HNSJ Humanities & Natural Sciences Journal
ISSN: (e) 2709-0833
www.hnjournal.net

مجلة العلوم الإنسانية والطبيعية
مجلة علمية محكمة (التصنيف: NSP)
معامل التأثير العربي للعام 2024 = 0.44

عنوان البحث

دراسة بعض خصائص تصادم نواة السيليكون مع المستحلب النووي عند الطاقات العالية

أ. حليمة الهادي الجمل[1]، حواء بشير الهش[1]، خديجة عثمان الأربد[1]، أ.د مصطفى عبدالسلام بن نصر بعيو[1]

[1] كلية العلوم، جامعة مصراتة، ليبيا.

HNSJ, 2025, 6(5); https://doi.org/10.53796/hnsj65/24

المعرف العلمي العربي للأبحاث: https://arsri.org/10000/65/24

تاريخ الاستقبال: 2025/04/07م تاريخ القبول: 2025/04/15م تاريخ النشر: 2025/05/01م

المستخلص

تم في هذا البحث دراسة عدد (100 تفاعل نووي) لعنصر السيليكون Si^{28} عند طاقة $4.5\mathrm{GeV}/c$ لكل نيوكليون) وحساب التعددية للجسيمات الرذاذية (N_s) والرمادية (N_g) والسوداء (N_b) وكثيفة التأين (N_h). كما تمت دراسة تشتت الجسيمات الرذاذية $\mathrm{D}(N_s)$ مع متوسط الجسيمات الرذاذية $\langle N_s \rangle$وتحديد قيم التشتت $\mathrm{D}(N_s)$ ، ووجدنا أن هذه القيم تتفق مع دراسات سابقة.

الكلمات المفتاحية: الطاقة العالية، المستحلب النووي، التصادم النووي، تعددية الجسيمات، بارامتر التصادم.

RESEARCH TITLE

A Study of Certain Features of Silicon Nuclei Collisions with Nuclear Emulsion at High Energies

Abstract

The paper deals with interaction of Si^{28} nuclei at 4.5AGeV/C with nuclear emulsion. The shower, grey and black particles have been calculated. Furthermore, variation of the dispersion with the average shower multiplicity have been investigated. Finally, results obtained in the present work are compared with those reported by other works.

Key Words: High energy, nuclear emulsion, nuclear collision, multiplicity of particles, impact parameter.

مقدمة:

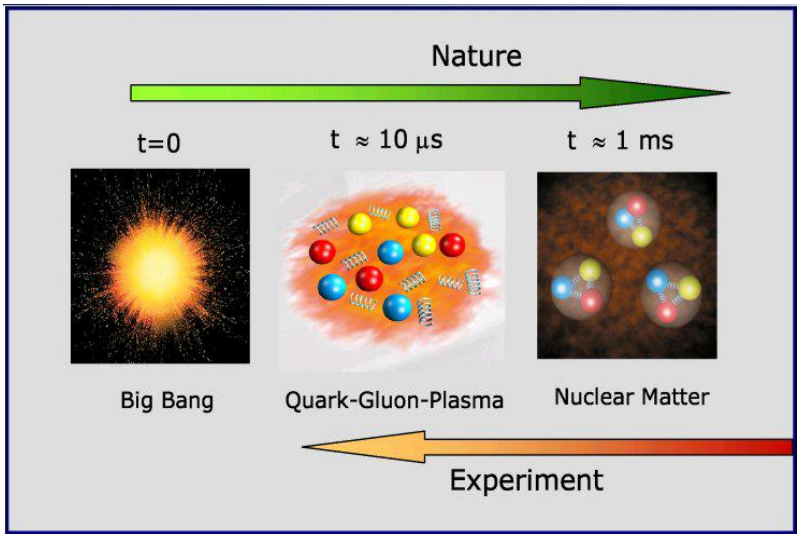
لم يكن اكتشاف التركيب الداخلي للمادة بالمهمة السهلة، وكان لدراسة هذه الجسيمات الاساسية والمتناهية الصغر مصدرين تجريبين:

1- الطبيعة نفسها وذلك بدراسة الجسيمات الحادثة طبيعيا مثل الاشعاعات الكونية والنيوترونات الناتجة عن التفاعلات النووية في الشمس.
2- المعمل (المعجلات) حيث يتم تعجيل البروتونات والالكترونات بوساطة المجالات الكهربية والمغناطيسية ومن ثم تتصادم اشعتها تصادما جبهيا منتجة عددا وفيرا من الجسيمات وتتم دراسة نواتج التصادم بدقة باستخدام كشافات ضخمة مكونة من طبقات متعددة تغلف ما حول نقطة الاصطدام حيث يتم تسجيل البيانات من كل طبقة وتوضع المعلومات بداخل الحواسيب ويتم تحليلها.

التصادم عموما هو فعل ينشا من ارتطام جسيمين او أكثر ويمكن لهذا التصادم ان يغير طاقات الاجسام وعزومها وانواعها، ويمكن له كذلك ان يتسبب في تحلل جسيم منفرد تلقائيا.

عند تصادم الايونات الثقيلة بعد تعجيلها لطاقات عالية تنشأ ظروف خاصة من الحرارة الشديدة والضغط المرتفع بحيث تفقد هذه الايونات هويتها وتنتج جسيمات جديدة، غريبة،تحت ذرية وغير مستقرة. في الحالات المتوسطة للتصادم يشمل التصادم العديد من النيوكليونات وتنتج جسيمات يصل عددها الى 500 جسيم حتى لو كانت الطاقة منخفضة (≈ 100 AMeV)، اما اذا زادت الطاقة الى (100 AGeV ≈) فستخلق حالة (الجسيم ومضاد الجسيم) ويصل عدد الجسيمات في هذه الحالة الى عدة الاف،أما في تصادمات الطاقة العالية اصبح من الممكن دراسة خواص وسلوك المادة النووية تحت ظروف من الكثافات والحرارة العالية وعلى الرغم من صغر هذا النظام الا انه ضخم بما يكفي ليتم وصفه بواسطة الفيزياء الاحصائية والحركية (statistical and kinetic physics) او ما يسمى بالمعادلة النووية للحالة (The nuclear Equation of state – EOS) والتي من اهم خواصها:

1- الطور الانتقالي من السائل الى الضباب النووي للشظايا والنيوكليونات وهذا ما يسمى بانتقال الطور (غاز–سائل نووي Nuclear liquid–gas phase transition) او انتقال التشظي المتعدد (The multifragmentation).
2- انضغاطية المادة النووية عند كثافات اعلى من كثافة المادة النووية عند الحالة الارضية للنواة (n_0).
3- انتقال الطور الى حالة (كوارك قلوون بلازما – The Quark Gluon Plasma) حيث يضعف الرباط القوي بين الكواركات والقلوونات فتنتشر الاجسام الى مسافات اطول وهذا ما توقع حدوثه في بداية الكون المبكرة كما موضح في شكل (1).[1]



شكل (1) يوضح الكيفية المفترضة لبداية الكون

تصنيف التصادمات (Classification of collisions):-

هناك نوعان أساسيان من التصادم بشكل عام : التصادم المرن (Elastic collision) والتصادم غير المرن (Inelastic collision) ويسود النوع الثاني على تصادمات الايونات الثقيلة،اذ ان فرق الطاقة قبل التصادم وبعده (حيث طاقة الحركة غير محفوظة)، يعطي الفرصة لتكوين جسيمات جديدة وفقا لقانون تكافؤ الطاقة والكتلة لأينشتاين.

كما تصنف التصادمات في فيزياء الطاقة العالية حسب نوع الجسيمات المتصادمة الى :

1- تصادمات نواة – نواة (nucleus + nucleus)، (A + A).
2- تصادمات نواة – هادرون (hadron + nucleus)، (h + A).
3- تصادمات هادرون – هادرون (hadron + hadron)، (h + h).

وهناك تفاعلات الايونات الخفيفة مثل(D+d)، α+α وغيرها، وفي تصادم النواتين يكون العنصر المتفاعل هو الاكثر ضخامة من حالة تفاعل(نواة – هادرون).[2]

تصنيف التصادمات حسب الطاقة المتاحة:

أما من حيث الطاقة فيمكن تقسيم التصادمات في فيزياء الأيونات الثقيلة الى ثلاث مناطق رئيسية

أ – تصادمات الأيونات الثقيلة ذات الطاقة المتوسطة (Intermediate energy heavy ion collision) في هذا المدى يمكن دراسة خواص المادة النووية الساخنة بالقرب من الكثافة النووية العادية (n_0)، وتكون طاقة الشعاع المناظرة في المدى من (10–100AMeV) وهنا تتكون ظواهر انتقال الطور النووي (غاز – سائل) والتي تعرف باسم (The nuclear – liquid – gas transition).

إذا كانت الإثارة منخفضة تستقر المادة النووية نتيجة لتفاعل الجذب النووي، وفي حالة الطاقة المتوسطة بالإمكان الضغط على المادة النووية الابتدائية ($1 - 2n_0$)،وزيادة حرارة المادة (10–20 MeV)، بعد ذلك تتمدد المادة بشكل أدياباتيكي حتى تقترب من كثافات أقل من n_0 ودرجات حرارة أقل من (5 –10 MeV)، وفي النهاية وكنتيجة لتفاعلات الجاذبية تتكون الشظايا النووية الاصغر ويتكثف الضباب النووي في شكل نقاط من السائل النووي وهذا ما يسمى بتعدد الشظايا النووية (The nuclear multi– fragmentation) .

ب – **تصادمات الأيونات الثقيلة النسبية (Relativistic heavy ion collision)**

مدى الطاقة هنا هو (10AGeV – 100AMeV) تكون المادة النووية قد ضغطت وسخنت اكثر مما كانت عليه في معدل الطاقة السابق،وفي هذه الحالة من الممكن دراسة الضغط والخواص الاساسية الاخرى للحالة النووية،وتحتوي نتائج هذا المعدل للطاقة على فيزيائيات فلكية (Astrophysical) وثيقة الصلة بنجوم النيترون وانفجارات السوبر نوفا (Neutron stars and super explosions) .

ج – **تصادمات الايونات الثقيلة فوق النسبية (Ultra – relativistic heavy ion collision)**

تبدا هذه المنطقة من (10 AGeV) فما فوق، واكثر الأسئلة الفيزيائية هنا تدور حول حالة " الكوارك – قلوون – بلازما،QGP " والتي تتكون عند هذه الطاقة.

يمكن فصل نطاق الطاقة ما فوق النسبية الى منطقتين باختلافات فيزيائية جوهرية : منطقة التوقف (The stopping region) حيث احتجاز الباريونات من القذيفة والهدف ويكون الإيقاف كاملا أو جزئيا،كلا منهما بالآخر ويتكون الباريون الغني بالمادة كليا في اوسط منطقة التفاعل.

والمنطقة الشفافة (The transparent region) حيث الباريونات الاولية للقذيفة والهدف،تكون منفصلة بشكل كبير في فضاء الطور وليس باستطاعة تصادم الأيون الثقيل الحد من سرعتها وابطائها بشكل كلي والحد الفاصل بين هاتين المنطقتين ليس معروفا تجريبيا الى حد الان.[1]

تصنيف التصادمات على حسب بارامتر التصادم :–

كما تصنف التصادمات بالنسبة لبارامتر التصادم (Impact parameter) وهو المسافة بين مركزي النواتين قبل التفاعل ويعرف بالرمز b ولا يمكن قياسه مباشرة بل يجب لقياسه قياس بارامترات أخرى يعتمد عليها. وأنواع التصادم في هذه الحالة هي :–

أ – تصادم مركزي" central collision "

$$0 \leq b \leq |R_P - R_T| \qquad (1)$$

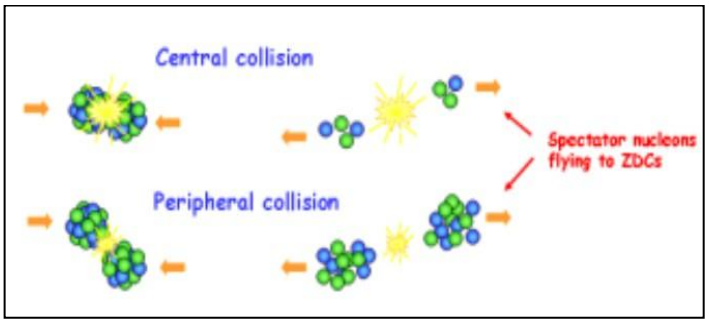
ب – تصادم شبه مركزي"Semi–central collision"

$$|R_P - R_T| < b < (2) |R_P + R_T|$$

ج – تصادم سطحي "peripheral collision"

$$b \approx |R_P + R_T| \qquad (3)$$

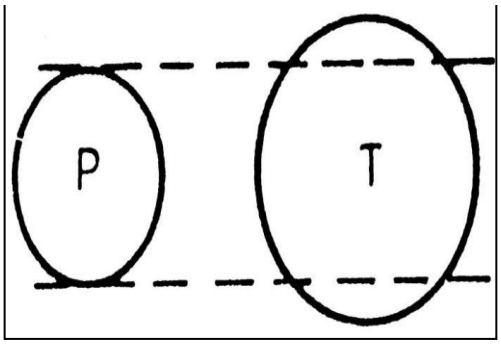
حيث (R_T, R_P) أنصاف أقطار القذيفة والهدف على التوالي [3]،كما هو موضح بالشكل(2) .



