# المجلة الأردنية للفيزياء

# ARTICLE

# خصائص الجسيمات المنبعثة في الاتجاهين الامامي والخلفي في تصادمات الكربون مع المستحلب النووي عند الطاقة العالية

حليمة الهادي الجمل ومصطفى عبد السلام بن نصر بعيو قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا.

*Received on: 17/7/2013; Accepted on: 30/3/2014* 

**الملخص:** أجريت هذه الدراسة لمعرفة خصائص الجسيمات النسبية المنبعثة في الاتجاهين. الأمامي (90 > 100 \$) والخلفي (90<sup>0</sup> \$ 100 لتفاعل نوى الكربون مع المستحلب النووي عند كمية حركة شعاع قدرها 14.5 لكل نيوكليون.

تمت مناقشة النتائج المتعلقة بمتوسطات الجسيمات الرذاذية والرمادية، وارتباطات هذه التعدديات. ووجد أن متوسط القيم لتعدديات الجسيمات الأمامية تعتمد اعتماداً قوياً على العدد الكتلي للقذيفة وطاقتها. كما وجد أن النسبة  $(N_5^F/N_5^P)$  للجسيمات الرذاذية تزداد مع زيادة كتلة القذيفة وتتناقص مع زيادة حجم الهدف. أما النسبة نفسها للجسيمات الرمادية  $(N_5^F/N_6^P)$  فهي تقريباً ثابتة في المنطقة ( $N_6 = N_6$ ).

#### Features of the Forward-Backward Particles in the Collisions of Carbon with Nuclear Emulsion at High Energy

#### Halima Al-Jamal and Mustafa Bayio

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

Abstract: Experimental data on relativistic (shower) and fast (grey) hadrons emitted in the forward and backward hemispheres ( $9 < 90^{\circ}, \theta \ge 90^{\circ}$ ), (FHS,BHS), in the collision of <sup>12</sup>C beam with emulsion nuclei at 4.5A *GeV/c* are presented and analyzed. The correlations between multiplicities of shower particles are also investigated. The mean values of the multiplicities of the produced forward particles are strongly dependent on the projectile mass number,  $A_{\overline{P}}$ , and its energy while those of the backward ones are nearly independent of  $A_{\overline{P}}$ . Finally, the ratio  $(N_{\overline{P}}^{\overline{P}}/N_{\overline{P}}^{\overline{P}})$  is found to increase with increasing the projectile mass and decrease rapidly with increasing the target size ( $N_{\overline{R}}$ -value), while ( $N_{\overline{P}}^{\overline{P}}/N_{\overline{P}}^{\overline{P}}$ ) seems to exhibit a limited behavior in the region of  $N_{\overline{R}} > 7$ .

Keywords: Forward hemisphere; Backward hemisphere; Nuclear emulsion; Collisions at high energy.

PACS: 25.75.-q

#### المقدمة

ومن الظواهر الشيقة انبعاث الجسيمات في مثل هذه التفاعلات في الاتجاهين الأمامي والخلفي. وخصائص هذا الانبعاث توضح الميكانيكية التي يتأين بها الهادرون للحالة النهائية للحسيمات الرذاذية المشحونة في الاتحاهين [1]. عند اصطدام النوى المعجلة لطاقات عالية، يصعب التكهن بما ستؤول إليه هذه النوى بعد الاصطدام. فقد تفقد هذه النوى هويتها تماماً، وغالباً ما تنتج جسيمات جديدة بطاقات مختلفة وزخم مختلف، وبزوايا انبعاث متعددة.

أما انبعاث الهادرونات السريعة والنسبية (البايونات) من النواة في الاتجاه الخلفي نصف الكروي ( Backward النواة في الاتجاه الخلفي نصف الكروي ( Backward)، فيعد من أهم الخواص في تفاعلات نواة- نواة (A-A) وهادرون – نواة (h-A)، وتنبعث هذه الأهمية من أن إنتاج الهادرون في الاتجاه الخلفي في التصادمات الحرة لنيوكليون - نيوكليون غير ممكن كينماتيكياً، وتبدو ميكانيكية هذا الإنتاج الغريب أشبه بما ينتج عن التعنقد (Clustering).

دراسة هذا الانبعاث تزودنا بمعلومات عن تأثيرات نووية أخرى كتفاعلات الهادرونات من منطقة التفاعل الابتدائية مع المادة النووية المحيطة، وحركة النيوكليونات الداخلية بداخل النواة وارتباطها بالمدى القصير بين النيوكليونات [2].

