

## Raport stiintific sintetic

Activitatile desfasurate in primul an al proiectului au vizat atat partea de analiza a datelor experimentale cat si dezvoltari fenomenologice si teoretice dupa cum urmeaza:

1. Distributii de impuls transvers pentru evenimente cu multiplicitate mare si aproape izotrope in ciocniri pp la 7 TeV in experimentul ALICE la LHC

a. Dependenta de multiplicitate a corectiei de eficienta

Corectitudinea construirii distributiilor de impuls transvers din datele experimentale este in mod esential conditionata de corectitudinea determinarii eficientei de reconstructie. De asemenea in studiile abordate in acest proiect se pune problema dependentei corectiei de eficienta de selectia dupa multiplicitate si forma evenimentului. De aceea, in cadrul studiilor privind particulele incarcate a fost determinata eficienta ca functie de multiplicitatea estimata din "global tracks" cu procedura de "weighting" si aceea ca functie de multiplicitatea combinata, pentru a determina care selectie este cea mai putin dependenta de multiplicitate in raport cu datele de "minimum bias". In Figura 1 se poate vedea raportul dintre eficienta determinata in bini de multiplicitate si cea de la minimum bias.

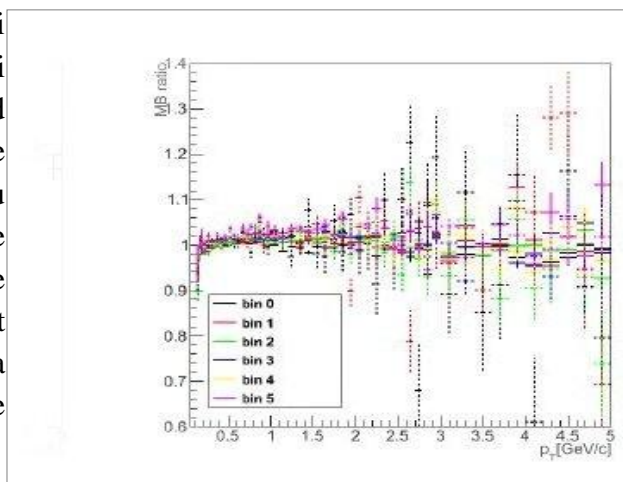


Fig. 1

b. Estimarea contaminarii distributiilor din dezintegrarile slabe si interactiile secundare cu materialul detectorului

O alta corectie esentiala in determinarea distributiilor de impuls transvers este aceea care se face pentru a elimina contaminarea datorata emisiei ca urmare a dezintegrarilor slabe si cea datorita interactiei particulelor primare cu materialul detectorului. In studiile noastre este foarte importanta estimarea dependentei acestei corectii de multiplicitate si forma evenimentului. Au fost facute estimari ale contributiei acestor procese pentru distributiile de impuls transvers ale particulelor incarcate si ale particulelor incarcate pozitiv in diferiti bini de multiplicitate pentru multiplicitatea estimata din "global tracks" sau multiplicitatea combinata. Concluzia a fost ca aceste corectii nu depind de multiplicitate (cu exceptia binului corespunzand celei mai mari multiplicati care a fost investigata ulterior cu statistica mult mai mare) asa cum se poate

vedea din Fig. 2 (stanga- "global tracks", dreapta- multiplicitatea combinata).

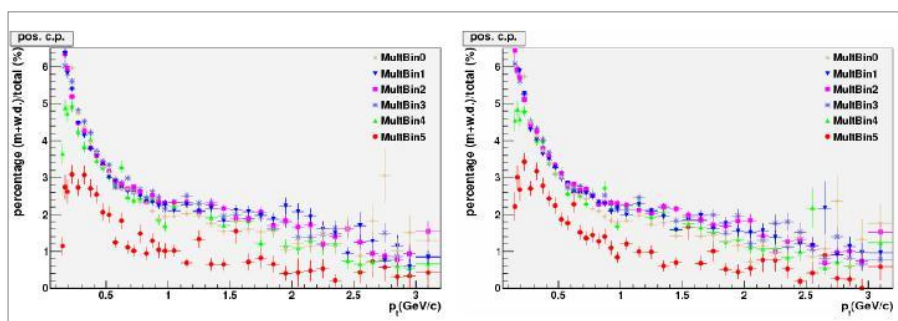


Fig. 2

Aceste studii au fost raportate la intalnirile grupului de fizica din cadrul Colaborarii ALICE din care facem parte si in doua note interne ALICE.