شكل (2) يوضح انواع التصادم

وفيما يلي شرح موجز عن كل منها :

أ- التصادم المركزي :



شكل (3) يوضح التصادم المركزي

يمكن القول أنه تحلل كامل للهدف [4]، ويحدث عندما تكون بارامترات التصادم صغيرة كما بالشكل (3).

ينتج عن هذا التصادم معدل ضخم من الظواهر المركبة(complex phenomenon) وتصل النواة إلى حالات قصوى من الإثارة العالية والضغط المرتفع [3].

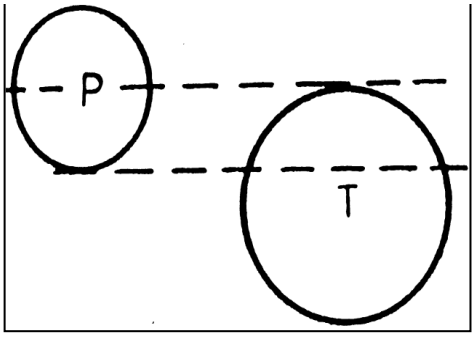
هنا تنغرز نواة القذيفة في نواة الهدف جبهيا، وتظهران كجسمين ممتدين مكانيا، في منطقة التصادم العنيف، وتضرب كل من النواتين الأخرى، وتأسران بعضهما البعض أو ما يسمى بعملية التكتل، ثم لا تلبث هذه الكتلة أن تنحل بمجرد الوصول إلى الحجم الحرج، فتتفكك وتندفع الشظايا بشدة بسبب حركة القذيفة مما يؤدي إلى قذف معظم هذه الشظايا للأمام [5].

تصادم "نواة – نواة " عند الطاقات العالية هو تصادم آني لكل الأزواج الفعالة من الهدف والقذيفة وبدلا من اعتبار ان الاصطدام بين نواتين دائريتين، سنعتبر ان الاصطدام بين قرصين مسطحين معا وكل النيوكليونات تصطدم عند نفس الزمن، وفي هذا الزمن ايضا يكون عدد النيوكليونات هو الاعظم في مركز النواة ويتناقص كلما اتجهنا نحو الخارج مع نصف القطر وبالتالي ستكون كثافة الطاقة اكبر ما يمكن في المركز, وكنتيجة لهذا ستمتلك التصادمات السطحية كثافة طاقة اقل من التصادمات المركزية. وستفقد هاتين النواتين هويتيهما بعد التصادم، وتتبعث الجسيمات من النظام المركب الذي تكون من النواتين المتصادمتين، ولهذه الجسيمات المنبعثة زخم انتقالي كبير وطاقة نسبية عالية.

من الممكن أن نعتبر أن ميكانيكية المراحل السريعة في التصادمات المركزية، تتم على خطوتين:-

المرحلة الأولى وهي جدول زمني، للوقت الذي يلزم الشعاع للعبور خلال النواة، وهنا تظهر عملية إنتاج الجسيم المتعدد، تاركة الأنوية المتصادمة في حالات إثارة عالية و بعد زمن طويل نسبيا، تأتي المرحلة الثانية، وفيها تبدأ البقايا النووية المثارة في الظهور عن طريق انبعاث الشظايا.

ب- التصادم شبه المركزي :-



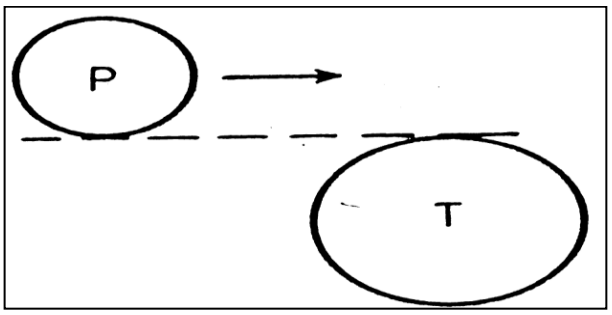
شكل (4) يوضح التصادم شبه المركزي

يكون التصادم هنا غير جبهي كما بالشكل (4)، ولكنه من القوة بما يكفي لتقطع القذيفة الهدف وتجرفها أحيانا.

تتفكك النواتان إلى أجزاء كبيرة، على شكل شظايا عالية الطاقة تنتشر في معظم الاتجاه الأمامي النصف كروي وبزوايا كبيرة، ولا يمكن معرفة مصدرها نواة الهدف أم نواة القذيفة؟. بالإضافة لهذه الشظايا، تتكون بأيونات متوسطة الطاقة، وجسيمات ذات طاقة منخفضة، وتتوزع بشكل متساوي بزاوية (4π),و يمكن إرجاع تكون الجسيم المنخفض الطاقة إلى انحلال بقايا الهدف التي لا تشارك في التفاعلات الابتدائية العنيفة [3].

ج- التصادم السطحي :-

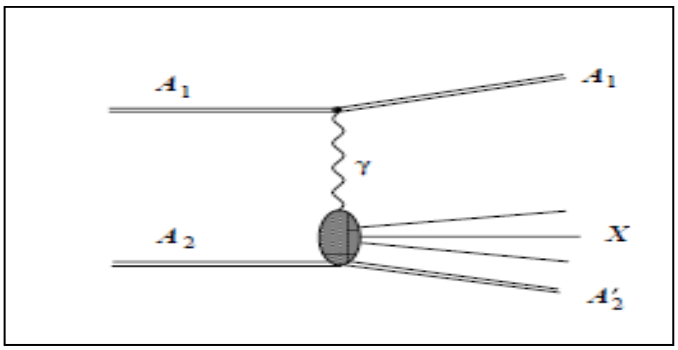
هنا تمس النواة المقذوفة نواة الهدف كما بالشكل (5)، ويكون بارامتر التصادم كبير نسبيا وهذا يؤدي إلى انشطار نواة المقذوف إلى شظايا نووية وتبقى نواة الهدف على حالها وتتابع قطع كبيرة من الشظايا سيرها للأمام.