اقترح بالدن وآخرون (Baldin et al. 1978) أن حركة فيرمي البسيطة لايمكن حسابها لإنتاج هذه الهادرونات في الإتجاه الخلفي، وذكروا أن الميكانيكية السائدة لهذا الإنتاج هي تفاعل بين النيوكليونات الناتجة من القديفة وكتل النيوكليونات المتعددة في الهدف، وأن هذه الميكانيكية

ترجع إلى إنتاج تراكمي (Cumulative production) ترجع إلى إنتاج تراكمي (Baldin, 1980) (Time-Space)[3]؛ إذ تبدو نواة الهدف كجسم ممتد لعمليات انتاج الجسيم المتعدد [2]. وحتى الآن لا توجد نظرية واضحة تشرح خصائص انبعاث الهادرون في الاتجاه الخلفي، بينما تنجح بعض النماذج في شرح كيفية إنتاج (Cascading) الخلفي المتعدد وفهم ظاهرة التدفق (Cascading) وإعادة الاستطارة (Rescattaring) من النواة في تصادمات (-A المساهم (Participant Part) من النواة في تصادمات (-A

## مصدر البيانات التجريبية وطريقة تحليل

في هذه الورقة البحثية، قمنا بتحليل (490) حدثا، نتجت من تعريض كومة المستحلب النووي، من نوع (NIKFI-BR-2)، لشعاع عمودي من نوى الكربون، بطاقة 4.5**GeV/c** لكل نواة. والجدول (1) يوضح التركيب الكيميائي لهذا النوع من المستحلب.

الجدول (1): التركيب الكيميائي لشريحة المستحلب من النوع NIKFI-BR-2

Element	1H	<sup>12</sup> C	<sup>22</sup> Ne	<sup>16</sup> <b>0</b>	<sup>80</sup> Br	<sup>108</sup> Ag
No of $\frac{atoms}{cc} x 10^{22}$	3.150	1.410	0.395	0.956	1.028	1.028

مصدر هذه البيانات هومعجل دوبنا في روسيا Dubna (Dubna مصدر هذه البيانات هومعجل دوبنا في روسيا Nikon ). 40 x Objective وMicroscope متحرك بقوة تكبير Microscope (Microscope و15xEye-piece مسافة وجرى تتبعها للخلف 15xEye وجرى تتبعها للخلف للتأكد من أنها لم تكن ناتجة من تفاعل سابق.

تم فحص الأحداث باستخدام عدسات ذات قوة تكبير (15xEye-pieces) و 95xoil Immersion (95xoil) الأثر في اتجاه القذيفة والمسح البطي في الاتجاه المعاكس. كما تم اختيار الأحداث وفق المعيار الآتي: 1. كل آثار الشعاع بزوايا قذف أقل من <sup>°</sup>3 مع الإتجاه الرئيسي الإبتدائي، تم استبعادها. 2- الأحداث الناتجة لمسافة سا30 التحليل.

كما صنفت الآثار كلاسيكياً،طبقاً للمعايير المستخدمة في طريقة المستحلب النووي إلى الأصناف الآتية:

-2 الآثار الرمادية (Grey Tracks)، وهي على الأغلب
بروتونات ذات طاقة حركية ( 26-400*MeV*) وتأين نسبي
1.4).

3. الأثار السوداء (Black Tracks)، وهي جسيمات ذات مدى قصير في المستحلب (R≤3mm) وطاقاتها الحركية اقل من (26 MeV).

تعدديات الأثار السابقة هي على التوالي: (N<sub>E</sub>, N<sub>g</sub>, N<sub>b</sub>)، كما تعرف الآثار كثيفة التأين بأنها مجموع (N<sub>h</sub>=N<sub>g</sub>+N<sub>b</sub>) .

أما تمييز الجسيمات الأمامية والخلفية فيكون بالشكل $N_{g} \,=\, N_{g}^{F} + N_{g}^{B}$ 

للجسيمات الرذاذية، حيث  $N_S^F$  هي عدد الجسيمات الرذاذية، في الاتجاه الأمامي، و $N_S^B$  عددها في الاتجاه  $N_g = N_g^F + N_g^B$  وكذلك  $N_b = N_b^F + N_b^B$ . الخلفية والسوداء بالكيفية نفسها وعلى التوالي.