2. Dependenta de centralitate a densitatii de particule incarcate la mid-rapiditate in ciocniri cu ioni grei relativisti-scalarea in energie

Una dintre observabilele care sunt sensibile la mecanismul de producere de particule si structura partonica a obiectelor care se ciocnesc este densitatea de particule incarcate si dependenta sa de geometria ciocnirii. Exista informatie detaliata in ceea ce priveste dependenta de centralitate a densitatii de particule incarcate la midrapiditate in ciocnirile A+A incepand de la energiile AGS, la SPS si pana la RHIC. La energiile SPS si AGS, in limita erorilor sistematice, densitatea de particule incarcate normata  $dN_{ch}/d\eta/(0.5N_{part})$  este destul de constanta ca functie de centralitate, adica  $N_{part}$ , estimat pe baza modelului Glauber. Desi dependenta formei  $dN_{ch}/d\eta/(0.5N_{part})$  de  $N_{part}$  este destul de asemanatoare la 130 si 200 GeV, se poate observa o usoara crestere a densitatii de particule incarcate de la ciocnirile periferice la cele centrale. Aceasta comportare este destul de intensificata la energia LHC de 2.76 TeV unde datele publicate de ALICE, ATLAS si CMS sunt in acord remarcabil. Asa cum este de asteptat si confirmat de modelul Glauber Monte Carlo in ciocniri foarte periferice, unde cele doua zone de difuzie ale celor doua nuclee in ciocnire se suprapun, au loc cu preponderenta ciocniri binare si deci densitatea de particule incarcate normata ar trebui sa aiba aceeasi valoare ca si densitatea de particule incarcate in ciocniri inelastice nucleon+nucleon. Pe baza masuratorilor de la ISR, RHIC si LHC pentru ciocnirile p+p se pot obtine factorii de scalare  $(dN_{ch}/d\eta)^{pp 2.76 \text{ TeV}}/(dN_{ch}/d\eta)^{pp 0.2\text{TeV}}$  si  $(dN_{ch}/d\eta)^{pp 2.76 \text{ TeV}}/(dN_{ch}/d\eta)^{pp 0.0196\text{TeV}}$ . Pe baza modelului Glauber Monte Carlo s-au estimat factorii de scalare bazati pe numarul mediu de ciocniri suferite de nucleonii implicati in interactie:  $\langle N_{coll}^{2.76\text{TeV}} \rangle / \langle N_{coll}^{0.2\text{TeV}} \rangle$  si  $\langle N_{coll}^{2.76\text{TeV}} \rangle / \langle N_{coll}^{0.0196\text{TeV}} \rangle$  ca functie de  $N_{part}$ . Multiplicand densitatile de particule incarcate la 19.6 si 200 GeV normate, cu factorii descrisi mai sus, se obtin date care se compara cu rezultatele de la 2.76 TeV (Fig. 3). Astfel, o scalare cu energia a dependentei de centralitate a densitatii de particule incarcate la midrapiditate, bazata pe raportul dintre densitatea de particule incarcate in ciocniri inelastice pp si numarul mediu de ciocniri suferite de nucleonii atinsi la o centralitate data la energiile corespunzatoare, se arata ca fiind valabila in limita erorilor experimentale.

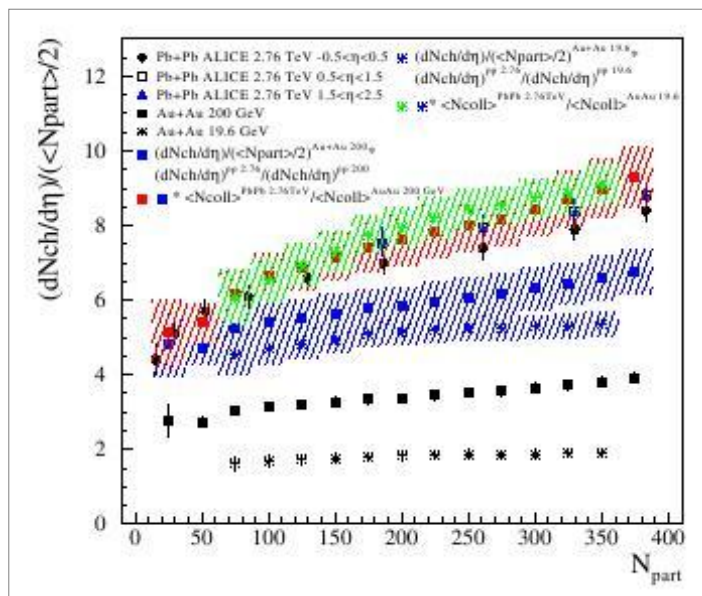


Fig. 3

3. Predictii pentru p+Pb la 5.02A TeV pentru a testa umbrirea nucleara din starea initiala la LHC

Modelele de tip Monte Carlo HIJING1.0, HIJING2.0 si HIJING/BB2.0 au fost dezvoltate pentru a studia producerea hadronilor in ciocniri p+p, p+A si A+A. Ele sunt esentialmente modele cu doua componente care descriu procesele "hard" si "soft". Producerea jeturilor se calculeaza folosind minijetul multiplu factorizat coliniar in cadrul pQCD. O taietura  $p_0$  trebuie introdusa in impulsul transvers rezultat in urma producerii

