizată din materiale compozite ușoare pentru a înmiza bugetul de material introdus în experiment.

3 Testarea în laborator a prototipului P2

Prototipul P2 a fost instalat în aranjamentul experimental din laboratorul de testare a detectorilor MSMGRPC, așa cum este prezentat în partea stângă a figurii 5. Detectorul a fost conectat la amestecul de gaz de $97.5\% \text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4 + 2.5\% \text{SF}_6$, cu o rată de curgere de 4 l/h. S-a aplicat tensiunea de polarizare în pași crescători până la valoarea de $2 \times 6.4 \text{ kV}$, valoare care acoperă zona de platou a eficienței de detecție. Semnalele tipice produse de radiațiile

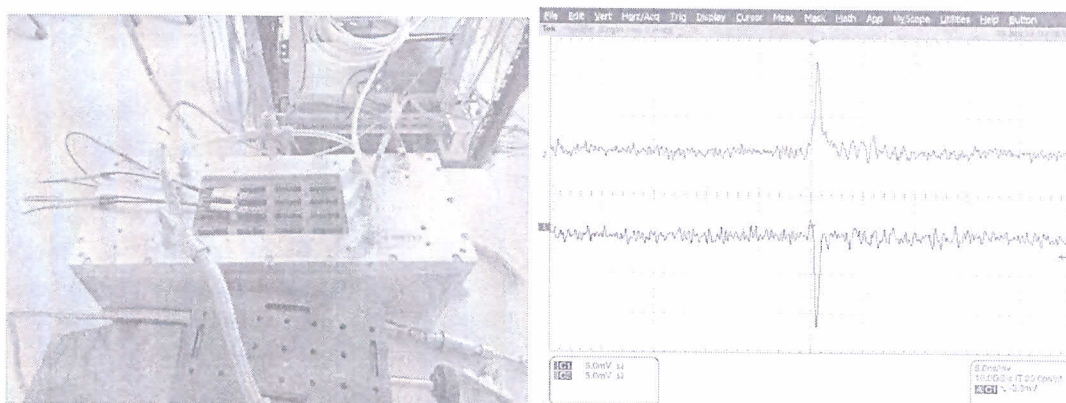


Figure 5: Prototipul MSMGRPC cu curgere directă monitorat în timpul condiționării cu înaltă tensiune(stânga). Semnale tipice înregistrate de la detector, negativ indus pe anod și pozitiv indus pe catod (dreapta).

γ ale sursei de ^{60}Co în prototipul P2 sunt prezentate în partea dreaptă a figurii 5. Acestea sunt înregistrate folosind un osciloscop Tektronix TDS 7254B de 3 GHz conectat direct la o pereche de pini ai conectorilor de semnal de pe panoul de dural al cutiei. Această pereche de pini transmite semnalele furnizate de unul din capetele unei perechi de stripuri anod-catod (care alcătuiesc împreună o linie de transmisie de semnal în detector). Așa cum se observă, nu există nici un semnal reflectat pe o scală de timp de 25 ns. Acest interval de timp este mai mare decât timpul necesar semnalului de a se propaga de la poziția de localizare a avalanșei până la conectorii de pe panoul de spate al cutiei, incluzând lungimea de 30 cm a cablurilor de semnal torsadate.

4 Aranjamentul experimental pentru studii de îmbătrânire cu flux intens de radiații X

Studiile de îmbătrânire pentru prototipul P2 au fost realizate în laborator, folosind cele două tuburi de raze X (Amptek "mini-Xray tube") aflate în dotarea laboratorului de detectori din DFH. Tuburile au fost aliniate la aproximativ 14 cm în fața detectorului, așa cum se arată în figura 6 stânga, astfel încât întreaga arie activă a acestuia să fie expusă relativ uniform. Un prototip cu o geometrie internă identică (număr de spații de detecție, dimensiunea spațiului de detecție și arhitectura electrozilor de preluare a semnalelor), dar schimb de gaz prin difuzie, (denumit P3) [7] a fost de asemenea expus la fluxuri intense de radiații X, pentru comparație. Detectorii au fost alimentați cu tensiune înaltă folosind surse de tensiune ISEG NHQ226L, care au de asemenea posibilitatea de a citi curentul detectorului. Electronica front-end folosită pentru a procesa semnalele furnizate de detectorii MSMGRPC a fost bazată