النتائج التجريبية والمناقشة

 متوسط التعددية للجسيمات المشحونة النسبية الناتجة فى الاتجاهين الأمامى والخلفى

وضحنا هذه المتوسطات في الجدول (2) لقذائف مختلفة. وواضح أن قيمة  $< {}^{R}_{S} >$  تبقى ثابتة عند قيمة (0.4) تقريباً مع أخطاء تجريبية صغيرة بغض النظر عن كتلة القذيفة. وهذا نتيجة لأن الهادرونات المنبعثة في الاتجاه الخلفي تعتمد على عدد النيوكليونات المتفاعلة من القذيفة. بينما تزداد  $< {}^{R}_{S} >$  مع زيادة العدد الكتلي للقذيفة ( ${}^{A}_{O}$ ). ويتضح من الجدول تطابق نتائج الدراسة الحالية بشكل جيد مع نتائج الابحاث الاخرى [7,6,4]. أما للقذيفة الواحدة، فمن الواضح من الجدول أن إنتاج الجسيمات في الاتجاه الامامي يزداد بزيادة طاقة القذيفة ولا تأثير يذكر على الجسيمات في الاتجاه الخلفي.

Type of interaction	Incident energy per nucleon(GeV)	$< N_S^B >$	$< N_S^F >$	Ref.
<sup>6</sup> Li – Em	2.2	0.29±0.01	3.86±0.10	
<sup>6</sup> Li−Em	3.7	0.41±0.02		[6]
12 C - Em	3.7	$0.42 \pm 0.01$	7.11±0.22	
$^{12}C - Em$	4.5	$0.69 \pm 0.04$	7.24±0.11	Present Work
<sup>22</sup> Ne – Em	3.3	$0.45 \pm 0.01$	$9.85 \pm 0.04$	[6]
<sup>22</sup> Ne – Em	4.1	$0.40\pm0.02$	9.71±0.23	[7]
<sup>28</sup> Si – Em	3.7	$0.44 \pm 0.02$	11.36±0.09	[6]
<sup>28</sup> Si Em	14.5	$0.38 \pm 0.06$	$20.50 \pm 0.52$	[4]
<sup>28</sup> Si – Em	4.5	$0.35 \pm 0.02$	11.43±0.09	[7]

الجدول (2): متوسطات التعددية للجسيمات الرذاذية في الاتجاهين الأمامي والخلفي لقذائف مختلفة

الجدول (3): قيم 🛚 و🖡 في الاتجاهين الأمامي والخلفي للجسيمات الرذاذية والرمادية

Dortiolog	sp	particlec	g particles		
Farticles	F	В	F	В	
α	0.62	0.18	1.42	0.009	
β	1.59	0.26	0.066	0.94	

في الشكل (1)، رسمنا التعددية للجسيمات الرذاذية في الاتجاهين، لتصادمات الكربون مع المستحلب. ونلاحظ فيه أن توزيعة الجسيمات الأمامية أكثر انبساطاً من الجسيمات الخلفية. وقد لوحظ هذا السلوك أيضاً من [4].[N.Ahmad]

وفي الشكلين (2) و (3)، رسمت العلاقات بين مي مكل من متوسط التعددية للجسيمات الرذاذية والرمادية في كلا الاتجاهين لعدة قذائف نووية، حيث تمت ملاءمة البيانات بواسطة العلاقة:

$$\langle N_j^{F,B} \rangle = \beta_j^{F,B} A_p^{\alpha_j^{F,B}} \tag{1}$$

حيث B,F تعني الاتجاهين الأمامي والخلفي على الترتيب، j=s,g.

تم حساب قيم  $\beta \ll 0$  في الاتجاهين للجسيمات الرذاذية والرمادية بواسطة طريقة المربعات الصغرى، وكانت القيم كما هي موضحة في الجدول (3)، ومن ذلك يلاحظ أن  $< N_s^{T}>$  تزداد مع كتلة القذيفة بشكل اوضح مما هو عليه في  $< N_s^{T}>$ .وقد لوحظ هذا أيضاً من (M.El-nadi).



الشكل (1): تعددية الجسيمات الرذاذية في الاتجاهين الأمامي والخلفي في تفاعلات الكربون - المستحلب عند طاقة 4.5 AGeV .



الشكل (2- ١): العلاقة بين متوسط الجسيمات الرذاذية في الاتجاه الامامي والعدد الكتلي للقذيفة





الشكل (3- أ): العلاقة بين العدد الكتلى للقذيفة ومتوسط عدد الجسيمات الرمادية الاتجاه الأمامي



## 2 . ارتباطات التعددية

تعتبر دراسة العلاقة بين تعدديات الأنواع المختلفة من الجسيمات الأمامية والخلفية من أهم مصادر المعلومات عن ميكانيكية إنتاج الجسيمات في الاتجاهين. الجدول (4) يوضح قيم متوسط عدد الجسيمات الرذاذية المشحونة في

$$A = \frac{N_{S}^{F} - N_{S}^{B}}{N_{S}^{F} + N_{S}^{B}}$$
(2)

