

المجلة الأردنية للفيزياء

ARTICLE

بعض الصفات العامة للشظايا المنبعثة في تفاعلات السيلكون مع المستحلب النووي عند طاقة شعاع 4.5GeV لكل نيوكلليون

فاطمة عبد السلام أبوزقية ومصطفى عبدالسلام بن نصر بعيو
قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا.

Received on: 4/7/2013;

Accepted on: 30/3/2014

الملخص: هذه المحاولة أجريت لدراسة بعض مميزات إنتاج الشظايا النووية في التصادمات النووية عالية الطاقة، وذلك من خلال دراسة خصائص الانبعاث مثل المقطع العرضي للتفاعل النووي، والزخوم العيارية للجسيمات النسبية، ودراسة اعتماد هذه الخصائص على كتلة القذيفة والهدف وطاقة القذيفة، في تفاعلات $Si^{28} - Em$ عند كمية حركة شعاع قدرها $4.5GeV/c$ لكل نيوكلليون.

النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة تمت مناقشتها ومقارنتها بنتائج باحثين آخرين، حيث لوحظ الاتفاق الجيد مع هذه النتائج، كما تم أيضاً في هذا العمل حساب كثافة الطاقة الناتجة من التصادمات المركزية لنوى السيلكون مع نوى المستحلب النووي، وذلك باستخدام نموذج *Bjorken*.

Some General Properties of the Emitted Fragments in Interactions at 4.5GeV per Nucleon

Fatima Abu Zaghia and Mustafa Bayio

Physics Department, Faculty of Science, Misrata University, Misrata, Libya.

Abstract: An attempt has been made to investigate some features of nuclear fragments produced in high energy heavy ion collisions. Emission characteristics such, as the nuclear cross-section and the normalized moments of relativistic charged particles and their dependence on the projectile and target mass and the projectile energy, produced in (4.5AGeV/c)silicon – emulsion interactions, are investigated. Results obtained in the present work are compared with those reported by other researchers.

The energy density has been calculated using the Bjorken model.

Keywords: Nuclear emulsion; Quark-gluon plasma; Cross-section; Normalized moments; Energy density.

PACS: 25.75.-q

المقدمة

تعرف النظرية الكمية التي تصف هذه التفاعلات النووية من حيث مميزات وسلوك غالبية المكونات الأساسية للمادة وسلوكها، بديناميكا الكم اللونية (Quantum Chromo-Dynamics) (QCD). تفترض هذه النظرية انه عندما تزيد درجة حرارة الجسم النووي أكثر من مستوى معين، قدر بحوالي $T_c = 200MeV$ ، وكثافة طاقة مقدارها $\epsilon = (15 - 25) \epsilon_0$ ، حيث ϵ_0 (كثافة الطاقة للمادة

تعتبر تصادمات نواة- نواة من العمليات النووية التي تؤدي إلى تقدير جيد لحالة المادة عند الكثافات العالية ودرجات الحرارة المرتفعة، وذلك بسبب حدوث تصادمات نووية متعددة وإنتاج شظايا متعددة. لذا فالتشظي النووي عملية مهمة لدراسة التفاعلات النووية ذات الطاقة العالية؛ فهي تزودنا بمعلومات دقيقة عن ميكانيكية التفاعل وكذلك عن تركيب النواة [1].

و جرى تتبعها للخلف للتأكد من أنها لم تأت من تفاعل سابق.

وبهذه الطريقة، جرى تتبع جميع الآثار الابتدائية من دخولها إلى الكومة حتى تفاعلت مع الكومة أو غادرتها، كما تم تعيين مختلف متغيرات (بارامترات) التفاعل لكل نجم Star 95xOil ذات قوة تكبير 15xEye-pieces و 95xOil Immersion Objectives.

هذه البيانات وزعت على عدة مراكز للطاقة العالية لتحليلها، ومن هذه المراكز (Aligarh) بالهند، ومن هذا المركز تم الحصول على هذه البيانات من الدكتور المشرف (Prof. Mustafa Bayio). وقمت بتحليل هذه البيانات التي تم الحصول عليها في قسم الفيزياء في جامعة مصراتة بليبيا، حيث شملت البيانات في هذه الدراسة على 548 تفاعلاً قابلاً للتحليل من السيلكون مع المستحلب النووي. ويوضح الجدول (1) الكثافة التي تقابل كل عنصر من مكونات المستحلب بوحدة $atoms/cm^3$.

يتكون المستحلب النووي من مادة عجيبة تتألف من بلورات دقيقة من هاليد الفضة يكون معظمها من البروم مع مخلوط صغير من اليود، هذه البلورات تكون مغمورة في الجيلاتين (Gelatin)، وهو عبارة عن مادة عضوية معقدة قادرة على امتصاص كميات كبيرة من الماء. إن الوظيفة الأساسية للجيلاتين هي التزويد بشبكة ثلاثية الأبعاد تعمل أساساً على تحديد مكان البلورات الصغيرة ومنعها من الهروب أثناء الإظهار والتثبيت (Development and Fixation). لذلك فالجيلاتين يعتبر مادة ملينة تخفف من هشاشة المستحلب.

كذلك يحتوي المستحلب النووي على ماء بحيث يبقيه رطباً ويمنعه من التقشير.

النوية العادية)، فإن المادة المتفاعلة بشكل قوي تمر بمرحلة تحول لحالة جديدة من المادة تعرف باسم كوارك - قليون بلازما (Quark-Gluon Plasma) (QGP). تتغير درجة الحرية (Degree of Freedom) خلال مرحلة التحول من الهاردونات متعادلة اللون إلى البارتونات (Partons) ذات الشحنة اللونية [2].

لدراسة هذه المرحلة تجريبياً، لا بد من تصادم بين النوى بعد تعجيلها بطاقة عالية؛ إذ إن نوى الاصطدام تخترق بعضها بعضاً، وتبدأ النيوكليونات بتبادل الطاقة والزخم، وبذلك تفقد نوى الاصطدام هويتها بالكامل وتندمج مع بعضها مكونة كرة نارية (Fire Ball) [3] أولية ساخنة تتوسع وتبرد وتؤول في النهاية إلى نيوكليونات وبايونات... إلخ.