jetului final, sub a carui valoare interactia este considerata neperturbativa si e caracterizata de sectiunea partonica "soft". Rezidurile nucleonilor interactioneaza prin schimb de gluoni "soft" descris de modelele stringurilor. Perechile de jeturi "hard" produse si cele doua reziduri excitate sunt tratate ca stringuri independente care se fragmenteaza in rezonante care se dezexcita in hadronii finali. Fragmentarile stringului in jeturi depind puternic de valorile tensiunii stringurilor. In HIJING1.0 si HIGING2.0 se foloseste o constanta pentru valoarea efectiva a tensiunii stringului,  $k_0=1.0$  GeV/fm. La energie incidenta initiala mare fizica nucleara noua se datoreaza posibilitatii suprapunerii tubului de flux longitudinal multiplu care conduce la efecte tari ale campului de culoare longitudinal. Efectele campului de culoare tari sunt modelate in HIJING/BB2.0 variind valoarea tensiunilor stringurilor efective. Pentru a descrie datele din ciocniri p+p si Pb+Pb centrale la LHC s-a aratat ca trebuie luata in considerare o dependenta de energie si masa a valorii medii a tensiunii stringului. Toate modelele de tip HIJING implementeaza efecte nucleare cum ar fi modificarea nucleara a functiilor de distributie partonica, adica "shadowing" si "jet quenching" printr-un proces indus de rupere a partonilor in mediu. Daca in primele doua modele se foloseste o taiere constanta  $p_0=2$  GeV/c si o sectiune partonica "soft"  $\sigma_{\text{soft}}=54$  mb, in HIJING/BB2.0 pentru ciocnirile A+A s-a introdus o dependenta de energie si masa a parametrului de taiere  $p_0(s,A)$  la energiile RHIC si LHC pentru a nu viola limita geometrica pentru numarul total de minijeturi pe unitatea de arie transversa. Una dintre incertitudinile principale in calculul densitatii de multiplicitate de particule incarcate in ciocnirile Pb+Pb este modificarea nucleara a functiilor de distributie partonica, in special distributiile gluonice la x mici. In modelele de tip HIJING se presupune ca distributiile partonice intr-un nucleu sunt factorizabile intr-o distributie partonica in nucleon si factorul de umbrire partonic. In calculele facute aici se presupune ca efectul de umbrire pentru gluoni si quarci este acelasi, si se neglijeaza evolutia QCD. Au fost facute calcule ale  $dN_{\text{ch}}/d\eta$  si  $R_{\text{pPb}}$  ca functie de pseudorapiditate si ale  $(1/2\pi p_T)d^2N_{\text{ch}}/dp_T d\eta$  si  $R_{\text{pPb}}$  ca functie de  $p_T$  pentru  $|\eta|<0.8$  pentru minimum bias si centralitate 0-20% (Fig. 4 si 5) in ciocnirea p+Pb la 5.02 TeV.

