

Titlul fazei : Masuratori de laborator pentru determinarea rezolutiei de pozitie a detectorului TRD dezvoltat pentru experimentul CBM de la FAIR folosind dispozitivul de scanare automata din dotarea DFH

Proiect : PN 09 37 01 03

Data : 15.09.2015

Cuprins

Introducere.....	1
Aranjamentul experimental pentru masurarea rezolutiei de pozitie.....	1
Metoda de masurare a rezolutiei de pozitie in lungul firelor anodice si efecte sistematice.....	2
Masurarea pozitiei perpendicular pe firele anodice si limitari ale acesteia.....	6
Concluzii.....	7

Introducere

In cadrul experimentului **CBM** (*Compressed Baryonic Matter*) ce urmeaza a se construi la noul accelerator de particule **FAIR** (*Facility for Antiproton and Ion Research*) de la Darmstadt – Germania un rol important il va juca detectorul cu radiatie de tranzitie (**TRD** – *Tranzition Radiation Detector*). Cercetarile raportate aici fac parte dintr-un program de C&D pentru acesta, programat pe o durata mai lunga din care au fost deja raportate progrese in cadrul fazelor de contract PN 09 37 01 03 din 15.09.2013 si 15.09.2015. In cadrul rapoartelor anterioare s-au facut referiri la caracteristicile electronicii front-end (FEE) si la performantele de reconstructie ale energiei depuse in detector folosind surse radioactive de ^{55}Fe .

Prezentul raport conduce investigatiile asupra prototipului mai departe, catre telul final al acestuia i.e. masurarea pozitiei incidente a radiatiei cu precizie de sute de microni, simultan in doua directii perpendiculare. Pentru realizarea masuratorilor s-a folosit un dispozitiv de scanare automata in coordonate care a fost deasemenea prezentat intr-un raport anterior (vezi PN 09 37 01 03 din 15.09.2013)

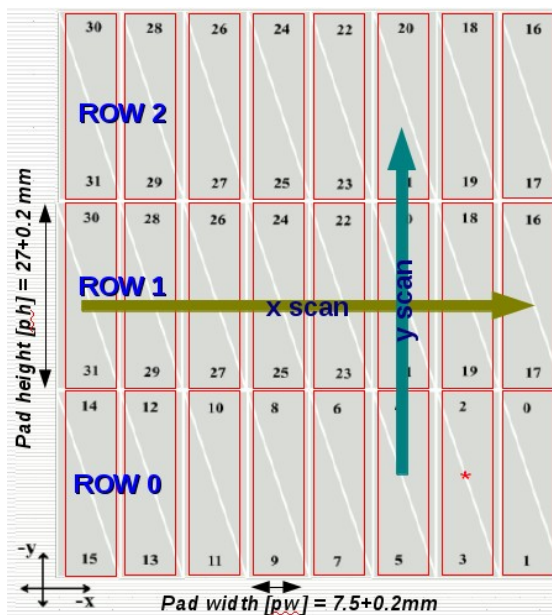


Fig 1: Reprezentare schematica a zonei scanate a detectorului TRD cu pad-uri triunghiulare

Aranjamentul experimental pentru masurarea rezolutiei de pozitie

Prototipul TRD construit in DFH precum si caracteristicile sale constructive au fost prezentate anterior motiv pentru care nu vor mai fi repetate aici. In Fig. 1 este prezentat schematic arhitectura electrozodului de citire a semnalelor operata precum si directiile principale de scanare ale acestuia. Geometria de pad-uri triunghiulare este figurata (zonele gri) si deasemenea gruparea lor pe coloane rectangulare (rosu) cu dimensiunile 7.7 mm latime si 27.2 mm lungime. Detectorul a fost echipat cu electronica pe 3 randuri, fiecare rand avand 16 pad-uri. Aceasta geometrie a fost aleasa in scopul de a folosi randurile marginale ca veto pentru evenimentele continute in intregime in randul median si astfel a asigura o reconstructie completa a semnalului. Pe schema sunt deasemenea figurate directiile de scanare: pentru masuratori in lungul

firelor anodice (notatie "x") s-a ales randul median chiar la jumatatea pad-urilor iar pentru scanare perpendicular pe firele anodice (notatie "y") s-a ales coloana 6, scanul facandu-se de la limita inferioara la cea superioara (cf. Fig. 1) a randului "row1".