لذلك، فالعديد من النماذج النظرية تقترح من وقت لآخر لوصف تصادم نواة - نواة وتفسير البيانات التجريبية المتعلقة بمختلف نواتج التصادم. هذه النماذج المختلفة تصف مظاهر مختلفة من التصادم، وذلك لأنه لا يوجد نموذج يمكن أن يصف كل مظاهر التصادمات عند الطاقات العالية. ومن هذه النماذج نموذج بجوركن (Bjorken) [4] الذي يوضح كيفية تقدير كثافة الطاقة وإمكانية التحول من الطور الهادروني إلى طور كوارك - قليون بلازما (QGP).

مصدر البيانات التجريبية

البيانات المستخدمة هي لمعجل *Dubna Synchrophasotron* في روسيا، وذلك باستخدام تقنية المستحلب النووي (Nuclear Emulsion)، حيث تم 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 قدرها $4.5AGeV/c$ ، وباستخدام Nikon Microscope متحرك بقوة تكبير 40x Objectives و 15x Eye-pieces التقطت الآثار الابتدائية على مسافة 3mm من حافة الدخول إلى الكومة

الجدول (1): التركيب الكيميائي للمستحلب النووي من نوع "NIKFI - BR2"

Element	H^1	C^{12}	N^{14}	O^{16}	F_8^{80}	A_g^{108}
$atoms/cm^3 \times 10^{22}$	3.15	1.41	0.395	0.956	1.028	1.028

115 تفاعلاً مع نوى H ، 210 تفاعلات مع النوى الخفيفة CNO ، و223 تفاعلاً مع النوى الثقيلة $AgBr$ في عينة فيها 548 تفاعلاً في حالة تصادمات $St - Emulston$ عند كمية حركة شعاع قدرها 4.5 GeV/c، وكل تفاعل من هذه التفاعلات ينتج عنه انبعاث شظايا.

يوضح الجدول (2) نسبة تصادم المقذوف مع مختلف مجموعات النوى في المستحلب النووي. ونلاحظ أن التفاعلات مع H تتزايد بزيادة كتلة الشعاع، بينما التفاعلات مع $AgBr$ تتناقص بزيادة كتلة الشعاع.

يمكن تقسيم التفاعلات النووية مع نوى المستحلب النووي كما يلي:

- التفاعلات النووية مع النوى الثقيلة $AgBr$ تكون عند: $n_h > 8$
- التفاعلات النووية مع النوى الخفيفة CNO تكون عند: $2 \leq n_h \leq 8$
- التفاعلات النووية مع نوى الهيدروجين H تكون عند: $n_h \leq 1$

على أساس هذه التقسيمات تحصل على:

الجدول (2): نسبة تصادم المقذوف مع مجموعات النوى المختلفة في المستحلب النووي

Projectile	Energy (AGeV/c)	H ($\langle A \rangle = 1$)	CNO ($\langle A \rangle = 14$)	Ag Br ($\langle A \rangle = 94$)	Ref.
N^{14}	2.1	12.7	32.9	54	[10]
O^{16}	2	10.8	37.9	51.3	[11]
Mg^{24}	4.5	11.06	34.45	54.49	[12]
S_i^{28}	4.5	20.99	38.74	40.69	Present Work
Ar^{40}	1.8	17.8	34.6	47.5	[13]
F^{56}	1.8	16.6	35.6	47.8	[14]

الجسيمات مشحونة مفردة نسبية، وتتميز آثار هذه الجسيمات بمداهما الطويل نسبياً، وأغلب هذه الجسيمات هي بايونات، وفوتونات سريعة، وبروتونات بالإضافة إلى مساهمة صغيرة من شظايا القذيفة المشحونة المفردة. تمتلك الجسيمات الرنازية تأيناً نوعياً (Specific Ionization) $I^* \leq 1.4$ حيث $I^* = \frac{I}{L}$ ، I يمثل التأين لأثر الجسيم الثانوي، I يمثل الحد الأدنى التجريبي للتأين لبزاوية انبعاث $(\theta \leq 3^\circ)$ وسرعة نسبية $\beta \geq 0.7$ مثل هذه الجسيمات تخضع لاستطارة متعددة شديدة. وبناءً على ذلك تنفصل البايونات الناتجة عن شظايا القذيفة المشحونة المفردة.

3. شظايا الهدف (Target Fragments (TFs) وهي عبارة عن شلال من الجسيمات أو النيوكليونات المرتدة التي تنبعث من تبخر النواة المتبقية، هذا الصنف قسم إلى:

- الجسيمات الرمادية Gray Particle (n_g)، وتمتلك تأيناً نوعياً $(1.4 < I^* < 10)$ ومدى $R \geq 3mm$

في تجارب المستحلب النووي، وعند حدوث تصادم وإنتاج الشظايا النووية، فإن انبعاث الجسيمات في تصادمات نواة - نواة عالية تمتلك خصائص مختلفة. فصنفت آثار هذه الجسيمات الناتجة على أساس السرعة النسبية β ($\beta = \frac{v}{c}$) والمدى R المتبقي لها في المستحلب وكثافة حبيبة الأثر المتكون في المستحلب (التأين النوعي) I^* . وهذا التقسيم هو المتبع في المرجع [5]:

1. شظايا القذيفة (Projectile Fragments (PFs)، وهي شظايا نواة القذيفة غير المتفاعلة Spectator Projectiles الناشئة من استمرار الجسيم هابطاً في مساره بعد الاصطدام بالنوى الساقطة. هذه الجسيمات تمتلك تقريباً سرعة النوى الساقطة نفسها بمعنى أن سرعتها النسبية $(\beta < 1)$ ، وهي ذات تأين ثابت وتتميز بمدى طويل وزوايا انبعاث صغيرة.
2. الجسيمات الرنازية Shower particles (n_s)، تنتج هذه الجسيمات بشكل سريع ومباشرة بعد حدوث التصادم مما يجعل النوى المتبقية في حالة إثارة. هذه

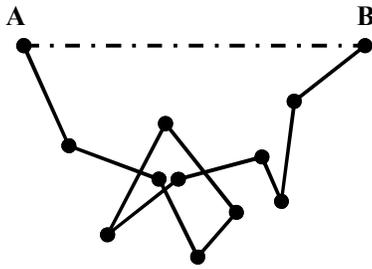
بعض الصفات العامة للشظايا المنبعثة في تفاعلات السيلكون مع المستحلب النووي عند طاقة شعاع 4.5 GeV لكل نيوكليون

$$\sigma = \frac{1}{\lambda \rho} \quad (1)$$

يقاس المقطع العرضي للتفاعل بوحدة البارن أو الميكرومتر المربع ($1b = 10^{-28}m^2$).

