

القيم الوسطى للشحنة \bar{q} المتوازنة لشوارد متوسطة الثقل في الميلاز $C_3H_4O_2$
" مقارنة بين النتائج النظرية والتجريبية "

الدكتور جبور جبور*

(قبل للنشر في 1995/12/27)

□ الملخص □

حسبنا المقاطع العرضية لفقدان ولأسر إلكترون واحد فقط من الطبقة K ، الطبقة L ، والطبقة M لشوارد متوسطة الثقل في الميلاز. يتراوح العدد الذري لهذه الشوارد ما بين 8 و 21 وذات طاقة قدرها 7 مليون إلكترون فولت لكل نكليون (7 MeV/A). ثم حسبنا القيم الوسطى للشحنات نظرياً وقارناها مع القيم التجريبية.

* أستاذ مساعد في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

The Mean Values Equilibrium Charge \bar{q} of Medium Heavy Ions in Mylar $C_5H_4O_2$. " Comparison Between Theoretical and Experimental Results "

Dr. Jabbour JABBOUR*

(Accepted 27/12/1995)

□ ABSTRACT □

One K-shell, one L-shell, and one M-shell electron loss and capture cross sections have been calculated in mylar for medium heavy ions ranging in atomic number between 8 and 21 at 7 MeV/A. The theoretical mean \bar{q} has been calculated, for every ion, and compared with the experimental values.

* Associate Professor at Department of Physics, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia - Syria.

عند اصطدام شاردة بذرة فإن حالة الشحنة لهذه الشاردة تخضع لتغيرات، يمكن وصف هذه التغيرات بتعاقب عمليات عنصرية مرافقة إما لفقدان أو لأسر إلكترون أو عدة إلكترونات [2,1]. كل عملية عنصرية تغير الشحنة q بحيث تصبح $q \pm n$ (حيث n عدد صحيح) وهذه العملية مرتبطة بالمقطع العرضي $\sigma(q, q \pm n)$.

عالج Bohr [3] ظاهرة فقدان وأسر الإلكترونات منذ أن لاحظ Henderson لأول مرة عام 1922 أن نسبة شوارد الهيليوم He^+ في حزمة من جسيمات ألفا α تزداد بشكل سريع عندما تتناقص سرعة الشوارد. إن معظم الدراسات التجريبية والنظرية في هذا المجال انطلقت من علاقات بسيطة نسبياً، كتبادل الشحنة أثناء تصادم بروتون مع هدف من الهيدروجين. إن تطبيق العلاقات الناتجة عن الدراسات السابقة على الشوارد الثقيلة مقيد بصفات ومميزات القذائف المستخدمة (خاصة قيمة العدد الذري Z_1 والسرعة v والشحنة q للقذيفة) وبالعدد الذري للهدف Z_2 .

إن الدراسات الأولى للشوارد الثقيلة قام بها Lassen [4] و Bohr [3] و Lindhard [1]، وهذه الدراسات كانت مخصصة للشوارد الثقيلة الناتجة عن تفاعلات الإنشطار.

بشكل عام، إن هؤلاء الباحثين يعتبرون أنه أثناء التصادم بين القذيفة وذرات الوسط المبطيء (الهدف)، فإنه غير محتمل لقذيفة سرعتها v أن تفقد لإلكتروناتها التي سرعتها المدارية u أكبر بكثير من v . لكن بالمقابل، فإن إلكترونات ذرة الهدف التي سرعتها المدارية أكبر من v سوف تؤسر، بشكل أساسي، من قبل القذيفة. بشكل أدق، فإن فقدان إلكترون من قبل القذيفة يوصف وكأنه ظاهرة تأين ناتجة عن انتقال الطاقة من قلب الهدف إلى القذيفة. ويتكون هذا القلب من نواة ذرية لأجل العناصر الخفيفة (الأهداف الخفيفة)، أو، في حالة الأهداف الثقيلة من نواة وإلكترونات تدور حول هذه النواة بسرعة مدارية أكبر من v .