Dispozitivul de scanare are posibilitatea de a misca bratul cu un pas de 1mm pe ambele directii de scanare. Acesta a fost echipat cu o sursa de ^{55}Fe colimata la 1mm pentru masuratori "punctuale" si necolimata pentru masuratori uniforme.

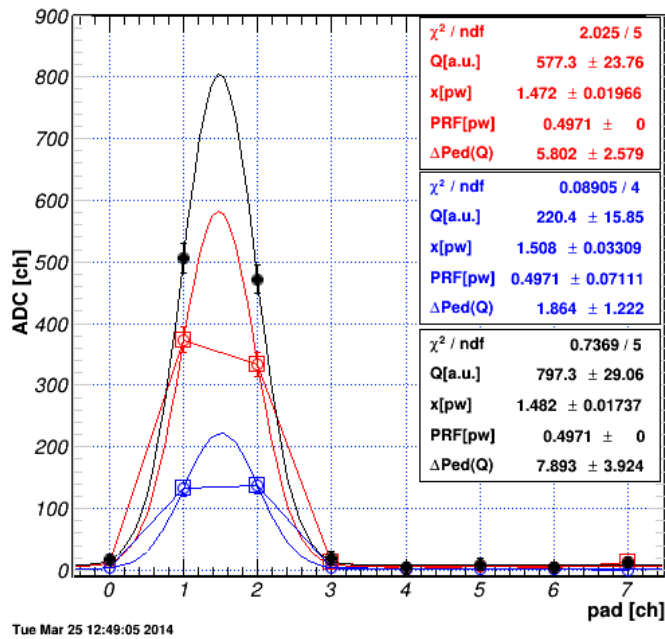


Fig 2: Metoda de reconstructie a clusterilor TRD cu calibrarea dinamica a pedestalului

"x" in unitati de latime de pad (engl. pad width i.e. pw), largimea clusterului PRF (engl. pad response function) deasemenea in unitati de latime de pad si valoarea pedestalului dinamic dPed. Calibrarea dinamica a pedestalului este necesara datorita unor limitari ale FEE asa cum s-a aratat in rapoartele anterioare.

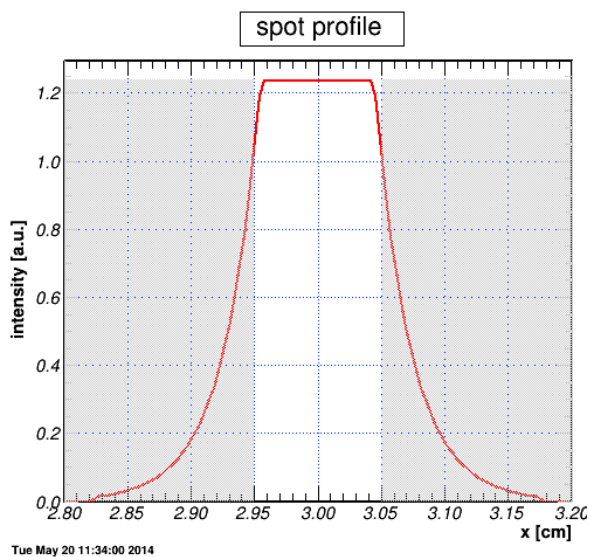


Fig 3: Imaginea sursei de ^{55}Fe pe detector in care sunt evidentiate zonele de iluminare directa si cea de penumbra

Pe directia perpendiculara pe detector sursa a fost asezata langa fereastra de intrare a zonei de drift in primul caz - pentru a se obtine o pata de ionizare cat mai ingusta in detector sau la o distanta mare (30-40 cm) pentru al doilea caz.

In Fig. 2 este prezentata metoda de reconstructie a clusterilor TRD (secvente succesive de pad-uri pe eveniment) in lungul firelor anodice cu calibrarea dinamica a pedestalului. Semnalul inregistrat pe 5 pad-uri dreptunghiulare (i.e. 10 pad-uri triunghiulare) – notate "pad" in figura pe abscisa – in lungul unui rand este fitat cu o functie Gauss pe un pedestal constant. In Fig. 2 Este prezentat un cluster inregistrat in 2 randuri adiacente (curba rosie si cea albastra) precum si suma lor (curba neagra). Parametrii obtinuti din fit reprezinta sarcina totala depusa in unitati arbitrare (i.e. a.u.) "Q" pozitia clusterului

