

Capitolul al XXIV-lea

Producerea de hipernuclee în ciocniri nucleare relativiste

XXV.1. Introducere în Fizica hipernucleelor

Descoperirea *primului hipernucleu* în urmă cu aproape cincizeci de ani în experimente de *interacții ale razelor cosmice cu emulsii nucleare* a deschis un domeniu de mare interes pentru Fizica particulelor elementare și Fizica nucleară relativistă [1]. De atunci s-au acumulat numeroase date experimentale și s-au propus diferite modele pentru descrierea formării unor astfel de nuclee care conțin *unul s-au mai mulți hiperoni* (Λ , Ω , Σ ș.a.) în locul nucleonilor, pe diferite nivele nucleare.

Primul hipernucleu a fost observat în anul 1953 de către M.Danysz și J.Pniewski, într-o emulsie nucleară expusă la radiații cosmice, prin dezintegrarea unui fragment nuclear greu (Fig.IV.10) [1]. Prin compararea urmei "a" cu cele ale altor particule cu sarcină stopate în emulsie permite o estimare brută a sarcinii fragmentului; cea mai probabilă valoare găsită a fost 5. Energia cinetică a fragmentului inițial a fost estimată folosind parcursul și sarcina. Valoarea obținută, 60 MeV, nu era suficientă pentru a produce o stea cum este cea din punctul B. Acest rezultat, precum și observația că formarea întâmplătoare a stelei din punctul B, la capătul trasei "a", este foarte puțin probabilă au condus la *ipoteza că fragmentul inițial a fost format din nucleoni și o particulă neutră grea*, ceea ce face posibilă dezintegrarea sa ulterioară, în punctul B. Printre particule neutre luate în considerare s-au numărat hiperonii Λ , Ω și Σ . Estimările

făcute au condus pe Danysz și Pniewski la concluzia că s-a format un *nou tip de nucleu*, anume: ${}_{\Lambda}^6\text{He}$ în care un nucleon a fost înlocuit cu un hiperon Λ . El s-a numit **hipernucleu simplu de heliu**.

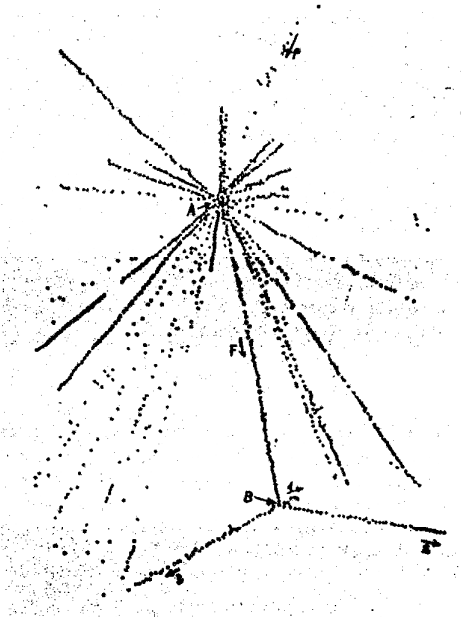


Fig.IV.10. Observarea primului hipernucleu

Zece ani mai târziu s-a observat formarea primului hipernucleu dublu, anume: ${}_{\Lambda\Lambda}^6\text{He}$ [2]. De atunci, extrem de puține hipernuclee duble au mai fost puse în evidență experimental, alături de hipernucleele de ${}_{\Lambda\Lambda}^6\text{He}$ și ${}_{\Lambda\Lambda}^{10}\text{Be}$ [3]. Ambele hipernuclee duble au fost detectate în *emulsii nucleare expuse la fascicule de kaoni negativi*.

Existența hipernucleelor duble este extrem de importantă în cunoașterea tăriei interacției Λ - Λ , precum și a termenului dependent de spin în energia de legătură. Ele pot fi puse în evidență prin compararea energiei de legătură a celor doi hiperoni în hipernuclee duble, $B_{\Lambda\Lambda}$, cu energia de legătură corepunzătoare, B_{Λ} , pentru hipernuclee simple asociate, adică:

$$\Delta B_{\Lambda\Lambda} = B_{\Lambda}({}_{\Lambda\Lambda}^AZ) - B_{\Lambda}({}_{\Lambda}^{A-1}Z) \quad . \quad (IV.36)$$

Valorile experimentale obținute pentru $\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ sunt în jur de $(4.6 \pm 0.5) \text{ MeV}$.