درسنا سابقاً توزيعات حالة الشحنة لشوارد متوسطة النقل ذات سرع عالية في الميلاز $C_5H_4O_2$ [5]، واقترحنا نموذجاً لوصف التوزيعات غير التناظرية لحالة الشحنة، ثم حسبنا القيمة الوسطى للشحنة \bar{q} في حالة التوازن لكل شاردة. إن النموذج الذي اقترحناه، والذي أعطانا وصفاً جيداً للتوزيعات التجريبية التي حصلنا عليها، يسمح لنا أن نعبر عن النسبة σ_1 / σ_c (حيث σ_1 و σ_c يرمزان للمقاطع العرضية لفقدان وأسر إلكترون K للقذيفة) بتابعية \bar{q} . بعبارة أخرى استطعنا أن نحسب تجريبياً النسبة σ_1 / σ_c .

إن هدف هذه المقالة هو الحساب النظري لكل من σ_1 و σ_c بالاعتماد على النماذج النظرية الموجودة في هذا المجال، ومن ثم حساب القيم الوسطى للشحنة \bar{q} ومقارنتها بالقيم

التجريبية التي حصلنا عليها سابقاً في المرجع [5]. وهذا يسمح لنا اختبار مدى صلاحية النماذج النظرية الموجودة ضمن هذا المجال من الطاقة العالية الذي أجرينا تجاربنا ضمنه (7 مليون إلكترون فولت لكل نكليون - 7 MeV/A).
نُعطي النتائج التجريبية التي حصلنا عليها في المقطع الثاني من هذه المقالة، بينما نخصص المقطع الثالث للقسم النظري وللحسابات النظرية، مقارنة النتائج التجريبية والنظرية ببعضها البعض ومناقشتها مُعطي في المقطع الرابع.

2 - القسم التجريبي - النتائج التجريبية:

أعطينا سابقاً في المرجع [5] وصفاً للطريقة التجريبية وخاصة احتمال حالة الشحنة $P(q)$ والقيمة الوسطى للشحنة q في حالة التوازن لكل شاردة.
سوف نذكر هنا بعض الأمور الأساسية التي اعتمدنا عليها سابقاً في المرجع [5] بـغية التسهيل على القارئ. إن القذائف المأخوذة بعين الاعتبار هي عبارة عن شوارد متوسطة النقل تتراوح أعدادها الذرية بين 8 و 21 وذات طاقة ثابتة قدرها $7(\text{MeV}/A)$ ، بينما الهدف الفعلي هو من الميلاز $\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2$.

إن بعض النتائج التجريبية التي حصلنا عليها سابقاً [5] سوف نستخدمها هنا وخاصة احتمال حالة الشحنة. نُعطي في الجدول (1) القيم التجريبية، لاحتمالات حالة الشحنة، التي حصلنا عليها: $P(q=Z)$ ، $P(q=Z-1)$ ، $P(q=Z-2)$ ، $P(q=Z-3)$ بطاقة قدرها $7(\text{MeV}/A)$ للشوارد (للقذائف) التي تتراوح أعدادها الذرية ما بين 8 و 21. بينما يعرض الجدول (2) النتائج التجريبية للشحنة الوسطى \bar{q} التي تم الحصول عليها باستخدام العلاقة التالية:

$$\bar{q} = \sum q.P(q) \quad (1)$$

والمأخوذة من المرجع [5] (لقد عُرِضت بشكل مفصل الطريقة المتبعة للتوصل إلى هذه العلاقة في المرجع المذكور سابقاً).

الجدول (1): النتائج التجريبية لاحتمالات حالة الشحنة. الأخطاء المذكورة هي عبارة عن أخطاء إحصائية.