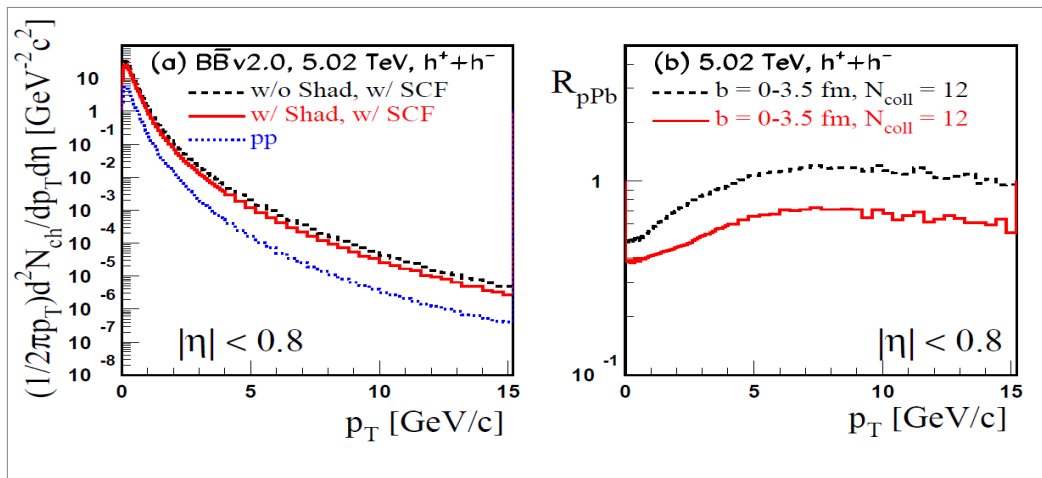


Fig. 4

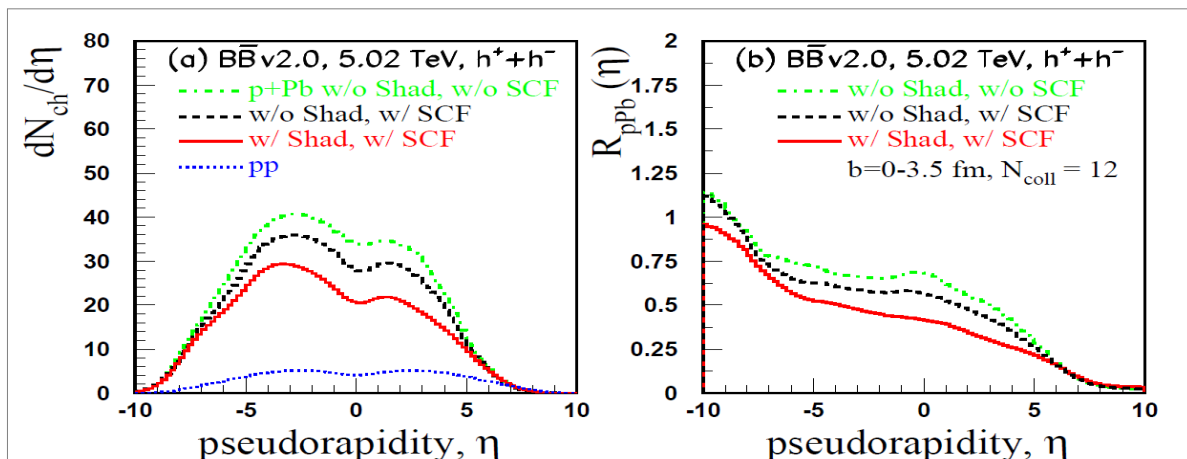


Fig.5

Astfel, chiar cu un esantion mic de  $10^6$  evenimente studiul  $R_{pPb}(p_T)$  sau al factorului de modificare nuclear central fata de periferic ( $R_{CP}(p_T)$ ) se poate da o constrangere definita asupra umbririi nucleare implementate in diferite modele inspirate de pQCD si modele CGC de saturatie, cu un impact mare asupra interpretarii rezultatelor obtinute in ciocniri nucleu-nucleu (Pb+Pb) la energiile LHC.

Activitatile desfasurate in al doilea an al proiectului au vizat continuarea analizei datelor experimentale obtinute folosind aranjamentul experimental ALICE de la LHC-CERN in interactia p + p la energia de 7 TeV, a dezvoltarilor fenomenologice si teoretice.

Au fost efectuate studii detaliate privind dependenta de multiplicitate a corectiilor ce trebuie aplicate spectrelor brute de impuls transvers pentru particulele incarcate si hadronii cu sarcina pozitiva identificati in vederea obtinerii spectrelor primare:

- *eficienta de reconstructie a traiectoriilor particulelor incarcate*
- *eficienta de potrivire in pozitie intre detectorul TPC si TOF*
- *eficienta de identificare a hadronilor cu sarcina pozitiva*
- *impuritati*
- *contaminari provenite din dezintegrarile slabe si din interactia particulelor incarcate cu materialul detectorului*
- *eficienta triggerului si de reconstructie a vertexului*

precum si a a erorilor sistematice provenite din:

- *reconstructia traiectoriilor*
- *metoda de obtinere a probabilitatilor de pornire in metoda Bayesian de identificare*
- *contaminarile din speciile de hadroni invecinati*
- *eficienta de identificare*
- *particulele secundare*

In Tabelul I, prima coloana, sunt prezentate domeniile de multiplicitate in care s-au efectuat analizele de spectre de moment transversal.

Combined	Generated (PYTHIA)		
	bin limits	Mean	Sigma
0 - 6	0 - 6	3.4	1.7
7 - 12	7 - 12	9.1	2.2
13 - 19	13 - 20	15.9	2.6
20 - 28	21 - 29	23.7	3.2
29 - 39	30 - 41	33.2	3.7
40 - 49	42 - 51	44.1	3.7
50 - 59	52 - 62	-	-
60 - 71	63 - 74	-	-
72 - 82	75 - 86	-	-

Tabel I

Tabelul II este o prezentarea sintetica a erorilor sistematice.

	standard	low	high	pions	kaons	protons	
MB	TPC clusters	70	60	80	0 - 4%	1 - 5%	0 - 3.5%
	TPC $\chi^2$	4	3	5	0.5 - 4%	0 - 6%	0 - 6%
	DCAz	2 cm	1 cm	3 cm	<1%	0.5 - 2%	0.5 - 1.5%
	Mismatch probability	<0.01	<0.009	<0.011	<1%	0.5 - 3.5%	1%
	TRD presence	all tracks	WITH TRD	WITHOUT TRD	1 - 6%	2 - 6%	1 - 4%
	Tracking		dedicated study		4%	4%	4%
	Matching		dedicated study		3%	6%	4%
	PID priors	MB	mult <6	mult >49	<1%	0.5 - 2%	0.5 - 2%
	PID purity	none	-	>80%	0.5 - 4%	2 - 12%	1 - 4%
	tracking efficiency				<1%	2%	1%
multiplicity bins	matching efficiency	MB	7 - 12	29 - 39	negligible	negligible	negligible
	PID efficiency				<1%	0 - 30%	0 - 2%
	misidentified				<1%	<1%	<1%
	secondary particles	MB	-	mult >49	<0.5%	-	0.5%

Tabel II

Fig.6 prezinta spectrele finale de impuls transvers pentru particulele incarcate pentru 8 domenii de multiplicitate.