În prezent se fac studii în domeniul Fizicii hipernucleelor la cele mai importante sisteme de accelerare din lume. *Principalele canale de producere a hipernucleelor în*

ciocniri nucleare la energii înalte sunt legate de *procesele elementare de producere a unor hipernuclee în ciocniri N-N la energii echivalente*. Cel mai probabil este canalul $NN \rightarrow \Lambda KN$ [4-6]. Creșterea energiei de accelerare, precum și diversificarea gamei de nuclee incidente au determinat obținerea de hipernuclee cu $A \leq 16$.

XXIV.2. Producerea de hipernuclee în ciocniri nucleare relativiste

Primele experimente de producere de hipernuclee în ciocniri nucleare relativiste au fost făcute la Lawrence Berkeley Laboratory în perioada 1975-1976 [4]. În acest experiment ionii de ^{16}O au fost accelerați la 2.1 A GeV și au fost folosiți pentru bombardarea unei ținte de polietilenă. Au fost detectate hipernuclee simple de $_{\Lambda}^{16}\text{O}$ și $_{\Lambda}^{16}\text{N}$. Secțiunea și timpul de viață pentru ambele hipernuclee au valorile : $\sigma = (2 \pm 1) \mu\text{b}$, respectiv, $\tau = (0.86 \pm 0.30) \cdot 10^{-10}\text{s}$

La IUCN Dubna studiile experimentale asupra producerii de hipernuclee au început în anii '80. Un experiment important care s-a desfășurat aici a fost cel din anul 1986. Scopul acestui experiment a fost legat de producerea de hipernuclee de $_{\Lambda}^4\text{He}$ și $_{\Lambda}^3\text{He}$. Pe o țintă de CH_2 au căzut nuclee de ^4He , accelerate la 4.5 A GeV, iar produșii de reacție au fost detectați cu ajutorul Spectrometrului HYBS [5]. În acest spectrometru a fost inclusă aceeași cameră cu streamer ca în cazul Spectrometrului SKM 200.

Au fost înregistrate 60000 de imagini. Dintre acestea, după explorare și măsurare au fost considerate de interes numai 47 de evenimente. Secțiunea eficace și timpul de viață pentru hipernucleul de $_{\Lambda}^4\text{He}$ au fost stabilite din analiza celor 47 evenimente selecționate. Valorile obținute sunt următoarele: $\sigma = (0.4 \pm 0.2) \mu\text{b}$, respectiv, $\tau = (2.2 \pm 0.5) \cdot 10^{-10}\text{s}$

Majoritatea rezultatelor experimentale asupra producerii de hipernuclee obținute până în prezent consideră **hipernucleele** formate ca **fragmente ale nucleului țintă**. În general, acest tip de fragmente se caracterizează prin energii cinetice relativ mici, ceea ce determină parcursuri mici. Acest fapt determină dificultăți în identificarea hipernucleelor și în stabilirea caracteristicilor cinematice. Deoarece timpi de viață ai hiperonilor legați în hipernuclee sunt mai scurți decât cei pentru hiperoni liberi, parcursurile hipernucleelor sunt foarte scurte, iar ele se mai numesc și anomaloni [6-10].

Pentru a înlătura acest inconvenient legat de parcursurile foarte scurte ale ale hipernucleelor produse ca fragmente ale nucleului țintă la IUCN Dubna a fost inițiat, din anul 1989, proiectul "ANOMALON" [7]. Inițierea sa are la bază rezultatele experimentale promițătoare ale colaborării de la Spectrometrul HYBS [5]. În cadrul acestui proiect se studiază producerea și dezintegrarea hipernucleelor ca fragmente ale nucleului incident. Principalele avantaje sunt următoarele:

- (a) Parcursurile medii ale hipernucleelor relativiste sunt suficiente pentru a permite folosirea țintelor subțiri.
- (b) Vitezele hipernucleelor sunt foarte apropiate de cele ale nucleelor incidente și de aceea există condiții favorabile pentru a măsura timpii de viață ai hipernucleelor formate.
- (c) Unghiurile de emisie ale hipernucleelor relativiste și ale produșilor lor de dezintegrare sunt mici (câteva grade), ceea ce face posibilă introducerea în aranjamentele experimentale a unor spectrometre cu unghiuri de acceptanță mici.