العنصر	A	Z	$P(q=Z-3)$	$P(q=Z-2)$	$P(q=Z-1)$	$P(q=Z)$
O	16	8	0.0	0.0	7	93
F	18	9	0.0	0.0	14	86
Ne	20	10	0.0	0.0	17	83
Na	22	11	0.0	0.0	20	8.0
Mg	24	12	0.0	1.15 ± 1.15	28.74 ± 4.93	70.11 ± 5.17
Al	26	13	0.0	2.53 ± 1.87	31.61 ± 3.95	65.86 ± 4.40
Si	28	14	0.0	5.27 ± 2.20	37.66 ± 3.68	57.06 ± 4.28
P	30	15	0.0	8.65 ± 1.53	37.61 ± 2.94	53.73 ± 3.64
S	32	16	0.0	9.46 ± 1.30	45.04 ± 2.16	45.50 ± 2.58
Cl	34	17	0.0	11.61 ± 1.44	48.39 ± 2.81	39.99 ± 3.42
A	36	18	0.0	20.22 ± 1.91	44.94 ± 1.77	34.84 ± 2.25
K	38	19	2.52 ± 1.65	25.23 ± 2.15	46.72 ± 1.89	25.53 ± 2.04
Ca	40	20	3.90 ± 2.36	29.99 ± 1.93	42.84 ± 1.59	23.28 ± 1.68
Sc	42	21	13.10 ± 5.14	33.59 ± 4.84	39.99 ± 4.57	13.33 ± 1.88

الجدول (2): قيم الشحنة الوسطى \bar{q} عند التوازن التي حصلنا عليها تجريبياً ونظرياً.

العنصر	الشحنة الوسطى \bar{q}	
	تجريبياً	نظرياً
O	7.93	7.93
F	8.86	8.89
Ne	9.83	9.84
Na	10.80	10.72
Mg	11.69 ± 0.06	11.75
Al	12.63 ± 0.06	12.72
Si	13.52 ± 0.06	13.67
P	14.45 ± 0.05	14.63
S	15.36 ± 0.04	15.60
Cl	16.28 ± 0.05	16.56
A	17.15 ± 0.04	17.52
K	17.95 ± 0.04	18.47
Ca	18.85 ± 0.06	19.44
Sc	19.54 ± 0.14	20.40

3- القسم النظري:

3-1- المقاطع العرضية لأسر الإلكترون من قبل القذيفة:

إن انتقال إلكترون من حالة S (أي الطبقة الإلكترونية K أو L أو M ...) لذرة الهدف نحو حالة S' (أي الطبقة الإلكترونية K أو L أو M ...) للقذيفة (التي هي عبارة عن شاردة هيدروجينية، أي تحوي على إلكترون واحد فقط) هو عبارة عن مسألة بثلاث أجسام إذا اعتبرنا أن الإلكترونات الأخرى غير الإلكترون المنتقل، كمتفرجين أو كمشاهدين أثناء التصادم. إن الدور الذي تلعبه هذه الإلكترونات مقصور على مفعول الحجب (Screening Effect)، إما بين النواتين (نواة القذيفة ونواة الهدف)، وإما بين الإلكترون والهدف.

لقد عالج هذه المسألة كل من Oppenheimer و Brinkman و Kramer [7,6]، وذلك بالإعتماد على تقريبات Born من المرتبة الأولى (يُرمز لهذه الدراسة أو لهذا النموذج بـ OBK نسبةً للباحثين الذين اقترحوه). من أجل وصف عملية أسر إلكترون ذرة الهيدروجين من قبل بروتون، فإن هؤلاء الباحثين احتفظوا بحد واحد فقط، الحد الناتج عن التفاعل بين البروتون والإلكترون، في مصفوفة الانتقال، وأهملوا التفاعل بين البروتون والنواة الذرية. إن هذه الحسابات طبقت على السويات الأولى المعرضة وعلى كل الترتيبات الممكنة للذرة الهيدروجينية، وقادت إلى العلاقة التالية [8] التي تسمح بحساب المقطع العرضي الكلي للأسر:

$$\sigma_o^{OBC}(SS') = \frac{2^9 \pi n_1^2 a_0^2}{5.v^2} \left[\frac{v_{1s'} \cdot v_{2s}}{v_{1s'}^2 + \frac{(v^2 + v_{2s}^2 - v_{1s'}^2)^2}{4.v^2}} \right]^3 \quad (2)$$