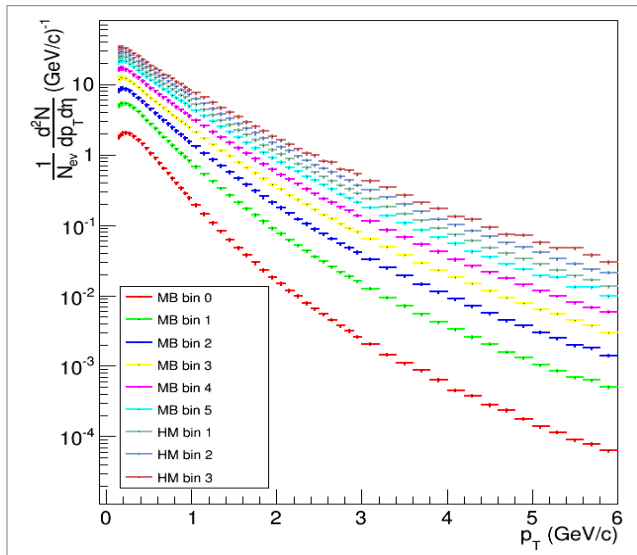


Fig.6

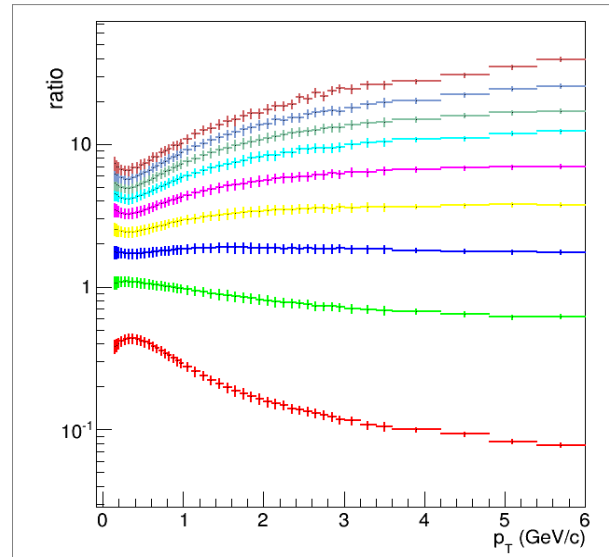


Fig.7

Rapoartele intre spectrele de impuls transvers pentru diferite multiplicatii relativ la spectrul corespunzator neconditionarii in multiplicitatea de particule incarcate, culoarea rosie, sunt prezentate in Fig.7. Se poate observa o diminuare a raportului la valori mici ale impulsului transvers, diminuare care se intensifica cu cresterea multiplicitatii, urmata de o crestere pana la valori ale lui  $p_T$  in jur de 2,5 GeV/c dupa care cresterea are o panta foarte mica indicand o saturare la valori ale momentului transvers mai mari de 6 GeV/c.

Diminuarea rapoartelor la valori mici ale momentului transversal, care se accentueaza odata cu cresterea multiplicitatii, pare a indica existenta unei expansiuni de tip colectiv.

Pentru obtinerea valorii medii a impulsului transvers  $\langle p_T \rangle$ , spectrele experimentale au fost potrivite cu diverse expresii sugerate de modele fenomenologice precum Hagedorn modificat, Levy-Tsallis, UA1 si o combinatie intre o distributie exponentiala tip Boltzmann si o putere a impulsului transvers propusa de Bylinkin. Cele mai bune potriviri au fost obtinute folosind ultima expresie. Prin urmare, extrapolarea spectrelor experimentale la valori mai mici ale impulsului transvers decat cele masurate experimental s-a facut pe baza acesteia. Rezultatele obtinute pentru  $\langle p_T \rangle$  in intervalele de multiplicitate alese sunt prezentate in Fig.8.

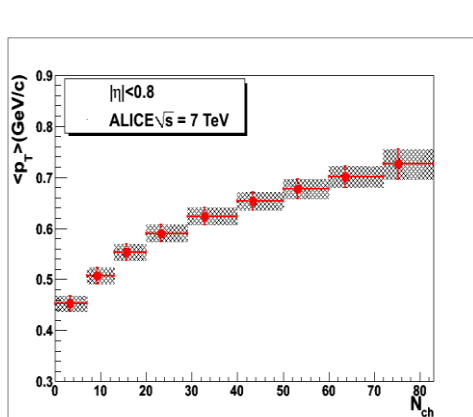


Fig.8

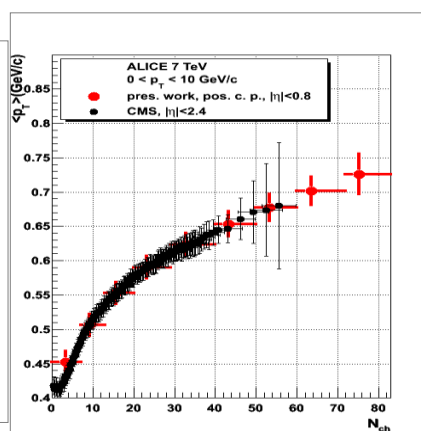


Fig.9

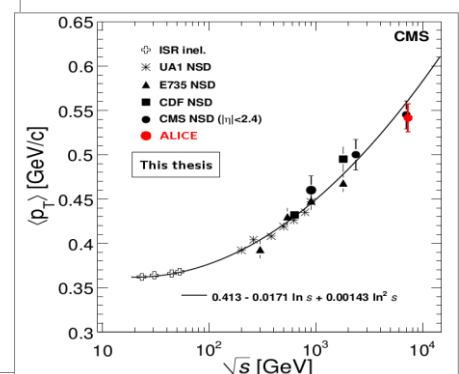


Fig.10

In Fig.9 se face o comparatie intre rezultatele obtinute de noi si cele obtinute in Colaborarea CMS. Asa cum se poate vedea, concordanta este excelenta, datele noastre mergand pana la multiplicatii mai mari decat cele obtinute de Colaborarea CMS. In Fig. 10 este prezentata valoarea lui  $\langle p_T \rangle$  fara nici o conditie in multiplicitatea de particule incarcate prin simbolul rosu. In limita barelor de erori, rezultatul nostru

corespunde valorii precise folosind extrapolarea rezultatelor obtinute anterior la energii mai mici si este in perfecta concordanta cu valoarea gasita de Colaborarea CMS.