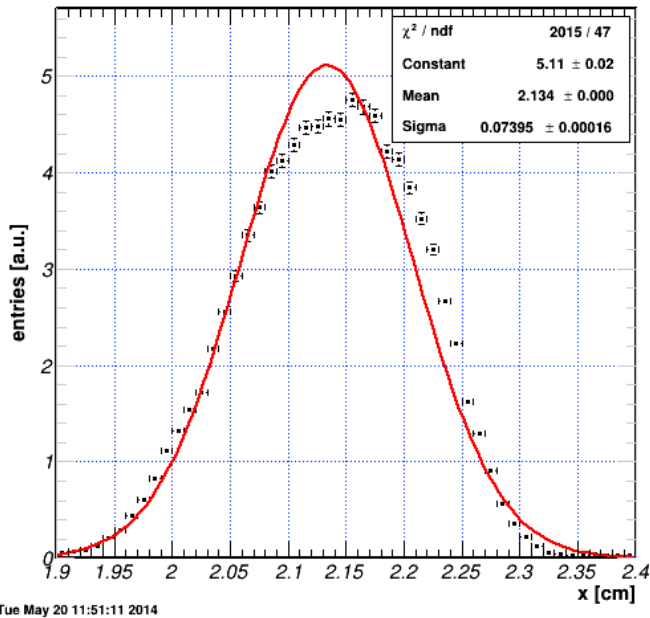
Astfel pentru fiecare pozitie a sursei se obtine o distributie de pozitii pentru clusterii reconstructi. In cadrul reconstructiei toate calibrarile necesare (pedestal si gain) au fost incluse conform procedurilor descrise in rapoartele anterioare.

Metoda de masurare a rezolutiei de pozitie in lungul firelor anodice si efecte sistematice

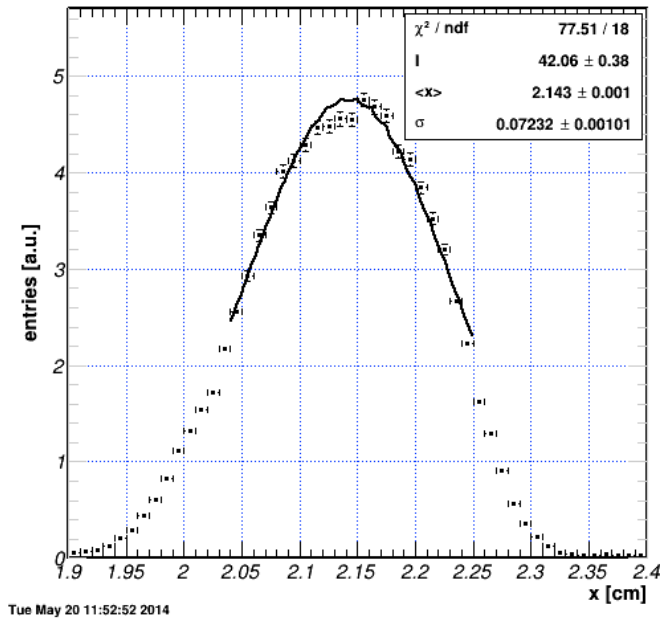
Datorita dimensiunii finite a colimatorului si geometriei sursei, imaginea geometrica a acesteia pe detector poate fi descrisa de distributia din Fig. 3. In aceasta figura este prezentata zona iluminarii directe de 1mm latime dar si zona de penumbra provenita din geometria monturii (zona hasurata).

Imaginea reconstruita de TRD a sursei folosind distributia pozitiei clusterilor cf. algoritmului prezentat in Fig. 2 arata ca in figurile Fig. 4 si Fig.

5 pg. 3 (punctele negre). Aceasta distributie poate fi folosita pentru a extrage rezolutia observabilei "x". Pentru aceasta din distributia experimentală trebuie deconvolvate efectele care tin de sursa de cele care tin de detector. Pentru aceasta s-au incercat doua metode de fit. Prima dintre acestea reprezinta un fit cu o singura distributie Gauss (vezi Fig. 4) iar cea de a doua, prezentata in Fig. 5, un fit cu o convolutie intre o distributie Gauss (reprezentand rezolutia detectorului) si profilul geometric al sursei (vezi Fig. 3). Dupa cum se observa comparand raportul χ^2/NDF din cele doua figuri al doilea fit descrie mai bine datele iar interpretarea rezultatelor este imediata.