حيث $v_{1s'}$ و v_{2s} ترمزان للسرعات المدارية [مقدرة بوحدة (cm/s) $v_0 = 2.18 \times 10^8$ التي تمثل سرعة إلكترون ذرة الهيدروجين] للإلكترون في الحالات S و S' للهدف (الدليل 2) وللقذيفة (الدليل 1). إن هذه السرعات ترتبط بالعدد الذري Z وبالعدد الكوانتي الرئيسي n المميز للطبقة S و S' التي يتواجد فيها الإلكترون (n = 1 للطبقة K و n = 2 للطبقة L و n = 3 للطبقة M):

$$v_{1s'} = \frac{Z_1}{n_1}, \quad v_{2s} = \frac{Z_2}{n_2} \quad (3)$$

و v ترمز لسرعة القذيفة مقدرة بوحدة v_0 ، و $a_0 = 0.53A^\circ = 0.53 \times 10^{-10} m$ يمثل نصف قطر ذرة الهيدروجين.

تشير المقارنة بين القيم النظرية والقيم التجريبية للمقاطع العرضية للأسر إلى أن هذه المقاطع العرضية للأسر المحسوبة في نطاق هذه التقريبات مبالغ في تقديرها باستثناء حالة التصادم ما بين بروتون وذرة هيدروجين.

اقترح Nikolaev [9] العلاقة التالية:

$$\sigma_c(v \geq v_{2S}, v_{1S'}) = \frac{1}{3} \sigma_c^{OBK}(SS') \quad (4)$$

التي تُطبق فقط على القذائف العارية تماماً من الإلكترونات. ثم يأخذ بعين الاعتبار مفعول الحجب لإلكترونات الهدف وذلك باستبدال Z_2 بـ $(Z_2 - 0.3)$ إذا تم الأسر في الطبقة K للهدف أو بـ $(Z_2 - 4.15)$ إذا تم الأسر من الطبقة L للهدف. تُعطي هذه العلاقة نتائج أفضل من العلاقة (2) بشرط أن يكون:

$$1 \leq \left(\frac{v}{v_{2S}} \right) \leq 10 \quad (5)$$

وبما أنه في حالتنا هذه لدينا الطاقة $E = 7(\text{MeV}/A)$ فتكون سرعة الشوارد (القذائف) مساوية إلى:

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 7 \times A}{A \times 1.66 \times 10^{-27}}} \quad (6)$$

حيث A الكتلة الذرية للشاردة (القذيفة) المأخوذة بعين الاعتبار و 1.66×10^{-27} وحدة الكتلة الذرية وتساوي إلى $931.5(\text{MeV}/c^2)$ و $c = 2.99 \times 10^{10}(\text{cm}/s)$ (سرعة الضوء)، فالبتعويض نجد أن:

$$v = 3.67 \times 10^9(\text{cm}/s) , \left(\frac{v}{v_0} \right) = 16.83 \quad (7)$$

وهذه القيمة ثابتة من أجل جميع القذائف، إن الهدف المأخوذ بعين الاعتبار هو من الميلاز $\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2$ ، أي هدف مركب، إذا حسبنا سرعة إلكترونات الطبقة K للعناصر الثلاث المولفة للهدف، مع الأخذ بعين الاعتبار مفعول الحجب، نجد أن:

$$\begin{aligned} v_{2S}(C) &= \frac{Z_2}{n_2} = \frac{6-0.3}{1} = 5.7v_0 \\ v_{2S}(H) &= \frac{Z_2}{n_2} = \frac{1-0.3}{1} = 0.7v_0 \\ v_{2S}(O) &= \frac{Z_2}{n_2} = \frac{8-0.3}{1} = 7.7v_0 \end{aligned} \quad (8)$$

وبما أن المقاطع العرضية للأسر (أو الفقدان) أثناء التصادم مع الهيدروجين أصغر بكثير من حالة التصادم مع الكربون والأكسجين (كما سنرى لاحقاً) لذلك يمكننا بشكل تقريبي أن نعتبر الميلاز مؤلف فقط من الأكسجين والكربون، فنجد أن النسبة (v/v_{2S}) تساوي إلى 2 أو 3

وهذا يحقق العلاقة (5) المذكورة سابقاً. لذلك سوف نستخدم العلاقة (4) لحساب المقاطع العرضية للأسر.

