

عنوان البحث

**تأثير المركزية على هندسة التصادم وكثافة الطاقة في تفاعلات الأكسجين مع المستحلب
النووي عند طاقة 3.7 AGeV**

فاطمة عبدالسلام محمد أبوزقية¹، أ.د. مصطفى عبدالسلام بن نصر بعيو¹

¹ قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة مصراتة، ليبيا
البريد الإلكتروني: fatbuz77@gmail.com

HNSJ, 2026, 7(1); <https://doi.org/10.53796/hnsj71/62>

المعرف العلمي العربي للأبحاث: <https://arsri.org/10000/71/62>

تاريخ النشر: 2026/01/01م

تاريخ القبول: 2025/12/17م

تاريخ الاستقبال: 2025/12/10م

المستخلص

تتناول هذه الدراسة كيفية تغير الخصائص الهندسية وكثافة الطاقة مع المركزية في تصادمات الأكسجين مع المستحلب النووي عند طاقة حادثة مقدارها 3.7GeV لكل نيوكلين. تم تصنيف أحداث التصادم إلى فئات مختلفة من المركزية اعتمادا على التكوين الهندسي للتصادم. واستخدم نموذج هندسي مبسط لتحديد معامل التصادم، ونصف قطر منطقة التداخل، ومساحة التداخل، في حين استخدمت صيغة Bjorken لتقدير كثافة الطاقة الابتدائية مع الأخذ في الاعتبار التغيرات المعتمدة على المركزية في مساحة التداخل.

تُظهر النتائج أن معامل التصادم يزداد تدريجيا مع الانتقال نحو التصادمات الطرفية، بينما يتناقص كل من نصف قطر التداخل ومساحته تبعاً لذلك. وعلى النقيض من ذلك، تُظهر كثافة الطاقة سلوكاً غير رتيب، إذ تزداد في التصادمات متوسطة المركزية ثم تنخفض باتجاه التصادمات الأكثر مركزية. ويعزى هذا السلوك على الأرجح إلى صغر حجم النظام، والطبيعة غير المتجانسة لهدف المستحلب النووي، وتشعب التعددية، إضافة إلى الزيادة السريعة نسبياً في حجم منطقة التداخل مقارنة بالطاقة المترسبة في التصادمات عالية المركزية. وبصورة عامة، تُبين النتائج أن اعتماد كثافة الطاقة على المركزية في الأنظمة النووية الخفيفة يختلف بشكل ملحوظ عما هو ملاحظ في تصادمات الأيونات الثقيلة، مما يبرز الأهمية الكبيرة لهندسة التصادم وعدم التجانس.

الكلمات المفتاحية: المستحلب النووي، نموذج Bjorken، هندسة التداخل، المركزية، ترسيب الطاقة.

RESEARCH TITLE

Centrality Dependence of Collision Geometry and Particle Density in Oxygen-Emulsion Interactions at 3.7 AGeV

A. Fatema Abdalsalam Mohammed Abuzqia¹, Prof.Dr. Mustafa Abdalsalam B Nasr Bayio¹

¹ Department of physics, Faculty of Science, Misurata University, Libya.
Email fatbuz77@gmail.com

HNSJ, 2026, 7(1); <https://doi.org/10.53796/hnsj71/62>
Arabic Scientific Research Identifier: <https://arsri.org/10000/71/62>

Received at 10/12/2025

Accepted at 17/12/2025

Published at 01/01/2026

Abstract

This work explores how geometrical characteristics and energy density vary with centrality in oxygen – emulsion collisions at an incident energy of 3.7 GeV per nucleon. Collision events were grouped into centrality classes according to their geometrical configuration. A simplified geometrical framework was employed to determine the impact parameter, overlap radius, and overlap area while the Bjorken formalism was used to estimate the initial energy density, incorporating centrality-dependent changes in the overlap area. The analysis reveals that the impact parameter steadily increases as collisions become more peripheral, whereas the overlap radius and overlap area diminish accordingly. In contrast, the energy density exhibits a non-monotonic trend, it rises in mid-central interactions and then decreases toward the most central events. This pattern is likely influenced by the small system size, the heterogeneous structure of, the emulsion target, multiplicity rapid increase of the overlap volume relative to the deposited energy in highly central collisions, Overall, the results demonstrate that the centrality dependence of energy density in light nuclear systems differs substantially from that observed in heavy-ion collisions, emphasizing the significance of collision geometry and target heterogeneity.

Key Words: Nuclear emulsion, Bjorken model, overlap geometry, centrality, Energy density.

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 بلازما (QGP) إلى 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.

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، 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 :

$$\Delta V_0 \cong fm^3, \rho_0 \cong 0.16 fm^{-3}, \varepsilon_0 \cong 0.15 GeV/fm^3$$

كثافة المادة النووية (ρ_0) كثافة الطاقة (ε_0)، حجم النواة ΔV_0 حيث:

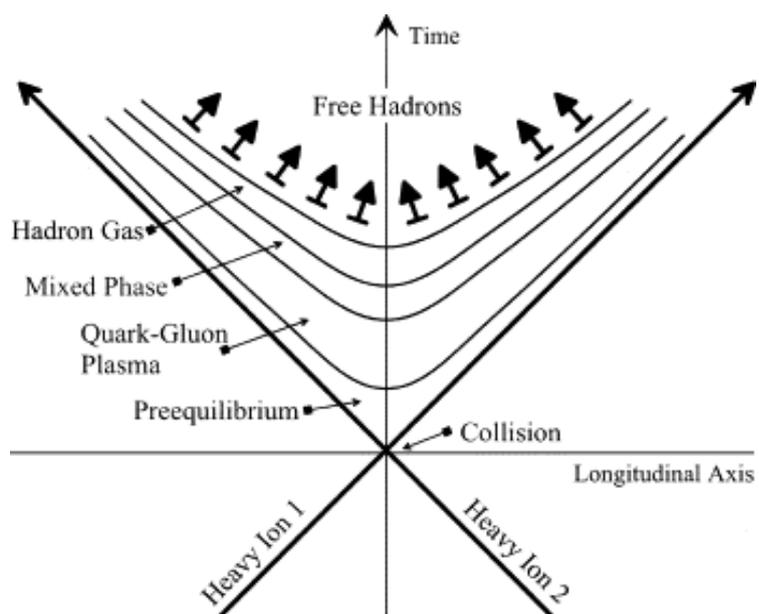
أما في نظام الكثافة العالية (تصادم الأنوية الثقيلة) نرى كواركات وقليونات حرة في حجم كبير (QGP) (أكبر بكثير من حجم النيوكليونات لفترة زمنية قصيرة $5-10 fm/c$) [1].

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

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

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

ويوضح الشكل (1) تطور الفضاء والزمن في تصادم نواة - نواة، حيث عند التصادمات عالية الطاقة تمر المادة بعدة أطوار



الشكل (1) تطور الفضاء والزمن في تصادم نواة - نواة

ففي تجارب البحث عن QGP يكون من المهم 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 .

نموذج بجوركن *The Bjorken Model* :

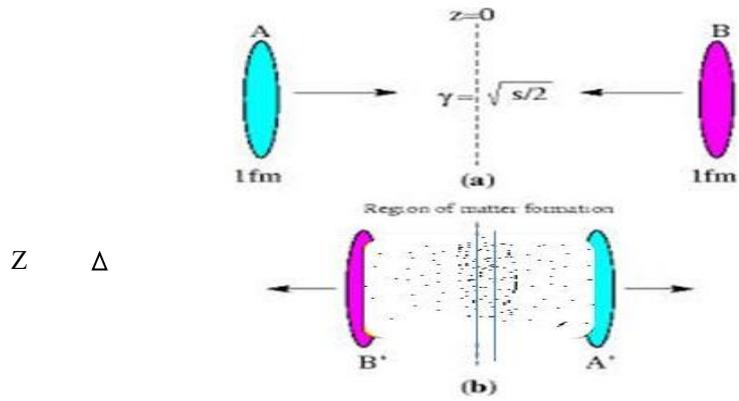
نموذج بجوركن Bjorken هو واحد من أشهر النماذج المبسطة المستخدمة في فيزياء التصادمات النووية عالية الطاقة خصوصاً في دراسة بلازما كوارك غليون (QGP) في سرعات مثل RHIC و LHC, هذا النموذج قدمه Bjorken في عام 1983 كنموذج هيدروديناميكي مبسط يصف كيف يتطور النظام الناتج عن تصادم نووي ثقيل عالي الطاقة بعد اللحظة الأولى من الاصطدام. ويركز النموذج على مرحلة التمدد الطولي للبلازما ويفترض عدداً من الشروط المثالية لتسهيل الحسابات. وهي:

1. التناظر التزايدى (Boost invariance) يفترض أن خصائص المادة (مثل الكثافة والطاقة) لا تتغير تحت تحويلات لورنتز على طول محور الاصطدام , هذا يعني أن النظام يبدو متشابهاً عند سرعات مختلفة على طول المحور الطولي.
2. تمدد طولي فقط, النموذج يُهمل التمدد العرضي (radial expansion) ويعتبر أن التمدد يحدث فقط على محور الاصطدام.
3. اللزوجة مهملة, يفترض أن البلازما مثالية (perfect fluid) دون تأثيرات لزوجة.
4. الحرارة والكثافة متجانسة في مستوى المستعرض, أي أن كل شيء يعتمد فقط على الزمن السائد (proper time) وليس على الإحداثيات العرضية.

ومن النتائج الأساسية لنموذج بجوركن تقدير كثافة الطاقة الناتجة من التصادم بتقريب جيد, وطبقاً لهذا النموذج تقدر كثافة الطاقة كما يلي [2] :

يفترض حدوث تصادم مباشر بين نواتين متماثلتين في نظام مركز الكتلة, وبسبب تقلص Lorentz الحادث في الاتجاه الطولي يمكن اعتبار النواتين المتصادمتين كقرصين رقيقين, كما أنه عند الطاقات العالية جداً يمكن تمثيل جميع نيوكلونات النواة الواحدة بنفس الإحداثيات في فضاء التصادم, ويوضح الشكل (a.2) شكل النواتين المتصادمتين قبل حدوث التصادم, حيث يوضح شكل قدوم النواتين من ما لانهاية على طول المحور z في الاتجاهات $z = -\infty$, $z = +\infty$ بسرعات مقاربة لسرعة الضوء.

يحدث تصادم بين نيوكلونات القذيفة والهدف حول النقطة $(z, t) = (0, 0)$ كما هو موضح بالشكل (b.2). إن كمية الطاقة الكبيرة المخزونة حول $z \sim 0$ يمكن أن تحمل من قبل الكواركات والقلبيونات أو الهادرونات. إن كثافة الطاقة الناتجة من تصادمات الايونات الثقيلة يمكن أن تكون كبيرة بشكل كافٍ لتكون QGP .



الشكل (2)

(a) شكل النواتين المتصادمتين A,B قبل التصادم.

