

Capitolul al XXIII-lea

Secțiuni eficace pentru diferite tipuri de particule produse în ciocniri nucleare relativiste

XXIII.1. Considerații generale

O problemă importantă este cea a comportării ratelor de producere de diferite tipuri de particule, respectiv, a secțiunilor eficace asociate în ciocniri nucleare relativiste. Aceste mărimi fizice sunt importante în absența unor posibilități de control experimentale directe ale evoluției dinamice a ciocnirilor nucleare relativiste.

Unele secțiuni eficace - totale sau diferențiale - pot da informații globale importante asupra unor aspecte de interes legate de influența mediului nuclear în descrierea dinamicii ciocnirilor nucleare relativiste. De exemplu, distribuțiile de rapiditate pot aduce informații asupra creșterii efectelor mediului nuclear asupra ciocnirilor nucleon-nucleon cu creșterea stopării nucleare și cu creșterea energiei incidente, iar spectrele dublu diferențiale ale unor particule ușoare, produse în experimente exclusive, ar putea să permită estimări brute ale timpilor de echilibrare sau a scalei de timp în care se desfășoară diferite procese. Distribuțiile de impuls, total sau transversal, pot da informații asupra temperaturii sursei la emiterea diferitelor tipuri de particule. De asemenea, cele de impuls longitudinal, în SCM, pot oferi informații asupra geometriei ciocnirii. Astfel, se pot obține informații semnificative asupra evoluției și dinamicii sursei de particule.

Includerea efectelor mediului nuclear se poate face pe două căi, și anume:

(i) calea dinamică - prin termeni diferiți în matricile de ciocnire care să redea ratele de producere;

(ii) calea statisticii cuantice - prin introducerea unor termeni expliciți asupra blocării Pauli în starea finală.

Comportarea secțiunilor eficace pentru particule cu stranie este utilă în studierea unor tranziții de fază care pot avea loc în materia nucleară fierbinte și densă creată prin ciocniri nucleare relativiste. De aceea, având în vedere informațiile incluse în capitolul al XX-lea, se vor discuta câteva aspecte legate de aceste secțiuni.

XXIII.2. Secțiuni eficace pentru particule cu stranie

La energii de câțiva GeV/nucleon este posibilă producerea de particule cu stranie, precum kaonii, hiperonii Λ , Ω , Σ ș.a. Procesele elementare care pot sta la baza producerii acestor particule sunt de următoarele tipuri:

(a) *producere asociată ($NN \rightarrow N\Lambda K^+$, $NN \rightarrow N\Omega K^+$, $NN \rightarrow \Delta\Lambda K^+$, $\Delta\Delta \rightarrow N\Sigma K^+$, $\Delta\Delta \rightarrow \Delta\Omega K^+$);*

(b) *schimb de stranie ($\pi\Lambda \rightarrow NK$);*

(c) *producere de perechi ($BB \rightarrow B'B'K^+K^-$; $B = \text{barion}$);*

(d) *ciocniri pion-barion ($\pi^+n \rightarrow \Lambda K^+$).*

Nucleul este considerat ca un sistem de 3A-corpuri, prin luarea în calcul a structurii de cuarci și gluoni a nucleonilor. Se are în vedere faptul că există dependențe specifice de energia și impulsul care se transferă nucleului pentru evidențierea acestei structuri [1-8].

Luând în considerare faptul că activitatea de laborator este legată, în prezent, de datele experimentale obținute în cadrul colaborării SKM 200 de la IUCN Dubna, trebuie menționat aici faptul că observarea acestor tipuri de particule este posibilă la Spectrometrul SKM 200 folosit pentru obținerea datelor experimentale [9-15]. Camera cu streamer a spectrometrului fiind un detector cu vizualizare trebuie menționat că observarea particulelor cu stranie la astfel de detectori se face prin dezintegrările în zbor ale acestora, în interiorul respectivului sistem de detecție, în particule cu sarcină. Cele mai importante canale de dezintegrare pentru particulele neutre cu stranie

observabile la Spectrometrul SKM 200 sunt următoarele: $K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$, $\Lambda^0 \rightarrow p \pi^-$, $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 \gamma$

