

عنوان البحث

دراسة ارتباطات التعدديه وكوارك – قليون بلازما (QGP) في تصادم انوية الاكسجين مع  
أنوية المستحلب النووي عند طاقة  $3.7A\text{GeV}$

أ.فاطمة عبدالسلام محمد ابوزقية<sup>1\*</sup>، أ. حليلة الهادي حسين الجمل<sup>1</sup>، أ.د.مصطفى عبدالسلام بن نصر بعيو<sup>1</sup>،  
د. سليمة صالح أبو عزوم<sup>1</sup>

<sup>1</sup> \*أستاذة في قسم الفيزياء / كلية العلوم / جامعة مصراتة، مصراته / ليبيا

بريد الكتروني : Fatbuz 77 @ gmail.com

البريد الالكتروني الاكاديمي: F.Abuzagaya@Sci.misuratau.edu.ly

HNSJ, 2024, 5(10); <https://doi.org/10.53796/hnsj510/5>

تاريخ القبول: 2024/09/11م

تاريخ النشر: 2024/10/01م

المستخلص

في هذا العمل محاولة لمعرفة خصائص الجسيمات المشحونة الثانوية المنبعثة في التصادمات الغير مرنة لأنوية الاكسجين مع  
انوية المستحلب النووي عند كمية حركة شعاع  $3.7A\text{GeV}/c$  , 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  $n_{\text{H}}$  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). كما تم ايضا في هذا العمل دراسة العلاقة بين الطاقة المتاحة ومتوسط التعددية للجسيمات الرذاذيه المنبعثه  
عند تصادمات انوية الاكسجين مع انوية المستحلب النووي.

الكلمات المفتاحية: المستحلب النووي , كوارك – قليون بلازما , ارتباطات التعدديه , الاثار الرذاذيه , الاثار الرمادية , الاثار  
السوداء , التعددية المركبة.

## RESEARCH TITLE

**Study of multiplicity correlations and quark – gluon plasma(QGP) in oxygen –emulsion collisions at 3.7 AGeV**

Published at 01/10/2024

Accepted at 11/09/2024

**Abstract**

In the present work an attempt has been made to investigate the characteristics of particles emitted in inelastic collisions of oxygen nuclei with the nuclei of nuclear emulsion at the momentum of 3.7 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, And in the present work an attempt has been made also to The study the relationship between available energy and average multiplicity of shower particles.

**Key Words:** nuclear emulsion,quark-gluon plasma, Multiplicity correlations, Shower tracks , Grey tracks , Compound multiplicity , Black track

## Introduction: مقدمة

الكون عبارة عن جسيمات أولية تتفاعل مع بعضها عن طريق قوى محددة ، وتنتقل هذه القوى بين تلك الجسيمات بواسطة ناقلات القوى .

ولمعرفة كيفية نشوء الكون قبل أكثر من 13 مليار عام من نقطة متناهية في الصغر وفائقة الكثافة ، لابد من معرفة الجسيمات المكونة للكون ، أنواعها وطرق التأثر فيما بينها .

لذلك تعتبر تصادمات نواة - نواة من العمليات التي تؤدي إلى تقدير جيد لحالة المادة عند الكثافات العالية ودرجات الحرارة المرتفعة وذلك بسبب حدوث تصادمات نووية متعددة وإنتاج الشظايا .

فالتشظي النووي عملية مهمة لدراسة التفاعلات النووية ذات الطاقة العالية، فهي تزودنا بمعلومات دقيقة عن ميكانيكية التفاعل وكذلك تركيب النواة، و تعرف النظرية الكمية التي تصف هذه التفاعلات النووية من حيث مميزات وسلوك غالبية المكونات الأساسية للمادة، بديناميكا الكم اللونية، (Quantum chromodynamic) (QCD) حيث تفترض هذه النظرية أنه عندما تزيد درجة حرارة الجسم النووي أكثر من مستوى معين، قدر حوالي  $T_c = 200\text{MeV}$  ، وكثافة طاقة  $\epsilon \cong \epsilon_0 (15 - 25)$  حيث  $\epsilon_0$  (كثافة الطاقة للمادة النووية العادية)، فإن المادة المتفاعلة بشكل قوي تمر بمرحلة تحول لحالة جديدة من المادة تعرف بكوارك - قليون بلازما (Quark - Gluon plasma) (QGP)، تتغير درجات الحرية *Degress of freedom* ، من الهادرونات متعادلة اللون الى البارتونات (Partons) ذات الشحنة اللونية ( البارتون يطلق على الجسيم الأولي) .

ولدراسة هذه المرحلة تجريبياً لابد من إحداث تصادم بين الأنوية بعد تعجيلها بطاقة عالية، حيث أن نوى الاصطدام تخترق بعضها بعضاً وتبدأ النيوكليونات بتبادل الطاقة والزخم وبذلك تفقد نوى الاصطدام هويتها بالكامل وتندمج مع بعض مكونة كرة نارية ( Fire ball ) ، تتوسع وتبرد وتؤول في النهاية إلي جسيمات أولية، مثل النيوكليونات والبايونات [1] .

## الإنتقال في الطور وحالة كوارك - قليون بلازما :

تعتبر كوارك - قليون بلازما حاله من حالات الكثافة الكونية العالية والتي فيها الكواركات والقليونات من ضمن مكوناتها ، بعد الانفجار العظيم كانت هذه المادة في طور الإنشاء وهذا راجع إلى بداية نشأة الكون حيث تحولت مادة كوارك - قليون الى هادرونات أهمها البروتونات والنيوترونات والتي بدورها أدت إلى تكوين الأنوية الذرية .

البلازما في حد ذاتها لا يمكن ملاحظتها في الطبيعة ولكن الأجسام الفيزيائية الفلكية كالنجوم النيوترونية يمكن لها بأن تخفي شذرات من الكوارك -قليون في مراكز كثافتها.

لكي تدرس معظم مسائل QCD في المختبر يجب أن :

- نسخن ونضغط حجم كبير من المادة النووية .
- تصادم أنوية ثقيلة عند طاقات عالية جداً .

لذلك دعت الحاجة إلى بناء المعجلات الضخمة وأدوات الكشف والقياس، حيث يعمل المعجل على تعجيل حزمين من الجسيمات في اتجاهين متضادين وتتصادم الحزمتان في النهاية أمام كواشف دقيقة ترصد الجسيمات تحت الذرية والغير مستقرة والشظايا المنبعثة وذلك لدراسة ميكانيكية التفاعل النووي ،ويوضح الشكل (1) تصادم حزمين من الجسيمات كما في المصادم الهادرون الكبير (LHC).

وبذلك نستطيع البحث عن صور جديدة للمادة تحت ظروف بالغة الشدة من كثافة طاقة ودرجة الحرارة .

في المسألة الطبيعية لا نرى كواركات حرة بل محصورة في هادرونات حيث :

$$\Delta V_0 \cong f m^3 , P_0 \cong 0.16 f m^{-3} , \varepsilon_0 \cong 0.15 GeV/fm^3$$

أما في نظام الكثافة العالية ( تصادم الأيونية الثقيلة ) نرى كواركات وقلبيونات حرة في حجم كبير (*QGP*) (أكبر بكثير من حجم النيوكليونات لفترة زمنية قصيرة  $5-10 fm/c$  [2]).

$$V \cong 1000 fm^3 \cong 1000 V_0 \quad \Delta$$

$$\rho \gg 3 fm^{-3} \cong 20 \rho_0$$

$$\varepsilon \gg 3 fm^{-3} \cong 20 \varepsilon_0$$

ويوضح الشكل (2) تطور الفضاء والزمن في تصادم نواة - نواة، حيث عند التصادمات عالية الطاقة وحسب نموذج الكرة النارية (*Fire ball*) تمر المادة بعدة أطوار كما يلي :

- عند التصادم مباشرة تحدث حالة قبل الاتزان (*Pre- Preequilibrium*) بين الجسيمات المتصادمة إلى أن تصل درجة الحرارة إلى درجة الحرارة الحرجة  $T_c$  .