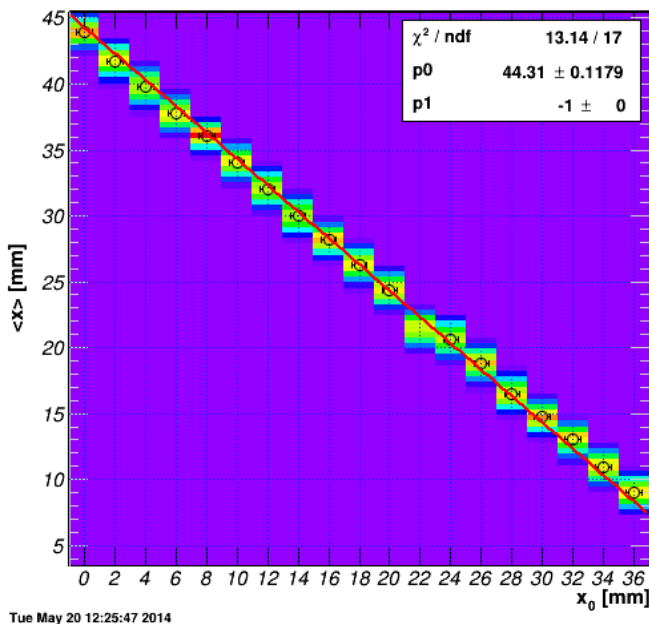
Tue May 20 11:51:11 2014



Tue May 20 11:52:52 2014

Fig 4: Imaginea sursei vazuta prin detectorul TRD fit-ata cu o distributie Gauss

Fig 5: Imaginea sursei vazuta prin detectorul TRD fit-ata cu o distributie Gauss convolutata cu profilul imaginii sursei



Tue May 20 12:25:47 2014

Fig 6: Corelatia dintre pozitia masurata cu detectorul TRD (ordonata) si pozitia scannerului (abscisa) in mm

In Fig. 5 parametrii fitului dau pozitia centroidului acestuia " $\langle x \rangle$ " si valoarea rezolutiei TRD " σ " in cm. Folosind facilitatea dispozitivului de scanare pentru masuratori cu pas constant am realizat o scanare uniforma cu pas de 2 mm in lungul firelor anodice a zonei operate a detectorului TRD folosind procedura descrisa anterior. Pentru fiecare pozitie a sursei s-a realizat un spectru similar celui din Fig. 5. Rezultatele cumulate pentru toate masuratorile sunt prezentate in Fig. 6. Codul de culoare reprezinta numarul de date masurate pentru fiecare pereche ($\langle x \rangle$, x_0) in ordine crescatoare de la mov la rosu. Simbolurile deschise sunt valorile medii ale parametrului $\langle x \rangle$ (determinat conform procedurii din Fig. 5) obtinute pentru fiecare pozitie a scanner-ului. Zona din detector scanata acopera o suprafata echivalenta cu 5

pad-uri rectangulare. Valorile medii au fost fit-ate cu un polinom de grad 1 cu panta -1 (linia rosie in Fig. 6) pentru a descrie corelatia dintre cele doua masuratori.

O privire mai atenta asupra distributiei reziduale δx dintre valorile medii ale masuratorile TRD

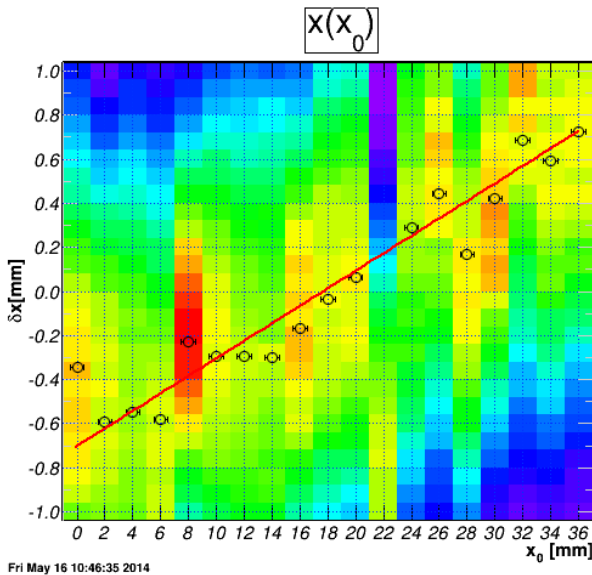


Fig 7: Eroarea sistematica a dispozitivului de scanare care genereaza o abatere cumulata de 1.4mm pentru o distanta de 36mm parcursa in 18 pasi de 2mm