Particulele cu stranie pot fi create oriunde în interiorul regiunii participante, centrală, fierbinte și densă. De aceea, posibilitățile de observare pentru astfel de particule sunt determinate de probabilitățile lor de “evadare” (scăpare) din regiunea participantă. O mărime necesară pentru estimarea acestor probabilități de “evadare” este drumul liber mediu. Pentru kaoni cu impulsuri în jur de 1 GeV/c *secțiunea eficace de interacție kaon-nucleon* este în jur de 16 mb, ceea ce conduce, pentru densități de ordinul *densității nucleare normale*, la un drum liber mediu de circa 4 Fm. Această valoare scade cu creșterea densității materiei nucleare. Valorile drumului liber mediu sugerează că este posibil ca unele particule cu stranie să "scape" din regiunea participantă, fierbinte și densă, *fără interacții suplimentare*. Această probabilitate de scăpare este mai mare pentru ciocniri simetrice sau cuasisimetrice între nuclee cu numere de masă medii, deoarece raza regiunii participante este, conform rezultatelor obținute prin interferometrie pionică, de ordinul razei nucleului incident, iar regiunile spectatoare sunt de dimensiuni mici, ceea ce nu crește probabilitatea de absorbție a particulelor cu stranie “scăpate” în interiorul lor. La energii de câțiva GeV/A, probabilitatea de interacție KA este, de asemenea, foarte mică.

Pentru *ciocniri nucleu-nucleu la energii înalte* se constată o *scădere a energiei de prag* pentru producerea de particule cu stranie și o *creștere a valorilor secțiunilor eficace de producere* [1-5,16].

Pentru experimentele desfășurate la IUCN Dubna folosind Spectrometrul SKM 200 nu este posibilă identificarea directă a particulelor cu sarcină [9-14]. De aceea, s-a propus o metodă de identificare pentru particule cu sarcină stopate în camera cu streamer bazată pe invarianța la scală a particulelor care se mișcă cu aceeași viteză printr-un mediu dat [12-15]. Folosind această metodă, s-au obținut următoarele valori ale secțiunilor eficace de producere a kaonilor pozitivi: pentru *ciocniri O-Pb*, $\sigma(K^+) = 1.31 \pm 0.09$ mb, iar pentru *ciocniri C-Cu*, $\sigma(K^+) = 1.01 \pm 0.11$ mb. Aceste rezultate sunt importante pentru *susținerea formării de stări și fenomene anormale în materia nucleară fierbinte și densă*. În determinarea secțiunii eficace a kaonilor s-a luat în considerare următoarea relație de definiție [3]:

$$\sigma(K) = 800[p_{max}/[GeV/c]]^4 [\mu b] \quad (IV.35)$$

Rezultatele obținute pe două căi sunt într-un acord satisfăcător. Este de remarcă faptul că aceste valori sunt sub cele prevăzute de unele modele, cum ar fi cele de transport [17], hadrochimice [18] sau cele bazate pe prima "generație" de ciocniri nucleon-nucleon [1] (Fig.IV.7).

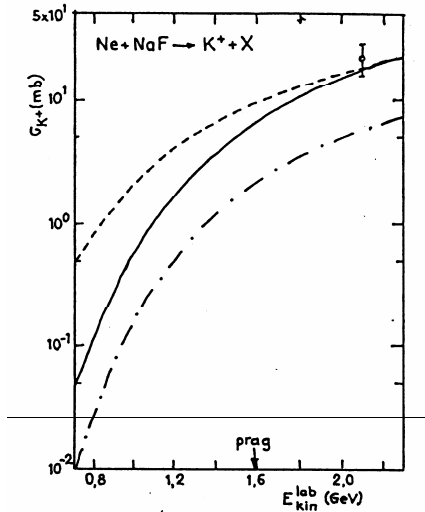


Fig.IV.7. Predicții teoretice pentru secțiunea eficace inclusivă de producere a kaonilor pozitivi în funcție de de energia cinetică pe nucleon, pentru ciocniri simetrice

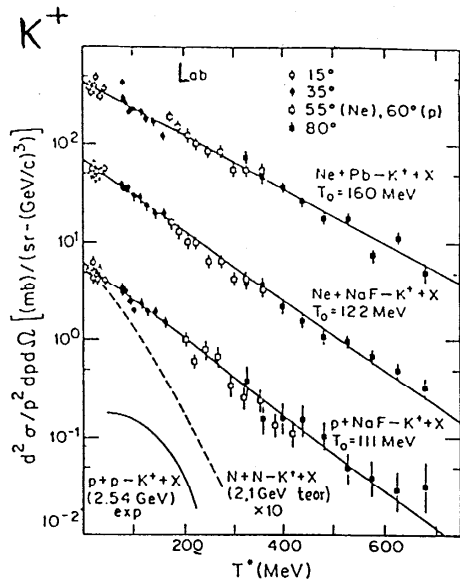


Fig.IV.8. Spectre de producere inclusivă de kaoni pozitivi în funcție de

energia cinetică în sistemul centrului de masă, pentru diferite ciocniri.
 Comparații cu predicțiile modelelor termice