لمختلفة لها	والنسب ا	الاتجاهين	حونة في	الرذاذية المش	الجسيمات ا	تعددية	متوسطات	(4): قيم	الجدول
			**						

	<sup>12</sup> C(8)	<sup>12</sup> C(9)	<sup>28</sup> C(8)	<sup>12</sup> C(Present work)
$< N_S^F >$	7.38	7.10	10.95	8.62
$< N_S^B >$	0.29	0.5	0.29	0.61
$N_{s}^{F}/N_{s}^{B}$	25.39	14.20	37.76	14.24
A	0.92	0.86	0.95	0.87
$< N_S^R > N_S^F >$	0.039	_	0.026	0.070
$< N_S^B > / < N_S >$	0.038	0.067	0.026	0.066
$< N_{S}^{F} > / < N_{S} >$	0.962	0.934	0.971	0.934

كما أدرجنا ضمن هذا الجدول القيم المناظرة لدراسات اخرى [9,8]، ونلاحظ التوافق الجيد بين النتائج.ونلاحظ منها جميعاً أن معدل تعدديات الجسيمات الرذاذية في الإتجاه الأمامي أكبر منها في الاتجاه الخلفي، وهذا يعني أن احتمالية الانبعاث الأمامي أعلى وأوفر حظاً من احتمالية

الانبعاث الخلفي. كما نلاحظ أن قيمة البارامتر (A) لا تعتمد على كتلة القذيفة.

ارتباطات التعددية في الإتجاهين موضحة في الشكلين (4) و (5). وقد تمت ملاءمة البيانات التجريبية للشكلين السابقين بالمعادلة:

$$N_s^i = aN_j + b, i \neq j \tag{3}$$

حيث *i* ترمز إلى الاتجاه الخلفي (*B*)، أو الأمامي (*F*)، بينما تشير (*f*)إلى الجسيمات الرمادية أو السوداء أو كثيفة

التأين. كما أن قيم البارامترين a وb موضحة في الجدول (5). ويتضح من هذين الشكلين أن معدل تعددية الجسيمات الرذاذية في الاتجاهين يزداد مع زيادة قيم  $(N_{h}, N_{b}, N_{g})$ ، مع اعتماد أقوى لهذه الجسيمات للاتجاه الأمامي بشكل خاص.



الشكل (4): متوسط تعددية الجسيمات الرذاذية في الاتجاه الأمامي وتعدديات الجسيمات المختلفة



الشكل (5): العلاقة بين متوسط تعددية الجسيمات الرذاذية في الاتجاه الخلفي والتعدديات المختلفة

Corelations	b	a
$< N_s^F > vs N_b$	0.79	0.0076
$< N_S^F > vs N_g$	0.69	0.022
$< N_S^F > vs N_h$	0.73	0.0082
$< N_S^B > vs N_p$	0.024	0.029
$< N_S^B > v_S N_g$	0.132	0.0069
$< N_S^B > vs N_h$	0.193	0.0106

الجدول (5): قيم البارامترين a وb لتفاعلات الكربون مع المستحلب عند كمية حركة للشعاع قدرها 4.5 AGeV/c

#### 3. النسب الأمامية والخلفية

في جدول (6) تتضح نسبة الجسيمات الأمامية إلى الخلفية لكل من الجسيمات الرذاذية والرمادية  $g_{sg}(F/B)$ ، (17-8) عند حجوم مختلفة للهدف ( $N_h$  (1-7)، (8-71)، (8-27)  $g_h \ge 28$ )، لتفاعلات الكربون مع نوى المستحلب,بالإضافة لعدة قذائف اخرى (28Si,<sup>22</sup>Ne,<sup>32</sup>S) عند الطاقة نفسها [12,11,10,5].

نرى من البيانات أن قيم  $_{s}(F/B)$  تتناقص بسرعة مع زيادة حجم الهدف (قيم  $(N_{h})$ ، أما الجسيمات الرمادية فتتثبت هذه النسبة لها في المنطقة ( $N_{h} < N_{h}$ ) عند القيمة (3.3). كذلك تتضح في هذا الجدول حقيقة زيادة

الجسيمات الامامية الناتجة مع زيادة العدد الكتلي للمقذوف، كما تزداد النسبة <sub>و</sub>(F/B) كذلك، وهذا نتيجة لزيادة عدد الجسيمات الرذاذية مع حجم القذيفة.