- بعد الوصول إلى درجة الحرارة أكبر من  $T_c$  يحدث فك للارتباط و انتقال في الطور وتكون كوارك - قليون بلازما (*QGP*) .

- بمرور الزمن يبدأ الانخفاض في درجة الحرارة وتبدأ الكواركات في الارتباط ثانياً إما ثنائية أو ثلاثية لتكوين هادرونات ويتكون الطور المختلط (*Mixed phase*) .

- عندما تنخفض درجة الحرارة إلى حد معين يحدث ما يسمى التجميد الكيميائي (*At chemical freeze-out*) ، بمعنى أنه يتوقف إنتاج الهادرونات ويتكون طور الغاز الهادروني (*Hadron gas*) ، وتكون الهادرونات ذات حركة مستمرة واستطارة متعددة .

- مع مرور الوقت وينخفض أكثر في درجة الحرارة يحدث تجميد حركي (*At kinetic freeze-out*) ، أي تتوقف الهادرونات عن الاستطارة وتتكون هادرونات حرة تكون أكثر استقراراً .

ويوضح الشكل (3) مخطط الطور الذي يبين انتقال المادة من الطور الهادروني إلى الطور الجديد *QGP* ، ويتم دراسة هذا المخطط عند درجات الحرارة المرتفعة والكثافة الباريونية العالية .

عند التصادمات النسبية للأيونات الثقيلة يتم البحث عن *QGP* ، حيث تتحرر الكواركات في الظروف القصوى وتظهر كجسيمات حرة، ففي سياق التقارب الحر فإن التأثير القوي يكون ضعيفاً في درجات الحرارة العالية ، وبالنهاية يختفي حاجز اللون وتتشكل بلازما ذات حرارة عالية من الكواركات والقلبيونات حرة الحركة .

ففي تجارب البحث عن *QGP* يكون من المهم :

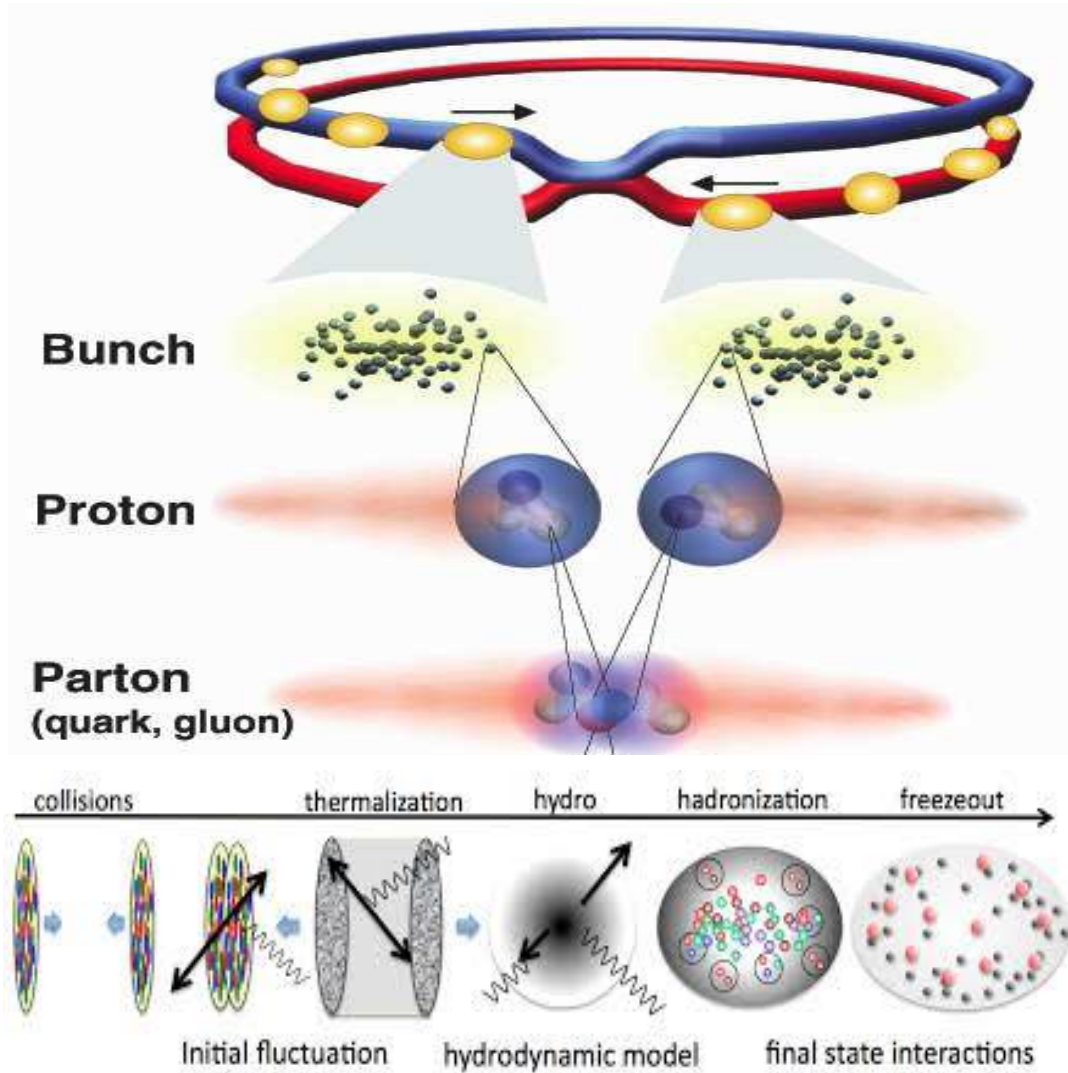
1. قياس درجة ترابط التصادم ، أو النسبة المئوية للترابط وذلك لأنه لطاقة سقوط واحدة تكون الطاقة الكلية

المتاحة في التفاعلات المترابطة أكبر منها في حالة التفاعلات غير المترابطة، حيث أن التصادمات