λ متوسط المسار الحر (Mean Free Path)، وهو متوسط المسافة المقطوعة بين التصادمات المتتالية التي يحدثها الجسيم مع النوى.

مسار الجسيم نتيجة التصادم هو خط منكسر كما في الشكل التالي، والنقط على هذا الخط تمثل أماكن التصادمات.



مسار جسيم يتعرض للتصادم

المسافة الفعلية التي يقطعها الجسيم بين النقطتين A وB أكبر من طول الخط الواصل بينهما.

$$\lambda = \frac{\text{طول المسار الكلي الذي يقطعه الجسيم}}{\text{العدد الكلي للتصادمات الحادثة}}$$

يبين الجدول (3) علاقة متوسط المسار الحر بطاقة القذيفة، حيث نلاحظ أن متوسط المسار الحر يزداد بزيادة طاقة القذيفة، كما نلاحظ من الشكل (1) أن متوسط المسار الحر يتناقص بزيادة كتلة القذيفة.

ρ الكثافة (Density) ($gm.cm^{-3}$) لمجموعة النوى المعطاة في الجدول (1) [6]. باستخدام التركيب الكيميائي للمستحلب النووي وباستخدام المعادلة (1)، حيث $\lambda = 1.56cm$ في حالة تصادمات السيلكون مع المستحلب النووي، وجدنا أن:

$$\left[\begin{array}{l} \sigma_H = 284.9 \text{ mb}, \sigma_{CNO} = 371.47 \text{ mb}, \\ \sigma_{AgBr} = 2575.33 \text{ mb}, \sigma_{Em} = 804.6 \text{ mb} \end{array} \right]$$

القيم التجريبية

وسرعة نسبية $0.3 < \beta < 0.7$ ، وطاقتها تتراوح بين (26-375 MeV). أغلب هذه الجسيمات عبارة عن بروتونات الهدف المرتدة وبعض من الديوترونات Deuterons والترايتونات Tritons. وجدير بالذكر أن شظايا القذيفة المشحونة الثنائية مع زاوية انبعث ($\theta \leq 3^\circ$) تنتج التأين نفسه للمسارات الرمادية، ولكن لم تدرج ضمن حسابات المسارات الرمادية.

• الجسيمات السوداء Black Particles (n_B)، وتمتلك تأيناً نوعياً ($I^* > 10$) ومدى $R < 3mm$ وسرعة نسبية $\beta \leq 0.3$ ، وطاقاتها $E < 30MeV$. هذه الآثار السوداء تنتج عن الشظايا، جسيمات ألفا، وديوترونات، وبروتونات وهي تبدو كجسيمات ثانوية بطيئة ذات تأين عالٍ.

من ثم فإن الجسيمات المنبعثة تكون: شظايا قذيفة (التي قسُمت ثنائية إلى مفردة الشحنة، وثنائية الشحنة ومتعددة الشحنة)، والجسيمات الرذاذية n_E ، وشظايا الهدف (الجسيمات الرمادية n_E ، والجسيمات السوداء n_B). وتحمل آثار هذه الجسيمات وصفاً متكاملًا لسلوك المادة النووية.

النتائج والمناقشة

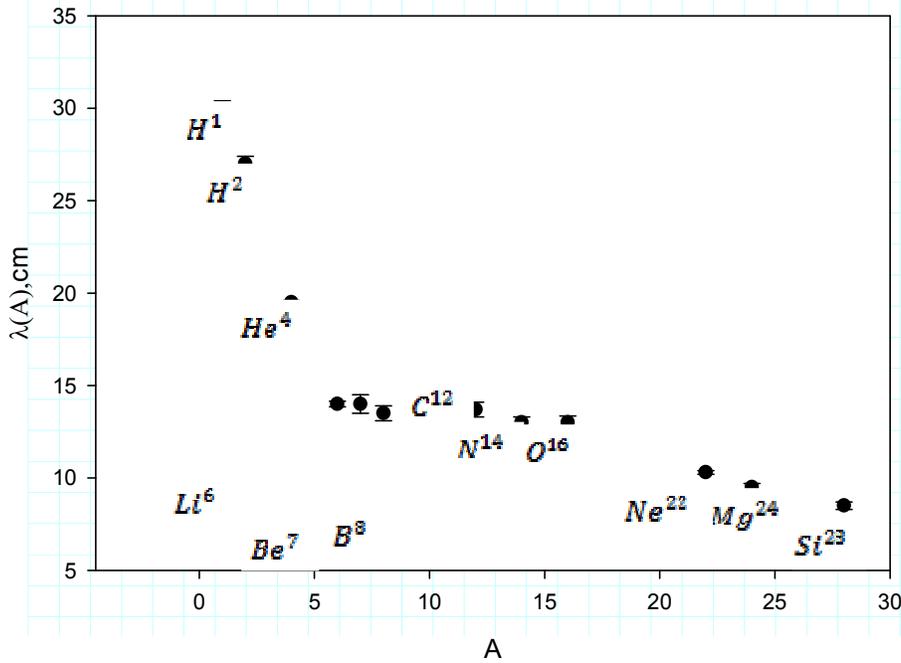
1. المقطع العرضي للتفاعل

تعد دراسة المقطع العرضي للتفاعل من المفاهيم الهامة عند دراسة تصادم الجسيمات عالية الطاقة، حيث يعبر عن احتمالية حدوث الحدث (Event) عند قذف جسيم مفرد عمودياً على هدف يتكون من جسيم واحد لوحدة المساحة. فكرة المقطع العرضي أنه يعطي مساحة تخيلية لكل جسيم، ويتم اختيار المساحة بحيث إذا مر خلالها جسيم ساقط يحدث التفاعل، وإذا مر خارجها لا يحدث التفاعل. ويمكن تصور جسيم الهدف بأنه يشكل مساحة معينة بالنسبة للجسيم الساقط. وعند توجه الجسيم الساقط إلى الهدف فإنه يتفاعل معه ضمن هذه المساحة، وكلما زادت مساحة الهدف زادت احتمالية التفاعل بين الجسيم الساقط والهدف. وتسمى هذه المساحة مساحة مقطع التفاعل، وتتباين مساحة مقطع التفاعل للهدف تبعاً لطبيعة التفاعل وطاقة الجسيم الساقط.