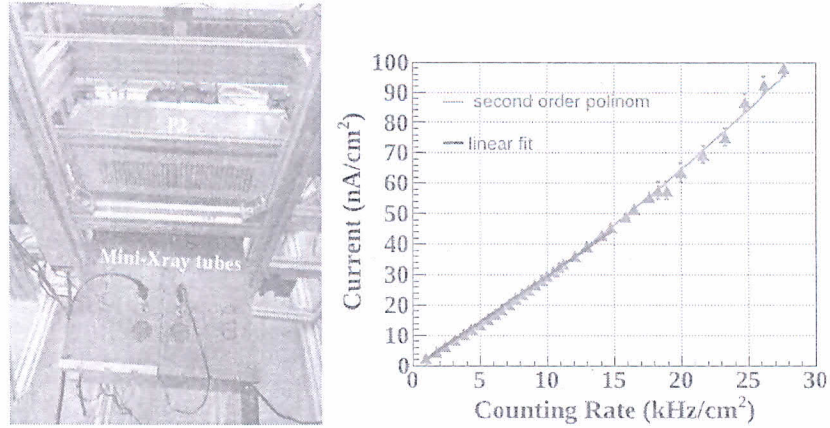


Figure 6: Aranjamentul experimental pentru testele de îmbătrânire cu flux intens de raze X (stânga). Curba de calibrare a ratei de numărare în funcție de curentul detectorului (dreapta).

pe amplificatorul/discriminatorul NINO dezvoltat în cadrul colaborării ALICE - TOF [18]. Pentru fiecare strip au fost procesate semnalele transmise la ambele capete ale stripului, diferența timpilor măsurați la cele două capete fiind direct proporțională cu poziția avalanșei de-a lungul stripului. Fiecare cartelă de electronică front-end conține opt canale electronice și poate, de asemenea, furniza un semnal logic de tip OR pentru toate cele opt canale. Semnalele logice de OR au fost procesate folosind unități logice de coincidență CAEN N445, cu care s-au realizat de asemenea AND-uri logice între semnalele de OR de la cele două capete ale fiecărui grup de opt stripuri. Între toate cele patru semnale de AND (corespunzătoare celor 4 grupuri de câte 8 stripuri) s-a realizat un OR logic, semnalul rezultat fiind introdus la intrarea unui numărător CAEN N1145, cu care s-a calculat numărul de conversii pe secundă produse în detector. Acestea au fost raportate la aria detectorului pentru a se obține rata de numărare pe unitatea de arie și unitatea de timp.

5 Rezultate obținute

Cele două camere au fost expuse gradual la fluxuri de raze X din ce în ce mai mari, măsurând răspunsul în curent al fiecărui detector în funcție de rata de numărare. Curba de calibrare a ratei de numărare în funcție de curentul detectorului pentru prototipul cu schimb de gaz prin difuzie este prezentată în figura 6. Rata maximă de numărare atinsă cu cele două tuburi de radiații X a fost de 28 kHz/cm², așa cum se poate vedea și în figura 7, dreapta. În figura 6 - dreapta se observă o liniaritate clară a curentului funcție de rata de numărare până la 15 kHz/cm², după care apare o ușoară deviație de la linearitate la rate mai mari. Această deviație este cel mai probabil datorată schemei electronice logice folosită să se estimeze rata de numărare. O curbă similară a fost obținută și pentru detectorul P2 cu curgere directă de gaz.