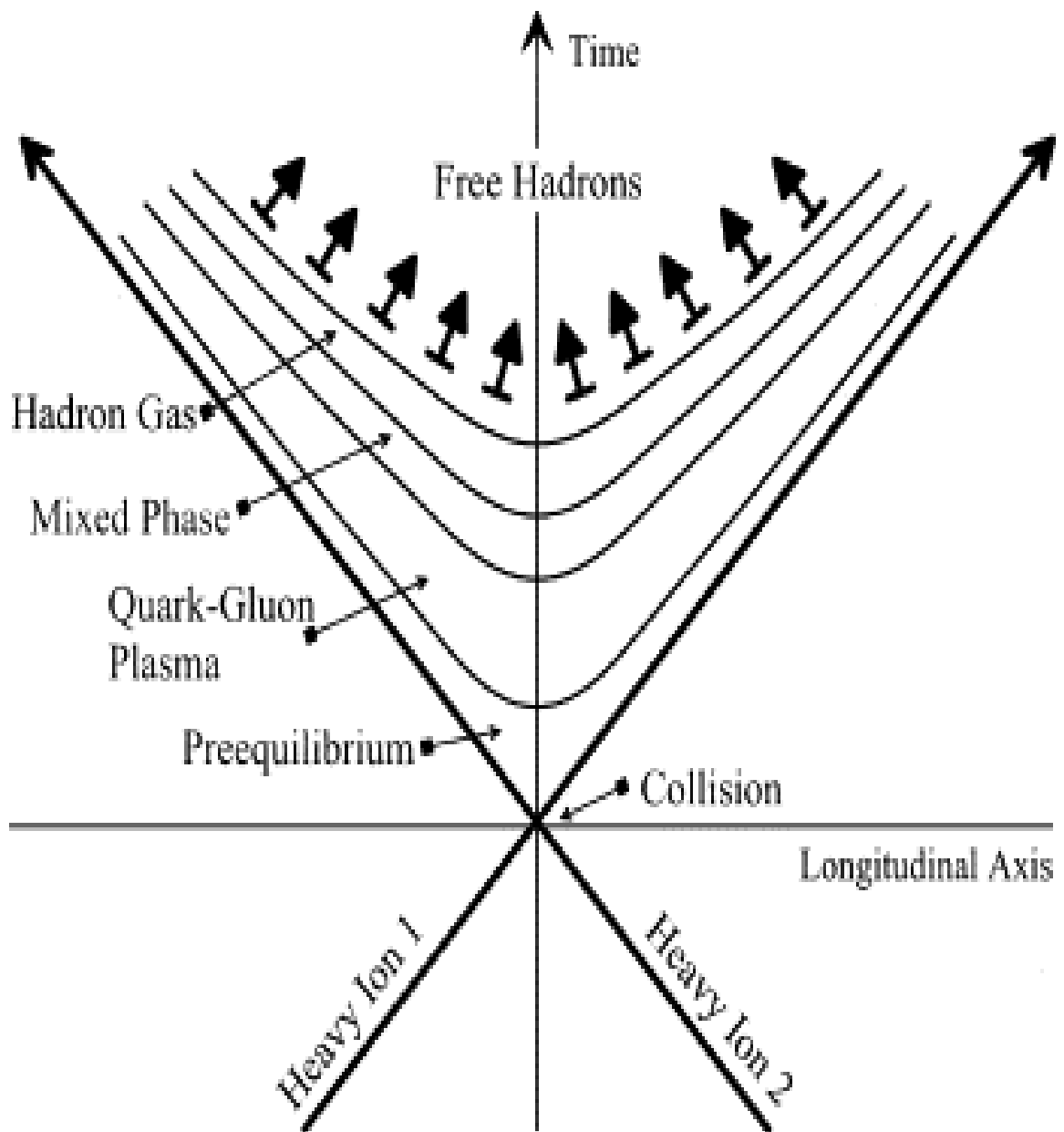
المترابطة *Coherent collisions* ، هي التصادمات التي تتفاعل فيها النواة بشكل كامل كجسيم واحد ولا

يحدث تفاعل متسلسل لنيوكليونات النواة ، بينما التصادمات الغير مترابطة *Incoherent collisions* ، هي التصادمات التي فيها تساهم النيوكليونات في عملية التفاعل بشكل متسلسل حيث تحدث سلسلة من تفاعلات نيوكليون - نيوكليون ، لذلك فالبحث عن *QGP* يتم في التصادمات المترابطة .

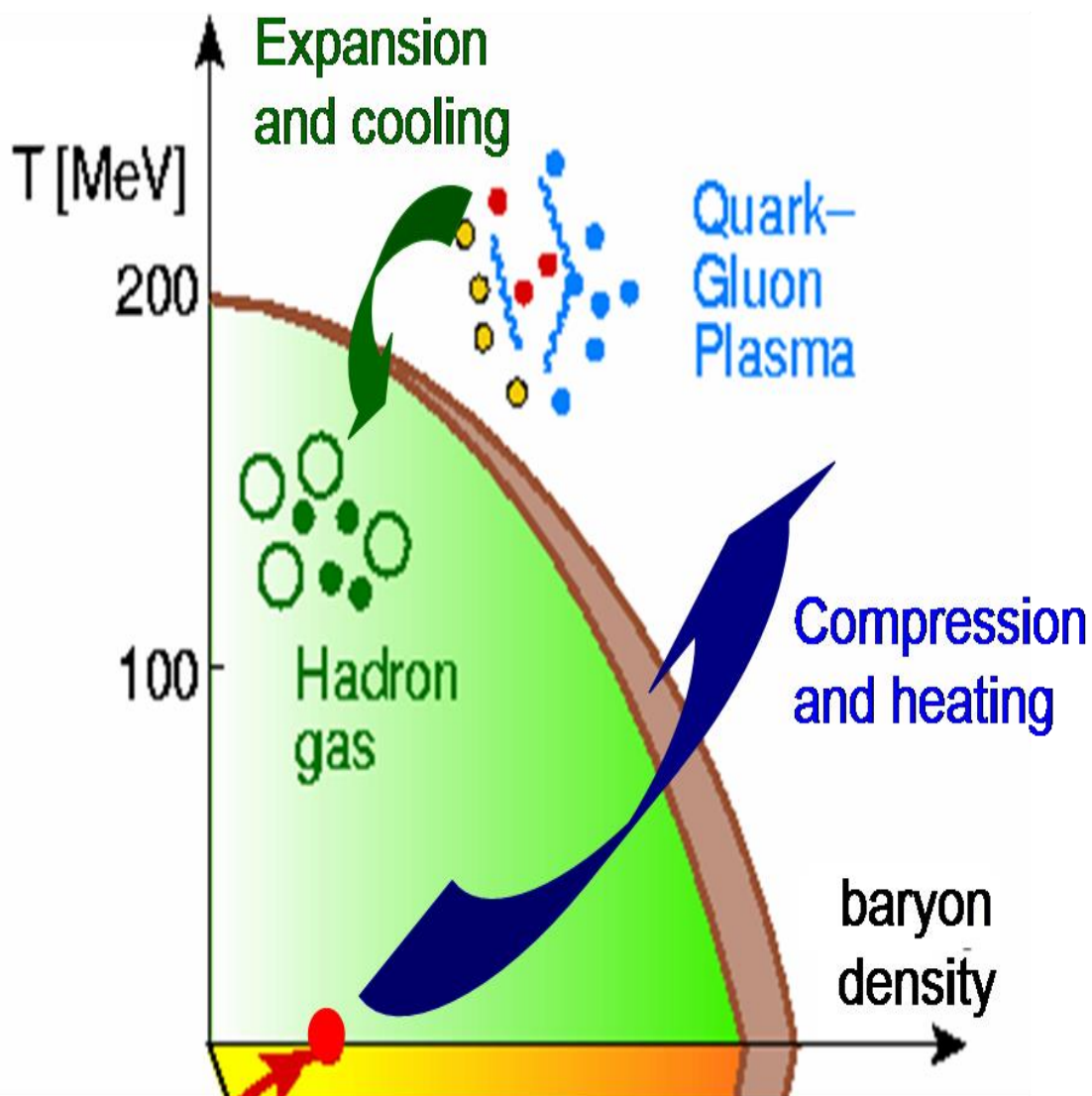
2. التمييز بين التصادم المركزي والتصادم السطحي ، لأن كثافة الطاقة المتاحة في التصادم المركزي تكون كبيرة بالمقارنة مع كثافة الطاقة المتاحة في التصادم السطحي ، ولأن التصادم المركزي يعطي أكبر زيادة ممكنة في درجة الحرارة وكثافة الطاقة فإن البحث عن حالة *QGP* يتم في هذه التصادمات ، ويوضح الشكل (4) تصادمات نواتي الذهب ، ويبين الشكل كثافة الأحداث في حالة التصادمات المركزية مقارنة بالتصادمات السطحية وشبه المركزية، ولهذا تكون كثافة الطاقة عالية في حالة التصادمات المركزية ، ويحدث في هذه التصادمات فك للارتباط وتكوّن *QGP*.