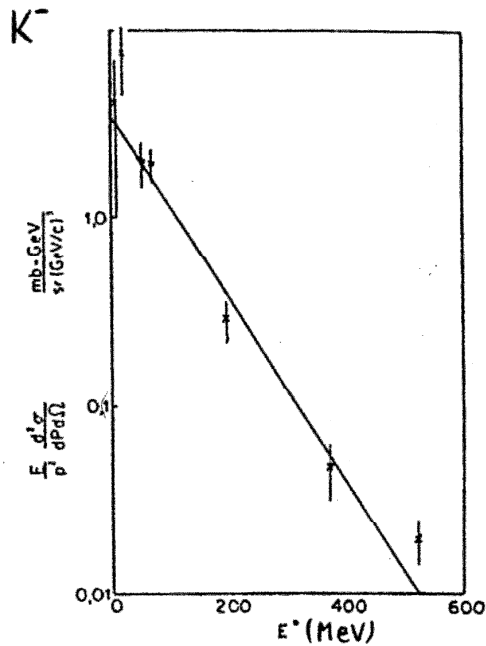


Fig.IV.9. Spectre de producere inclusivă de kaoni negativi în funcție de energia cinetică în sistemul centrului de masă. Comparație cu predicțiile modelelor termice

Acestor rezultate trebuie să le fie adăugate rezultatele modelelor termice [19], modele care permit estimarea temperaturii regiunii participante fierbinți la emisia kaonilor (Fig.IV.8 și Fig.IV.9).

Două observații sunt importante pentru discuțiile de până acum din această parte a cursului, anume:

- (a) *secțiunea eficace de producere pentru kaoni pozitivi este mult mai mare decât cea pentru kaoni negativi (1.31 ± 0.09 mb față de 0.25 ± 0.12 mb pentru ciocniri O-Pb la 4.5 A GeV/c);*
- (b) *temperatura sursei de particule este mai mică la emisia kaonilor negativi decât la emisia kaonilor pozitivi.*

Aceste rezultate pot fi puse în legătură cu posibilitatea *modificării unor proprietăți ale particulelor elementare în materia nucleară fierbinte și densă, cum ar fi masa de repaus*, așa cum s-a discutat anterior în această parte a cursului. Ele cresc posibilitățile de observare a stărilor anormale și tranzițiilor de fază în materia nucleară.

Bibliografie la Capitolul al XXIII-lea

- [1]. R.Stock - Phys.Rep.135(1985)259
- [2]. P.Koch, B.Müller, J.Rafelski - Phys.Rep.142(1986)167
- [3]. P.J.Mulders - Phys.Rep.185(1990)83
- [4]. W.Cassing, V.Metag, U.Mosel, K.Niita - Phys.Rep.188(1990)363
- [5]. ***** (Particle Data Group) - Phys.Rev.D45(1992)
- [6]. D.Perkins - Introduction to High Energy Physics, Reading, MA, Addison-Wesley Press, 1987
- [7]. I.J.R.Aitchison, A.J.G.Hey - Gauge Theories in Particle Physics, Adam Hilger and IOP Publishing Ltd, Bristol and Philadelphia, 1989
- [8]. I.S.Hughes - Elementary particles - Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney, 1991
- [9].A.Kh.Abdurakhimov et al - Nucl.Phys.A362(1981)376
- [10].M.Anikina et al - Phys.Rev.Lett.50(1983)1971
- [11].M.Anikina et al - Phys.Rev.C33(1986)895
- [12].Al.Jipa - Teză de doctorat, Universitatea București, Facultatea de Fizică, 1989
- [13].Al.Jipa - Turkish Journal of Physics 19(1995)846
- [14].Al.Jipa, C.Beșliu, Maria Iosif, R.Zaharia - Quark Matter'96, Heidelberg, Germany, 20-24.V.1996
- [15].Al.Jipa, Coralia Labu, Cleopatra Simion – Rom.Rep.Phys.48(5,6)(1996)459
- [16].C.B.Dover, P.Koch, M.May - Phys.Rev.C40(1989)115
- [17].W.Greiner, P.Koch, J.Rafelski - Phys.Lett.B145(1984)142
- [18].J.Julien et al - Phys.Lett.B264(1991)269
- [19].G.E.Diebold et al - Phys.Rev.C48(1993)2984