Ulterior, fiecare detector a fost expus la cel mai intens flux de radiații X pe durata a șapte ore în fiecare zi, monitorându-se curentul produs de conversia radiațiilor în detector care poate fi urmărit în figura 7 - stânga și rata de numărare (numărul de conversii în unitatea de timp și pe unitatea de suprafață), prezentată în figura 7 - dreapta. După intervalul de timp menționat, tuburile au fost închise și au fost măsurați curentul și rata de numărare

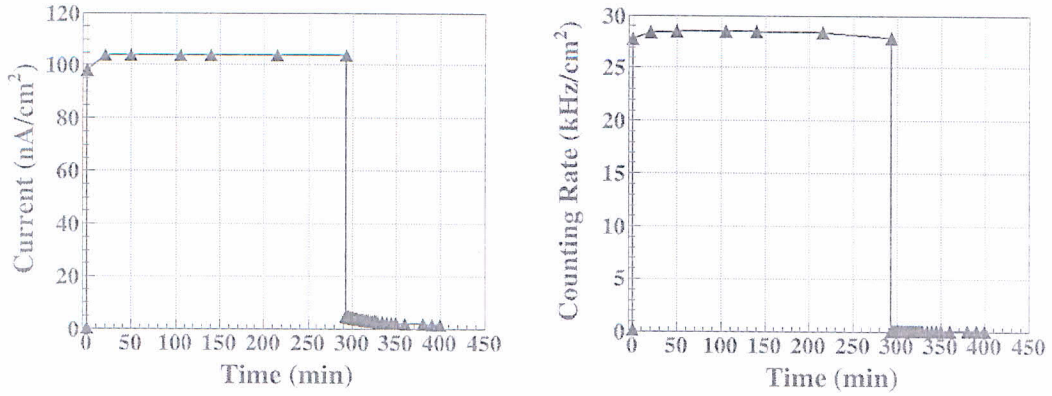


Figure 7: Curentul măsurat (stânga) și rata de numărare (dreapta) măsurate în timpul expunerii la cel mai intens flux de raze X.

de întuneric (în absența iradierii) după fiecare etapă de iradiere, pentru un interval de timp de aproximativ trei ore. Evoluția curentului de întuneric pentru detectorul P3, cu schimb

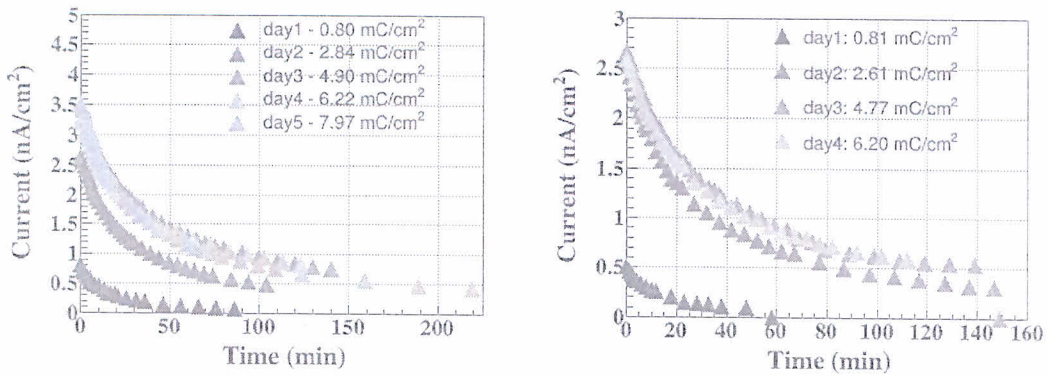


Figure 8: Curentul de întuneric pentru prototipul P3(stânga) și P2 (dreapta) măsurate după expuneri succesive la fluxul de raze X (~ 7 h), întrerupte de perioade de relaxare (~ 17 h).