الشكل (1) يوضح تصادم حزميتين من الجسيمات في مصادم الهادرون الكبير (*LHC*) .



الشكل (2) تطور الفضاء والزمن في تصادم نواة - نواة

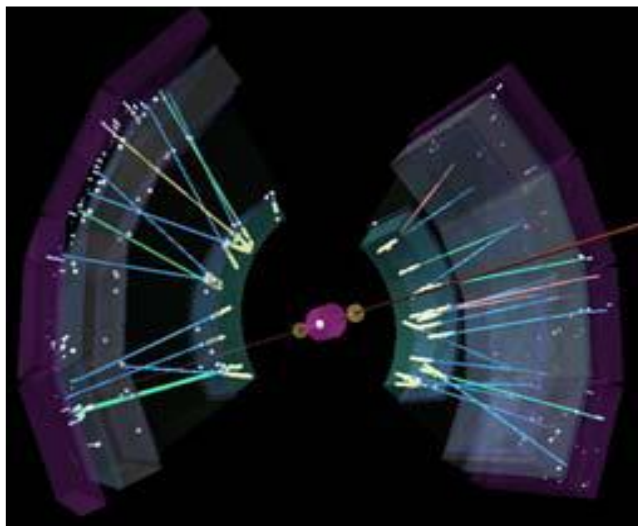


nuclei ( $n_B=0.14/\text{fm}^3$ )

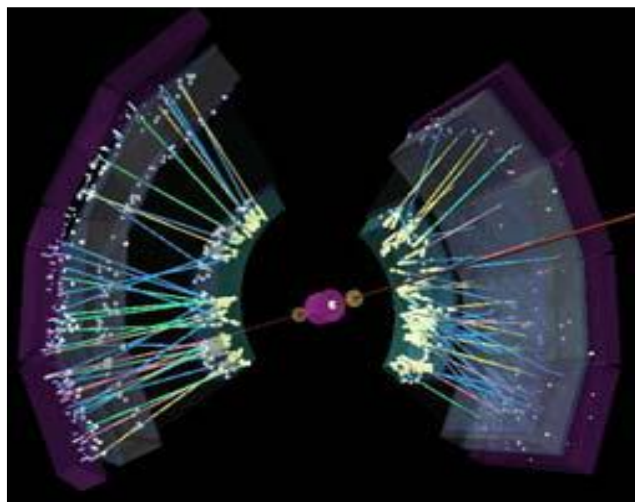
الشكل (3) يوضح مخطط في مستوى درجات الحرارة والكثافة الباريونية.



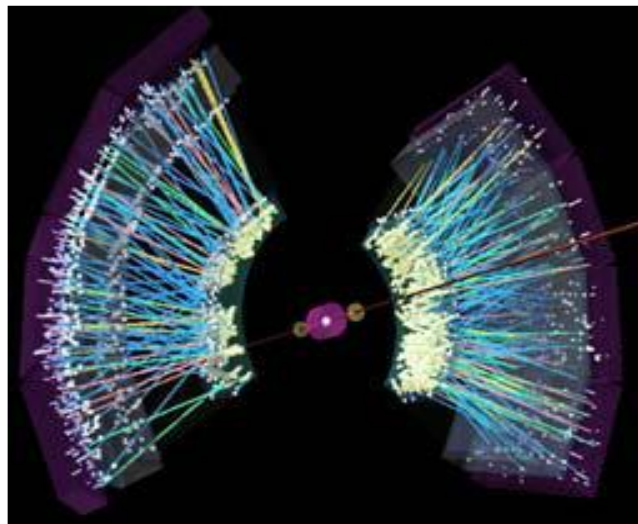
(أ)



(ب)



(ج)



الشكل (4) يوضح أحداث تفاعلات نواتي الذهب في حالة : أ. التصادمات السطحية . ب. التصادمات شبه المركزية . ج. التصادمات المركزية.



إن مدى حياة هذه البلازما قصير جدا جزء من مليون من مليار من الثانية على أبعد تقدير وهذا يعني أن هذه البلازما لا تكون مستقرة لفترة طويلة بحيث تكون كافية لكي تدرس بشكل مباشر ، ومع تبريد البلازما فإن الجسيمات تتولد وفق قانون اينشتاين الشهير الذي يضع التكافؤ بين الطاقة والكتلة ، إن مواصفات وسمات هذه الجسيمات هي التي يجب دراستها لأنها تحتفظ في ذاكرتها آثار تشكيل البلازما.

### تفاصيل نظرية حول التقنية التجريبية: Theoretical details on experimental technique

البيانات التجريبية المستخدمة [3] في هذه الدراسة تم الحصول عليها من تعريض كومة (*stack*) من المستحلب النووي من نوع (NIKFI – BR<sub>2</sub>) ذات أبعاد : (10cm × 10cm × 600μm), لشعاع من أيونات الأكسجين ذات كمية حركة شعاع 3.7AGeV/c في معجل Dubna synchrophasotron في روسيا ، وباستخدام Russian microscope التقطت الآثار الابتدائية على مسافة 20μm 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 ( $n_h, n_s, n_g, n_b$  لكل جسيم). و شملت البيانات المستخدمة في هذه الدراسة على 297 تفاعلا من  $Emulsion - o^{16}$  ، حيث أن المستحلب النووي يتكون من عدة نوى هي *H, C, N, O, Br, Ag* ، وهذه الأهداف منفصلة يشكل إحصائي على أساس قيم  $n_h$  (الآثار 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 :  $n_h \leq 1$  .

### تصنيف الآثار 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<sub>S</sub>)** ، 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 الآثار 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 الى 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 تنفصل البايونات الناتجة عن شظايا القذيفة المشحونة المفردة .

3. آثار شظايا الهدف ( $TF_s$ ) *Target Fragments* , عبارة عن شلال من الجسيمات أو النيوكليونات المرتدة التي تنبعث من تبخر النواة المتبقية , هذه الآثار قسمت الى :

• 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 التي تحمل معلومات عن الشلال النووي الداخلي (*Intra – nuclear cascading*) ذات طاقة 26–30MeV , مع مزيج من الديترونات وحوالي 5% ميزونات  $\pi$  والقليل من البايونات 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  $\alpha$  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 اخرى منبعثة مع زاوية ( $\theta \leq 3^\circ$ ) تتميز بأنها غير مشحونة , ومداها ينتهي عند 2cm من نقطة التفاعل وتسمى شظايا الهدف .

أخيرا , 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 وصفا متكاملًا لسلوك المادة النووية .