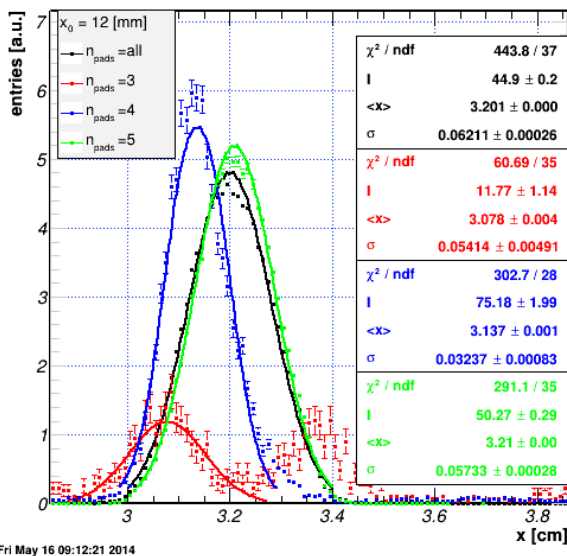


Fig 8: Exemplificarea dependentei sistematice a pozitiei reconstruite de cluster size pentru 3 (rosu), 4 (albastru) si respectiv 5 (verde) pad-uri fata de distributia globala (negru)

si fit-ul linear pentru fiecare pozitie scanata dovedesc o abatere sistematica de 80 micrometri la fiecare pas al scannerului de 2mm conform rezultatelor prezentate in Fig. 7 (codul de culoare da valoare popularii fiecarei perechi (δx , x_0), in ordine crescatoare de la mov la rosu). Este de mentionat ca acest rezultat nu afecteaza masuratorile de rezolute pentru TRD dar au o valoare indirecta prin faptul ca prototipul isi dovedeste capacitatea de a corecta erori de acest tip (i.e. ale unui dispozitiv independent) pentru valori sub 100 micrometri.

Un studiu atent al performantei in rezolutia de pozitie a fost facut pentru fiecare masuratoare in parte in ceea ce priveste dependenta acestora de detaliile de reconstructie a clusterilor TRD. Astfel, in functie de energia depusa si de pozitia microscopica a sarcinii amplificate la anodi numarul si distributia canalelor/pad-urilor cu semnal variaza. Global aceasta variabilitate este masurata de observabila "dimensiune a clusterului" (engl. cluster size) i.e. numarul de pad-uri dreptunghiulare cu semnal pentru un cluster dat. Pentru a pozitie a fascicolului acesta poate varia intre 2 si 5. In Fig. 8 este prezentat un astfel de exemplu. In aceasta reprezentare se observa ca distributia globala (curba neagra) este deconvolutata in distributii individuale in functie de cluster size. In figura sunt exemplificate componentele pentru 3 pad-uri (curba rosie), 4 pad-uri (curba albastru) si respectiv 5 pad-uri (curba verde). Fiecare din aceste curbe sunt modelate cu ajutorul functiei din Fig. 5 pg. 3 iar parametrii modelului sunt deasemenea reprezentati in figura folosind codul de culoare corespunzator. Fiecare curba este normata la o valoare comuna, arbitrara, pentru a se pune in evidenta dependenta spectrala a acestora independent de numarul de evenimente masurate individual pentru fiecare in parte. Se observa o dependenta neneglijabila a valorii medii $\langle x \rangle$ reconstruite pentru fiecare configuratie ca urmare a variatiei dimensiunii clusterului datorata atat efectelor sistematice de reconstructie (vezi modelul reconstruitei clusterului in Fig. 2 pg. 2) cat si a neuniformitatii intre diferite canale de

semnal. Un exemplu dramatic este prezentat in selectia pentru 3 clusteri – curba rosie - (semnale mici care excita maxim 3 pad-uri rectangulare) in care se observa aparitia unei dedublari a imaginii reconstruite a sursei (pozitionata conform figurii la $x_0 = 12 \text{ mm}$) cu o distanta relativa intre ele de aproximativ 3 mm . Corectarea acestor defecte de reconstructie nu va fi prezentata aici ea facand subiectul unei cercetari dedicate. Pentru moment aceste efecte sunt incorporate in notiunea de "rezolutie" care astfel se deterioreaza de la o valoare de 323.7 microni pentru $n_{pads}=4$ (cf. Fig. 8 pg. 4 si parametrilor de fit inclusi in figura) la o valoare de 621.1 microni care se obtine pentru distributia integrala (cf. Aceleasi figuri si indicatii incluse – curba/text negru).