الشكل (6)، رسمت العلاقة لنسبة الإتجاهين للجسيمات الرذاذية كدالة للجسيمات كثيفة التأين ( $N_{h}$ )، ويبدو جليا أن النسبة ( $N_{5}^{E}/N_{5}^{F}$ ) تتناقص مع زيادة قيم ( $N_{h}$ ) الجسيمات الرذاذية. وقد توصل (khan, M.S. et al.) [1] إلى هذه النتيجة أيضاً.

			n 🤍			
Projectile		$N_h \ge 28$	<b>N</b> <sub>h</sub> (18-27)	<b>N</b> <sub>h</sub> (8-17)	<b>N</b> <sub>h</sub> (1-7)	Ref
	$(F/B)_S$	49.57	22.41	15.09	6.47	Present Work
<sup>12</sup> C	$(F/B)_S$	44.20	27.00	22.50	18.5	[5]
	$(F/B)_g$	4.08	3.41	3.20	3.30	[10]
<sup>22</sup> Ne	$(F/B)_S$	48.04	27.54	21.21	16.58	[11]
	$(F/B)_g$	4.80	3.30	3.10	2.90	[11]
<sup>28</sup> Si	$(F/B)_S$	62.04	44.04	23.64	17.88	[12]
	$(F/B)_g$	4.40	3.50	2.90	3.10	
	$(F/B)_S$	95.50	32.53	20.20	21.47	[ <b>6</b> ]
<sup>32</sup> S	$(F/B)_g$	6.70	3.51	3.06	4.13	[3]





الشكل (6): نسبة الاتجاهين للجسيمات الرذاذية كدالة للجسيمات كثيفة التأين

#### الخلاصة

ات المنبعثة في وعند دراسة قيم النسبة  $(N_{S}^{F}/N_{S}^{F})$ ، فقد وجدنا أنها تزداد مع زيادة كتلة المقذوف عند طاقة المقذوف نفسها. وطاقتها، كما وأخيراً فعلاقات التعددية في الاتجاهين خطية، ودراسة وزيعة التعددية هذه العلاقات يوضح اعتماد $N_{S}^{F} > 1$ القوي على عرض في حالة  $N_{R}, N_{g}, N_{b}$ .

- [6] El-Nadi, M., Abdelsalam, A. and Ali-Mosa, N. et al., Euro. J. Phys., (1998) 183.
- [7] El-Naghy, A., Sadek, N.N. and Mohery, Nuovo Cim. A, 110 (1997) 125.
- [8] Dipak, G., Jaya, R. and Ranjan, S., Can. J. Phys., 67 (1989) 115.
- [9] Tauseef, A. and Irfan, M., Phys. Rev. C, 46 (1992) 1483.
- [10] EI-Nadi, M., Ali-Mossa, N. and Abdelsalam, A., Nuovo Cimento, 110 (1998) 1255.
- [11] El-Nadi, M., Abdelsalam, A. and Ali-Mossa, N., Int. J. Mod. Phys. E, 3 (1994) 811.
- [12] El-Nadi, M., Abdelsalam, A. and Ali-Mossa, N., Radiat. Phys. Chem., 47 (1996) 681.

مما سبق، نستخلص أن عدد الجسيمات المنبعثة في الاتجاه الأمامي يزداد مع زيادة كتلة القذيفة وطاقتها، كما أن انبعاث الهادرونات النسبية في الاتجاه الخلفي نصف الكروي مستقل عن طاقة القذيفة. أما توزيعة التعددية للجسيمات الرذاذية المشحونة فستصبح أعرض في حالة الاتجاه الامامي نصف الكروي من الاتجاه الخلفي.

## المراجع

- Khan, M.S., Khushnood, H., Ansari, A.R., Nasr, M.A. and Irfan, M., 109A(12) (1996) 1623.
- [2] Dong-Hai, Z., Hui-Hua, Z., Fang, L., Chun-Le, H., Hui-Ming, J., Xue-Qin, L., Zhen-Yu, L. and Jun-Sheng, L., J. Chin. Phys., 09 (2006) 1987.
- [3] El-Nadi, M., Abdesalam, A., El-Nagdy, M.S., Shaat, E.A., Ali-Mossa, N., Abou-Moussa, Z., Kamel, S., Rashed, N., Hafiz, M.E. and Badawy, B., Proceedings of ICRC. (2001) 1366.
- [4] Ahmad, N., Ahmad, S., Khan, M.M., Zafar, M. and Irfan, M., International Journal of Modren Physics E, (2005) 895.
- [5] Abdelsalam, A., Shaat, E.A., Ali-Mossa, N., Abou-Mousa, Z., Osman, O.M., Rashed, N., Osman, W., Badawy, B.M. and El-Falaky, E., J. Phys. G: Nucl. Part. Phys., 28 (2002) 1375.