### النتائج التجريبية والمناقشة *Experimental Results and Discussion*

– العلاقة بين الطاقة المتاحة ومتوسط التعددية للجسيمات الرذاذيه:

**The relationship between available energy and average multiplicity of shower particles**

يبين الجدول (1) العلاقة بين الطاقة المتاحة  $E$  لإنتاج الجسيمات الثانوية ومتوسط التعددية للجسيمات الرذاذيه  $\langle n_s \rangle$  , حيث نلاحظ من الجدول وجود ترابط قوي بين الطاقة المتاحة ومتوسط التعددية للجسيمات الرذاذيه  $\langle n_s \rangle$  للعديد من القذائف عند كميات حركة متقاربة, البيانات التجريبية تمت ملائمتها باستخدام العلاقة :

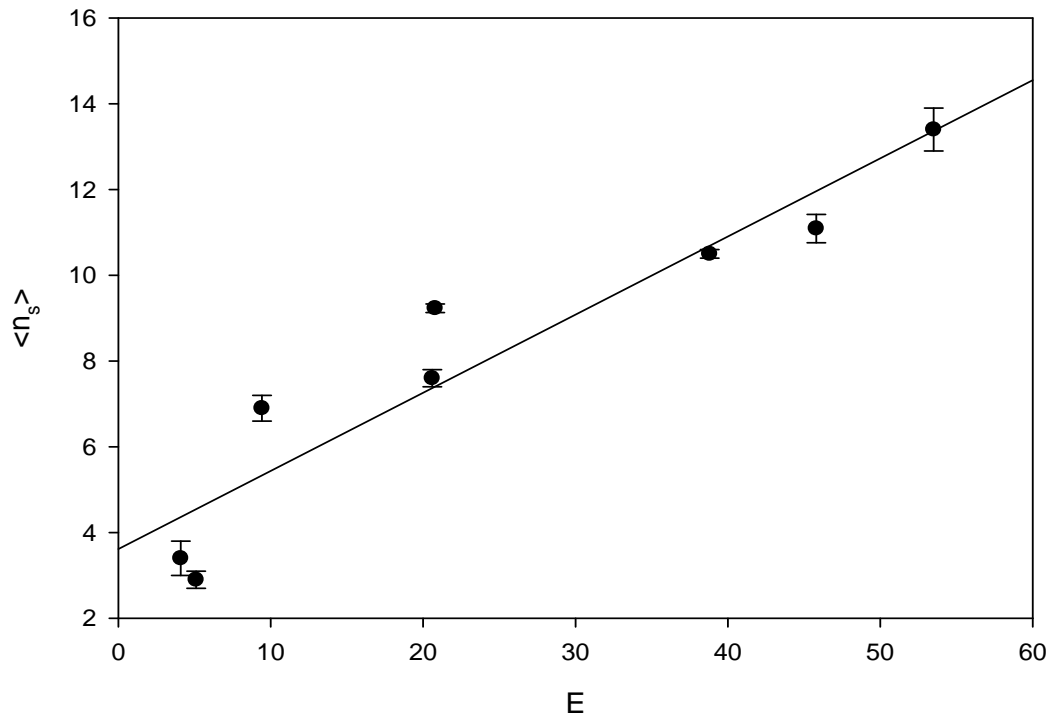
$$\rightarrow \langle n_s \rangle = c_1 + c_2 E \quad \text{ووجد أن :}$$

$$c_1 = 0.53 \pm 0.54 , \quad c_2 = 0.69 \pm 0.04$$

ويتضح من الشكل (5) أن العلاقة بين  $E$  الطاقة المتاحة ومتوسط التعددية للجسيمات الرذاذيه  $\langle n_s \rangle$  علاقة خطيه , حيث تزداد متوسط التعددية للجسيمات الرذاذيه بزيادة الطاقة المتاحة.

الجدول (1) يوضح العلاقة بين  $E$  الطاقة المتاحة ومتوسط التعددية للجسيمات الرذاذيه  $\langle n_s \rangle$  للعديد من الفذائف عند كميات حركة متقاربة.

Projectiles	Momentum $A\text{GeV}c^{-1}$	$E(\text{GeV})$	$\langle n_s \rangle$	Ref
$p$	7.1	4.1	$3.4 \pm 0.4$	5
$d$	4.5	5.1	$2.9 \pm 0.2$	6
$He^4$	4.5	9.42	$6.9 \pm 0.3$	7
$C^{12}$	4.5	20.60	$7.6 \pm 0.2$	8
$O^{16}$	3.7	20.97	$9.23 \pm 0.1$	Present work
$Ne^{22}$	4.1	38.80	$10.5 \pm 0.1$	9
$Mg^{24}$	4.5	45.80	$11.09 \pm 0.33$	10



الشكل (5) يوضح العلاقة بين الطاقة المتاحة  $E$  لإنتاج الجسيمات الثانوية ومتوسط التعددية للجسيمات الرذاذيه  $\langle n_s \rangle$ .

## ارتباطات التعددية : Multiplicity correlations -

الارتباط بين تعدديات الجسيمات الثانوية المشحونة المختلفة درس على نطاق واسع في حالة تفاعلات هادرون - نواة ونواة - نواة , 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 [11] 18AGeV ودرس ( Fu-Fu liu ) ارتباط تعددية كل من  $\langle n_b \rangle$  و  $\langle n_g \rangle$  مع  $n_h$  في حالة تصادمات  $O^{16} - Em$  عند طاقة 3.7AGeV و 200AGeV [12] ودرس ( A.Abd EL Daiem ) ارتباط تعددية كلاً من  $n_s, n_g, n_b, n_h$  مع  $\langle n_c \rangle$  في حالة تصادمات  $M g^{24} - Em$  عند طاقة 4.5GeV لكل نيوكليون [13].

في هذا العمل درست الارتباطات بين تعدديات الشظايا الناتجة في تصادمات أنوية الاكسجين مع أنوية المستحلب النووي عند طاقة 3.7GeV لكل نيوكليون .

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

$$\langle n_i \rangle = a_{ij} + b_{ij} n_j \quad \rightarrow (2)$$

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

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

يوضح الشكل (6) 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  $O^{16} - Em$  عند كمية حركة شعاع 3.7AGeV/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 (7) والشكل (8) 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 تقريبا في الحالتين , كذلك اعتماد  $\langle n_b \rangle$  و  $\langle n_g \rangle$  على  $n_h$  متساوي تقريبا , في نفس الوقت نلاحظ اعتماد  $\langle n_b \rangle$  على  $n_g$  .

