

ارتباطات التعددية للجسيمات الناتجة من تصادمات الأيونية عند الطاقات العالية وكوارك - قليون بلازما (QGP)

أ. د. مصطفى عبد السلام بن نصر بعيو

أ. فاطمة عبد السلام أبوزقية*

كلية العلوم - جامعة مصراتة

*f.abuzagaya@Sci.misuratau.edu.ly

تاريخ النشر 2020.08.31

تاريخ الاستلام 2020.02.27

المخلص:

في هذا العمل محاولة لمعرفة خصائص الجسيمات المشحونة الثانوية المنبعثة في التصادمات الغير مرنة لأنيوية السيلكون مع أنوية المستحلب النووي عند كمية حركة شعاع $4.5A\text{GeV}/c$ ، وقد وجد ارتباط قوي لمختلف تعدديات الشظايا النووية الناتجة في هذه التصادمات.

العلاقة بين $\langle n_b \rangle / \langle n_g \rangle$ و $\langle n_s \rangle$ عند قيم مختلفة لـ n_H تعكس حجم منطقة التفاعل عند بارامترات تصادم مختلفة، وبذلك يمكن صياغة الطور الجديد للمادة عند الكثافة العالية ودرجة الحرارة المرتفعة والذي يدعى بكوارك - قليون بلازما (QGP).
الكلمات المفتاحية: المستحلب النووي، كوارك قليون بلازما، ارتباطات التعددية، الأثار الرذاذية، الأثار الرمادية، الأثار السوداء، التعددية المركبة.

Multiplicity correlations of produced particles from nuclei collisions at high energies and quark-gluon plasma (QGP)

Abstract:

In the present work an attempt has been made to investigate the characteristics of particles emitted in inelastic collisions of silicon nuclei with the nuclei of nuclear emulsion at the momentum of 4.5 A GeV/c. At the same time the study of Multiplicity correlations,

Through studying $\langle n_b \rangle / \langle n_g \rangle$ versus n_s , a new phase at high density, high temperature region around QGP is assumed to be formed.

Keywords: nuclear emulsion, quark-gluon plasma, Multiplicity correlations, Shower tracks, Grey tracks, Compound multiplicity, Black track.

مقدمة:

تهتم فيزياء الطاقة العالية بدراسة خصائص وسلوك الجسيمات الأولية، وخاصة من خلال تصادمات الجسيمات ذات الطاقات العالية وانحلالها.

إن دراسة تصادمات نواة - نواة عند الطاقة العالية مجال مهم ومتجدد للفيزياء النووية وفيزياء الجسيمات، نتيجة للملاحظات الجديدة والخواص الغير اعتيادية لهذه التفاعلات، ولأنها تتيح كمية كبيرة من الطاقة ضمن الأبعاد النووية والتي تمكننا من فهم تركيب المادة بصورة كاملة وكيفية إظهار العالم المادي من مكوناته الأساسية، ولهذا تمت دراسة الجسيمات الناتجة من التفاعلات التي تنشأ في مجالات الأشعة الكونية (Cosmic rays)، ولكن صعوبة التحكم في طاقة و فيض الجسيمات الساقطة وكذلك عدم معرفة نوع الجسيم الساقط عند استخدام الأشعة الكونية كمصدر للجسيمات عالية الطاقة دعت الحاجة إلى بناء المعجلات التي ساهمت في الكشف عن أسرار هذه التفاعلات، وبذلك تطور البحث التجريبي في هذا المجال بشكل متزايد خلال العقود الأخيرة.

إن فهم المسألة النووية تحت ظروف بالغة الشدة من درجة الحرارة العالية والكثافة العالية إحدى المواضيع الرئيسية في فيزياء الطاقة العالية.

لذلك فإن دراسة تصادمات نواة - نواة عند الطاقة العالية تهدف إلى:

- وجود دليل لإنتاج كوارك - قليون بلازما (QGP) الذي يحدث فيه فك للارتباط للكواركات والقليونات، حيث أن الكون المبكر (Early universe) كان يوجد في هذه المرحلة في مايكرو ثانية بعد الانفجار الكبير (Big bang).

- تحري آلية التفاعلات النووية والتعرف على بعض الصفات المميزة التي حصل عليها من التفاعلات النووية، والظواهر المترتبة عليها.