Se lucreaza in prezent la potrivirea spectrelor experimentale cu expresii de tip Boltzmann-Gibbs Blast Wave pentru a obtine temperatura de freeze-out cinetic, viteza de expansiune si profilul acesteia. In urmatoarea etapa se vor face investigari legate de evolutia rezultatelor prezentate functie de forma de eveniment.

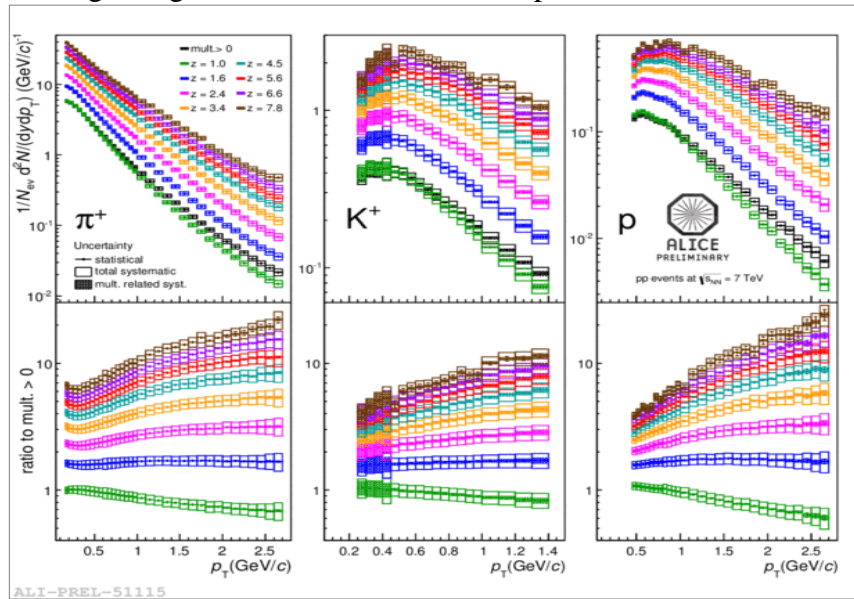


Fig.11

In paralel s-a facut analiza de identificare a hadronilor incarcati pozitiv  $\pi^+$ ,  $K^+$  si protoni (p) si obtinerea spectrelor de  $p_T$  pentru acestia. Identificarea s-a facut folosind metoda Bayesian. Spectrele rezultate pentru cele 8 domenii de multiplicitate si fara conditionarea in multiplicitate (MB) sunt prezentate in Fig.11, randul de sus. Pe randul de jos sunt prezentate rapoartele spectrelor pentru diverse intervale de multiplicitate relativ la spectrul MB. Tendinta din rapoartele similare corespunzatoare particulelor incarcate, discutata mai sus, se observa, dupa cum era de asteptat, si in cazul hadronilor incarcati identificati, fenomenul accentuandu-se cu marirea masei hadronului, respectiv mergand de la pioni la protoni. Aceasta tendinta, similara cu cea observata in cazul ciocnirii Pb+Pb la energia de 2,76 TeV argumenteaza si mai puternic ipoteza existentei expansiunii de tip colectiv. Un argument suplimentar care suporta aceasta explicatie se poate urmari in Fig.12 unde sunt prezentate rapoartele relative de productie a diverselor specii de hadroni pozitivi functie de  $p_T$  randul de sus si rapoartele acestora relativ la raportul coresunzand la MB pe randul de jos.