de gaz prin difuzie (figura 8 - stânga) și pentru detectorul P2, cu curgere directă (figura 8 - dreapta) după perioade succesive de expunere (~ 7 h) urmate de intervale de timp de ~ 17 ore de relaxare, este prezentată comparativ în figura 8. În timp ce ambii detectori au o comportare similară a curentului de întuneric, acest lucru nu este valabil și pentru rata de numărare de întuneric, așa cum se observă în figura 9. În partea dreaptă a figurii 9 se observă că după primele două zile de expunere, detectorul cu schimb de gaz prin difuzie P3 își schimbă comportarea și deși la început există o tendință descrescătoare a ratei de numărare de întuneric, după aproximativ 30 min apare o tendință creascătoare, cu evoluție ulterioară către plafonare. În contrast cu prototipul P3, detectorul cu curgere directă P2 manifestă o tendință continuă de descreștere a ratei de numărare de întuneric. În continuare, pentru prototipul P2, a fost investigată influența diferitelor rate de curgere a gazului asupra evoluției postiradiere a valorilor curentului și ratei de numărare de întuneric, pentru un amestec de gaz de $97.5\%C_2H_2F_4 + 2.5\%SF_6$. Așa cum se observă în figura 10 și cum era

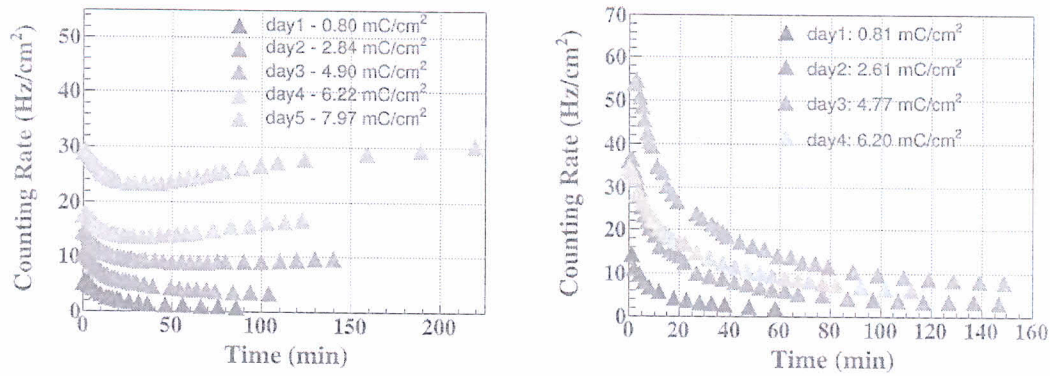


Figure 9: Rata de numărare de întuneric pentru prototipul P3(stânga) și P2 (dreapta) măsurate după expuneri succesive la fluxul de raze X (~ 7 h), întrerupte de perioade de relaxare (~ 17 h).

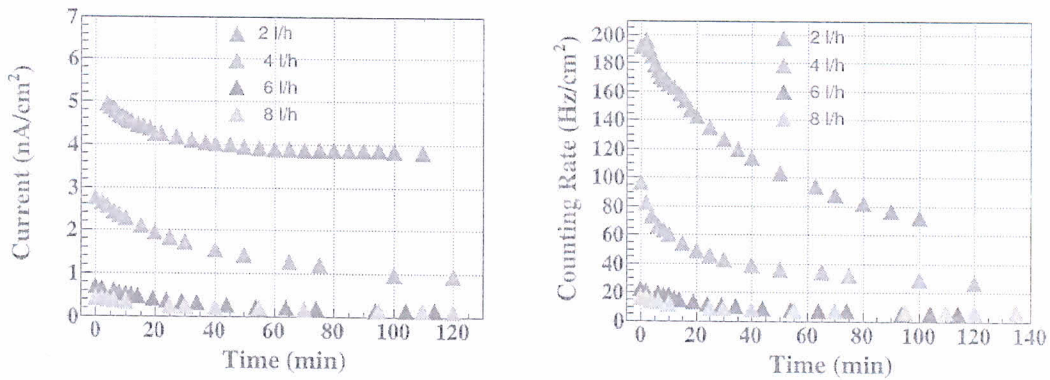


Figure 10: Curentul (stânga) și rata de numărare (dreapta) măsurate pentru prototipul P2 la diverse rate de curgere a gazului.