تتضمن هذه الدراسة الارتباط بين تعدديات الجسيمات الثانوية المشحونة المختلفة، وهذه الارتباطات تعد من الدراسات المهمة في فهم ميكانيكية انبعاث الهادرونات، والطور الجديد للمادة عند الكثافة العالية ودرجات الحرارة العالية والذي يدعى بكوارك - قليون بلازما (QGP).

لقد درس العديد من الباحثين في مجال التصادمات النووية عند الطاقة العالية ارتباطات تعددية الشظايا النووية الناتجة في تصادمات نواة - نواة، فقد درس (R.R.Joseph) الارتباط بين التعددية للأثار السوداء والرمادية في حالة تصادمات $Ar^{40} - Em$ عند طاقة [1] $18A GeV$ ودرس Fu-Hu liu ارتباط تعددية كل من n_b و n_g مع n_h في حالة تصادمات $O^{16} - Em$ عند طاقة $3.7A GeV$ و $200A GeV$ [2] ودرس (A.Abd EL -Daiem) (2010) ارتباط تعددية كلاً من n_s, n_g, n_b, n_h مع n_c في حالة تصادمات $M g^{24} - Em$ عند طاقة $4.5 GeV$ لكل نيوكليون [3].

مصدر وطريقة تحليل البيانات التجريبية:

البيانات التجريبية المستخدمة في هذه الدراسة تم الحصول عليها من تعريض كومة (*stack*) من المستحلب النووي من نوع $NIKFI - BR_2$ ذات أبعاد $16.9 \times 9.6 \times 0.06 cm^3$ ، لشعاع من أيونات السيلكون ذات كمية حركة شعاع $4.5A GeV/c$ في معجل (*Dubna synchrophasotron*) في روسيا، وباستخدام (Nikon microscope) متحرك بقوة تكبير $40x$ objectives و $15x$ eye-piece التقطت الآثار الابتدائية على مسافة $3mm$ من حافة الدخول إلى الكومة وجرى تتبعها للخلف للتأكد من أنها لم تأت من تفاعل سابق، وبهذه الطريقة جرى تتبع جميع الآثار الابتدائية من دخولها إلى الكومة حتى تفاعلت أو غادرت الكومة، كما تم تعيين مختلف بارامترات التفاعل لكل نجم *star* (n_s, n_g, n_b)، زاوية الانبعاث لكل جسيم) تحت عدسات ذات قوة تكبير $15x$ eye-pieces و $95x$ oil immersion objectives وأكثر من ذلك تم اختيار التفاعلات حيث شملت البيانات المستخدمة في هذه الدراسة على 548 تفاعلاً من $Si^{28} - Emulsion$ ، حيث أن المستحلب النووي يتكون من عدة نوى هي H, C, N, O, Br, Ag ، وهذه الأهداف منفصلة

يشكل إحصائي على أساس قيم n_h (الأثار كثيفة التأين)، ويمكن تقسيم التفاعلات النووية مع أنوية المستحلب النووي كما يلي:

- التفاعلات النووية مع الأنوية الثقيلة ($AgBr$) وتكون عند: $n_h > 8$.

- التفاعلات النووية مع الأنوية الخفيفة (CNO) وتكون عند: $2 \leq n_h \leq 8$.

- التفاعلات النووية مع أنوية الهيدروجين (H) وتكون عند: $n_h \leq 1$.

على هذا الأساس نحصل على:

115 تفاعلاً مع أنوية H ، 210 تفاعلاً مع الأنوية الخفيفة (CNO)، و 223 تفاعلاً مع

الأنوية الثقيلة ($AgBr$) في عينة بها 548 تفاعلاً للسيلكون مع أنوية المستحلب النووي.