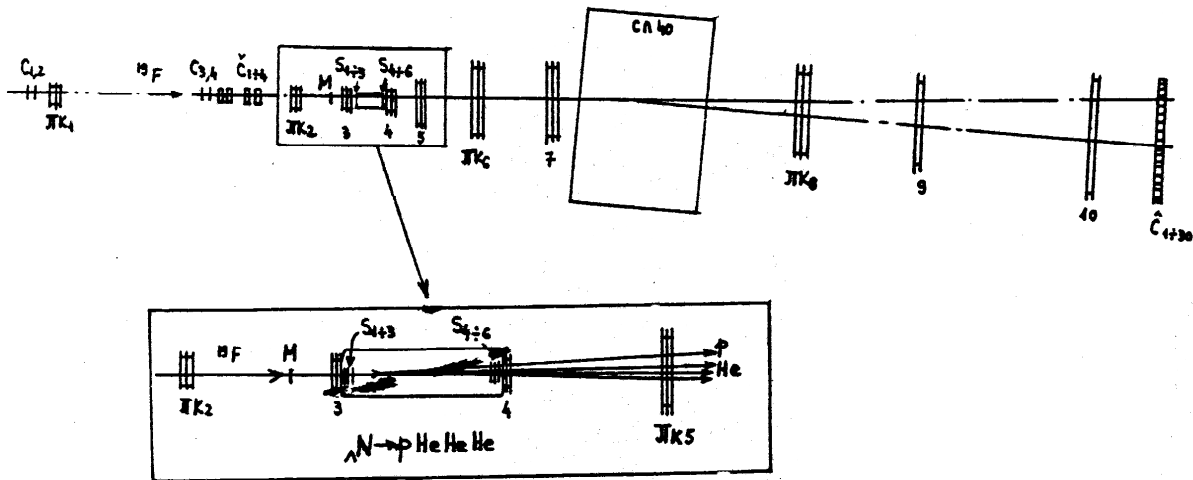


Fig.IV.11. Schema bloc a spectrometrului "ANOMALON" de la IUCN Dubna

În Fig.IV.11 este prezentată schema de principiu a spectrometrului ANOMALON, construit special în acest scop. Principalele elemente componente sunt următoarele:

- (i) Ținta – este făcută din scintilator organic lichid.
- (ii) Două camere proporționale multifilare, CPMF₁ și CPMF₂, patru detectori Cerenkov și doi detectori cu siliciu - folosiți pentru măsurarea sarcinii nucleului incident și a coordonatelor traiectoriei acestuia.

(iii) Opt camere proporționale multifilare - introduse pentru măsurarea raportului A/Z pentru hipernucleu și produșii lui de dezintegrare.

iv) Treizeci de detectori Cerenkov - care asigură măsurarea corectă a sarcinii Z a fragmentelor.

(v) Un sistem de declanșare conceput special pentru detecția produșilor de dezintegrare de la diferitele hipernuclee formate.

Prin folosirea spectrometrului ANOMALON se urmărește obținerea de rezultate experimentale referitoare la hipernuclee cu $A \geq 16$. Astfel de hipernuclee nu au putut fi studiate experimental până în prezent.

Trebuie menționat faptul că producerea de hipernuclee este legată de producerea de stranietate în ciocniri nucleare relativiste. Așa cum se va discuta ulterior în curs, creșterea producerii de stranietate poate fi considerată ca semnal experimental al unor tranziții de fază în materia nucleară fierbinte și densă, în principal de cea la plasma de cuarci și gluoni. De aceea, se poate considera că studierea sistematică și corelată a celor două tipuri de fenomene poate să dea informații importante asupra unor astfel de tranziții.

XXIV.3. Modelarea producerii de hipernuclee în ciocniri nucleare relativiste

Descrierea formării de hipernuclee în ciocniri nucleare relativiste implică folosirea unor concepte specifice, dar și a unor modelări generale introduse pentru descrierea dinamicii acestor ciocniri [6-16].

Dintre aceste modele de un interes aparte se bucură *modele de "fuzionare"*. Aceste modele sunt de *tip fenomenologic* cu *aspecte termodinamice* importante. El a fost propus de către *grupul Profesorului A.Sandoval*, de la Lawrence Berkeley Laboratory, în anul 1976 [15]. Ulterior, acest model a fost preluat de grupul japonez al *Profesorului Hiroharu Bando*, extrem de activ în domeniul *Fizicii hipernucleelor* [16]. Unele din estimările *pentru producerea de hipernuclee în ciocniri nucleu-nucleu la 4.5 A GeV/c* au la bază ipotezele acestui model [17,18]. De aceea, modelul va fi prezentat pe scurt în cele ce urmează.