في كل الحالات السابقة تمت ملائمة البيانات بشكل جيد من العلاقة الخطية (2).

$$\langle n_b \rangle = (1.55 \pm 0.14) + (0.48 \pm 0.01)n_s$$

$$\langle n_g \rangle = (0.42 \pm 0.08) + (0.32 \pm 0.01)n_s$$

$$\langle n_h \rangle = (2.05 \pm 0.28) + (0.85 \pm 0.03)n_s$$

$$\langle n_b \rangle = (3.65 \pm 0.65) + (0.92 \pm 0.04)n_g$$

$$\langle n_h \rangle = (4.70 \pm 0.50) + (1.82 \pm 0.15)n_g$$

$$\langle n_h \rangle = (2.12 \pm 0.18) + (1.32 \pm 0.04)n_b$$

الشكل (9) يوضح 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 (9) 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 :

$$(\langle n_g \rangle = 0.34 \pm 0.05, \langle n_s \rangle = 2.04 \pm 0.13, \langle n_b \rangle = 1.00 \pm 0.04,)$$

• 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 : ( $\langle n_g \rangle = 1.78 \pm 0.08, \langle n_s \rangle =$ )

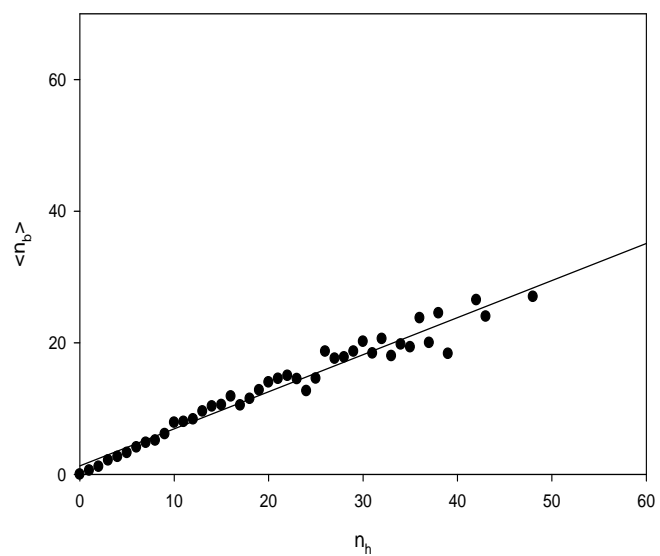
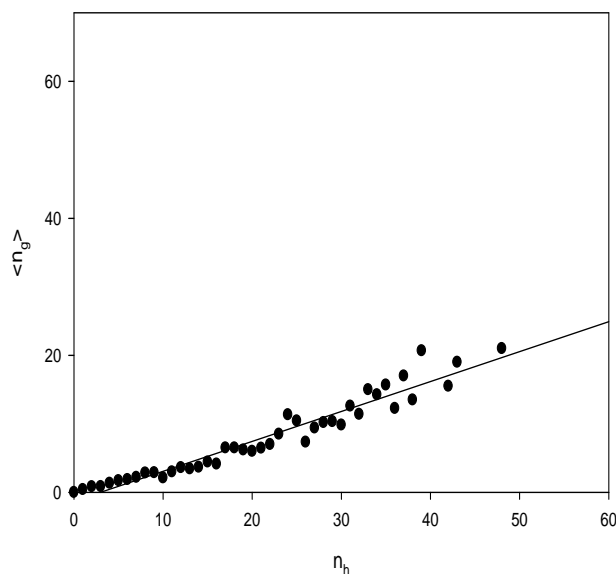
• النقطة C تمثل الأحداث الناشئة عن الأهداف الثقيلة (Ag, Br) ,  $(5.93 \pm 0.30, \langle n_b \rangle = 1.45 \pm 0.08,$  قرب التصادمات المركزية , مثل الأحداث التي فيها تزايد في  $\langle n_s \rangle$  مع الطاقات المتوسطة المنقولة الى الهدف , حيث بارامتر التصادم صغير و ( $8 \leq n_h \leq 15$ ) . النقطة C تكون نقطة حرجة وعندها تتكاثف المادة ويبدأ التغير في الطور .

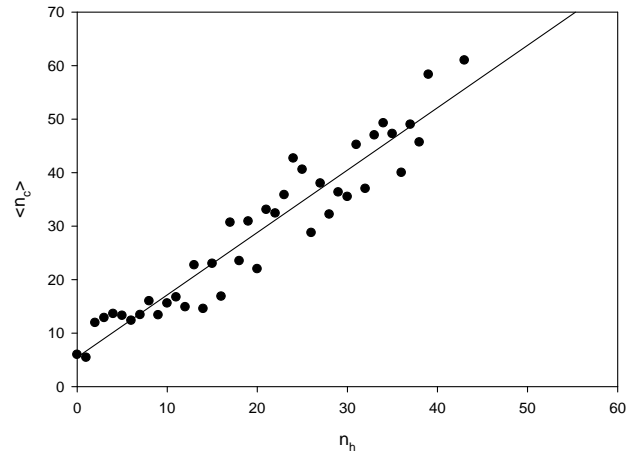
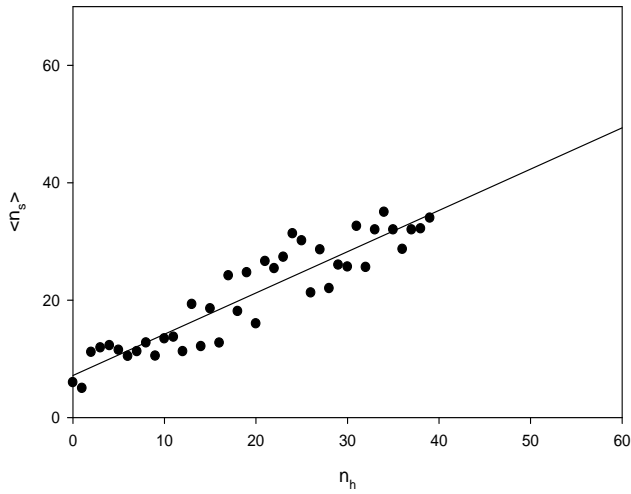
$$(\langle n_g \rangle = 13.22 \pm 0.40, \langle n_s \rangle = 15.60 \pm 0.44, \langle n_b \rangle = 8.83 \pm 0.22)$$

• النقاط E,D يمثلان الأحداث الناشئة عن التدمير المركزي والكامل للهدف الثقيل على التوالي .