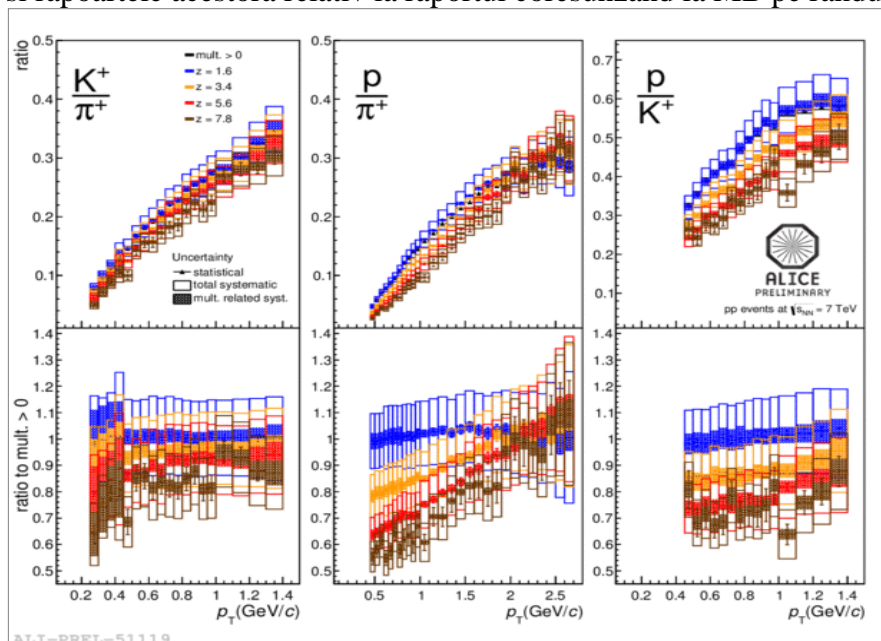


Fig.12

Similar procedurii folosite in cazul particulelor incarcate, s-au obtinut valorile medii  $\langle p_T \rangle$  pentru  $\pi^+$ ,  $K^+$  si p care sunt prezentate in Fig.13. Se poate observa o crestere a valorii medii a impulsului transvers functie de multiplicitate pentru toate cele trei specii, cresterea depinzand de masa particulei. Reprezentand  $\langle p_T \rangle$  functie de masa particulei pentru diverse domenii de multiplicitate, Fig. 14, se evidentiaza o crestere a pantei lui  $\langle p_T \rangle$  functie de masa cu cresterea multiplicitatii de particule incarcate. Acest lucru evidentiaza clar existenta unei miscari de ansamblu de tip colectiv peste care se suprapune o distributie de tip statistic.

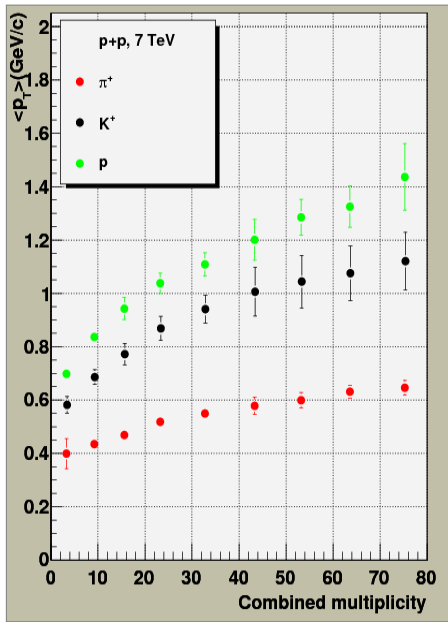


Fig.13

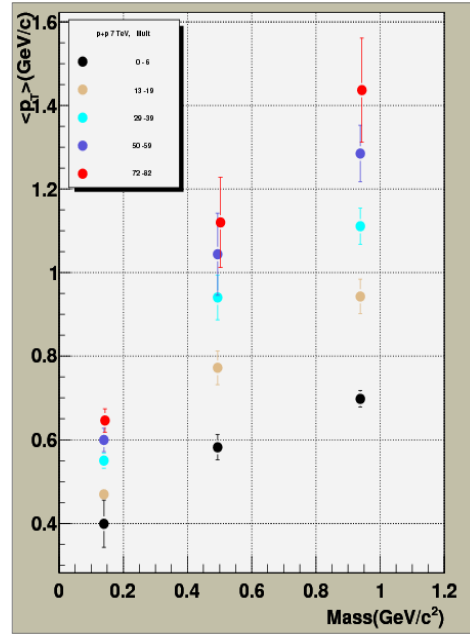


Fig.14

Dupa cum s-a mentionat si in cazul particulelor incarcate, se lucreaza in prezent la potrivirea simultana a spectrelor experimentale pentru o multiplicitate data cu expresii de tip Boltzmann-Gibbs Blast Wave pentru a obtine temperatura de freeze-out cinetic, viteza de expansiune si profilul acesteia, urmata de investigari legate de evolutia rezultatelor prezentate functie de forma de eveniment.

Rezultatele obtinute au fost raportate periodic in cadrul grupelor de lucru de analiza si fizica din cadrul Colaborarii ALICE, Spectra PAG si respectiv PWG-LF, si au facut subiectul a doua note detaliate interne ALICE. De mentionat ca Fig. 11 si Fig. 12 au fost acreditate ca figuri oficiale ale Colaborarii ALICE. La ora actuala sunt in curs redactare 2 lucrari care vor contine rezultatele prezentate pe scurt in cadrul acestui raport.