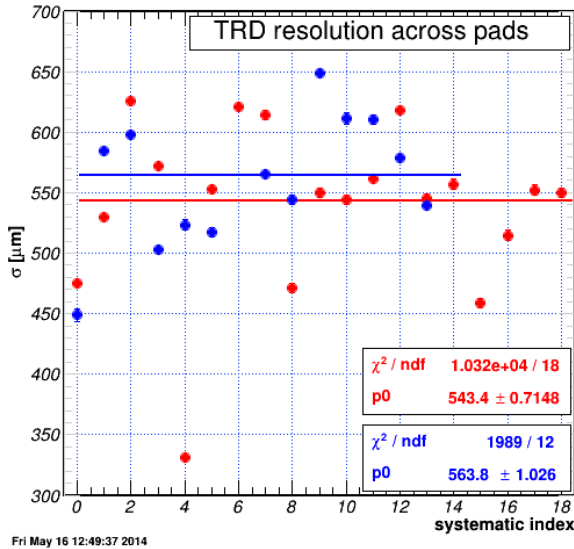


Fig 9: Dependenta sistematica a rezolutiei de pozitie masurata in lungul firelor anodice pentru o scanare in lungul firelor anodice (curba rosie) si respectiv perpendicular pe acestea (curba albastra) si valorile medii ale acestora. Fiecare masuratoare este marcata ca index, distanta absoluta dintre 2 indexi fiind de 2 mm cf. Fig. 6

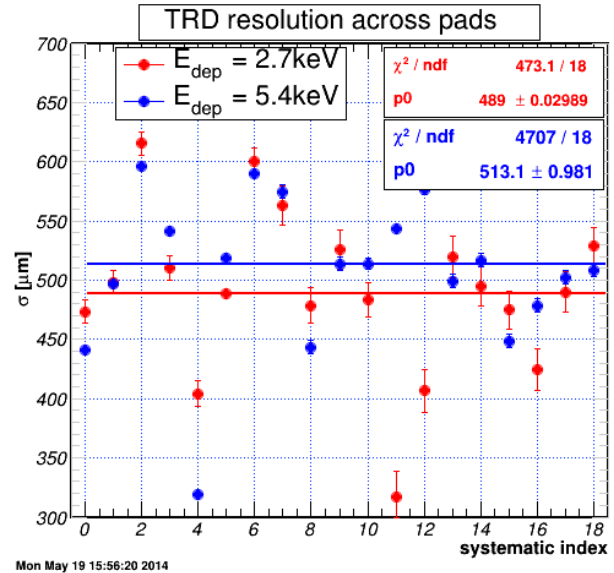


Fig 10: Dependenta sistematica a rezolutiei de pozitie masurata in lungul firelor anodice pentru o scanare in lungul firelor anodice la o energie depusa in detector de 2.7 keV (curba rosie) si respectiv 5.4 keV (curba albastra) si valorile medii ale acestora. Fiecare masuratoare este marcata ca index, distanta absoluta dintre 2 indexi fiind de 2 mm cf. Fig. 6

In final vom prezenta 2 rezultate sumative legate de studiul nostru privind dependenta rezolutiei de pozitie de pozitia in detector unde este ea masurata (vezi Fig. 9) si in functie de energia depusa in detector pentru acelasi set de masuratori in lungul firelor anodice (vezi Fig. 10). In ambele figuri se observa o variatie larga a rezultatelor in intervalul aproximativ $300 - 650 \text{ microni}$, fara a se putea identifica la acest nivel o sursa sistematica, corectabila, a acestor variatii. In cele doua figuri sunt indicate valorile medii ale fiecarei dependente in parte folosind codul de culoare corespunzator. Calculand RMS-ul distributiei valorilor rezolutiei in jurul valorilor medii in fiecare caz se pot trage urmatoarele concluzii statistice. Pentru Fig. 9 o eroare sistematica de $127.86 \mu\text{m}$ se poate atribui dependentei in lungul firelor anodice (curba rosie) ca urmare a variatiilor de la pad la pad si $118.36 \mu\text{m}$ pentru directia perpendiculara pe acestea (curba albastra). Rezolutia finala a detectorului in aceste conditii (din adunarea patrata a contributiilor statistice si sistematic) este de aproximativ $570 \mu\text{m}$ pentru masuratori in lungul firelor anodice. Acest rezultat este mult inferior valorii tinta a prototipului dar aici trebuie considerat faptul ca rezolutia intrinseca a dispozitivului de masurat (dispozitiv de scanare si sursa colimata la 1 mm) are o contributie neneglijabila care nu poate fi in intregime estimata prin modelul de fitare. Importanta acestor masuratori rezida insa in folosirea