المقطع العرضي (Cross-Section) التجريبي لتفاعلات كل مجموعات الهدف $\sigma_H, \sigma_{CNO}, \sigma_{AgBr}$ من العلاقة:

الجدول (3): متوسط المسار الحر (λ) لقذائف مختلفة عند كميات حركه مختلفة

Element	Energy(AGeV/c)	Mean Free Path		Ref.
		λ (cm)		
S_i^{28}	4.5	1.56		Present work
S_i^{28}	14.6	12.65		[15]
F_g^{56}	1	7.53		[16]
F_g^{56}	1.7	8.4		[17]



الشكل (1): العلاقة بين المسار الحر $\lambda(A)$ ورقم الكتلة للقذيفة

$$\left[\begin{array}{l} \sigma_H = 182.75 \text{ mb}, \sigma_{CNO} = 445.7 \text{ mb}, \\ \sigma_{AgBr} = 2227.05 \text{ mb}, \sigma_{Em} = 1521.39 \text{ mb} \end{array} \right]$$

القيم باستخدام المعادلة (2)

نلاحظ أن القيم المحسوبة للمقاطع العرضية باستخدام علاقة Bradt - Peters على اتفاق جيد مع القيم التجريبية، ويوضح الجدول (4) القيم التجريبية للمقطع العرضي لتفاعل قذائف مختلفة مع أهداف المستحلب النووي عند كمية حركة شعاع 4.5 AGeV/c ومقارنتها بالقيم المحسوبة باستخدام علاقة Bradt - Peters.

كما نبين في الشكل (2) علاقة المقطع العرضي للتفاعل بكتلة القذيفة في حالة تصادم قذائف مختلفة بالمستحلب النووي عند كمية حركة شعاع 4.5 AGeV/c، حيث نلاحظ

كذلك يمكن حساب المقطع العرضي للتفاعل باستخدام علاقة Bradt - Peters [7]، وهي تعبير هندسي مفيد لحساب المقطع العرضي لتفاعل الأيون الثقيل في حدود منطقة الطاقة، وتعطى بالمعادلة.

$$\sigma = \pi \left[r^0 \left(A_p^{\frac{1}{2}} + A_t^{\frac{1}{2}} - b \right) \right]^2 \quad (2)$$

حيث A_p كتلة الهدف، A_t كتلة القذيفة، b بارامتر التصادم الذي يمكن حسابه من العلاقة:

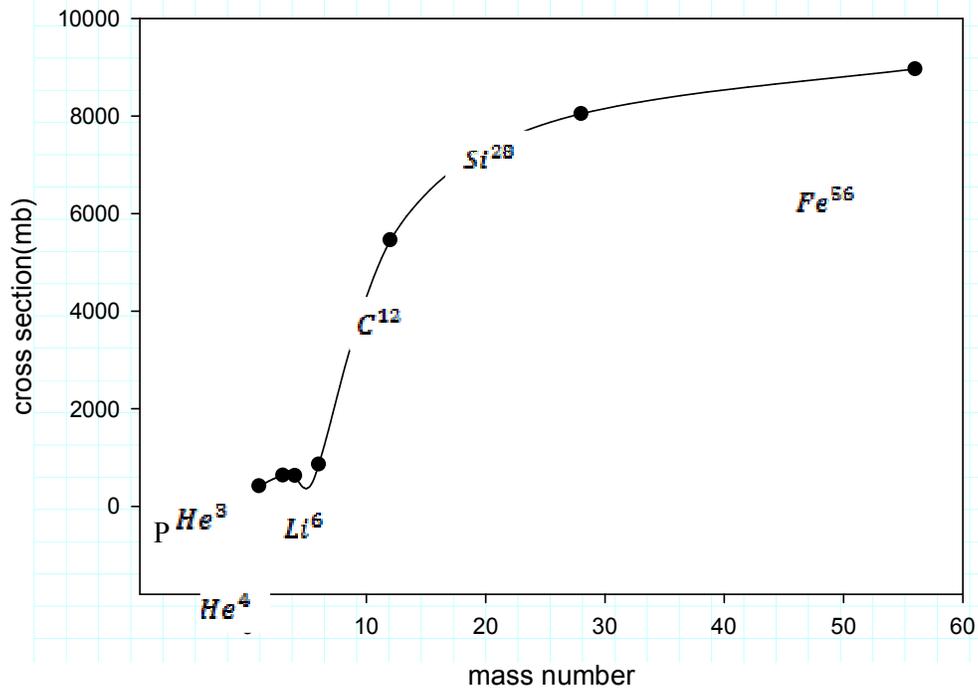
$$b = \left[1.3 \left(A_p^{\frac{1}{3}} + A_t^{\frac{1}{3}} \right) + 0.4 \right] \text{ fm} \quad (3)$$

حيث $r^0 = 1.25 \text{ fm}$ ، وتطبيق المعادلتين (2) و(3) نجد أن:

أن المقطع العرضي للتفاعل النووي يزداد بزيادة كتلة القذيفة.