تصنيف الأثار *Classification of tracks*:

في تجارب المستحلب النووي، انبعاث الجسيمات في تصادمات نواة - نواة عالية الطاقة يقسم بشكل رئيسي إلى ثلاث أقسام طبقاً للسرعة النسبية $\beta = \frac{v}{c}$ والمدى L في المستحلب والتأين النوعي (Relative ionization) g^* ، وهذا التقسيم متبع في المرجع [4]:

1- آثار شظايا القذيفة *Projectiles Fragment (PF_s)*: وهي شظايا نواة القذيفة الغير متفاعلة (*Spectator Projectiles*)، الناشئة من استمرار الجسيم هابطاً في مساره بعد الاصطدام بالأنوية الساقطة، هذه الجسيمات تمتلك تقريباً نفس سرعة النوى الساقطة بمعنى أن سرعتها النسبية $(\beta < 1)$ ، وهي ذات تأين ثابت تتميز بمدى طويل وزوايا انبعاث صغيرة.

2- الآثار الرذاذية *Shower track*: تنتج الجسيمات المسببة لهذه الأثار بشكل سريع ومباشرة بعد حدوث التصادم مما يجعل الأنوية المتبقية في حالة إثارة، هذه الجسيمات مشحونة مفردة نسبية وأغلبها من البايونات، الفوتونات السريعة والبروتونات بالإضافة إلى مساهمة صغيرة من شظايا القذيفة المشحونة المفردة، ويرمز لعدد هذه الجسيمات بـ (n_s) . تمتلك الجسيمات الرذاذية تأين نوعي $(g^* \leq 1.4)$ ، حيث سرعتها النسبية

($\beta \leq 0.7$)، مثل هذه الجسيمات تخضع لاستطارة متعددة شديدة، بناءً على ذلك تتفصل

الباونات الناتجة عن شظايا القذيفة المشحونة المفردة.

3- آثار شظايا الهدف (**Target Fragments (TF_S)**): عبارة عن شلال من الجسيمات أو

النيوكليونات المرتدة التي تتبع من تبحر النواة المتبقية، هذه الآثار قسمت إلى:

• الآثار الرمادية **Grey track**: تمتلك الجسيمات المسببة لهذه الآثار تأين نوعي ($1.4 < g^* < 10$) ومدى ($R \geq 3mm$)، وسرعة نسبية ($0.3 < \beta < 0.7$)، أغلب الجسيمات الرمادية عبارة عن بروتونات الهدف المرتدة ذات طاقة (26-30MeV)، مع مزيج من الديترونات وحوالي 5% ميزونات π والقليل من الباونات البطيئة.

إن العدد الكلي لمسارات الجسيمات الرمادية يرمز لها بـ (n_g). إن مجموع أعداد الجسيمات الرذاذية والجسيمات الرمادية في التفاعل تعرف بإسم تعددية الجسيمات المركبة (**Compound particles multiplicity**)، ويمثل عددها في التفاعل بالعلاقة

$$n_c = (n_g + n_s)$$

• الآثار السوداء **Black tracks**: الجسيمات المسببة لهذه الآثار تدعى بالجسيمات السوداء، وتتبع هذه الجسيمات بسبب الإثارة الحادثة لأنوية الهدف خلال عملية التبخر، وهي عبارة عن شظايا متبخرة لجسيمات كجسيمات α ونواة الهليوم بطاقة حركية منخفضة اقل من 26MeV، وهي تبدو كجسيمات ثانوية بطيئة ذات تأين عالي.

تمتلك هذه الجسيمات تأين نوعي ($g^* > 10$) ومدى ($R < 3mm$)، وسرعة نسبية ($\beta \leq 0.3$).

الآثار كثيفة التأين (Heavy ionizing tracks) وتعرف على أنها مجموع الآثار

الرمادية والسوداء، ويمثل عددها في أي حدث بالرمز n_h حيث $n_h = n_g + n_b$.

• جسيمات أخرى منبعثة مع زاوية ($\theta \leq 3^\circ$) تتميز بأنها غير مشحونة، ومداهما ينتهي عند 2cm من نقطة التفاعل وتسمى شظايا الهدف.

أخيراً، فالجسيمات المنبعثة تكون: شظايا قذيفة (التي قسمت ثانية إلى شظايا قذيفة مفردة،

ثنائيه ومتعددة الشحنة)، الجسيمات الرذاذية n_s ، شظايا الهدف (الجسيمات الرمادية n_g ،

والجسيمات السوداء n_b وشظايا الهدف الغير مشحونة)، وتحمل كل هذه الآثار وصفاً متكاملًا لسلوك المادة النووية.