combinata a 2 sisteme de masura a pozitiei total diferite (detectorul TRD si dispozitivul de scanare) si astfel controlarea/calibrarea ambelor prin inregistrarea efectelor lor sistematice precum si prin extinderea caracterizarii prototipului TRD in zone diferentiale (dependenta rezolutiei de pozitiei de canalele de citire, de cluster size, de energia incidenta sau de tipul de scanare respectiv perpendicular sau in lungul firelor). Identificarea si corectarea acestor efecte sistematice este esentiali pentru caracterizarea completa a unui astfel de dispozitiv cum este detectorul TRD care in cadrul operarii in experiment vor fi calibrati si astfel echilibrati.

Masurarea pozitiei perpendicular pe firele anodice si limitari ale acesteia

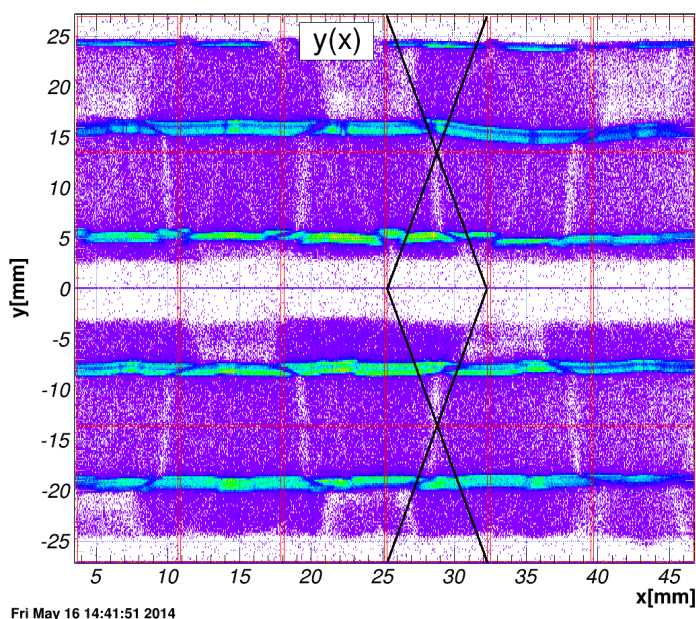


Fig 11: Corelatia dintre pozitia masurata in lungul firelor anodice (x) si cea masurata perpendicular pe acestea (y) pentru clusteri inregistrati pe 2 randuri de pad-uri

selectate doar evenimentele care au furnizat semnal pe 2 randuri (pentru a se putea reconstrui pozitia pe y din charge sharing) si in plus pentru fiecare rand in parte s-a reconstruit un cluster, s-a calculat pozitia acestuia conform procedurii descrise anterior si s-au considerat ca provenind dintr-o singura ionizare doar acele evenimente pentru care distanta dintre pozitia reconstruita in lungul firelor anodice (" x ") pe cele 2 randuri sa nu depaseasca o jumatate din latimea pad-ului (respectiv 3.5 mm). In aceste conditii s-a inregistrat imaginea prezentata in Fig. 11. Pe figura sunt deasemenea suprapuse limitele geometrice ale pad-urilor dreptunghiulare cu culoarea rosie. Ceea ce se observa in aceasta figura este ca spre deosebire de variabila x , variabila y nu are o dependenta continua observandu-se clar maxime pronuntate la frontiera dintre randuri (y aproximativ -20 si -7 mm pentru trecerea de la randul 0 al randul 1 – cf. notatiilor din Fig. 1 - si 5 respectiv 15 mm pentru trecerea de la randul 1 la 2). Aceasta observatie demonstreaza limitarile de masurare a pozitiei cu aceasta tehnologie.