الجدول (4): القيم التجريبية للمقطع العرضي للتفاعل النووي غير المرن ومقارنتها بالقيم التي تم الحصول عليها بواسطة صيغة Bradt - Peters لقذائف مختلفة مع أهداف المستحلب النووي، عند كمية حركة 4.5AGeV/c

Projectile	σ_H mb	σ_{CNO} mb	σ_{Em} mb	$\sigma_{A_E B_T}$ mb	Ref.
p	37.70 (32.3)	291.36 (249.79)	415.52 (357.03)	1161.37 (998.67)	
He^3	89.72 (84.10)	527.05 (489.77)	635.70 (591.76)	1618.57 (1506.62)	
He^4	100.67 (103.42)	533.89 (546.64)	629.64 (644.54)	1568.97 (1605.15)	[18]
Li^6	162.53 (138.42)	755.74 (641.52)	861.26 (732.51)	2074.12 (1765.00)	
Si^{28}	284.900 (182.753)	371.474 (445.710)	804.6 (1521.394)	2575.327 (2227.045)	Present Work



الشكل (2) يوضح علاقة المقطع العرضي للتفاعل النووي بكتلة القذيفة وذلك في حالة تصادمات قذائف مختلفة بالمستحلب النووي عند كمية حركة شعاع 4.5AGeV/c

$$\varepsilon = \frac{3}{2} \sqrt{\langle P_T \rangle^2 + m_\pi^2} \left(\frac{dn_s}{d\eta} \right) V^{-1} \quad (4)$$

حيث $V =$ المساحة العرضية لتداخل النواتين عند التصادم.

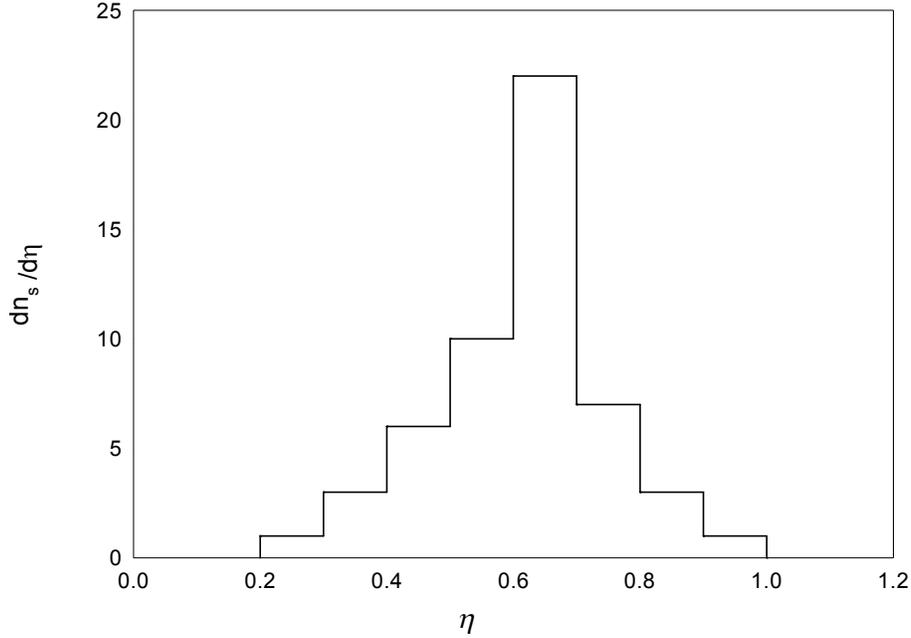
$$V = \pi A^{2/3} (1.18)^2 \quad (5)$$

2. تقدير كثافة الطاقة:

إن معرفة كثافة الطاقة (energy density) التي نتجت في التصادمات الشديدة تمكننا من البحث عن الطور الجديد (الانتقال من الطور الهادروني إلى طور كوارك-قليون بلازما)، ولتقدير كثافة الطاقة ε نستخدم صيغة بجوركن (Bjorken):

التفاعل: $\left(\frac{dn_s}{d\eta}\right)_{\max} = 20.67$ كما هو موضح في الشكل (3)، حيث η تمثل الإسراع الزائف العياري (Normalized Pseudorapidity):

$$\eta = (\eta - \eta_{\min}) / (\eta_{\max} - \eta_{\min})$$



الشكل (3): توزيعات الإسراع الزائف العياري للجسيمات الرذاذية الناتجة في حدث مفرد عند $\eta_s = 53$ و $\eta_h = 23$ لتفاعلات السيلكون مع المستحلب النووي عند كمية حركة شعاع 4.5 GeV/c

الطاقة $\varepsilon = 1.3 \text{ GeV}/\text{fm}^3$ ، وهي أيضاً كثافة طاقة غير كافية لإحداث انتقال في الطور.

كما قدرت كثافة الطاقة أيضاً للتصادم المركزي لـ $p\bar{b} - p\bar{b}$ في معجل SPS (Super Proton Synchrotron) الموجود في سيرن (CERN)، وكانت كثافة الطاقة $\varepsilon = 3 \text{ GeV}/\text{fm}^3$ اعتماداً على خاصية الإسراع الزائف للجسيمات الناتجة [4]، وهذه الكثافة من الطاقة من الممكن أن يحدث فيها انتقال في الطور. الجدير بالملاحظة أنه لحدوث انتقال في الطور لابد من إحداث تصادم جسيمات ثقيلة بطاقة عالية جداً.

يوضح الجدول (5) مقارنة القيمة التي تم الحصول عليها ببعض النتائج التي حصل عليها باحثون آخرون لتصادمات قذائف وأهداف مختلفة.