Modelul de "fuzionare" [15] își propune să explice *emisii de fragmente ușoare în ciocniri nucleare relativiste prin interacții în starea finală*. În urma *interacțiilor dintre nucleoni în starea finală are loc fuzionarea acestora*, dacă au impulsuri mai mici decât o

anumită valoare, p_0 , numită **rază de fuzionare**. Probabilitatea de formare a unui fragment ușor cu număr de masă A este dată de relația următoare:

$$\frac{d^2\sigma}{p^2 dp d\Omega} = \frac{1}{A!} \left(\frac{4\pi p_0^3 \gamma}{3\sigma_0} \right)^{A-1} \left(\frac{d\sigma_1}{p^2 dp d\Omega} \right), \quad (IV.37)$$

unde γ este factorul Lorentz, σ_0 este secțiunea eficace totală la energia considerată,

$\frac{d\sigma_1}{p^2 dp d\Omega}$ este secțiunea eficace de formare a unui singur nucleon în starea finală.

Compararea calculelor cu rezultatele experimentale indică *scăderea lentă a razei de "fuzionare" cu creșterea energiei cinetice a nucleului incident*, precum și *creșterea slabă a valorii ei cu creșterea masei fragmentului emis*. Raza de "fuzionare" nu conține informații asupra momentelor inițiale ale ciocnirii.

În lucrarea [16] modelul de "fuzionare" a fost aplicat pentru descrierea formării de hipernuclee și pentru estimarea secțiunilor de producere pentru diferite tipuri de hipernuclee la energia de 2.1 A GeV, cu luarea în considerare a unor aspecte specifice ciocnirilor nucleare relativiste.

În ciocniri nucleu-nucleu la energii înalte se produc nucleoni, mezoni de diferite tipuri, hiperoni și fragmente nucleare. Formarea unui hipernucleu poate să aibă loc prin capturarea unui hiperon (Λ în principal, pentru ciocniri nucleare la energii în jur de 1 A GeV) de către un fragment nuclear produs în ciocnire celor două nuclee, *dacă impulsul hiperonului Λ și al fragmentului nuclear sunt mai mici decât valoarea p_0 a razei de "fuzionare"*. În general, în ciocniri nucleare relativiste se produc mulți pioni. Ei pot sta la baza unor ciocniri de tipul $\pi + N \rightarrow \Lambda + K$, în regiunea participantă. Acest tip de ciocniri pot deveni o *sursă suplimentară de formare a unor hipernuclee*.

Estimarea secțiunii eficace de formare a unui hipernucleu de masă A cu $n\Lambda$ hiperoni atașați are la bază metoda propusă de Kerman și Weiss în anul 1973 [11]. Această metodă constă în estimarea producerii de particule stranie pentru ciocnirea unui singur nucleon cu nucleul țintă, urmată de generalizarea rezultatelor obținute pentru nuclee incidente mai complexe.

Numărul de ciocniri, n_c , pe care le suferă un nucleon incident la trecerea sa printr-un nucleu țintă de masă A_T , este proporțional cu raza nucleului țintă, R_T , și invers proporțional

cu drumul liber mediu în sistemul respectiv, $\lambda = \frac{1}{\sigma_{NN} n_V}$, unde σ_{NN} este *secțiunea eficace de ciocnire NN* la energia considerată, iar n_V este *numărul de centrii de împrăștiere pe unitatea de volum*. Se poate scrie: $n_c \propto \frac{R_T}{\lambda}$. Numărul de ciocniri, n_c , împreună cu probabilitatea de formare a N hiperoni într-o ciocnire, $P(N)$, permit stabilirea *secțiunii eficace de formare a unui hipernucleu* cu n hiperoni atașați, Λ în cazul nostru. Se obține următoarea relație:

$$\frac{\gamma}{\sigma_r} \cdot \frac{d^3 \sigma^{n\Lambda F}}{dk_f^3} = \left(\frac{nm_\Lambda + m_F}{m_\Lambda^n} \right)^3 S_{n\Lambda, F} \left[\frac{\gamma}{\sigma_r} \cdot \frac{d^3 \sigma(\Lambda)}{dk_f^3} \right]^n \left[\frac{\gamma}{\sigma_r} \cdot \frac{d^3 \sigma(F)}{dk_f^3} \right] \quad , \quad (IV.38)$$