3-2- المقاطع العرضية لفقدان إلكترون من قبل القذيفة:

يوجد عدة نماذج نظرية لحساب المقاطع العرضية لفقدان إلكترون. من بين هذه النماذج نذكر النموذج الذي يعتمد على تقريبات Born في الأمواج الجزئية [3,1] والذي يُرمز له بـ PWBA (Partial Waves Born Approximation). نذكر أيضاً النموذج BEA [10-13] (Binary Effect Approximation) الذي يعتمد على اعتبارات كلاسيكية بحتة (التفاعل الكولوني بين جسمين) والذي يسمح بمعالجة ظاهرة فقدان إلكترون في طبقة داخلية. ويعتبر النموذج الأخير BEA كنموذج مبسط للنموذج PWBA حيث يُستبدل فيه الحالة النهائية للإلكترون المفقود بموجة مستوية.

أُقرحت عبارة مبسطة للمقطع العرضي للفقدان (للتأين) الناتج عن اصطدام عنصرين، عنصر ثقيل وعنصر خفيف [13] من أجل طبقة إلكترونية كاملة تحتوي على N إلكترون:

$$\sigma_i = N.Z^2\sigma_0 \left[\frac{G(V)}{U^2} \right] \quad (9)$$

حيث $Z = 2,8,18$ من أجل الطبقة K و L و M على الترتيب. يُمثل Z العدد الذري للعنصر الخفيف (العنصر الذي يؤدي إلى تأين العنصر الثقيل) و:

$$\sigma_0 = 6.56 \times 10^{-14} \text{ cm}^2 .eV^2$$

بينما يُمثل المقدار U طاقة الارتباط للإلكترون [14] و $G(V = v/u)$ [14] هو عبارة عن تابع يتعلق بالنسبة (v/u) حيث v سرعة القذيفة و u السرعة المدارية للإلكترون المفقود من قبل القذيفة والمأخوذ بعين الاعتبار. بمعرفة سرعة القذيفة أو طاقتها يمكن حساب التابع $G(V)$ وذلك باستخدام الجداول المعطاة في [14].

نشير إلى أن العلاقة (9) تُعطي المقطع العرضي لفقدان إلكترون للعنصر الأثقل الداخل (المشارك) في الاصطدام (في التفاعل)، وهي العلاقة التي سنستخدمها في حساباتنا.

3-3- حساب المقاطع العرضية لأسر وفقدان إلكترون في الميلاز:

من أجل كل قذيفة، فإن المقاطع العرضية للفقدان تصبح بسرعة أكبر بكثير من المقاطع العرضية للأسر وذلك عندما يزداد رقم الطبقة الإلكترونية (أي عند الانتقال من الطبقة K إلى L أو إلى M). من أجل ذلك، سوف نكتفي بالحساب للطبقات K و L للشوارد

(للقذائف) التي أعدادها الذرية أقل من 17 والطبقات K و L و M للشوارد (للقذائف) التي أعدادها الذرية تقع ما بين 17 و 21.

سوف نستخدم العلاقة (4) لحساب المقاطع العرضية للأسر (كما أشرنا إلى ذلك في الفقرة 3-1)، وسوف نعتبر أيضاً أن أسر إلكترون من قبل القذيفة يتم بانتقال إلكترون من الطبقة K للهدف نحو الطبقة K أو L أو M للقذيفة. نرمز لهذه المقاطع العرضية للأسر على التوالي بـ $\sigma_e(KM), \sigma_e(KL), \sigma_e(KK)$.