حيث A تمثل رقم الكتلة لنواة السيلكون ويساوي 28. في حالة التصادمات المركزية لـ $Si^{28} - Em$ عند كمية حركة شعاع $4.5 \text{ A GeV}/c$ وعند حدث مفرد $n_s = 53, n_h = 23$ تم الحصول على أعلى تعديدية لهذا

حيث متوسط الزخم المستعرض $\langle P_T \rangle$ يساوي $(0.350 \frac{\text{GeV}}{c})$ و $m_{\pi\pi}$ (كتلة البايون) تساوي $\frac{0.140 \text{ GeV}}{c^2}$. وبالتعويض في المعادلة (4) نحصل على:

$$\varepsilon = 0.31 \frac{\text{GeV}}{\text{fm}^3} = 2.4 \varepsilon_0, \varepsilon_0 = 0.13 \text{ GeV}/\text{fm}^3$$

وهي كثافة الطاقة الناتجة من تحليل البيانات التي تم الحصول عليها من معجل دوبنا بروسيا، وهي غير كافية لحدوث الانتقال في الطور إلى حالة QGP، حيث تصل كثافة الطاقة عند QGP إلى كثافة عالية قدرت بحوالي $\varepsilon \sim (15 - 25) \varepsilon_0 \sim (2 - 3) \text{ GeV}/\text{fm}^3$

وللمقارنة، وجد أنه في معجل AGS (Alternating Gradient Synchrotron) الموجود في دوبنا وبروكيفن (Dubna and Brookhaven)، أجريت تجربة لتصادم مركزي لـ $Au - Au$ ، وتم تقدير كثافة الطاقة طبقاً لنموذج $Bjorken$. وقد وجد أن كثافة

الجدول (5): كثافة الطاقة \mathcal{E} لتصادمات قذائف مختلفة مع أهداف مختلفة عند كميات حركة متقاربة

Interaction	Particles Multiplicity	Momentum AGeV/c	Energy Density(\mathcal{E})	$dn/d\eta$	Ref.
$N_{\mathcal{E}}^{22} - A_{\mathcal{G}}$	$n_{\mathcal{E}} = 35, n_{\mathcal{R}} = 37$	4.1	$2.5\mathcal{E}$	14	[19]
$M_{\mathcal{G}}^{24} - pb$	$n_{\mathcal{E}} = 51, n_{\mathcal{R}} = 77$	4.5	$2.25\mathcal{E}$	21	[20]
$S_{\mathcal{E}}^{28} - Em$	$n_{\mathcal{E}} = 53, n_{\mathcal{R}} = 23$	4.5	$2.4\mathcal{E}$	21.67	Present Work

$$C_k = \langle n_{\mathcal{E}}^k \rangle / \langle n_{\mathcal{E}} \rangle^k \quad (6) \quad \text{3. الزخوم العيارية}$$

حيث k ثابت ويأخذ قيماً مختلفة: 2, 3, 4, 5, ... وهكذا.

لدراسة اعتماد C_k على حجم نواة الهدف، تم حساب قيم C_2, C_3, C_4 لمجموعات مختلفة لنوى المستحلب في تفاعلات $Si^{28} - N$ عند طاقة 4.5AGeV/c، وقيم C_k التي تم الحصول عليها في هذه التفاعلات موضحة في الجدول (6) مع نتائج تم الحصول عليها سابقاً في تفاعلات $C^{12} - N$ عند طاقة القذيفة نفسها.

الزخوم العيارية (Normalized Moments) للتوزيعات التعددية للجسيمات المشحونة النسبية الناتجة في تصادمات نواة-هادرون عالية الطاقة درست من (Khushnood) وآخرين في مدى طاقة [8](50-400)AGeV. في هذا العمل تمت دراسة الزخوم العيارية للتوزيعات التعددية للجسيمات المشحونة النسبية الناتجة في تفاعلات نواة-نواة، واعتمادها على كتلة القذيفة وطاقتها.

تعطى الزخوم العيارية للتوزيعات التعددية للجسيمات المشحونة النسبية بالمعادلة:

الجدول (6): قيم الزخوم العيارية C_2, C_3, C_4 في تصادمات نواة-نواة عند كمية حركة شعاع 4.5GeV/c لكل نيوكليون

Type of Interaction	C_2	C_3	C_4	Ref.
$C^{12} - CNO$	1.41 ± 0.10	2.42 ± 0.23	4.73 ± 0.58	[21]
$Si^{28} - CNO$	1.41 ± 0.01	2.44 ± 0.007	4.41 ± 0.003	[22]
$Si^{28} - CNO$	1.45 ± 0.02	2.62 ± 0.005	5.48 ± 0.001	Present Work
$C^{12} - Em$	1.43 ± 0.05	2.51 ± 0.12	5.15 ± 0.33	[21]
$C^{12} - Em$	1.58 ± 0.07	2.67 ± 0.13	-	[23]
$Si^{28} - Em$	1.53 ± 0.01	3.06 ± 0.013	7.19 ± 0.01	[22]
$Si^{28} - Em$	1.6 ± 0.04	3.32 ± 0.02	7.9 ± 0.03	Present Work
$C^{12} - A_{\mathcal{G}}B_{\mathcal{R}}$	1.27 ± 0.06	2.20 ± 0.13	3.09 ± 0.24	[21]
$C^{12} - A_{\mathcal{G}}B_{\mathcal{R}}$	1.29 ± 0.26	2.48 ± 0.08	-	[23]
$Si^{28} - AgBr$	1.31 ± 0.007	4.56 ± 0.004	3.55 ± 0.35	[22]
$Si^{28} - A_{\mathcal{G}}B_{\mathcal{R}}$	1.25 ± 0.002	1.82 ± 0.001	2.9 ± 0.5	Present Work
$Si^{28} - H$	1.45 ± 0.03	3.11 ± 0.02	10.04 ± 0.01	Present Work

الحصول عليها في تصادمات نواة - هادرون عند طاقات وتفاعلات $C^{12} - N$ عند طاقة 4.5GeV/c، ثابتة تقريباً مع ثبات الحدود الإحصائية، وهذا واضح بشكل كبير في الجدول (6)، حيث نلاحظ أن البارامترات C_k تزداد بزيادة قيمة k . بمقارنة نتائج العمل الحالي مع النتائج التي تم

من الملاحظ أن قيم C_k في تصادمات $Si^{28} - N$ وتفاعلات $C^{12} - N$ عند طاقة 4.5GeV/c، ثابتة تقريباً مع ثبات الحدود الإحصائية، وهذا واضح بشكل كبير في الجدول (6)، حيث نلاحظ أن البارامترات C_k تزداد بزيادة قيمة k . بمقارنة نتائج العمل الحالي مع النتائج التي تم

4- المقطع العرضي النووي لإنتاج جسيمات ألفا المنبعثة من مصادر مختلفة مستقل عن طاقة القذيفة في مدى طاقة (200-3.7)AGeV لقذائف تمتلك الكتلة نفسها.