شكل (5) يوضح التصادم السطحي

نواتج هذا التصادم، لها منحنى يختلف عن منحنى القذيفة وشظاياه لها نفس السرعة تقريبا، وإن حدث اختلاف فناتج عن حجم الشظية نفسها وأكبر اختلاف في سرعة الشظية ينتج عندما كتلتها تساوي نصف كتلة القذيفة . عندما تكون طاقة التصادم صغيرة "نسبيا" حيث تستطيع الأنوية المتصادمة أن تظل فترة أطول وسيكون أمامها فرصة أطول للاندماج، كليا أو جزئيا، وتكون الطاقة كافية لتبخير عدد من النويات في اتجاهات مختلفة وبسرعات عديدة.

أما حين تمر القذيفة بالقرب من الهدف دون التماس (Ultra-peripheral)، ويكون بارامتر التصادم أطول من مدى القوة النووية، حينها ستلعب المجالات الكهرومغناطيسية الناتجة عن الأنوية، الدور القوى وستخضع القذيفة لإثارة بواسطة نبض متناغم قصير ناتج عن الشحنة الكهربية للهدف كما بالشكل (6). [6]



شكل (6) يوضح التصادم ما فوق السطحي

يكون المجال الكهرومغناطيسي قوي نسبيا وتنشا التفاعلات الفوتو- نووية المتعددة والتي من امثلتها :-

1- انحلال كهرومغناطيسي (Electromagnetic Dissociation - ED) لايون الهدف.
2- اثارة نواة القذيفة اوكسر النواة.
3- تبخر النيترون.[7]

يتم الكشف عن نواتج التصادم باستخدام لوح فوتوغرافي عليه طبقة هلامية جافة وسميكة نوعاً ما ذات كثافة عالية وحبيبات متساوية وموزعة بالتساوي تعرف هذه الالواح بالمستحلب النووي، يعمل المستحلب النووي مثل عمل الغرفة السحابية أو غرفة الفقاقيع، حيث يسجل مسار الجسيمات الأولية المشحونة المارة خلال الطبقة الهلامية، وبعد ذلك تحمض في سائل خاص من أجل اظهار مسار الجسيمات في الطبقة الهلامية.

يعتبر المستحلب النووي كشاف أثر ثلاثي الأبعاد بخصائص استثنائية للكشف عن الجسيمات المشحونة، ذو قدرة تحليل مكاني وزاوي (Spatial and angular resolution) وله كثافة وقدرة إيقاف عالية، كما أن له القدرة على معرفة عدة معلومات على الجسيمات المشحونة وليس عددها فقط، مثل: الكتلة، طاقة الجسيمات، أشكال التصادم، و يتميز بالقدرة العالية على التحليل في الفضاء، بالإضافة لرخص ثمنه وإمكانية تحريكه من موقع التعريض وتحميضه واستخراج البيانات بواسطة احصاء عدد أثار الجسيمات المنبعثة عن التصادم، كما يمكن للمستحلب أن يعطينا بدقة متناهية توزيع التعددية للجسيمات (الرمادية، الرذاذية، السوداء، كثيفة التأين) وللشظايا النووية.[8 ،9،10] .

تركيب المستحلب النووي:

عند اعداد المستحلب النووي يختار بأن يكون أكثر سمكاً من المستحلب العادي حيث يزداد إلى حوالي $(600\mu m)$ وذلك لتسجيل معظم مسارات الجسيمات، ويتركب المستحلب من:

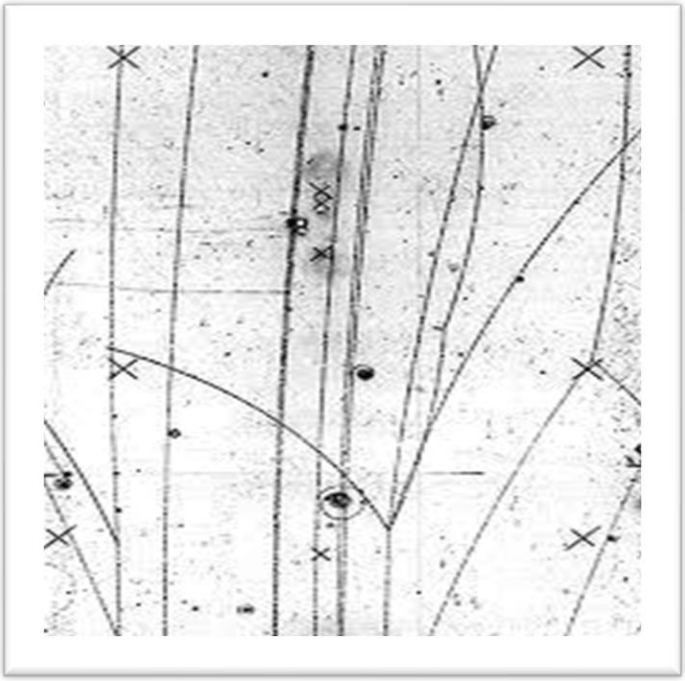
1- بلورات هاليد الفضة، وهو مركب يتكون من الفضة وواحد من الهالوجينات (بروميد الفضة$Ag\ Br$) وخليط صغير من اليوديد $(Ag\ I)$ ويضاف إليه القليل من الكبريت (S).
2- الجيلاتين والجليسرين.
3- ماء.
4- مجموعة أنوية (C N O) وهي أنوية الكربون والنيتروجين والأكسجين.

يتراوح قطر الحبيبات في المستحلب من $(0.3 - 0.7)\mu m$، ولزيادة كثافة الحبيبات المتأثرة بالإشعاع يتم زيادة تركيز هاليد الفضة.

تدخل الجسيمات الإشعاعية إلى المستحلب بزاوية معينة وتسير مسافة معينة تتناسب مع طاقتها، نستطيع مشاهدة مسار الجسيمات في المستحلب بواسطة ميكروسكوب.