(b) شكل النواتين المتصادمتين A,B بعد التصادم مع توضيح الطاقة المخزونة حول المنطقة $z \sim 0$

يمكن تقدير كثافة الطاقة (Energy Density) في لحظة مبكرة بعد الاصطدام باستخدام نموذج بجوركن حيث تعطى كثافة الطاقة الابتدائية (ϵ_{Bj}) (عند زمن Bjorken τ ويسمى زمن التشكل formation time يساوي تقريبا $1 fm c^{-1}$) بالعلاقة :

$$\epsilon_{Bj} = \frac{1}{A_{overlap} \tau} \frac{dE_T}{dy}$$

حيث $A_{overlap}$ مساحة التداخل المستعرض للنواة

$$\left(\frac{dE_T}{dy} \right) \approx \langle E_T \rangle \times \frac{dN}{dy}$$

الطاقة المستعرضة لكل وحدة تزايدية وتساوي

: المستحلب النووي nuclear emulsion

المستحلب النووي هدف مركب من مجموعة من الأنوية بنسب مختلفة : نواة الهيدروجين H و تكون نسبتها في المستحلب 1% , وأنوية الكربون والنيتروجين والأكسجين (CNO) والتي تعرف بالأنوية الخفيفة والتي توجد بنسبة 16% في المستحلب , بالإضافة الى بروميد الفضة (AgBr) والتي تعرف بالأنوية الثقيلة والتي توجد بنسبة 38%.

يعمل المستحلب النووي ككاشف بالإضافة إلى هدف , حيث تعمل أنوية المستحلب كهدف تتفاعل مع جسيمات القذيفة وتعمل بلورات هاليد الفضة على تسجيل أثار الجسيمات الناتجة من التصادم وتعتبر طريقة المستحلب النووي هي الأفضل لدراسة التشظي النسبي للأنوية , لأنها تمكننا من ملاحظة نمط أو أسلوب التفاعل بشكل أكثر تفصيلا كما انها تمدنا بمعلومات هامة عن الكتل والطاقات والسرعات.

ويوضح الجدول (1) المكونات الأساسية للمستحلب النووي [3].

ويعطى متوسط عدد الكتلة $\langle A \rangle$ من العلاقة :

$$\langle A \rangle = \frac{\sum N_i A_i}{\sum N_i}$$

حيث تكون $\langle A \rangle$ لمجموعات أنوية المستحلب النووي كما يلي :

1, 14 , 70 , 94 على التوالي لمجموعات الأنوية H , CNO , المستحلب , AgBr.

جدول (1) المكونات الأساسية للمستحلب النووي.

Elements	Charge(Z)	Mass number(A)	Concentration gm/ml	atoms/cm ³ ($\times 10^{20}$)
H	1	1	0.053	321.56
C	6	12	0.275	138.30
N	7	14	0.073	31.68
O	8	16	0.252	94.97
Br	35	80	1.332	100.41
Ag	47	108	1.808	101.01

في هذا البحث قمنا بتحليل 297 حدث نتجت من تعريض كومة المستحلب النووي من نوع (NIKFI-BR-2) لأشعة أنوية الأوكسجين بطاقة 3.7 AGeV/c ومصدر هذه البيانات معجل دوبنا بروسيا (Dubna Synchrophastron, Russia)

النتائج التجريبية والمناقشة *Experimental Results and Discussion* :

أ. نصف قطر النواة *Radius of nucleus* : يقدر نصف قطر النواة بالعلاقة التقريبية : $R = r_0 A^{\frac{1}{3}}$ حيث r_0 ثابت يدعى نصف قطر فيرمي وقيمته 1.2×10^{-15} meters ويساوي 1.2fm , و A العدد الكتلي حيث لنواة الأوكسجين $R_0 = 1.2 \times 16^{\frac{1}{3}} \cong 3.02$ fm ولانوية الهدف :

$$H(A = 1) \quad R_H = 1.2fm$$

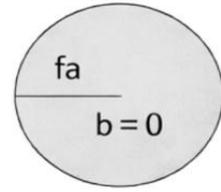
$$CNO (\langle A \rangle = 14) \quad R_{CNO} = 2.89fm$$

$$AgBr (\langle A \rangle = 94) \quad R_{AgBr} = 5.45fm$$

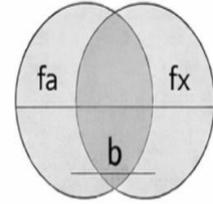
ب. نصف قطر منطقة التداخل *Radius of overlap region*

هو مقياس يعبر عن المسافة العرضية الفعالة التي تمثل الجزء المشترك بين النواتين عند التصادم أي المنطقة التي تتداخل فيها توزيعات النيوكليونات للنواتين بحيث تكون النيوكليونات داخل منطقة التداخل (*overlap*) تسمى النيوكليونات المشاركة *participants* وهي المسؤولة عن إنتاج الميزونات والتعدد الجسيمي العالي، وخارج هذه المنطقة تتحول إلى شظايا نواة.

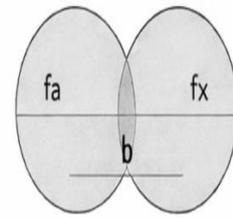
بافتراض أن النوى المتصادمة كروية الشكل كما افترضنا أن منطقة التداخل بين النواتين المتصادمتين دائري الشكل ويعتمد نصف قطر منطقة التداخل على كثافة النوى المتصادمة بين مركزي النواتين المتصادمتين وعلى بارامتر التصادم كما هو مبين في الشكل (3) الذي يوضح تصادم نواتين f_a, f_x ففي التصادم المركزي التام تتطابق مراكز النواتين تماما وكل النواة تشارك في التصادم وفيه أعلى كثافة طاقة وعدد المشاركين بينما في التصادم شبه المركزي النواتان منزهتان بمقدار نصف القطر فيكون جزء فقط من النواتين يشارك وتكون كثافة طاقة اقل من التصادم المركزي وفي التصادم السطحي يكون التصادم طرفي والنواتان تلامسان الحافة فقط أو لا تتداخلان.