5- تم تقدير كثافة الطاقة (\mathcal{E}) الناتجة من التصادمات المركزية لنوى السيلكون مع المستحلب النووي باستخدام نموذج بجوركن (*Bjorken*). ووجد أنها تساوي $\mathcal{E} = 2.4\mathcal{E}_0$ ، وهذه القيمة لا يمكن اعتبارها كثافة كافية لحدوث الانتقال من الطور الهادروني إلى حالة QGP .

6- قيم الزخوم العيارية (C_k) تبقى تقريباً ثابتة مع ثبات الحدود الإحصائية لقذائف مختلفة؛ أي أنها لا تعتمد على كتلة القذيفة، وإنما تعتمد على كتلة الهدف. كما أن قيمة هذا البارامتر تزداد بزيادة قيمة الثابت k.

7- بمقارنة النتائج التي تم الحصول عليها عند إيجاد الزخوم العيارية في تفاعلات نواة- نواة مع النتائج المتحصل عليها في تصادمات نواة - هادرون عالية الطاقة، نستنتج أن النتائج في تفاعلات نواة - نواة وتفاعلات نواة - هادرون متماثلة تقريباً، وأن آلية (*Hadronization*) للمرحلة النهائية للجسيمات المشحونة تكون نفسها.

شكر وتقدير

أقدم كل الشكر والعرفان الى كل من مد لي يد العون والمساندة في إنجاز هذا العمل. وأخص بالذكر الأستاذ الدكتور مصطفى عبد السلام بن نصر بعبو على نصائحه وإرشاداته وتوفير كل ما يلزم لإنجاز هذا العمل، علماً بأن هذه الورقة هي جزء من بحث متطلبات الإجازة العالية (الماجستير) في الفيزياء.

ومن الله العون والسداد، ونحن له من الذاكرين ولنعمائه من الشاكرين .

لتوضيح عدم اعتماد الزخوم العيارية على الطاقة، حسبت الزخوم العيارية لإنتاج شظايا الهيليوم (n_α) في تفاعل $Si^{28} - Em$ عند طاقة 4.5GeV/c، ومقارنتها مع نتائج تفاعلات نوى (*C.Ne.O.Mg.Si.S*) مع المستحلب عند طاقات مختلفة.

يوضح الجدول (7) الزخوم العيارية $C_2 \rightarrow C_5$ لنوى (*C.Ne.O.Mg.Si.S*)، ويتضمن زخم مولر (Muller) [9] الثاني الذي يعطى بالمعادلة:

$$F_2 = (C_2 - 1)(\langle n_\alpha \rangle^2 - \langle n_\alpha \rangle) \quad (7)$$

يتضح من الجدول أن C_2, C_3 غير معتمدة تقريباً على الطاقة ورقم الكتلة، بينما تزداد قيم الزخوم الأعلى بزيادة رقم الكتلة.

كما نلاحظ أن قيمة زخم مولر الثاني لا يعتمد على الطاقة بينما يختلف باختلاف رقم الكتلة.

الاستنتاجات

استناداً على نتائج الدراسة الحالية نستنتج ما يلي:

1- عند تصادمات نوى السيلكون مع نوى المستحلب النووي، نجد أن نسبة كبيرة من التفاعلات تحدث مع النوى الثقيلة للمستحلب (*Ag.Br*) وباقي التفاعلات تحدث مع النوى الخفيفة (*C.N.O*) ونواة الهيدروجين (*H*).

2- يزداد متوسط المسار الحر (λ) لتفاعلات القذيفة مع كل مجموعات الهدف بزيادة طاقة القذيفة ويتناقص بزيادة كتلة القذيفة.

3- القيم التجريبية للمقطع العرضي النووي لقذائف مختلفة مع أهداف المستحلب النووي عند طاقة 4.5AGeV على اتفاق جيد مع القيم المحسوبة باستخدام علاقة Bradt - Peters كما أن المقطع العرضي النووي يزداد بزيادة كتلة القذيفة.

بعض الصفات العامة للشظايا المنبعثة في تفاعلات السيلكون مع المستحلب النووي عند طاقة شعاع 4.5GeV لكل نيوكليون

الجدول (7): القيم المتوسطة لجسيمات α^- المنتجة، والزخوم العيارية C_q ، وزخم مولر الثاني F_2 لنوى مختلفة وطاقات مختلفة