توجد بعض العيوب التي تجعل المستحلب النووي يتراجع إلى الخلف مقارنة بالكاشفات الحديثة، حيث لا يمكن استخدامه للكشف عن الجسيمات منخفضة الطاقة لأن مسافة الاختراق لها تكون صغيرة بحيث يتعذر دراستها، ويصعب التعرف على الجسيمات الإشعاعية المختلفة[11].

في الشكل (7) نوضح اختلاف مسار بروتونات ساقطة على مستحلب نووي وذلك حسب نوع الجسيم وطاقته.



الشكل(7) يبين صورة لبروتونات ساقطة على مستحلب نووي.

الجانب العملي:

1_ تصنيف الجسيمات:

قمنا في هذا البحث بدراسة عدد (100) تفاعل نووي لتصادم نواة السيليكون (Si^{28})مع المستحلب النووي عند طاقة ($4.5\mathrm{GeV}/c$)، و تم تحليل هذه بيانات هذه التفاعلات، وحساب عدد الجسيمات الرمادية (N_g) والجسيمات الرذاذية (N_s) والجسيمات السوداء (N_b) والجسيمات كثيفة التأين (N_h)، حيث تم تقسيم الجسيمات المنبعثة من التصادم النووي إلى:

1. الجسيمات الرمادية (N_g-Grey particles):

وهي اثار ناتجة عن جسيمات تأينها($1.4\leq I^* \leq 6.0$) ذات مدى (R>3mm) وسرعة نسبية($0.3< \beta < 0.7$)، وهي على الأغلب عبارة عن بروتونات الهدف ذات طاقة حركية($40030 < E_p <$MeV)، مختلطة ببعض الديترونات "deuterons" وتريتونات "tritons"، وبعض الميزونات البطيئة (حوالي 5%).

2. الجسيمات الرذاذية (N_s-Shower particles):

وهي أثار ناتجة عن جسيمات مشحونة منتجة حديثاً، ذات تأين ($I^* \leq 1.4$) وسرعة نسبية($\beta > 0.7$) وهي بروتونات ذات طاقة

($E_p > 400MeV$) بالإضافة إلى بايونات (Pions) سريعة مع خليط من الكايونات(Kaons) وفوتونات سريعة(E≥60MeV) وبروتونات مضادة.

3. الجسيمات السوداء (N_b-Black particles):

وهي تنتج عن جسيمات تأينها ($I^* < 0.6$)، ومدى قصير ($R \leq 3mm$) ابتداء من رأس التفاعل"Vertex"، ذات سرعة نسبية($\beta< 0.3$)، وبروتونات ذات طاقة ($E_p < 30MeV$) ومعظمها ناتجة من تبخر نويات الهدف المتبقية.

4. الجسيمات كثيفة التأين (N_h – The heavy ionizing tracks):

وهي أجزاء من نويات الهدف وتدعى أيضا بشظايا الهدف (Target fragments)، تعتبر كقياس لإثارة نواة الهدف وهي عبارة عن مجموعة الجسيمات الرمادية والجسيمات السوداء الموضحة في المعادلة التالية:

$$N_h = N_g + N_b \quad (4)$$

2-النتائج والمناقشة :

إن القيم التجريبية لمتوسط مضاعفات $\langle N_s \rangle$، $\langle N_g \rangle$، $\langle N_b \rangle$ للجسيمات الرذاذية والرمادية والسوداء حسب تفاعلات المقذوفات المختلفة (Ne^{22} عند طاقة 4.1 GeV/c لكل نيوكليون) و(Si^{28} وC^{12} عند طاقة 4.5GeV/c لكل نيوكليون)مع المستحلب، تم توضيحها في الجدول التالي ويمكن ملاحظة أن متوسط التعددية لجسيمات الرذاذية$\langle N_s \rangle$ يزداد مع زيادة عدد كتلة المقذوف، أما بالنسبة إلى العدد الكتلي للمقذوف A_p للجسيمات الرمادية فإنه حسب القيم التجريبية فإنها سوف تزداد مع زيادة العدد الكتلي للمقذوف إلى أن تصل إلى قيمة معينة(A_p=16)وتكون قيمة$\langle N_g \rangle$مشبعة(لNe^{22}وSi^{28}).

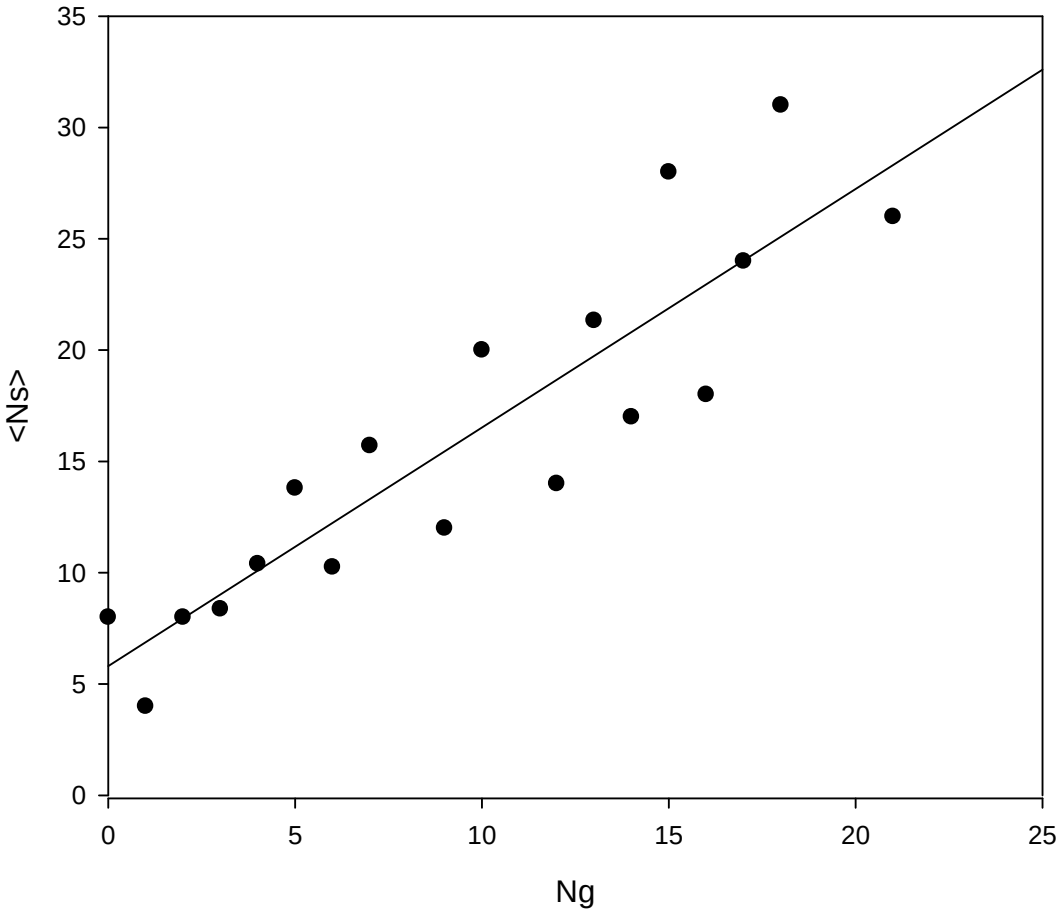
أما قيمة الجسيمات السوداء $\langle N_b \rangle$تكون ثابتة لكل المقذوفات.