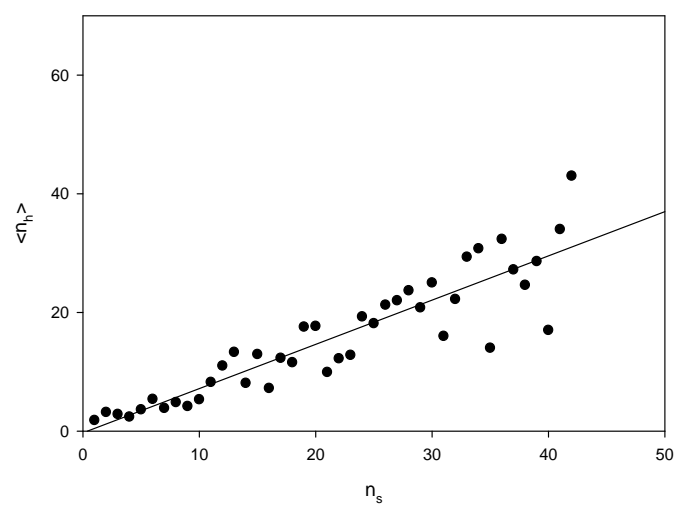
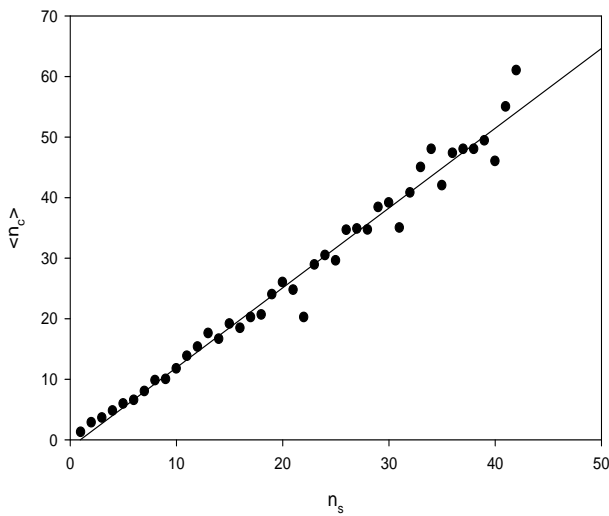
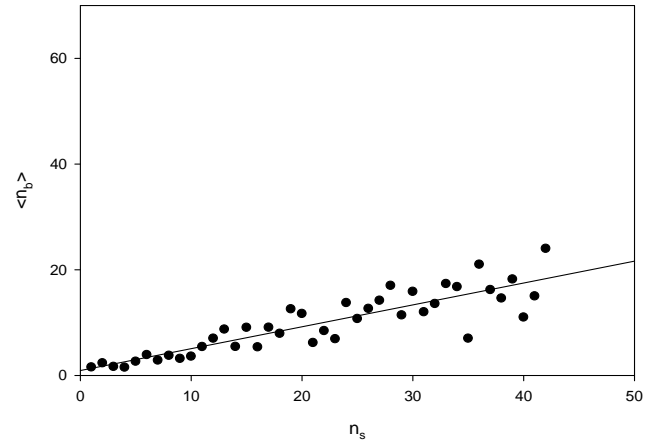
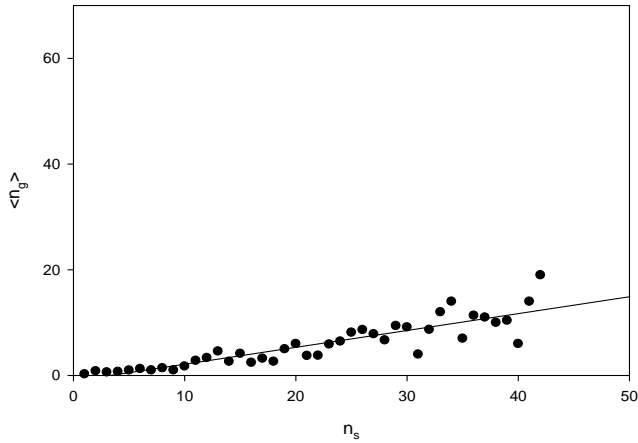
مثل هذه الأحداث تكون ناتجة عن التدمير العنيف أو الشديد لأنوية الهدف والقذيفة عند بارامتر تصادم صغير جداً، والذي يميزها العدد الكبير جداً لـ  $n_s$  والعدد الكبير لـ  $n_g$  في الحجم الصغير أو المضغوط .

ومن خلال هذه العملية يمكن صياغة الطور الجديد للمادة عند الكثافة العالية ودرجة الحرارة المرتفعة والذي يدعى بـ كوارك - قليون بلازما (QGP).



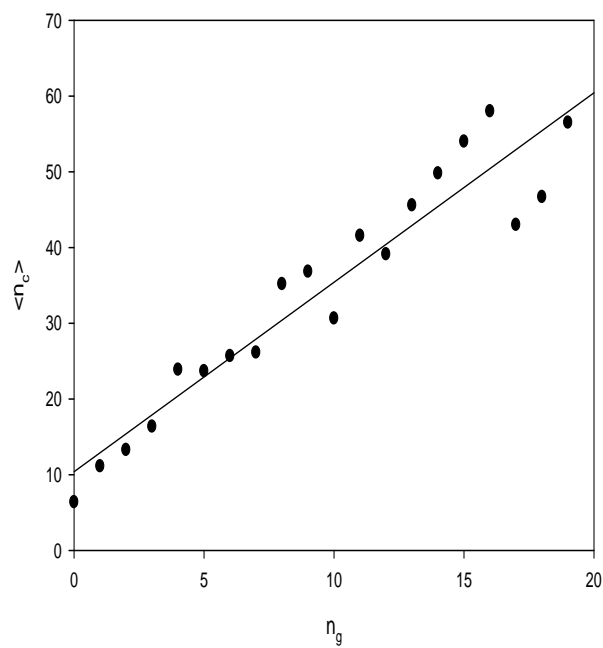
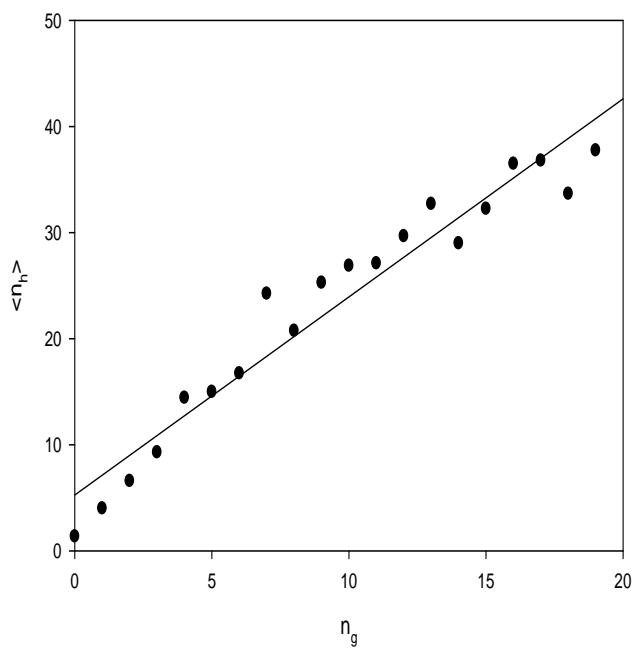
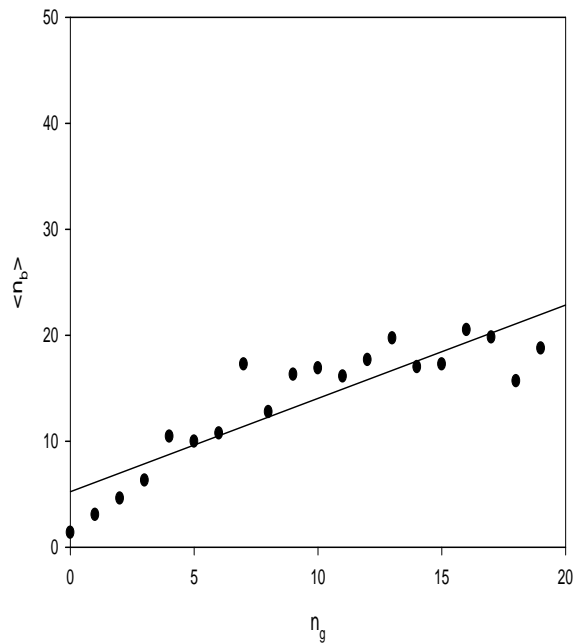
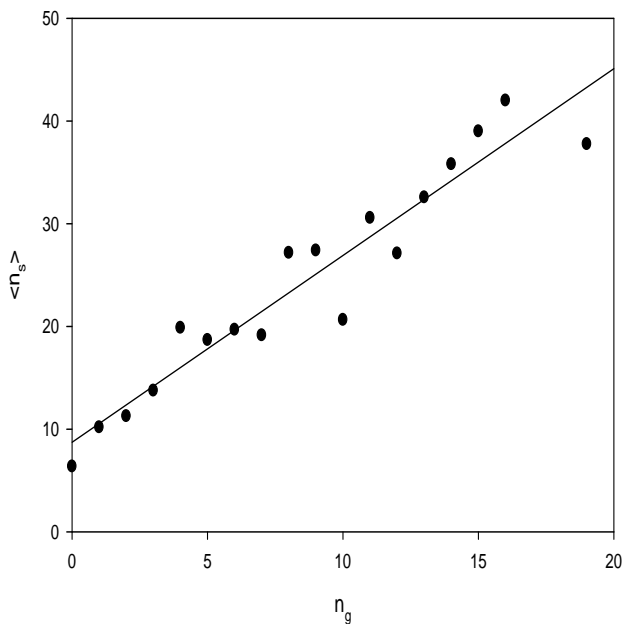


الشكل (6) يوضح ارتباط كلاً من  $\langle n_s \rangle, \langle n_c \rangle, \langle n_g \rangle, \langle n_b \rangle$  مع  $n_h$  في حالة تصادمات  $Em - o^{16}$  عند كمية حركة شعاع  $3.7 \text{ AGeV}/c$ .