$$b = 0, r_{overlap} = r_0$$



$$b = r_0, r_{overlap} = r_0/2$$



$$b = 2r_0, r_{overlap} = 0$$

الشكل (3) التمثيل الهندسي لتصادمات نواتين عند قيم مختلفة لبارامتر التصادم حيث تقل مساحة منطقة التداخل بزيادة b لذلك يمكن التمييز بين التصادمات السطحية (Peripheral Collisions) والتصادمات المركزية (Central Collisions) حسب قيمة بارامتر التصادم (b , Impact parameter), في التصادمات السطحية قيمة بارامتر التصادم كبير وأغلب النيوكليونات غير مشاركته (Spectator) وتكون الشظايا الناتجة لها نفس سرعة القذيفة تقريبا. أما في حالة التصادمات المركزية قيمة بارامتر التصادم صغير وأغلب النيوكليونات تكون مشاركة (Participant), في هذه الحالة تكون النواة في حالة إثارة عالية وتظهر الكثير من الظواهر, قدر قيمة بارامتر التصادم حسب نموذج (Glauber) [4], ففي الجدول (2) يوضح نسبة تصادم أنوية الأوكسجين مع أنوية المستحلب النووي عند كمية حركة شعاع $3.7 \text{ AGeV}/c$ ومقارنتها مع نتائج سابقة ونلاحظ أن نسبة التصادم تزداد مع الجسيمات الثقيلة في المستحلب النووي (AgBr) لأنها تملك مقطعا عرضيا أكبر بكثير من الجسيمات الأخرى للمستحلب النووي كما نلاحظ انه بزيادة الطاقة تزداد نسبة التصادمات مع (AgBr).

يوضح الجدول (2) نسبة تصادم المقذوف مع مجموعات الانوية المختلفة في المستحلب النووي

projectile	Energy (AGeV/c)	H ($\langle A \rangle = 1$)	CNO ($\langle A \rangle = 14$)	AgBr ($\langle A \rangle = 94$)	Ref
N^{14}	2.1	12.7	32.9	54	5
O^{16}	2	10.8	37.9	51.3	6
O^{16}	3.7	18	27	55	Present work
Mg^{24}	4.5	11.06	34.45	54.49	7
S_i^{28}	4.5	20.99	38.74	40.69	8
Ar^{40}	1.8	17.8	34.6	47.5	9
Fe^{56}	1.8	16.6	35.6	47.8	10

كما تم حساب قيم بارامتر التصادم b عند تصادمات الأوكسجين مع انوية المستحلب النووي ووجد أعلى قيمة له عند تصادم (O-AgBr) وهي (8.47fm) بينما اقل قيمة مع الانوية الخفيفة (O-H) وهي (4.22fm) بينما تصادمات (O-CNO) فيكون (5.91fm) وهذا يبين أن أكثر من نصف التصادمات يكون مع الأنوية الثقيلة

وعند حساب نصف قطر التداخل ($R_{overlap}$) وجد انه عند تصادم (O-H) يساوي تقريبا صفر وكذلك عند تصادم (O-CNO) يساوي صفر, أما عند تصادم (O-AgBr) فيساوي تقريبا 1.97fm و هذا يبين أن التداخل النووي يأتي من تصادمات (O-AgBr) وان تصادمات (O-H) و(O-CNO) غالبا محيطية. ويكون متوسط نصف قطر $\langle R_{overlap} \rangle \approx 1.0fm$ للمستحلب

ج. مساحة منطقة التداخل (Area of overlap)

هي المساحة الهندسية المشتركة بين النواتين المتصادمتين عند اصطدامهما وتعتمد على معامل التصادم (impact parameter) و المركزية (centrality) وتحسب بطريقة هندسية بالمعادلة ($A_{overlap} = \pi r^2_{overlap}$)

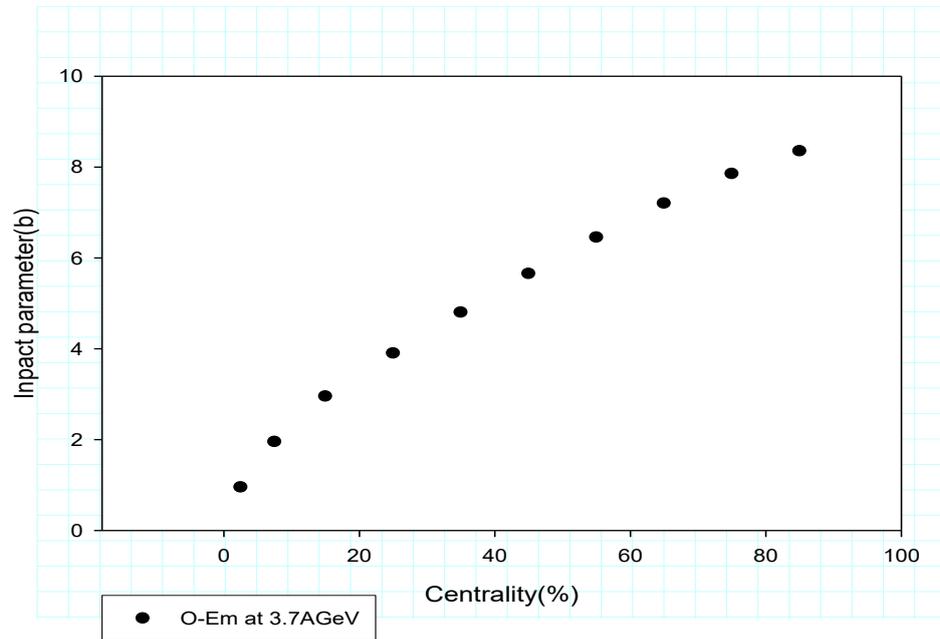
يوضح الجدول (3) قيم لمساحة منطقة التداخل Area of the overlap region وعلاقتها بالمركزية وكذلك قيم بارامتر التصادم ونصف قطر التداخل ويتبين من الجدول أن من 0-20% (تصادمات مركزية) عدد participants كبير و multiplicity و energy density مرتفعة بينما من 20-60% (شبه مركزي) تناقص منتظم في مساحة التداخل وفي اقل من 60% مساحة التداخل تؤول للصر وتسيطر شظايا spectators.