إن قيمنا المحسوبة ل $\langle N_s \rangle$، $\langle N_g \rangle$، $\langle N_b \rangle$ متوافقة مع القيم التجريبية الموجودة في الجدول (1) لعنصر Si^{28}، وأن قيم $\langle N_s \rangle$ وقيم $\langle N_g \rangle$ ل (C^{12}, He^4) تكون منخفضة.

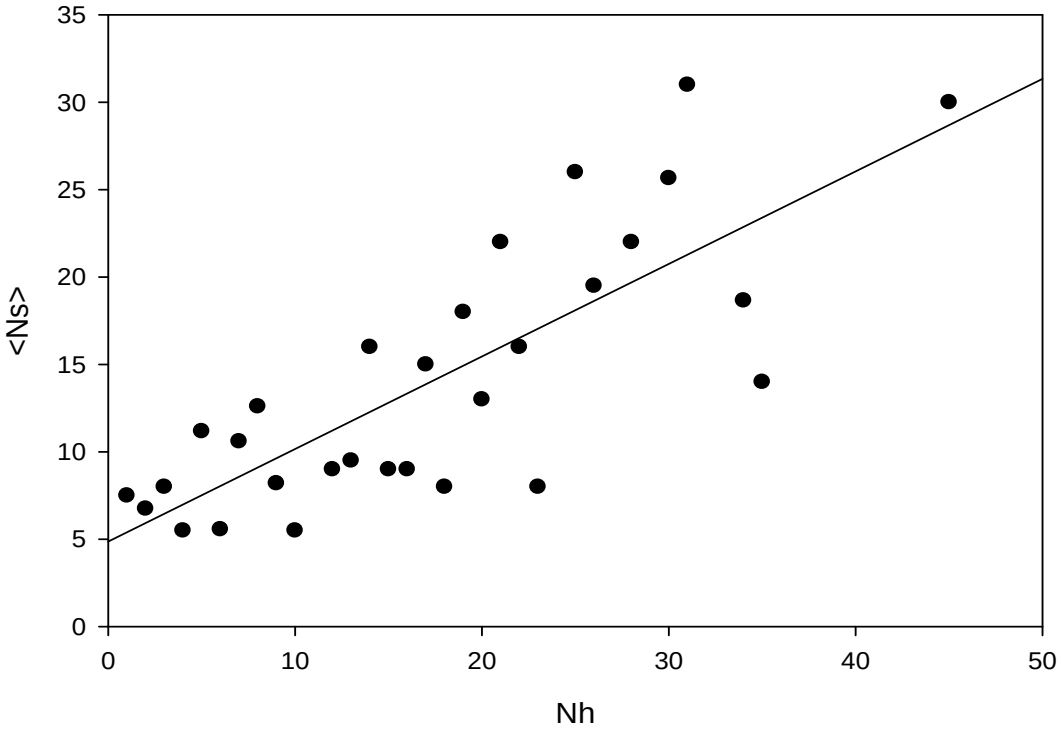
الجدول(1) يوضح القيم المتوسطة التجريبية ل $\langle N_b \rangle$، $\langle N_s \rangle$، $\langle N_g \rangle$، لتفاعل عناصر Si^{28}،$Ne^{22}, C^{12}, He^4, O^{16}$ مع المستحلب النووي.

Projectile	$\langle N_s \rangle$	$\langle N_g \rangle$	$\langle N_b \rangle$	Ref
He^4	3.8	4.4	4.3	[12]
C^{12}	7.7	6.1	4.4	[13]
O^{16}	10.5	7.6	4.9	[14]
Ne^{22}	10.5	6.3	4.2	[15]
Si^{28}	11.8	6.4	4.8	[16]
Si^{28}	11.26	5.22	6.3	الدراسة الحالية

الشكل (8) يوضح العلاقة بين متوسط الجسيمات الرذاذية$\langle N_s \rangle$ والجسيمات الرمادية N_g، أما الشكل (9) يوضح العلاقة بين متوسط الجسيمات الرذاذية$\langle N_s \rangle$ والجسيمات كثيفة التأينN_h وكانت الزيادة خطية في كلا الحالتين.