Energy (GeV)	C^{12}	O^{16}		Ne^{22}	Mg^{24}	Si^{28}			S^{32}	
	3.7	14.6	60	200	3.7	3.7	3.7	4.5	14.6	200
$\langle N_\alpha \rangle$	1.5 ± 0.1^d	1.7 ± 0.1^b	1.7 ± 0.1^b 1.6 ± 0.1^c	1.7 ± 0.1^b 1.6 ± 0.2^c	1.6 ± 0.1^d	1.8 ± 0.1^e	1.8 ± 0.1^a 1.9 ± 0.1^d	$1.8 \pm 0.2^*$	1.7 ± 0.1^f 1.8 ± 0.1^a 1.9 ± 0.1^c	1.8 ± 0.1^a 1.7 ± 0.1^c
C_2	1.2 ± 0.1^d	1.2 ± 0.1^b	1.2 ± 0.1^b 1.2 ± 0.1^c	1.2 ± 0.1^b 1.2 ± 0.1^c	1.3 ± 0.1^d	1.3 ± 0.1^e	1.3 ± 0.1^a 1.3 ± 0.1^d	$1.3 \pm 0.2^*$	1.3 ± 0.1^f 1.3 ± 0.1^a 1.3 ± 0.1^c	1.3 ± 0.1^a 1.3 ± 0.1^c
C_3	1.7 ± 0.2^d	1.7 ± 0.1^b	1.7 ± 0.1^b 1.8 ± 0.1^c	1.7 ± 0.1^b 1.7 ± 0.1^c	2.1 ± 0.1^d	2.1 ± 0.1^e	2.1 ± 0.1^a 2.2 ± 0.1^a	$1.9 \pm 0.2^*$	2.3 ± 0.1^f 2.1 ± 0.1^a 2.3 ± 0.1^c	2.4 ± 0.1^f 2.3 ± 0.1^c
C_4	2.7 ± 0.2^d	2.6 ± 0.2^b	2.8 ± 0.1^b 2.9 ± 0.2^c	2.6 ± 0.1^b 2.8 ± 0.5^c	4.0 ± 0.1^d	3.9 ± 0.2^e	4.2 ± 0.1^a 4.4 ± 0.2^d	$3.8 \pm 0.2^*$	4.6 ± 0.2^f 4.7 ± 0.2^a 4.0 ± 0.2^c	5.0 ± 0.3^a 4.7 ± 0.2^c
C_5	4.7 ± 0.4^d	4.3 ± 0.1^b	4.7 ± 0.2^b 4.9 ± 0.3^c	4.3 ± 0.2^b 4.6 ± 0.4^c	8.5 ± 0.2^d	7.9 ± 0.5^e	9.3 ± 0.3^a 8.9 ± 0.3^a	$8.5 \pm 0.6^*$	10.6 ± 0.5^f 10.6 ± 0.5^a 8.2 ± 0.4^c	11.9 ± 0.6^a 11.0 ± 0.4^c
F_2	1.0 ± 0.1^d	1.1 ± 0.1^b	1.1 ± 0.1^b 1.0 ± 0.1^c	1.1 ± 0.1^b 1.0 ± 0.1^c	0.9 ± 0.1^d	0.8 ± 0.1^e	0.8 ± 0.1^a 0.8 ± 0.1^d	$0.8 \pm 0.1^*$	0.8 ± 0.1^f 0.8 ± 0.1^a 0.8 ± 0.1^c	0.7 ± 0.1^a 0.7 ± 0.1^c

[24]^a[25]^b[26]^c[27]^d[28]^e[29]^f [Present Work]^{*}

المراجع

- [17] Chernov, G.N., Gulamov, K.G., Gulyamov, U.G., Navotny, V.Sh., Petrov, N.V. and Svechnikova, L.N., Nuclear Physics A, 412 (1984) 534.
- [18] Badawy, B.M., Journal of Nuclear and Radiation Physics, 3(1) (2008) 31.
- [19] El- Nadi, M. et al., J. Phys. G, 19 (1993) 2027.
- [20] Fakhraddin, S., Turk. J. Phys., 29 (2005) 79.
- [21] Abdallah, N.N., et al., Can. J. Phys., 80 (2002) 119.
- [22] Ali, S. S. and Khushnood, H., ISC, 1 (2012) 232.
- [23] Khan, S. et al., M. J. Phys. Soc. Jpn., 65 (1996) 801.
- [24] Adamovich, M.I. et al., Z. Phys. A, 351 (1995) 311 (EL-92-569).
- [25] Adamovich, M.I. et al., Phys. Rev. C, 40 (1989) 66.
- [26] Singh, G., Ismail, A.Z.M. and Jail, P.L., Phys. Rev. C, 43 (1991) 2417. Singh, G., Sengupta, K. and Jain, P.L. Phys. Rev. C, 42 (1991) 1757. Singh, G., Sengupta, K. and Jain, P.L., Phys. Len. B, 222 (1989) 301.
- [27] EL-Nadi, M., Sherif, M.M., EL-Nagdy, M.S., Abdelsalam, A., Yasin, M.N., Jilany, M.A. and Baker, A. Int. J. Mod. Phys., 2 (1993) 381.
- [28] EL-Nadi, M., Hussien, A., Shaat, E.A., Abu-Mousa, Z. and Hamed, A.A., Nuovo Cimento, 108A (1995) 935.
- [29] El-Nadi, M., El-Nagdy, M.S., Ali-Mossa, N., Abdelsalam, A., Abdalla, A.M. and Abdel-Halim, S.M., J. Phys., 28 (2002) 1251.
- [1] Bhanjo, R. et al., Nuclear Physics A, 411 (1983) 507.
- [2] Mocsy, A., Petreczky, P. and Strickland, M., arXiv:1302. 2180v1[hep-ph]8 Feb. 2013.
- [3] Gosset, J., Gutbrod, H.H., Meyer, W.G., Poskanzer, A.M., Sandval, A., Stock, R. and West, G.D., Fall. Phys. Rev. C, 16 (1977) 629.
- [4] Bjorken, J.D., Phys. Rev. D, 27 (1983) 140.
- [5] Adamovich, M.I. et al., Sov. J. Nucl. Phys., 29 (1979) 42.
- [6] Rosu, H.C., Acta Physica Polonica B, 25(10) (1994).
- [7] Bradt and Peters 1950, Daniel and Durgaprusad 1962, Cleghorn et al. 1972.
- [8] H. Khushnood, A. R. Ansari, M. Irfan, U. Ali, Canadian J. Phys. 68,67 (1990).
- [9] Muller, A.H., Phys. Rev. D, 4 (1971) 150.
- [10] Bhanja, R., Devi, N.A.L., Joseph, Z.R.R., Ojha, I.D., Shyan, M. and Tuli, S.K., Nucl. Phys. A, 411 (1983) 507.
- [11] Jakobsson, B. and Kullberg, R., Phys. Scr., 13 (1976) 327.
- [12] El-Sharkawy, S., Hegab, M.K., Osman, O.M. and Jilany, M.A., Physica Scripta, 47 (1993) 513.
- [13] Joseph, R.R., Ojiha, I.D., Singh, B.K. and Tuli, S.K., J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 18.
- [14] Dudkin, V.E. et al., Phys. A, 509 (1990) 783.
- [15] El-Nadi, M., MSEL-Nagdy, Ali-Mossa, N., Abdelsalam, A., Abdalla, A.M. and Hamed, A.A., J. Phys. G: Nucl. Part. Phys., 25 (1999) 1169.
- [16] Firu, E., Bradnova, V., Haiduc, M., Kovalenko, A.D., Akhov, A.I.M., Neagu, A.T., Rukoyatkin, P.A., Rusakov, A.V.V. Vokal, S. and Zarubin P. I., Res., Under Pn II-P4, No 81-044.