النتائج التجريبية والمناقشة Experimental Results and Discussion:

في هذا العمل درست الارتباطات بين تعدديات الشظايا الناتجة في تصادمات أنوية السيلكون مع أنوية المستحلب النووي عند طاقة 4.5GeV لكل نيوكليون.

اعتماد $\langle n_i \rangle$ على n_j تكون ملائمة بشكل جيد من قبل دالة خطية من النوع:

$$\langle n_i \rangle = a_{ij} + b_{ij} n_j$$

$$n_i, n_j = n_b, n_g, n_s, n_h \text{ or } n_c \text{ and } i \neq j$$

حيث: a_{ij}, b_{ij} تعتمد على الطاقة الحادثة وعلى كتلة القذيفة.

يوضح الشكل (1) ارتباط كلاً من $\langle n_b \rangle$ ، $\langle n_g \rangle$ ، $\langle n_s \rangle$ ، $\langle n_c \rangle$ على n_h في حالة تصادمات $Si^{28} - Em$ عند كمية حركة شعاع 4.5AGeV/c، حيث نلاحظ من الشكل ارتباط قوي موجب في كل الحالات، ونلاحظ أن الارتباط بين $\langle n_c \rangle$ و n_h أقوى ارتباط من باقي البارامترات.

كما يوضح الشكل (2) والشكل (3) أيضاً وجود ارتباطات قوية بين التعدديات المختلفة، حيث نلاحظ أن اعتماد $\langle n_b \rangle$ و $\langle n_g \rangle$ على n_s يكون متساوي تقريباً في الحالتين، كذلك اعتماد $\langle n_b \rangle$ و $\langle n_g \rangle$ على n_h متساوي تقريباً، في نفس الوقت نلاحظ اعتماد $\langle n_b \rangle$ على n_g .

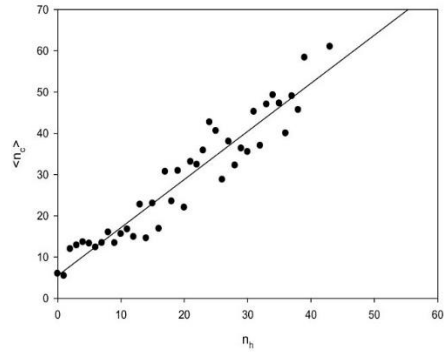
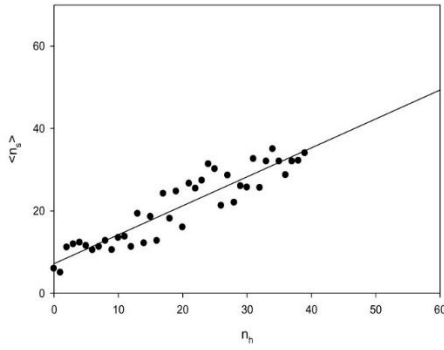
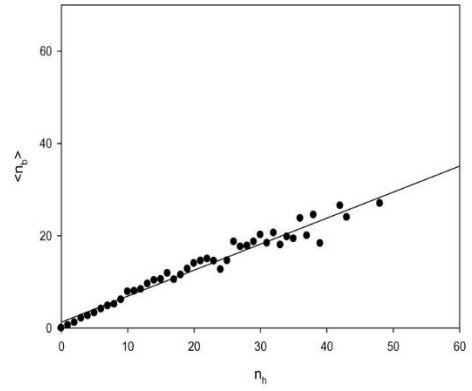
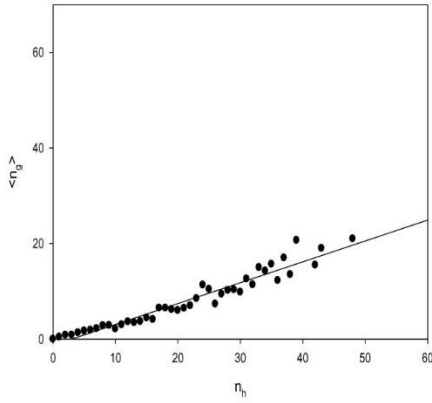
في كل الحالات السابقة تمت ملائمة البيانات بشكل جيد من العلاقة الخطية السابقة كما يبين الجدول (1) القيم التي يأخذها كلاً من الثابتين a_{ij}, b_{ij} في المعادلة الخطية.