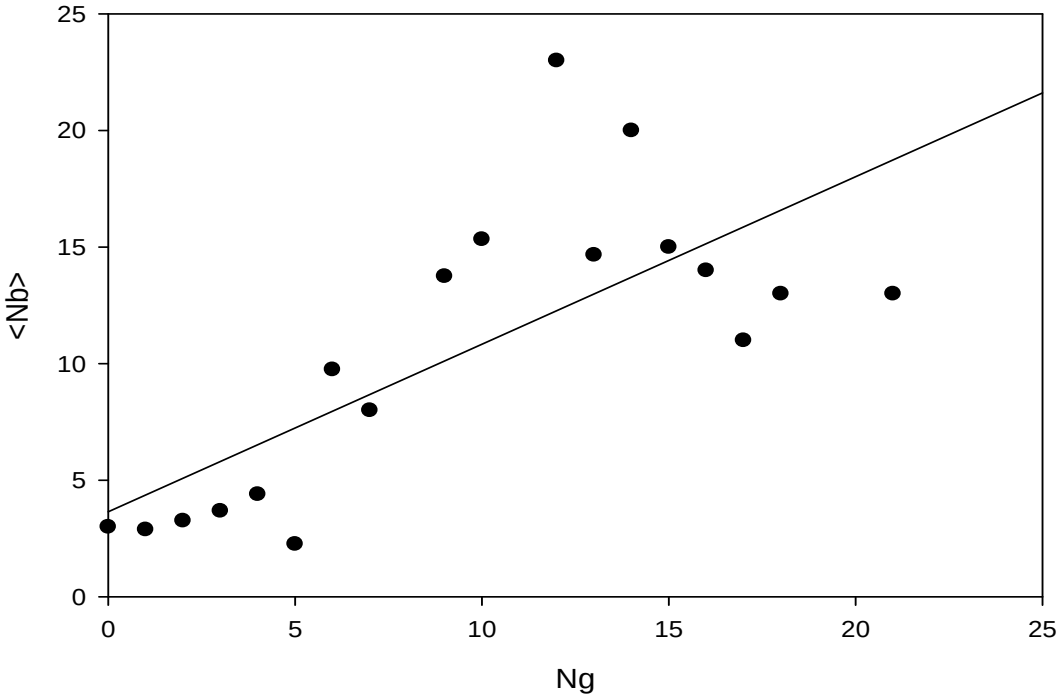


الشكل (8) يوضح العلاقة بين الجسيمات الرمادية مع المتوسط الحسابي للجسيمات الرذاذية.

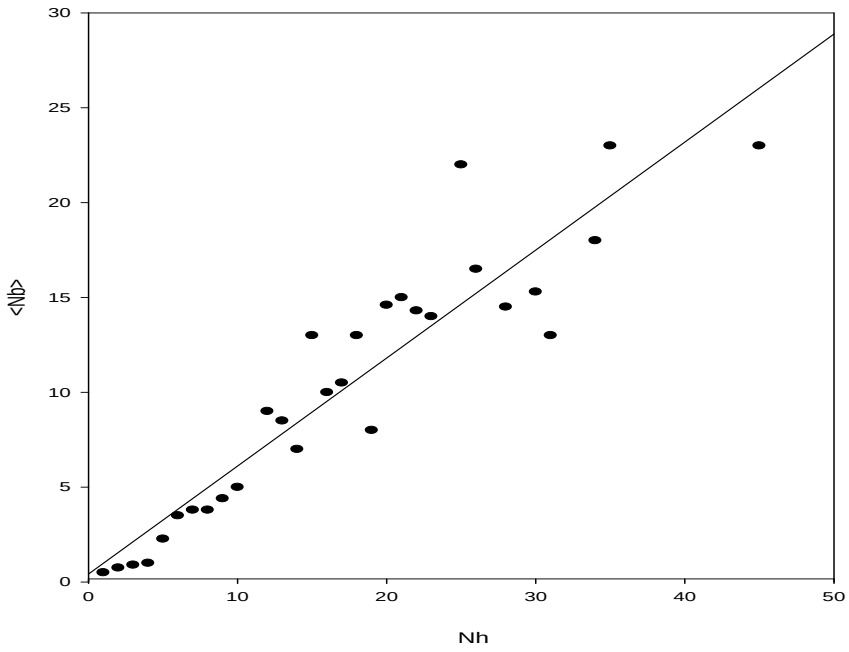


الشكل (9) يوضح العلاقة بين الجسيمات كثيفة التأين والمتوسط الحسابي للجسيمات الرذاذية.

في الشكل(10) يوضح العلاقة بين متوسط الجسيمات السوداء $\langle N_b \rangle$ والجسيمات الرمادية N_g، أما الشكل(11) يوضح العلاقة بين متوسط الجسيمات السوداء $\langle N_b \rangle$ والجسيمات كثيفة التأين N_h، حيث كانت العلاقات علاقات خطية.



الشكل (10) يوضح العلاقة بين الجسيمات الرمادية والمتوسط الحسابي للجسيمات السوداء.



الشكل (11) يوضح العلاقة بين الجسيمات كثيفة التأين والمتوسط الحسابي للجسيمات السوداء

تمت ملائمة البيانات التجريبية لهذه الأشكال بالمعادلة:

$$\langle N_i \rangle = a\ N_j + b \qquad (5)$$

حيث أن:

i : ترمز للجسيمات الرذاذية والسوداء.

j: للجسيمات الرمادية وكثيفة التأين، وقيم البارامترات a، b للأشكال البيانية الأربع السابقة موضحة بالجدول (2).

الجدول (2) يوضح قيم البارامترات a، b للأشكال البيانية.

N_j	$\langle N_i \rangle$	A	B
N_g	$\langle N_s \rangle$	5.8	1.07
N_g	$\langle N_b \rangle$	3.65	0.71
N_h	$\langle N_s \rangle$	4.87	0.53
N_h	$\langle N_b \rangle$	0.42	0.57

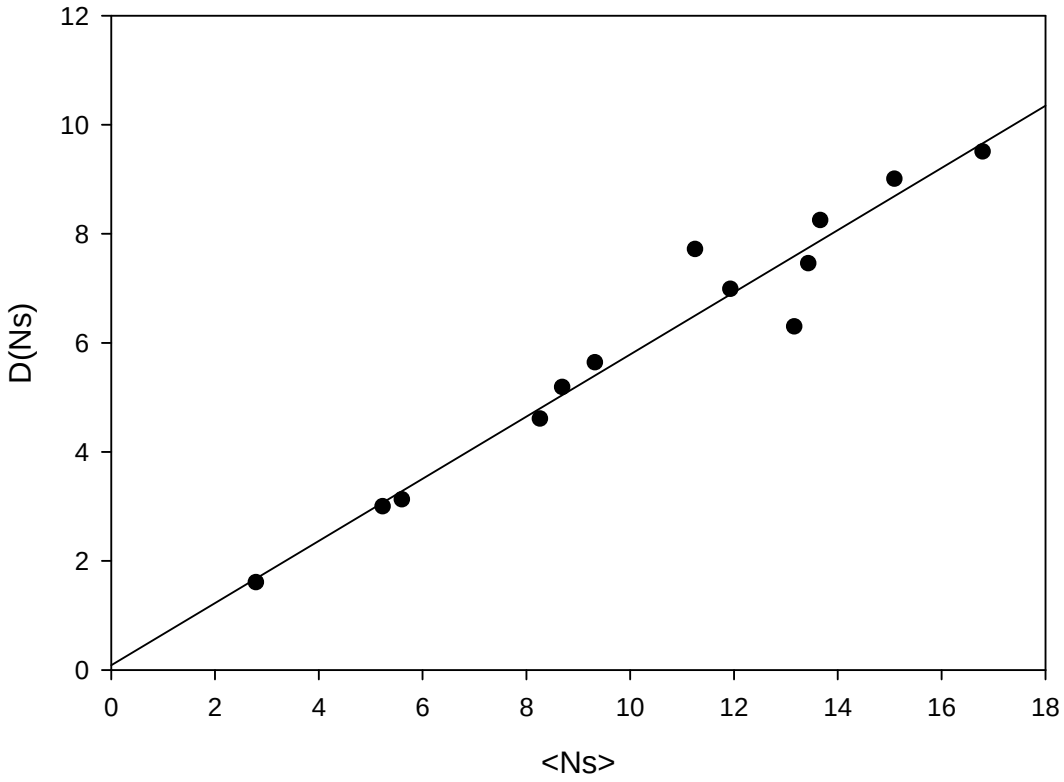
كما تمت دراسة تشتت الجسيمات الرذاذية $D(N_s)$ مع متوسط الجسيمات الرذاذية $\langle N_s \rangle$وتحديد قيم التشتت$D(N_s)$ ، وفي الجدول (3) تم حساب تشتت الجسيمات الرذاذية $D(N_s)$ والنسبة بين متوسط الجسيمات الرذاذية مقسومة على تشتت الجسيمات الرذاذية $\langle N_s \rangle / D(N_s)$ وحصلنا على النتائج التالية.