unde $m_\Lambda = \frac{M_\Lambda}{M_N}$, $m_F = \frac{M_F}{M_N}$, $\gamma = \left[1 + \left(\frac{k_f}{M_N} \right)^2 \right]^{1/2}$, σ_r este *secțiunea eficace de reacție*,

iar $S_{n\Lambda, F}$ este *factorul de "fuzionare"* a celor n hiperoni și a fragmentului F . Acest factor de "fuzionare", $S_{n\Lambda, F}$, se exprimă în raport de *funcția de stare relativă*, $\psi(\mathbf{r})$, dintre *fragment și hiperoni*, precum și de *funcția de distribuție spațială a materiei din sursa de particule*, $D^i(\mathbf{r})$, unde $i=(\Lambda, F)$. Formele explicite ale factorului de "fuzionare" depind de *numărul de hipernuclee luate în considerare*. Astfel, pentru cazul unui singur hiperon atașat la fragmentul F , se poate scrie ($n=1$):

$$S_{\Lambda, F} = w(\Lambda F)(2\pi)^3 \int d\vec{r} \left| \psi(\vec{r}) \right|^2 \xi_{\Lambda F}(\vec{r}) \quad , \quad (IV.39)$$

unde

$$\xi_{\Lambda F}(\vec{r}) = \int d\vec{r}' D(\vec{r} - \vec{r}') D^F(\vec{r}') \quad . \quad (IV.40)$$

În cazul atașării a doi hiperoni relația de definiție a factorului de "fuzionare" se scrie astfel:

$$S_{2\Lambda, F} = w(\Lambda\Lambda F)(2\pi)^6 \iint d\vec{r} d\vec{R} \left| \psi(\vec{r}, \vec{R}) \right|^2 \xi_{2\Lambda, F}(\vec{r}, \vec{R}) \quad , \quad (IV.40)$$

unde

$$\xi_{2\Lambda, F}(\vec{r}, \vec{R}) = \int d\vec{x} D^\Lambda(\vec{x} + \vec{R} + \frac{1}{2}\vec{r}) D^\Lambda(\vec{x} + \vec{R} - \frac{1}{2}\vec{r}) D^F(\vec{x}) \quad , \quad (IV.41)$$

cu \mathbf{r} și \mathbf{R} coordonatele relative dintre cei doi hiperoni, respectiv, dintre centrul de masă al celor doi hiperoni și fragment. Pentru hiperonii din hipernucleu se folosesc funcții de stare de tip *oscilator armonic*, ψ_{nlms} , iar pentru funcțiile D^i se presupun *forme gaussiene*.

Modelul permite obținerea de acorduri destul de bune cu rezultatele experimentale existente [5-19]. El poate fi extins și la producerea de *particule H* [20,21].

XXIV.4. Rezultate experimentale pentru secțiunile de formare
ale unor hipernuclee în ciocniri nucleare relativiste

Pentru estimarea *secțiunilor eficiente de formare a unor hipernuclee* sunt importante *secțiunile eficiente de producere pentru particule cu stranie* obținute în diferite ciocniri nucleare relativiste [4,5,22-26,]. Calculele făcute pentru estimarea secțiunilor de producere pentru diferite tipuri de hipernuclee trebuie să aibă în vedere canalele de producere care se deschid la diverse energii [21]. În Fig.IV.12 este prezentată dependența secțiunii eficiente de formare a hipernucleelor simple de numărul de masă al fragmentului nuclear pentru ciocniri $Ne + Ne \rightarrow \Lambda F + X$ la două energii: (a) $2.1 A GeV$; (b) $4.5 A GeV$.