كما نرى في الشكل (4) العلاقة بين $\langle n_b \rangle / \langle n_g \rangle$ و $\langle n_s \rangle$ عند قيم مختلفة لـ n_h الذي يعكس حجم منطقة التفاعل عند بارامترات تصادم مختلفة.

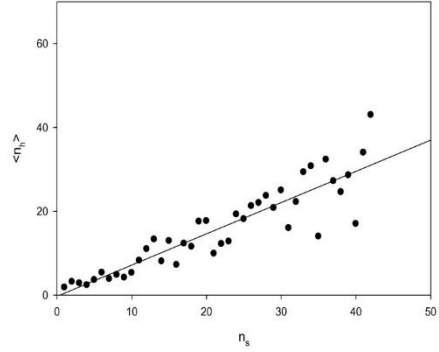
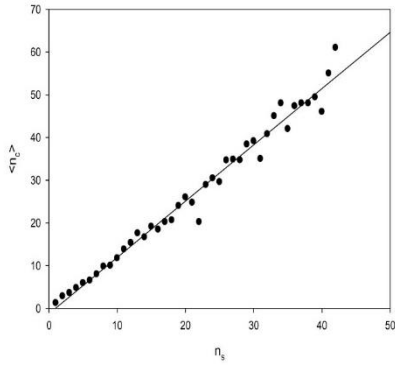
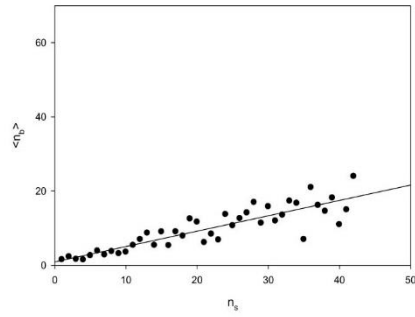
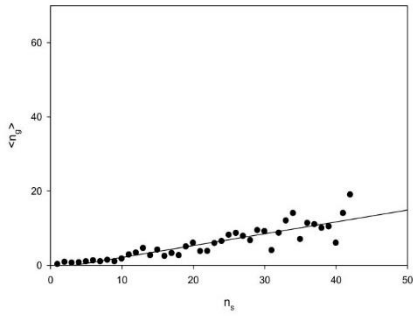
لذلك يمكن دراسة "انتقال المرحلة النووية" بواسطة النظر للنقاط من $(A \rightarrow D)$ التي تعطي في الشكل (4) كالتالي:

• النقطة A عندها يكون بارامتر التصادم كبيراً جداً (قيم منخفضة لـ n_h) يطابق التفاعلات مع أنوية الهيدروجين (H) بالإضافة إلى التصادمات السطحية مع الأنوية الخفيفة للمستحلب