de așteptat, o rată mai mare de curgere a gazului duce la reducerea valorilor curentului și a ratei de numărare de întuneric. Aceste rezultate confirmă efectul de poluare a gazului de lucru cu compuși chimici rezultați din reacțiile chimice produse în plasma dezvoltată sub efectul densității mari de ionizare produsă de fluxul intens de radiații X, și nu un efect de îmbătrânire a sticlei speciale de rezistivitate joasă din care sunt realizați electrozii rezistivi. Trebuie subliniat că se observă de asemenea o saturare a efectului pozitiv al creșterii ratei de curgere a gazului, deoarece la rate de curgere mai mari de 6 l/h nu se mai produc îmbunătățiri. În pasul următor a fost adăugat în amestecul de gaz o concentrație de 5% izobutan (iso- C_4H_{10}), scăzând concentrația de R134a ($C_2H_2F_4$) la 92.5% și păstrând cei 2.5% SF_6 . Așa cum se poate vedea în figura 11, atât curentul cât și rata de numărare de întuneric au valori mai mici pentru amestecul de gaz ce conține izobutan, fiind cunoscut că adăugarea unei mici cantități de izobutan contribuie la îmbunătățirea operării stabile a detectorilor cu electrozi rezistivi, deoarece izobutanul are o secțiune mari de absorbție a fotonilor UV rezultați din procesele de recombinare în plasma ionizată [19]. Așa cum se observă în figura 12, curentul și rata de numărare de întuneric sunt aproximativ aceleași pentru o rată de curgere de 4 l/h fără izobutan și o rată de curgere de 2 l/h cu izobutan. Ușoara diferență observată între

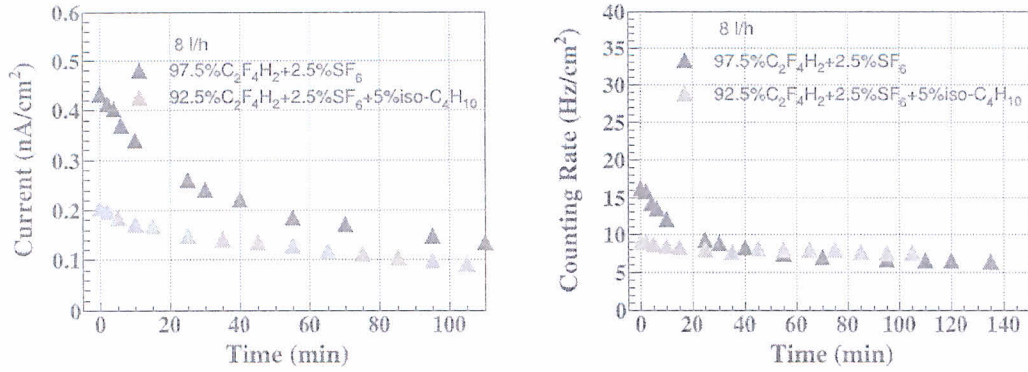


Figure 11: Curentul (stânga) și rata de numărare (dreapta) măsurate pentru prototipul P2 la 8 l/h rată de curgere a gazului, cu și fără izobutan în amestecul de gaz de operare.