الجدول (3) يوضح تشتت (N_s) D والنسبة بين $\langle N_s \rangle / D(N_s)$.

Projectile	Incident energy(GeV)	$\langle N_s \rangle$	$D(N_s)$	$\langle N_s \rangle / D(N_s)$	Ref
Si^{28}_Em	4.5	11.26	7.71	1.46	الدراسة الحالية.
$_EmC^{12}$	4.5	2.18	1.74	1.25	[11]
^{16}O	3.7	7.6	4.21	12.41	[17]
$p-A$	6.2	2.8	1.6	1.75	[18]
$p-A$	22.5	5.61	3.12	1.70	[18]
$\pi-A$	17.2	5.24	2.99	1.78	[19]

يتبين من الجدول السابق أنه باختلاف قيم طاقة التفاعل للمقذوفات تتغير النسبة بين $\langle N_s \rangle / D(\ _s)$.

الشكل (12) يوضح العلاقة بين تشتت الجسيمات الرذاذية $D(N_s)$ مع متوسط الجسيمات الرذاذية $\langle N_s \rangle$ وكانت العلاقة طردية.



الشكل (12) يوضح العلاقة بين متوسط الجسيمات الرذاذية مع تشتت الجسيمات الرذاذية عند طاقات مختلفة للمستحلب.

تمت ملائمة الشكل السابق بالمعادلة:

$$\langle N_i \rangle = \quad a\ N_j + b \qquad (6)$$

حيث كانت قيم البارامترات تساوى:

، b=0.57 a=0.087

الخلاصة(Conclusion)

من خلال هذه الدراسة نورد النقاط التالية كملخص لها:

1. من دراسة تفاعل Si^{28} مع المستحلب عند طاقة $(4.5\text{GeV}/c)$ لكل نيوكليون) وجدنا أن العلاقات ما بين الجسيمات الرمادية وكثيفة التأين على المحور الأفقي والمتوسط الحسابي للجسيمات الرذاذية على المحور العمودي تتناسب خطياً، وأيضاً العلاقات ما بين الجسيمات الرمادية وكثيفة التأين على المحور الأفقي والمتوسط الحسابي للجسيمات السوداء على المحور العمودي تتناسب خطياً.
2. يزداد متوسط التعددية للجسيمات الرذاذية والسوداء مع الزيادة في كتلة المقذوف.
3. لقد وجدنا أن قيم $(_s)$ D تزداد خطياً مع قيم $\langle N_s \rangle$.

المـــــراجـــع

[1]- Laszlo p.csernai، Introduction to relativistic heavy ion collisions ، November(**2008**).
[2]-]- Albiomy Abd El-Daiem et al, Nuclear fragmentation at 4.5 AGeV/C in Si^{28} with emulsion interactions،Natural science,(**2011**) 408-413.
[3]- R.Bhania et al, Emission of projectile helium fragments in N^{14} interaction at 2.1 GeV/nucleon. (**1983**).
[4]-.B.K.Singh, S.K Tuli،Central collisions of Si^{28} with AgBr nuclei. (**1996**).
[5]. B.M.Badawy, Central collisions induced by light target nuclei.,(**2008**).
[6] - M El-Nadi et al،Sulphur dissociation in nuclear emulsion at 3.7 and 200 GeV,(**2002**).
[7] - G.I.Smirnov،HEAVY ION INTERACTIONS WITH MATTER،CERN،Geneva،Switzerland.
[8]-. Cristiano Bozza et al, Muon radiography by nuclear emulsion; data acquisition and processing, 379-389 Joly (2013).
[9].Harman technology limited, FACT SHEET, ILFORDNUCLEAR
[10].N N Abd Allah et al, Multiplicity distribution of shower particles and target fragments in Li-Em collision at 3 A GeV/c, August)287-293(2013)
[11].Tauseef Ahmad, Mustafa Abdusalam Naser, M.Irfan and H. Khushnood. Peripheral Collisions Caused by 4.5GeV/c Carbon and silicon Nuclei. Maggio (1994).
[12].Adamovich M.I. et al., 1977, JINR E1-10838, Dubna (1977)
[13].EL-Naghy A. \& Toneev, V.D., Z.Phys., A298, 55(1980)
[14].Antonchik V.A. et al, Sov. J.Nucl.Phys., 39(5), 774(1984).
[15].Andreeva N.P. et al.،، Sov. J. nucl., Phys., 74(1)، 78(1987)
[16].EL-Naghy A. et al.، Tr.J.of Phys.19, 1170(1995).
[17] - حليمة الهادي الجمل, مصطفى بن نصر بعيو. دراسة للتعددية المركبة للجسيمات المشحونة النسبية في تصادمات الاكسجين مع المستحلب عند الطاقة العالية. مجلة البحوث الاكاديمية، مجلد 29 عدد1 (2025).
[18].H. Winzele: Nucl. Phys., 69, 661 (1965).
[19].J. M. Kohli: Ph.D. Thesis, Punjab University, Chandigarh India (1965).