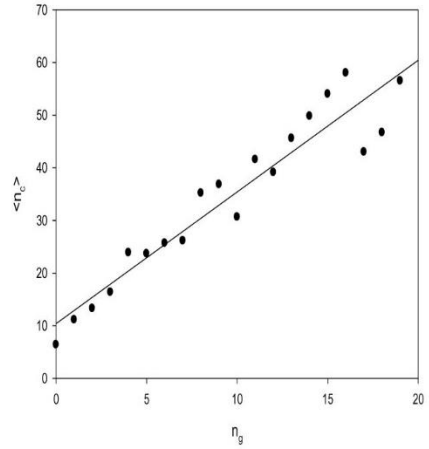
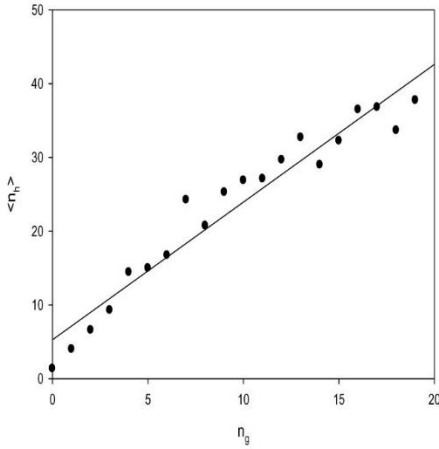
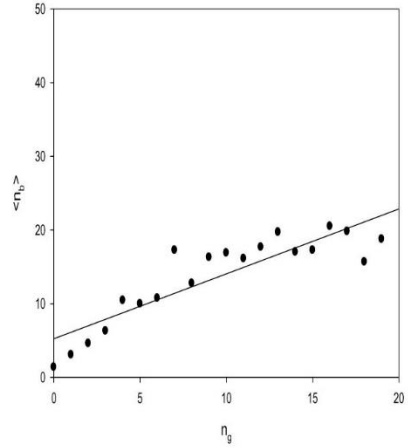
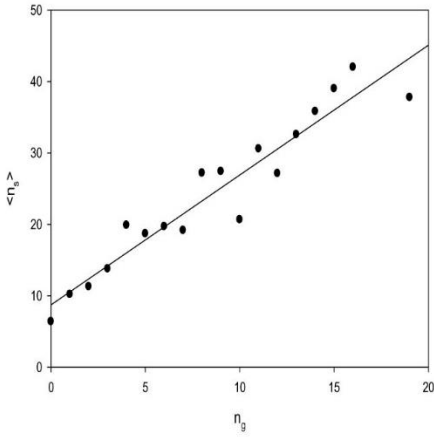
- النووي (C,N,O). في هذه التصادمات حجم الهدف يكون صغير نسبياً وذلك لأن كمية الطاقة المنقولة من الشعاع صغيرة والذي يميزها صغر عدد البايونات الناتجة (n_s) وصغر عدد الجسيمات (n_g) حيث: ($\langle n_g \rangle = 0.13, \langle n_s \rangle = 5.49$).
- النقطة B تمثل التصادمات مع الأهداف (C,N,O) الخفيفة إضافة إلى التصادمات السطحية مع أنوية المستحلب النووي الثقيلة (Ag,Br)، حيث بارامتر التصادم كبير نسبياً ($2 \leq n_h \leq 7$)، وعندها زيادة صغيرة لـ $\langle n_s \rangle$ مقارنة بحجم الهدف الكبير حيث أن: ($\langle n_g \geq 1.46, \langle n_s \rangle = 11.42$).
 - النقطة C تمثل الأحداث الناشئة عن الأهداف الثقيلة (Ag, Br) قرب التصادمات المركزية، مثل الأحداث التي فيها تزايد في $\langle n_s \rangle$ مع الطاقات المتوسطة المنقولة إلى الهدف، حيث بارامتر التصادم صغير ($8 \leq n_h \leq 15$). النقطة C تكون نقطة حرجة وعندها تتكاثف المادة ويبدأ التغير في الطور.
 - النقاط E,D يمثلان الأحداث الناشئة عن التدمير المركزي والكامل للهدف الثقيل على التوالي مثل هذه الأحداث تكون ناتجة عن التدمير العنيف أو الشديد لأنوية الهدف والقذيفة عند بارامتر تصادم صغير جداً، والذي يميزها العدد الكبير جداً لـ n_s والعدد الكبير لـ n_g في الحجم الصغير أو المضغوط.
- من خلال هذه العملية يمكن صياغة الطور الجديد للمادة عند الكثافة العالية ودرجة الحرارة المرتفعة والذي يدعى بكوارك - قليون بلازما (QGP).



الشكل (1) يوضح ارتباط كلاً من $\langle n_s \rangle$, $\langle n_c \rangle$, $\langle n_g \rangle$, $\langle n_b \rangle$ مع n_h في حالة تصادمات $Si^{28} - Em$ عند كمية حركة شعاع $4.5 A GeV/c$



الشكل (2) يوضح ارتباط كلاً من $\langle n_h \rangle$, $\langle n_c \rangle$, $\langle n_g \rangle$, $\langle n_b \rangle$ مع n_s في حالة تصادمات $Si^{28} - Em$ عند كمية حركة شعاع $4.5 \text{ AGeV}/c$