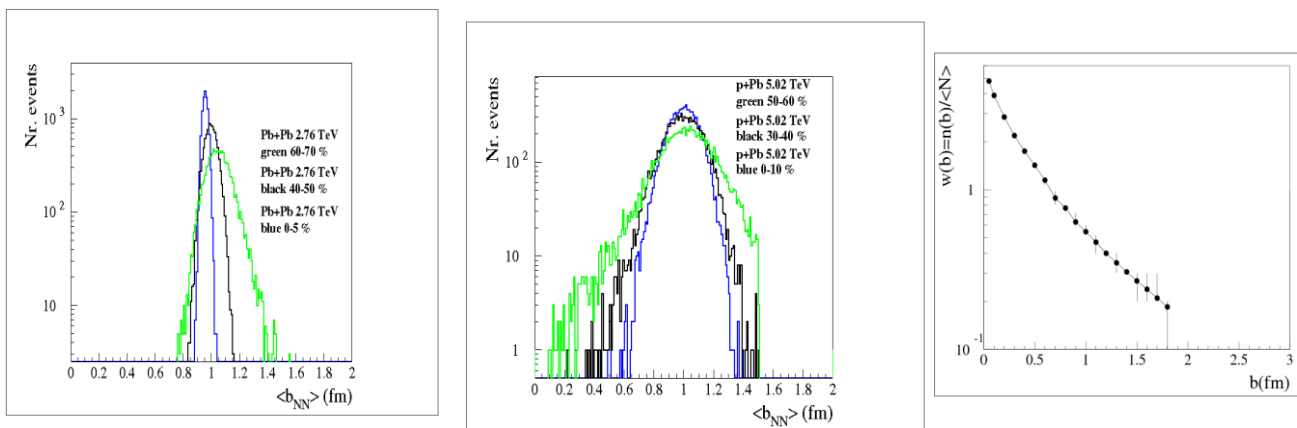


Fig.15

In aceeași perioadă au fost făcute estimări bazate pe modelul Glauber a distanțelor medii între centrozile nucleonilor care participă la interacție pentru sistemele Pb+Pb la energia de 2,76 TeV și p+Pb la energia de 5.02 TeV și comparate cu parametrul de impact în ciocnirea p+p la energia de 7 TeV folosind distribuția de multiplicitate a particulelor încărcate și diverse parametrizări ale distribuției de materie hadronică în proton, esențiale în înțelegerea asemărilor și diferențelor din comportarea diviselor observabile experimentale în interacțiile Pb+Pb, p+Pb și p+p la energiile LHC. Rezultatele sunt prezentate în Fig. 15.

Au fost investigate efectele interacției tari, a fenomenelor de umbră și pierdere de energie asupra producerii prompte a mezonilor cu charm  $D^0$ ,  $D^+$ ,  $D^{*+}$ ,  $D_s^+$  în ciocnirile centrale Pb + Pb la energia de 7 TeV. Estimările teoretice în termeni de spectre de impuls transvers și factor de modificare nuclear,  $R_{AA}(p_T) = (1/N_{AA}^{evt}) d^2N_{AA}/d^2p_T dy / N_{coll} (1/N_{pp}^{evt}) d^2N_{pp}/d^2p_T dy$ , au fost comparate cu datele experimentale obținute în cadrul Colaborării ALICE.

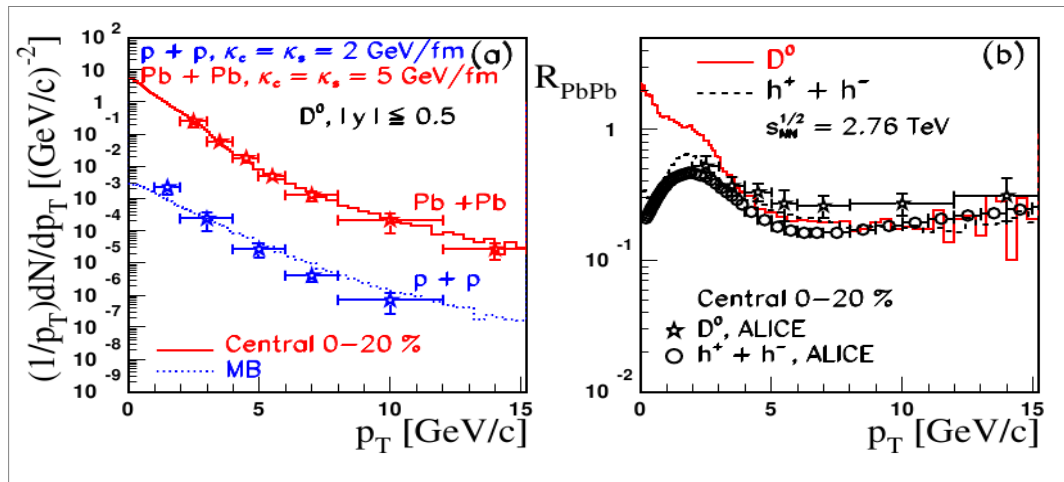


Fig.16

Dupa cum se poate observa în Fig.16, atât spectrele de impuls transvers cât și factorul de modificare nuclear funcție de  $p_T$  reproduc foarte bine rezultatele experimentale, evidențiind astfel importanța luării în considerare a efectelor menționate mai sus. Taria de interacție, caracterizată prin așa numita tensiune a stringului și pierderea de energie la nivel partonic contribuie la supresia observată în factorul de modificare nuclear în acord cu datele experimentale. Calcule bazate pe același model au fost efectuate și pentru p + p la energiile de 2,76 TeV și 7 TeV, acestea constituind date de referință pentru cazul Pb + Pb.

În perioada desfășurării etapei actuale a proiectului, grupul nostru a avut 29 prezentări în cadrul grupelor de lucru ale Colaborării ALICE, au fost redactate 4 note interne ale Colaborării ALICE, au fost publicate 94 articole în reviste ISI, 1 prezentare și 2 postere la Conferințe Internaționale la care suntem co-autori, lista acestora fiind inclusă în baza de date a proiectului.

Director proiect,

Prof. Dr. Mihai Petrovici