الجدول (3) يوضح قيم كلا من متوسط بارامتر التصادم و متوسط نصف قطر التداخل ومتوسط مساحة منطقة التداخل حسب المركزية من نتائج تفاعل O-Emulsion عند طاقة 3.7 AGeV

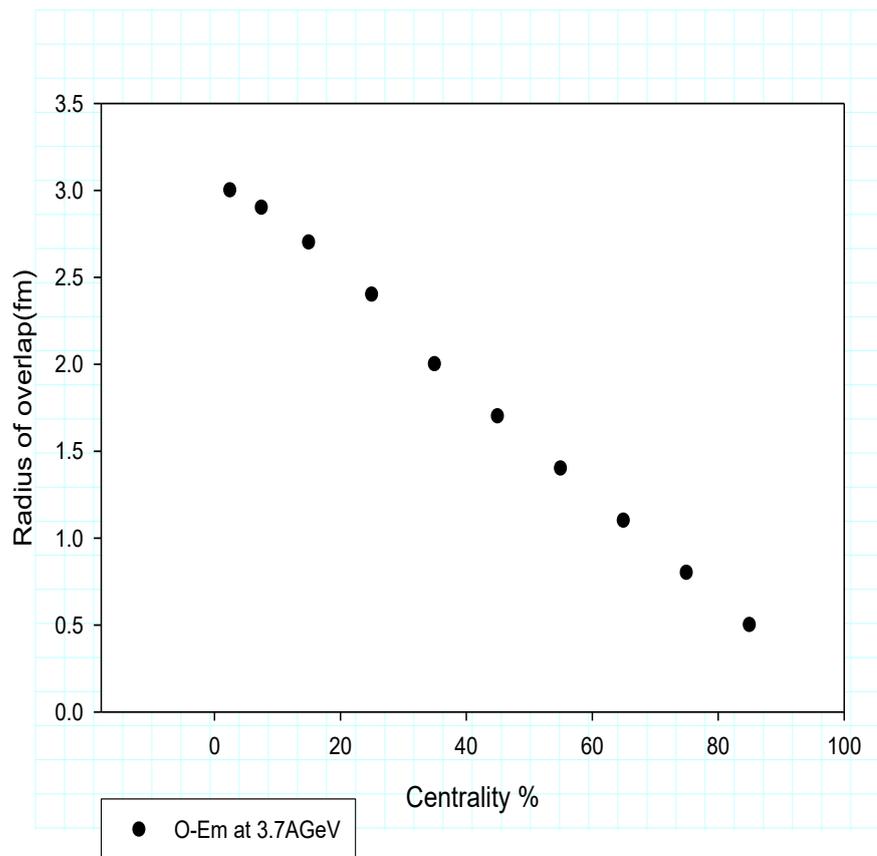
Centrality(%)	$\langle b \rangle$ (fm)	$\langle R_{overlap} \rangle$ (fm)	$\langle A_{overlap} \rangle$ (fm ²)
0-5	0.95	3.0	28
5-10	1.95	2.9	26
10-20	2.95	2.7	23
20-30	3.90	2.4	19
30-40	4.80	2.0	14
40-50	5.65	1.6	9
50-60	6.45	1.2	5
60-70	7.20	0.7	2
70-80	7.85	0.3	0.6
80-90	8.35	≈ 0	0.1
90-100	8.47	0	0

ويوضح الشكل (4) علاقة بارامتر التصادم بالمركزية (centrality class) نلاحظ من الشكل ازدياد بارامتر التصادم بزيادة المركزية حيث في التصادمات المركزية (0-5%) النواتان تتداخلان بقوة وقيمة بارامتر التصادم b يكون صغير جدا وعدد كبير من النيوكليونات المشاركة ويكون النظام ذا كثافة عالية ودرجة حرارة مرتفعة نسبيا بينما في التصادمات شبه المركزية يكون التداخل جزئي بين النواتين ويكون بارامتر التصادم b متوسطة وعدد المشاركين اقل من التصادمات المركزية وفي التصادمات المحيطية من (60-100%) يكون بارامتر التصادم b كبير والتداخل يكون ضعيف, والشكل (5) يوضح علاقة نصف قطر التداخل بالمركزية حيث يوضح العلاقة العكسية بين نصف قطر التداخل والمركزية, وكذلك الشكل (6) يوضح علاقة مساحة التداخل بالمركزية حيث يوضح الشكل أن مساحة التداخل تتناقص بزيادة المركزية حيث المركزية من (0-5%) يكون بارامتر التصادم صغيرا مما يؤدي إلى أكبر مساحة تداخل بين الانوية ومع الانتقال إلى التصادمات شبه المركزية ثم المحيطية يزداد بارامتر التصادم فتتناقص مساحة التداخل تدريجيا وفي المناطق المحيطية جدا تصبح منطقة