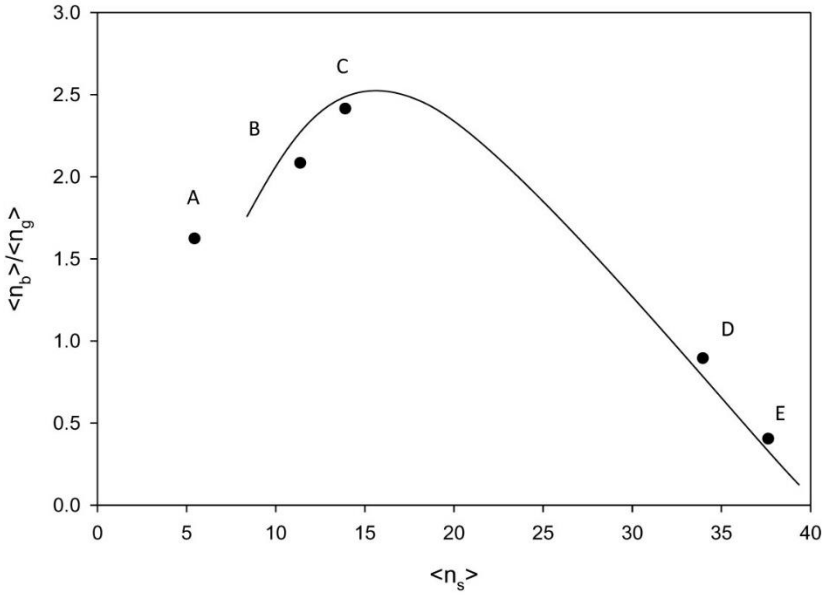


الشكل (3) يوضح ارتباط كلاً من $\langle n_h \rangle$, $\langle n_c \rangle$, $\langle n_s \rangle$, $\langle n_b \rangle$ مع n_g في حالة تصادمات $Si^{28} - Em$ عند كمية حركة شعاع $4.5 \text{ AGeV}/c$

الجدول (1) يبين القيم التي يأخذها الثابتين b_{ij}, a_{ij} في معادلة الملائمة الخطية لارتباطات التعددية في حالة تصادمات أيونات السيلكون مع أنوية المستحلب عند طاقة شعاع

4.5AGeV

Correlation	a_{ij}	b_{ij}
$n_h(< n_s >)$	7.168	0.703
$n_h(< n_g >)$	-1.294	0.437
$n_h(< n_b >)$	1.294	0.563
$n_h(< n_c >)$	5.486	1.166
$n_s(< n_g >)$	-1.054	0.319
$n_s(< n_b >)$	0.921	0.414
$n_s(< n_h >)$	-0.275	0.745
$n_s(< n_c >)$	-1.245	1.317
$n_g(< n_b >)$	5.234	0.881
$n_g(< n_s >)$	8.723	1.819
$n_g(< n_h >)$	5.26	1.868
$n_g(< n_c >)$	10.396	2.502



الشكل (4) يوضح العلاقة بين $(\langle n_b \rangle / \langle n_g \rangle)$ و $\langle n_s \rangle$ عند قيم n_h مختلفة

الاستنتاجات Conclusions:

- استناداً على نتائج الدراسة الحالية فقد تم التوصل إلى الاستنتاجات التالية:
- يوجد ارتباط قوي لمختلف تعدديات الشظايا النووية الناتجة في تصادمات أنوية السيلكون مع المستحلب النووي عند طاقة شعاع 4.5AGeV.
- العلاقة بين $(\langle n_b \rangle / \langle n_g \rangle)$ و $\langle n_s \rangle$ عند قيم مختلفة لـ n_h تعكس حجم منطقة التفاعل عند بارامترات تصادم مختلفة، وبذلك يمكن صياغة الطور الجديد للمادة عند الكثافة العالية ودرجة الحرارة المرتفعة والذي يدعى بكوارك - قليون بلازما (QGP).

المصادر والمراجع

- 1- O.V.Utyuzh,G.Wilk and Z.Wlodarczyk, Acta Physica Hungarica. A:Nucl, Part Phys, 25, 1, (2006).
- 2- R R Joseph,I D Ojiha, B K Singh and S KTuli,J.phys G;Nucl part phys,18 , 45, (2008).
- 3- Fu.Hu.Liu, CHINESE JOURNAL OF PHYSICS, Vol.93, NO.: Nucl part phys, 3, 243-247, (2001).
- 4- A.Abd EI-Daiem phys International: Nucl Part part,1 (1): 31-37, (2010).