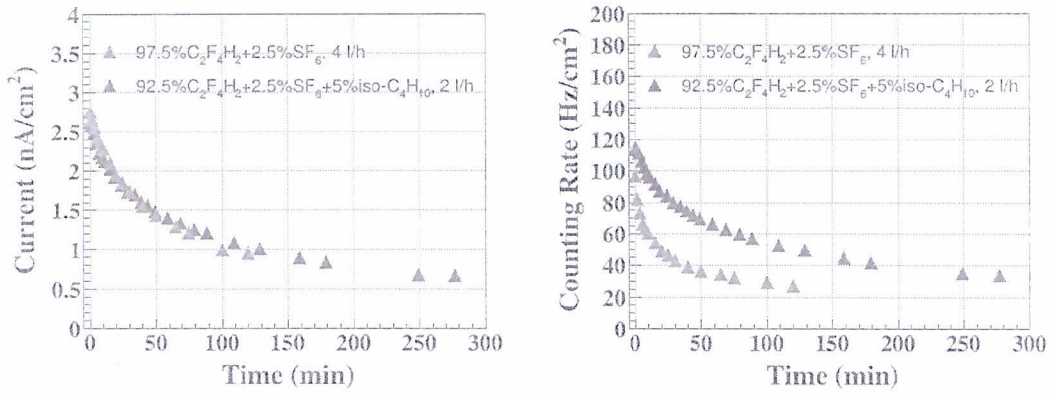


Figure 12: Curentul (stânga) și rata de numărare (dreapta) măsurate pentru prototipul P2 la 4 l/h rată de curgere a gazului fără izobutan și la 2 l/h cu izobutan în amestecul de gaz de operare.

ratele de numărare de întineric poate fi datorată faptului că mai multe semnale trec peste pragul electronicii front-end, pentru operarea cu un amestec de gaz ce conține izobutan (care de asemenea contribuie și la creșterea amplitudinii semnalului), în timp ce pentru celălalt amestec de gaz unele pulsuri de amplitudine mică rămân sub prag.

După încheierea testelor de îmbătrânire, semnalele furnizate de detectorul echipat cu electronica front-end au fost introduse în convertori digitali de timp TDC CAEN V1290N, iar triggerul sistemului de achiziție a fost semnalul de OR al tuturor stripurilor, format așa cum a fost descris anterior (operare în mod autotriggerare). Pe baza diferenței de timp înregistrate la cele două capete ale fiecărui strip, a fost reconstituită poziția de-a lungul stripului (coordonata y) a avalanșelor de sarcină dezvoltate în detector, în timp ce poziția în coordonata x a fost dată de numărul stripului cu semnal. Reprezentarea bidimensională (2D) și tridimensională (3D) a poziției de-a lungul stripului în funcție de numărul stripului prezentată în figura 13, arată, așa cum era de așteptat, că sursa ratei de numărare de întineric mari înregistrată o reprezintă distanțorul adițional poziționat pe mijlocul detectorului. Rezultatele obținute vor fi folosite pentru a optimiza arhitectura detectorului, compoziția și rata