Folosind facilitatea dispozitivului de scanare pentru masuratori cu pas constant am realizat o scanare punctuala a zonei operate a detectorului TRD perpendicular pe firele anodice (scan-ul descris in Fig. 9 curba albastra) in care s-a urmarit de aceasta data reconstruirea pozitie perpendicular pe firele anodice – deci ortogonal directiei monitorizate pana acum. Reamintim ca acest detector a fost construit special pentru a putea furniza informatii de pozitie pentru ambele directii prin proiectarea planului de pad-uri in geometria de triunghiuri (vezi Fig. 1 pg. 1). Data fiind posibilitatea de a citi semnalul de pe 3 randuri de pad-uri am studiat dependenta sistematica a raportului dintre sarcinile totale colectate pe fiecare rand pentru 2 cazuri. In prima varianta detectorul a fost iluminat global cu sursa de ^{55}Fe folosindu-se o apertura larga (4.5 mm) situata la distanta mare (35 cm) de detector (in aer). Au fost

In a doua varianta s-a scanat zona de frontiera dintre 2 randuri de pad-uri cu un pas de 2mm folosindu-se colimatorul de 1mm pentru sursa de ^{55}Fe pentru a se urmari trecerea detectorului de la o configuratie de raspuns la cealalta. Corelatia dintre pozitia scanner/sursa – y_0 – si pozitia reconstruita in TRD – y – ambele exprimate in mm este prezentata in Fig. 12. Si in aceasta reprezentare se observa aparitia foarte pregnanta a zonelor de maxim indicate si in cazul iluminarii uniforme, dependenta de pozitia absoluta a scannerului y_0 facandu-se cuantificat prin parcurgerea celor 4 pozitii $y=-20, -7, 5$ si respectiv 15. Astfel este confirmata concluzia conform careia masuratorile pe directie perpendiculara pe firele anodice sunt calitativ diferite de cele in lungul firelor desi tehnica de reconstructie este similara. In primul caz acestea avand un caracter cuantificat dependent de geometria detectorului. Semnificatia valorilor numerice obtinute pentru variabila y in cazul celor doua tipuri de scanare a zonei active va face subiectul unui raport viitor.

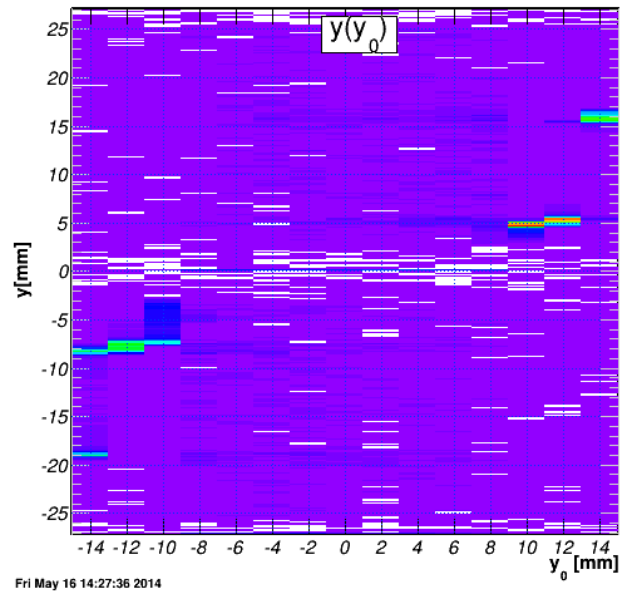


Fig 12: Scanarea pas cu pas (2 mm) a zonei de frontiera dintre 2 randuri de pad-uri - variabila y_0 si raspunsul detectorului y

Concluzii

In prezentul raport au fost continuate cercetarile cu privire la performantele prototipului TRD pregatit pentru experimentul CBM de la FAIR. Cercetarile au fost axate pe punerea in evidenta a unor efecte sistematice ce apar pentru reconstructia pozitiei atat in lungul firelor anodice – variabila x in prezentul raport – cat si perpendicular pe aceasta directie – variabila y . S-a folosit in acest scop dispozitivul de scanare automata aflat in dotarea DFH la care a fost atasata o sursa de ^{55}Fe colimata atat pentru iluminare uniforma cat si punctuala (apertura 1mm). S-au pus in evidenta pentru variabila x dependente sistematice care tin de cluster size, pozitia efectiva in lungul firelor anodice si energia depusa iar pentru variabila y tipul cuantificat al acesteia. S-a obtinut pentru rezolutia de pozitie a observabilei x o valoare de 570 micrometri in care trebuiesc incluse pe langa detectorul TRD si contributia neneglijabila a rezolutiei ansamblului de scanare.

Rezultatele raportate in aceasta faza au facut subiectul prezentarilor internationale urmatoare:

A. Bercuci et al.,

CBM Collaboration Meeting, 8-12 Septembrie 2014, Cracovia Polonia

A. Bercuci et al.,

CBM Collaboration Meeting, 20-24 Aprilie 2015, GSI Darmstadt Germania

A. Bercuci et al.,

CBM Physics Report 2014, p. 81, ISBN 978-3-9815227-2-3