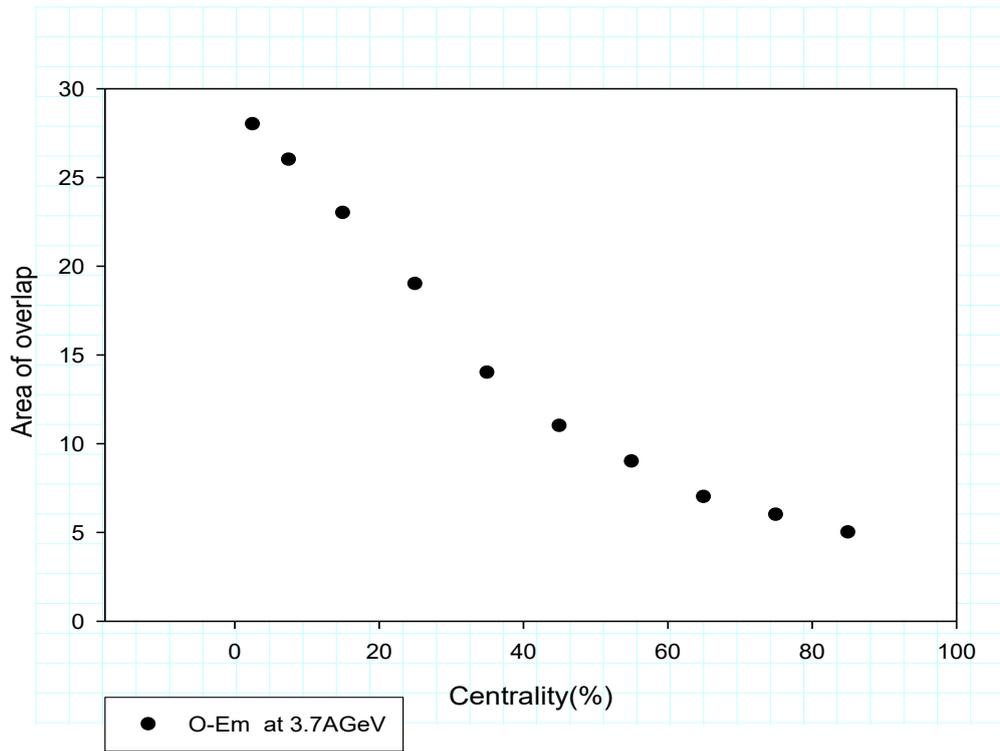
التداخل صغيرة جدا وقد تقترب من الصفر, كما يوضح الشكل (7) علاقة بارامتر التصادم بنصف قطر التداخل ووجد من الشكل أن العلاقة عكسية حيث زيادة b تعني ان النواتين تتباعدان عرضيا ويقل الجزء المشترك بينهما ويقل عدد النيوكليونات المشاركة (participant nucleons) ومنها نصف قطر منطقة التداخل ينخفض.



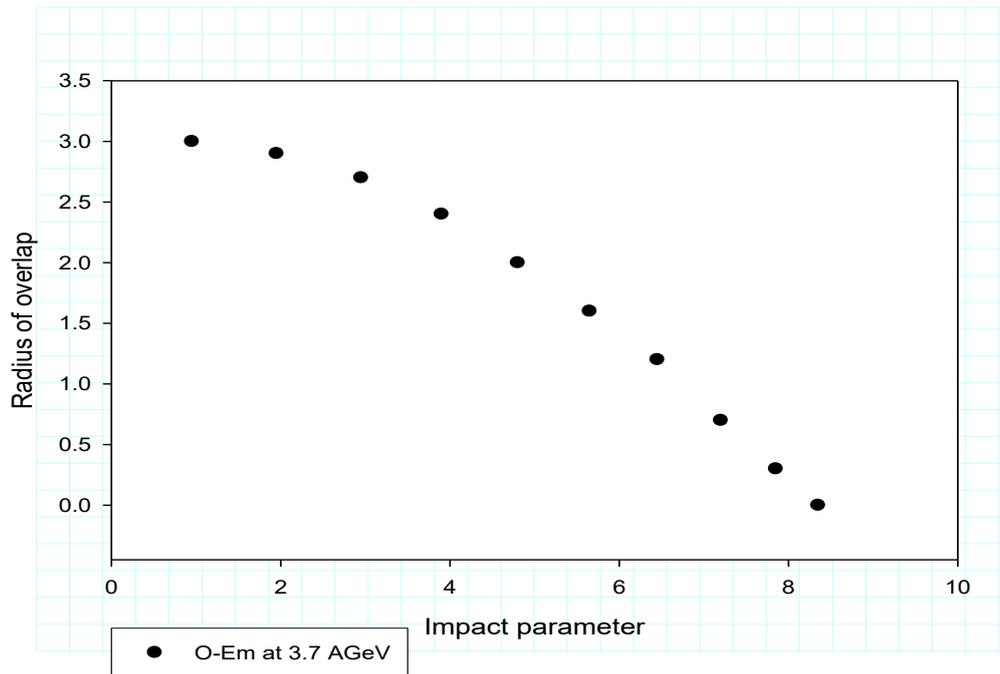
الشكل (4) تغير بارامتر التصادم مع المركزية في تصادمات O-Em عند طاقة 3.7 AGeV



الشكل (5) تغير نصف قطر منطقة التداخل $r_{overlap}$ مع المركزية في تصادمات O-Em عند طاقة 3.7 AGeV



الشكل (6) تغير مساحة منطقة التداخل $A_{overlap}$ مع المركزية في تصادمات O-Em عند طاقة 3.7 AGeV



الشكل (7) تغير نصف قطر منطقة التداخل $r_{overlap}$ مع بارامتر التصادم b في تصادمات O-Em عند طاقة 3.7 AGeV.