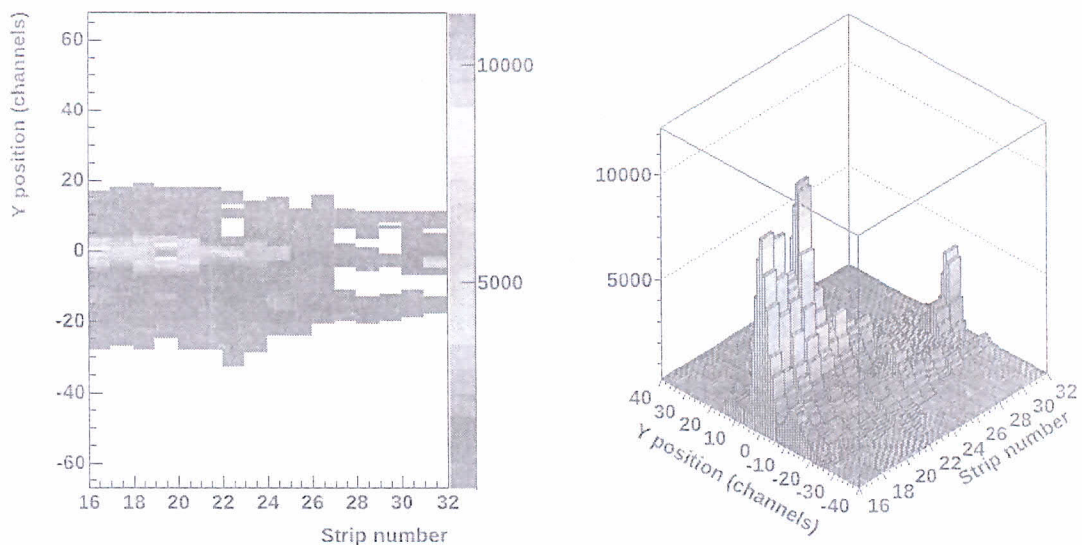


Figure 13: Corelația dintre poziția de-a lungul stripului în funcție de numărul stripului, în reprezentare bidimensională - 2D (stânga) și tridimensională - 3D (dreapta)

de curgere a gazului de operare astfel încât sa se minimizeze efectele de îmbătrânire.

6 Concluzii

Au fost asamblate și testate cu succes două prototipuri de detectori MSMGRPC cu curgere directă a gazului de operare în spațiile de detecție dintre electrozii rezistivi. Performanțele demonstrate de prototipul P1 în termeni de eficiență și rezoluție temporală în condiții de operare reale la acceleratorul SIS18, cu produși de reacție rezultați din interacția unui fascicul de ^{16}O cu o țintă de Ni, în aranjamentul experimental mCBM de la acceleratorul SIS18 de la GSI Darmstadt, au fost similare cu cele obținute cu detectorii MSMGRPC cu schimb de gaz prin difuzie. Pentru o operare adecvată pe termen lung a prototipurilor de detectori MSMGRPC în fluxuri mari de particule încărcate, atât valorile curentului cât și ale ratei de numărare de întineric trebuie menținute cât mai mici posibil, pentru a menține performanțele detectorului pe durata timpului de viață al experimentului.

Studiile de îmbătrânire realizate folosind fluxuri intense de radiații X au demonstrat îmbunătățirile aduse asupra curentului și a ratei de numărare de întineric de o rată mai mare de curgere a gazului, cu un efect de saturare la o rată de curgere de 6 l/h. Un efect benefic a fost obținut prin adăugarea a unei concentrații de 5% de izobutan în amestecul de gaz de lucru. Folosirea amestecului conținând izobutan a condus la o reducere atât a curentului cât și ale ratei de numărare de întineric, pentru o rată dată de curgere a gazului. De asemenea, s-a arătat că amestecul de gaz de operare conținând izobutan permite operarea detectorului la o rată de curgere mai mică (reduce consumul de gaz) pentru aceleași valori ale curentului și a ratei de numărare de întineric.

Rezultatele obținute demonstrează că detectorii MSMGRPC cu curgere directă îndeplinesc cerințele impuse de subdetectorul CBM-TOF atât în termeni de performanțe cât și în ce privește minimizarea efectelor de îmbătrânire datorate operării îndelungate în experiment.

Pe baza experienței acumulate în asamblarea prototipurilor MSMGRPC, un manual de asamblare a acestor tipuri de detectori este în curs de elaborare.

Rezultatele prezentate în acest raport de etapă au fost:

- publicate în două articole in Nuclear Instruments and Methods A 2023:
 - Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 1045 (2023) 167621.
 - Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 1049, 2023, 168098.
- raportate la:
 - 41st CBM Collaboration Meeting, 6-10 March 2023, Darmstadt, Germany.
 - World Quantum Days in IFIN, 25 - 27 April 2023; <https://indico.nipne.ro/event/247/>