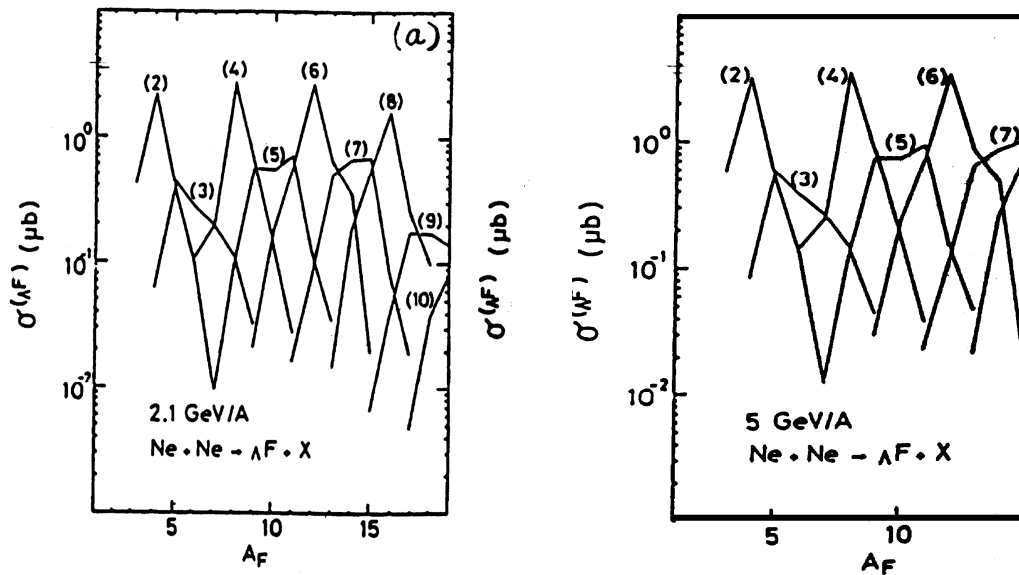


Fig.IV.12. Secțiunile eficiente de formare a unor hipernuclee simple în ciocniri Ne-Ne la $2.1 A GeV$ (a), respectiv, $4.5 A GeV$ (b) în funcție de numărul de masă al fragmentului nuclear

Se constată că *această secțiune crește cu creșterea energiei pe nucleon pentru nucleul incident*. Acest fapt se datorează creșterii ratelor de producere a hiperonilor - Λ , în acest caz - cu creșterea energiei nucleului incident. Trebuie subliniat, de asemenea, faptul că *fuzionarea dintre hiperonul Λ și fragmentul nuclear devine mai puțin probabilă cu creșterea energiei nucleului incident*. Acest rezultat poate să dea un răspuns unor probleme legate de formarea stărilor anormale în materia nucleară și apariția tranzițiilor de fază, în sensul ponderilor specifice pentru cele două fenomene la diferite energii. Plasma de cuarci și gluoni, atât în formă pură, cât și în formă bogată în barioni, cu semnătura sa specifică, de creștere a producerii de stranietate, apare și devine dominantă la energii mari.

Secțiunea de formare de hipernuclee duble este mult mai mică, pentru aceeași ciocnire, la aceeași energie, decât cea pentru hipernuclee simple. Scăderea este de câteva ordine de mărime, de la valori de ordinul μb - pentru hipernuclee simple - la valori de ordinul nb - pentru hipernuclee duble.

Pentru *producerea de particule H (dibarioni) secțiunea eficace estimată, pentru ciocniri $Ne + Ne$ la $4.5 A GeV$, este de $2.6 \mu b$.*

| A_P-A_T | $\sigma(^4He-^{12}C)$ [μb] | $\sigma(^4Li-^{12}C)$ [μb] | $\sigma(^{12}C-^{12}C)$ [μb] | $\sigma(^{19}F-^{12}C)$ [μb] |
|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| E_{cin} [A GeV] | 3.7 | 3.0 | 3.7 | 3.7 |
| $^3_{\Lambda}H$ | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.11 |
| $^4_{\Lambda}H$ | 0.29 | 0.68 | 0.39 | 0.65 |
| $^4_{\Lambda}He$ | 0.27 | 0.10 | 0.39 | 0.30 |
| $^5_{\Lambda}H$ | - | 0.05 | 0.03 | 0.08 |
| $^5_{\Lambda}He$ | - | 0.84 | 2.58 | 1.94 |
| $^6_{\Lambda}He$ | - | 0.25 | 0.32 | 0.54 |
| $^6_{\Lambda}Li$ | - | 0.09 | 0.30 | 0.37 |
| $^7_{\Lambda}He$ | - | 0.07 | 0.09 | 0.20 |
| $^7_{\Lambda}Li$ | - | 0.11 | 0.24 | 0.33 |

| | | | | |
|---------------------------|---|---|------|------|
| ${}^7_{\Lambda}\text{Be}$ | - | - | 0.07 | 0.05 |
|---------------------------|---|---|------|------|