د. كثافة الطاقة Energy Density

هي مقدار الطاقة المودعة في وحدة الحجم داخل منطقة التداخل أثناء التصادم ويتم حسابها باستخدام نماذج هندسية مبسطة مثل نموذج بجوركن (Bjorken).

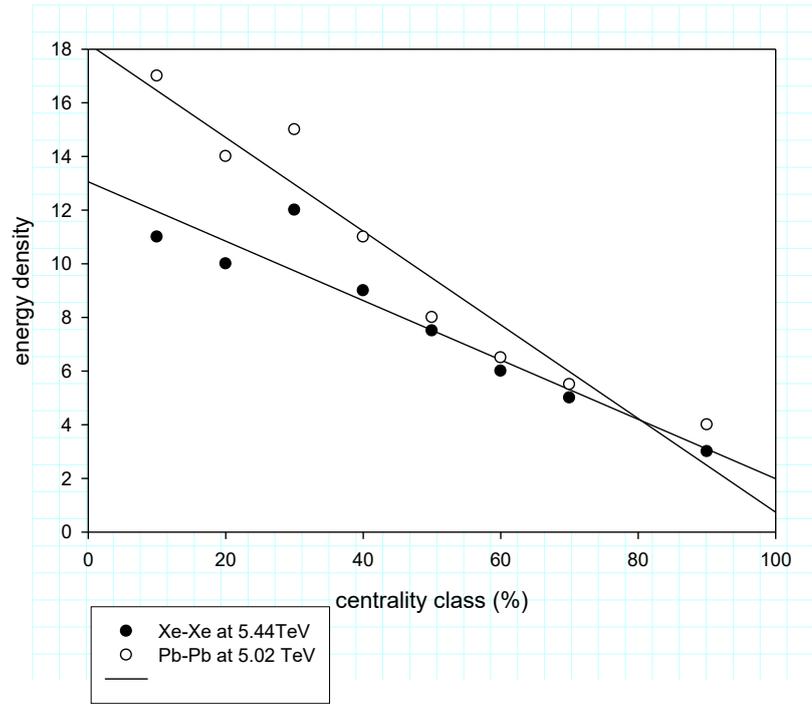
يوضح الجدول (4) قيم كثافة الطاقة المتحصل عليها حسب المركزية حيث لوحظ أن في التصادمات المركزية (0-5%) تكون ($\epsilon \approx 0.24$) وفي التصادمات المحيطية (40-50%) تكون ($\epsilon \approx 0.63$) أي أن كثافة الطاقة المحسوبة تزداد مع زيادة المركزية (تصادمات أكثر محيطية) وهذا يبدو عكس المتوقع فيزيائياً. (وذلك لأن $\frac{dE_T}{dy}$ لم ينخفض بسرعة كبيرة بينما A_{overlap} انخفضت بشدة مع المركزية حيث عندما تصبح منطقة التداخل صغيرة جداً فإن القسمة على مساحة صغيرة تعطي قيمة كثافة طاقة أكبر حتى لو كانت الطاقة الكلية أقل يبين هذا السلوك أن التناقص السريع لمساحة منطقة التداخل في التصادمات المحيطية مما يؤدي إلى تضخيم في قيمة كثافة الطاقة عند استخدام صيغة بجوركن رغم الانخفاض الفعلي في الطاقة الكلية المترسبة ويشير هذا إلى محدودية تطبيق نموذج بجوركن في الطاقات المنخفضة والتصادمات ذات التداخل الضعيف .

ففي الطاقات العالية كما في [11] وجد التغير في كثافة الطاقة الابتدائية وفق Bjorken (ϵ_B) مع المركزية في تصادمات Xe-Xe عند طاقة 5.44 TeV ومقارنتها بنتائج تصادمات Pb-Pb عند طاقة 5.02 TeV ووجد ان النتائج تنخفض من التصادمات المركزية إلى المحيطية كما هو متوقع.

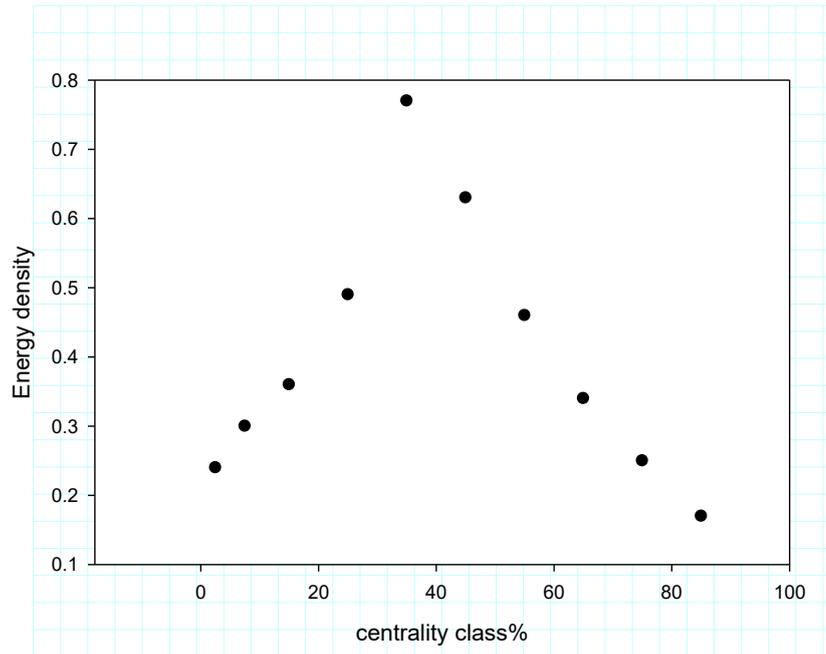
الجدول (4) قيم كثافة الطاقة المتحصل عليها وفق نموذج Bjorken (ϵ_B) مع المركزية في تصادمات O-Emulsion عند طاقة 3.7 AGeV.