References

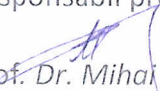
- [1] CBM Collaboration, Challenges in QCD matter physics - The scientific programme of the Compressed Baryonic Matter experiment at FAIR, Eur. Phys. J. A 53 (2017) 60. doi:10.1140/epja/i2017-12248-y.
- [2] CBM - TOF Collaboration, CBM-TOF TDR, October 2014.
URL <https://repository.gsi.de/record/109024>
- [3] I. Deppner et al., The CBM time-of-flight wall - a conceptual design, J. Instrum., 9 (2014) C10014. doi:10.1088/1748-0221/9/10/C10014.
- [4] M. Petrovici et al., Large - area glass-resistive plate chamber with multistrip readout, Nucl. Instrum. Meth. A, 487 (2002) 337. doi:10.1016/S0168-9002(01)02192-1.
- [5] E. Cerron Zeballos et al., A new type of resistive plate chamber: the Multigap RPC, Nucl. Instrum. Meth. A, 374 (1996) 132. doi:10.1016/0168-9002(96)00158-1.
- [6] CBM Collaboration, mCBM@SIS18, 2019. doi:10.15120/GSI-2019-00977.
- [7] M. Petris et al., High time resolution, two-dimensional position sensitive MSMGRPC for high energy experiments, Nucl. Instrum. Meth. A , 1045 (2023) 167621. doi:<https://doi.org/10.1016/j.nima.2022.167621>.
- [8] S. Gramacho et al., A long-run study of aging in glass timing rpcs with analysis of deposited material, Nucl. Instrum. Meth. A , 602 (2009) 775. doi:10.1016/j.nima.2008.12.133.
- [9] IRASM center/IFIN-HH, Bucharest.
URL <https://www.nipne.ro/IRASM.php>
- [10] D. Bartos et al., Ageing studies of multi-strip multi-gap resistive plate counters based on low resistivity glass electrodes in high irradiation dose, Nucl. Instrum. Meth. A 1024 (2022) 166122. doi:10.1016/j.nima.2021.166122.
- [11] H. Yasuda, New insights into aging phenomena from plasma chemistry, Nucl. Instrum. Meth. A 515 (2003) 15. doi:10.1016/j.nima.2003.08.125.

- [12] M. Petriş et al., Performance of the MSMGRPC with the Highest Granularity of the CBM-TOF Wall in Cosmic Ray Tests, *Romanian Journal of Physics* 66 (2021) 305.
- [13] J. Wang et al., Development of high-rate MRPCs for high resolution time-of-flight systems, *Nucl. Instrum. Meth. A* , 713 (2013) 40. doi:10.1016/j.nima.2013.02.036.
- [14] M. Petris et al., High time resolution, two-dimensional position sensitive MSMGRPC for high energy experiments, *Nucl. Instrum. Meth. A* , 661 (2012) S129. doi:doi:10.1016/j.nima.2010.09.162.
- [15] M. Petrovici et al., High counting rate, two dimensional position sensitive timing RPC, *J. Instrum.*, 7 (2012) P11003. doi:10.1088/1748-0221/7/11/P11003.
- [16] D. Bartos et al., A method to adjust the impedance of the transmission line in a Multi-strip Multi-gap Resistive Plate Counter, *Romanian Journal of Physics* 63 (2018) 901.
- [17] AMPTEK mini-X ray tube.
URL <https://www.amptek.com/products/mini-x2-x-ray-tube>
- [18] F. Anghinolfi et al., NINO: An ultra-fast and low-power front-end amplifier/discriminator asic designed for the multigap resistive plate chamber, *Nucl. Instrum. Meth. A* , 533 (2004) 183. doi:10.1016/j.nima.2004.07.024.
- [19] Manisha et al., Development and characterization of single gap glass rpc, *Nucl. Instrum. Meth. A* , 840 (2016) 128. doi:10.1016/j.nima.2016.10.005.

6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului (se vor preciza stadiul de implementare a proiectului, gradul de indeplinire a obiectivului cu referire la tintele stabilite si indicatorii asociati pentru monitorizare si evaluare).

Implementarea proiectului decurge conform schemei de realizare. Obiectivul a fost indeplinit in totalitate, tintele stabilite si indicatorii asociati pentru monitorare si evaluare au fost atinsi, asa cum reiese din capitolul concluzii al rezumatului fazei.

Responsabil proiect


Prof. Dr. Mihai PETROVICI