Tabelul IV.1. Valorile calculate ale secțiunilor eficace de formare a unor hipernuclee simple în trei ciocniri la energii cinetice mai mari de 3 A GeV

În Tabelul IV.1 sunt incluse valorile calculate ale secțiunilor eficace de formare pentru diferite tipuri de hipernuclee simple - de la ${}^3_{\Lambda}\text{He}$ la ${}^{12}_{\Lambda}\text{C}$ - în trei ciocniri - $\text{He}+\text{C}$, $\text{Li}+\text{C}$ și $\text{C}+\text{C}$ - la energii cinetice peste 3 A GeV, specifice IUCN Dubna. Acolo unde există rezultate experimentale s-au inclus și acestea.

Din analiza valorilor incluse în tabel se constată că hipernucleele pentru care există o structură de tip $4N+1$ au secțiuni eficace mult mai mare decât alte tipuri de hipernuclee. Pentru hipernucleele de tip ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ și ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ - produse în ciocniri la energia cinetică de 3.7 A GeV - se observă un acord bun între calcule și rezultate experimentale.

Toate aspectele fenomenologice și rezultatele experimentale considerate până în prezent confirmă posibilitatea observării unor stări și fenomene anormale în materia nucleară fierbinte și densă formată prin ciocniri nucleu-nucleu la energii de câțiva GeV/nucleon. Sunt sugerate, de asemenea, posibile legături cu unele tranziții de fază în materia nucleară fierbinte și densă De aceea, în cele e urmează se vor aborda câteva aspecte legate de tranzițiile de fază care pot să apară în materia nucleară formată prin ciocniri nucleare relativiste.

Bibliografie la Capitolul al XXIV-lea

- [1].M.Danysz, J.Pniewski - Phyl.Mag.44(1953)348
- [2].M.Danysz et al - Phys.Rev.Lett.11(1963)29
- [3].D.J.Prowse et al - Phys.Rev.Lett.17(1966)782
- [4].K.J.Nield et al - Phys.Rev.C13(1976)1263
- [5].A.U.Abdurakhimov et al - Il Nuovo Cimento A102(1990)645
- [6].H.Bando, O.Hashimoto, K.Ogawa (editors) - Proceedings of 1986 International Symposium on Hypernuclear Physics, Tokyo, Japan, 20-23 August 1986

- [7].E.Okonov - Letter of intent, JINR Dubna, 1990
- [8].E.Oset, P.Fernandez de Cordoba, L.L.Salcedo, R.Brockmann - Phys.Rep.188 (1990)79
- [9].J.Nieves, E.Oset - Phys.Rev.C47(1993)1478
- [10].Jufa Hao et al - Phys.Rev.Lett.71(1993)1498
- [11].A.K.Kerman, M.S.Weiss - Phys.Rev.C8(1973)408
- [12].T.Motoba, H.Bando, T.Fukuda - Nucl.Phys.A534(1991)597
- [13].H.J.Krappe, V.V.Pashkievich - Phys.Rev.C47(1993)1970
- [14].P.J.Lombard, S.Marcos, J.Mares - Phys.Rev.C51(1995)1784
- [15].H.H.Gutbrod et al - Phys.Rev.Lett.37(1976)667
- [16].F.Asai, H.Bando, M.Sano - Phys.Lett.B145(1984)19
- [17].C.Beşliu, Al.Jipa, Irina Tudoraşcu, R.Zaharia – Analele Universităţii Bucureşti – Fizica XLIII(1994)26
- [18].Cristiana Iosif – Teză de doctorat, Universitatea Bucureşti, Facultatea de Fizică, 1997
- [19].H.Bando, T.Motoba, J.Zofka - Int.J.Mod.Phys.5(1990)4021
- [20].H.Bando, M.Sano, M.Wakai - Nucl.Phys.A501(1989)900
- [21].Particle Data Group - Phys.Rev.D50(1994)1
- [22].W.Greiner, P.Koch, J.Rafelski - Phys.Lett.B145(1984)142
- [23].J.Julien et al - Phys.Lett.B264(1991)269
- [24].G.E.Diebold et al - Phys.Rev.C48(1993)2984
- [25].Al.Jipa - Turkish Journal of Physics 19(1995)846
- [26].Al.Jipa, C.Beşliu, Maria Iosif, R.Zaharia - Quark Matter '96, Heidelberg, Germany, 20-24.V.1996