Centrality(%)	$\epsilon_B(\text{GeV}/\text{fm}^3)$
0-5	0.24
5-10	0.30
10-20	0.36
20-30	0.49
30-40	0.77
40-50	0.63
50-60	0.46
60-70	0.34
70-80	0.25
80-90	0.17

في الشكل (8) قيم كثافة الطاقة وفق نموذج Bjorken لمختلف فئات المركزية في تصادمات Xe-Xe عند طاقة 5.44 TeV وكذلك تصادمات نواتي الرصاص pb-pb عند طاقة 5.02 TeV [11] ومقارنتها بالنتائج الحالية كما في الشكل (9) حيث يتضح أن في الشكل (8) يوجد سلوك مشترك بين التصادمين عند الطاقة العالية حيث ان التصادم يصبح أكثر محيطية كلما زادت المركزية وكذلك كثافة الطاقة تقل بزيادة المركزية وهذا ما هو متوقع. بينما في الشكل (9) في تفاعلات نواة الأكسجين مع المستحلب النووي تظهر قمة ثم انخفاض حيث نلاحظ ازدياد كثافة الطاقة عند التصادمات شبه المركزية ثم انخفاضها عند التصادمات الأكثر مركزية، ويمكن تفسيره بصغر حجم النظام وعدم تجانسه ، إضافة إلى تشبع إنتاج الجسيمات وازدياد حجم منطقة التداخل بشكل أسرع من الزيادة في الطاقة المترسبة. كما يلعب التركيب غير المتجانسة للمستحلب النووي دوراً مهماً في هذا السلوك ، مما يؤدي إلى انحراف العلاقة بين المركزية وكثافة الطاقة عن السلوك الأحادي المعروف في التصادمات الثقيلة مثل تصادمات Xe-Xe at 5.44TeV



الشكل (8) تغير كثافة طاقة بجوركن الإبتدائية ϵ_B مع المركزية في تصادمات Xe-Xe عند طاقة 5.44TeV وتصادمات Pb-Pb عند طاقة 5.02TeV [11]



الشكل (9) تغير كثافة طاقة بجوركن الإبتدائية ϵ_B مع المركزية في تصادمات O-Em عند طاقة 3.7GeV.

من خلال هذه الدراسة نستنتج :

1. ينخفض نصف قطر منطقة التداخل $r_{overlap}$ مع زيادة المركزية حيث يعكس هذا التناقص الانخفاض التدريجي في حجم المنطقة المشتركة بين النواتين المتصادمتين ويكون $r_{overlap}$ أكبر في التصادمات المركزية وصغيراً في التصادمات المحيطية
2. توجد علاقة عكسية واضحة بين $r_{overlap}$ و b فكلما زادت المسافة الجانبية بين مركزي النواتين تقلص حجم منطقة التداخل حيث تؤكد هذه النتيجة الطابع الهندسي للتصادمات النووية
3. تنخفض مساحة منطقة التداخل $A_{overlap}$ مع زيادة المركزية ويعود ذلك الانخفاض التربيعي لنصف قطر التداخل وتكون مساحة التداخل كبيرة في التصادمات المركزية وصغيرة جداً في التصادمات المحيطية
4. أظهرت كثافة الطاقة المحسوبة سلوكاً غير خطياً مع المركزية ففي بعض فئات المركزية ترتفع كثافة الطاقة قبل أن تنخفض عند المركزيات الأعلى ويؤول هذا السلوك إلى زيادة عدد الجسيمات المنتجة وانخفاض مساحة منطقة التداخل. ففي الأنظمة الخفيفة مثل O-Em يكون هذا التأثير أكثر وضوحاً مقارنة بالأنظمة الثقيلة
5. تعتمد القيم المتوسطة للكميات الفيزيائية الهندسية على نسب التفاعل مع أنوية H , CNO , $AgBr$,
المراجع :

- [1]. D.H.Perkins; Introduction to High Energy Physics, Addisonwesley,(1987),351
- [2].Bjorken J.D.;phys.Rev.D,27,140(1983).
- [3]. S.Garpman et al :Instrumentation method,A269, (1988)134
- [4]. m.el-Nadi,al.,(1993) Multiplicity and Rapidity Density in Central Collisions of 4.1 AGeV Ne Nuclei in Nuclear
- [5]. Bogdanov,V.G.N.A.Perfilov,V.A.Plyushchev and Z.I.Soloveva,1983.on mechanism of complete destruction of AgBr nuclei by relativistic. Yad.Fiz.,38:1493-1504.
- [6]. Adamovich M.I.et al.,1977,JINREL-10838,Dubn.
- [7]. EL.Naghy A.&Toneev,V.D.,1980,Z.Phys.,A298,55.
- [8].Abuzaghia,Fatima,and Mostafa Baiou.Some General Properties of the Emitted Fragments in interactions at 4.5GeV per Nucleon. Jordan journal of physics,vol.7,no.2,2014,pp.99-109.
- [9]. Antonchik V.A.et al.,1984,Sov.J.Nucl.phys.,39(5),774.
- [10]. Andreeva N.P.et al.,1987,Sov.J.Nucl.phys.,74(1),78.
- [11]. Bhat,Mohammad Asif,et al.Bjorken initial energy density estimation in Xe-Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44\text{TeV}$ Using ALICE ,arxiv,2025,arxiv:2508.08345v2.