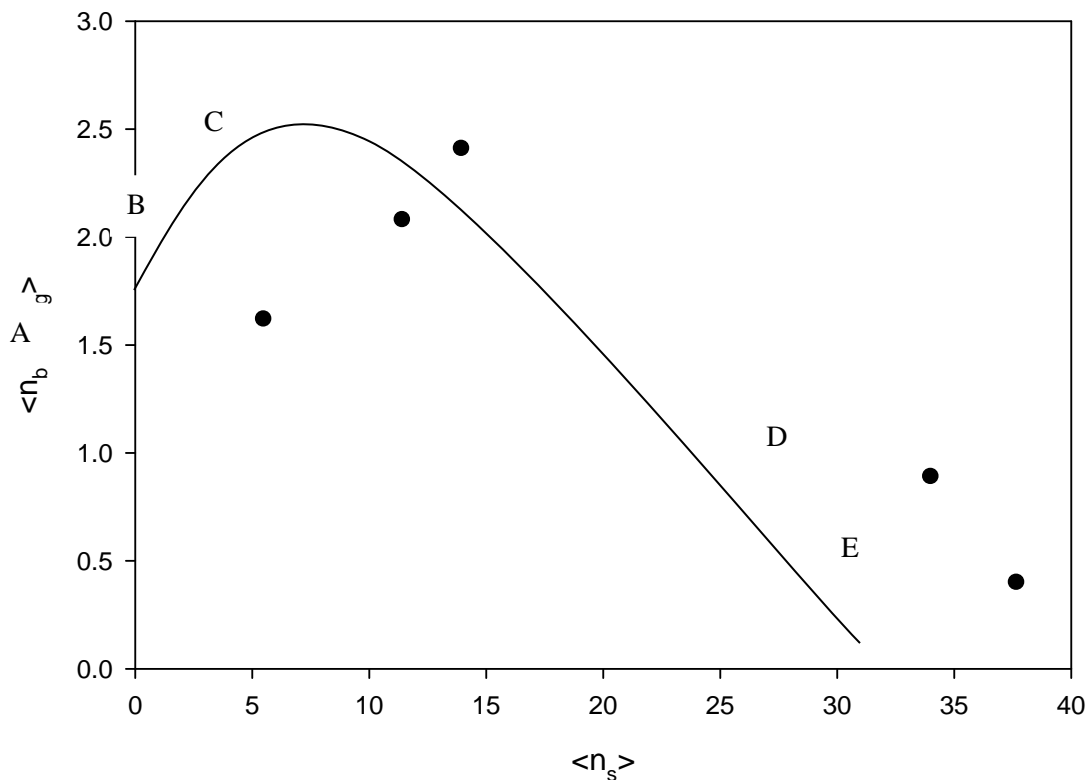


الشكل (7) يوضح ارتباط كلاً من  $\langle n_h \rangle, \langle n_c \rangle, \langle n_g \rangle, \langle n_b \rangle$  مع  $n_s$  في حالة تصادمات  $Em - o^{16}$  عند كمية حركة شعاع  $3.7 \text{ AGeV}/c$ .





الشكل (8) يوضح ارتباط كلاً من  $\langle n_b \rangle, \langle n_s \rangle, \langle n_c \rangle, \langle n_h \rangle$  مع  $n_g$  في حالة تصادمات  $o^{16}$  عند كمية حركة شعاع  $3.7 \text{ AGeV}/c$ .



الشكل (9) يوضح العلاقة بين  $(\langle n_b \rangle / \langle n_g \rangle)$  و  $\langle n_s \rangle$  عند قيم  $n_h$  مختلفة

### الخاتمة

استنادا على نتائج الدراسة الحالية فقد توصل الى الاستنتاجات التالية :

- العلاقة بين  $E$  الطاقة المتاحة ومتوسط التعددية للجسيمات الرذاذية  $\langle n_s \rangle$  علاقة خطية , حيث يزداد متوسط التعددية للجسيمات الرذاذية بزيادة الطاقة المتاحة .
- عند تصادمات انوية الاكسجين مع انوية المستحلب النووي نجد نسبة كبيرة من التفاعلات تحدث مع الانوية الثقيلة للمستحلب  $(A_g, B_r)$  وباقي التفاعلات تحدث مع الانوية الخفيفة  $(C, N, O)$  ونواة الهيدروجين  $(H)$  .
- يوجد ارتباط قوي لمختلف تعدديات الشظايا النووية الناتجة في تصادمات أنوية الاكسجين مع أنوية المستحلب النووي عند طاقة  $3.7AGeV$  .
- 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-قلبيون بلازما  $(QGP)$  .

## References

- [1] أ.د. مصطفى ابيو ؛ فاطمة ابوزقية .(2014)بعض الصفات العامة للشظايا المنبعثة في تفاعلات السيليكون مع المستحلب النووي عند طاقة شعاع  $4.5 GeV$  لكل نيوكليون. الاردن :المجلة الاردنية للفيزياء ,المجلد7, العدد 2, ص ص 99 – 109 .
- [2] D.H. Perkins; Introduction to High Energy Physics, Addisonwesley, (1987), 351.**relativistic heavy ions**" : phys. Rev.C,16,629.
- [3] F.H.Liu, ph.D thesis, China Institute of Atomic Energy, Beijing, China,1993.
- [4] O.V.Utyuzh,G.Wilk and Z.Wlodarczyk,Acta Physica Hungarica.A ,25/1(2006).
- [5] Haret C.Rosu,one mean free path of relativistic heavy ion in nuclear emulsion Acta physica polonica B vol25 nr 10( 1994).
- [6] Bradt and Peters 1950,Daniel and Durgaprusad 1962, Cleghorn et al ( 1972).
- [7] H., some interesting features of charged particles produced in high energy hadron–nucleus collisions can.J. phys.68,67(1990).
- [8] Readings:Particle Physic ,Particle Physics Timelin Quark Confinemer. <http://abyss.uoregon.edu/~js/ast123/lectures/lec07.html>.
- [9] Ralitsa Zh.Stanoeva , Dmitri O.Krivenkov ,Galina I.Orlova,Jordan N.Stamenov, and Pavel I.Zarubin, JOURNAL OF APPLIED ELECTROMAGNETISM :SPECIAL ISSUE, JAE, VOL.12,NO.2,(2010).
- [10] Muller AH(1971) phys.Rev.D4 150.
- [11] R.Bhanja,N.A.L.Devi,Z.R.R.Joseph,I.D.Ojha,M.Shyan and S.K.Tuli (1983) Nucl.phys A411 507.
- [12] B.Jakobsson and R.Kullberg,phys.Scr, (1976) ,13 327.
- [13] S. EL–Sharkawy,M.K.Hegab,O.M.Osman and M.A.Jilany;physica Scripta Vol.47(1993),513.