نذكر هنا أن العلاقة (4) معطاة من أجل القذائف العارية تماماً من الإلكترونات. وبما أن العدد الأعظمي للإلكترونات في الطبقة الإلكترونية هو $N = 2, 8, 18$ وذلك من أجل الطبقة K و L و M على الترتيب، فلحساب المقاطع العرضية للأسر إلكترون واحد يجب قسمة العلاقة (4) على العدد الأعظمي للإلكترونات N الذي يمكن أن تحويه الطبقة المأخوذة بعين الاعتبار.

وبما أن الهدف المأخوذ بعين الاعتبار هو الميلاز $C_5H_4O_2$ ، نحسب المقاطع العرضية للأسر الناتج عن اصطدام كل قذيفة (شاردة) إما بذرة من الكربون $\sigma_e(KS')_C$ أو بذرة من الأكسجين $\sigma_e(KS')_O$ أو بذرة من الهيدروجين $\sigma_e(KS')_H$ ثم نحسب المقاطع العرضية الكلي من العلاقة التالية:

$$\sigma_e(KS')_{C_5H_4O_2} = \frac{5 \times 12 \times \sigma_e(KS')_C + 4 \times 1 \times \sigma_e(KS')_H + 2 \times 16 \times \sigma_e(KS')_O}{96} \quad (10)$$

حيث $(A = 60 + 4 + 32 = 96)$ الكتلة الذرية للهدف. إن القيم التي حصلنا عليها معطاة في الجدول (3) وذلك من أجل جميع الشوارد (القذائف) المشار إليها سابقاً.

الجدول (3a): المقاطع العرضية لأسر $\sigma_c(Kn)$ والفقدان $\sigma_f(n)$ (إلكترون واحد لذئيفة في هدف من الميلاز $C_5H_4O_2$ بطاقة قدرها $7(MeV/A)$ ، حيث K يرمز للطبقة و n لطبقة الذئيفة المعنية، $n = K, L, M$)، إن واحدة المقاطع العرضية هي الـ cm^2 .

الذئيفة	الأهداف	$\sigma_c(KK)$	$\sigma_c(KL)$	$\sigma_c(KM)$	$\sigma_f(K)$	$\sigma_f(L)$	$\sigma_f(M)$
O	H	2.13×10^{-24}	2.92×10^{-25}		4.10×10^{-20}	9.02×10^{-19}	
	C	4.22×10^{-20}	4.17×10^{-21}		1.48×10^{-18}	3.25×10^{-17}	
	O	1.16×10^{-19}	9.10×10^{-21}		2.62×10^{-18}	5.77×10^{-17}	
	$C_5H_4O_2$	6.50×10^{-20}	5.64×10^{-21}		1.80×10^{-18}	3.96×10^{-17}	
F	H	2.38×10^{-24}	4.58×10^{-25}		3.31×10^{-20}	6.89×10^{-19}	
	C	5.16×10^{-20}	6.76×10^{-21}		1.19×10^{-18}	2.48×10^{-17}	
	O	1.50×10^{-19}	1.51×10^{-20}		2.12×10^{-18}	4.41×10^{-17}	
	$C_5H_4O_2$	8.22×10^{-20}	9.26×10^{-21}		1.45×10^{-18}	3.02×10^{-17}	
Ne	H	2.42×10^{-24}	6.64×10^{-25}		2.66×10^{-20}	5.41×10^{-19}	
	C	5.72×10^{-20}	1.02×10^{-20}		9.58×10^{-19}	1.95×10^{-17}	
	O	1.78×10^{-19}	2.34×10^{-20}		1.70×10^{-18}	3.46×10^{-17}	
	$C_5H_4O_2$	9.51×10^{-20}	1.42×10^{-20}		1.17×10^{-18}	2.37×10^{-17}	
Na	H	2.29×10^{-24}	9.04×10^{-25}		2.16×10^{-20}	4.26×10^{-19}	
	C	5.86×10^{-20}	1.44×10^{-20}		7.79×10^{-19}	1.54×10^{-17}	
	O	1.93×10^{-19}	3.40×10^{-20}		1.38×10^{-18}	2.73×10^{-17}	
	$C_5H_4O_2$	1.01×10^{-19}	2.03×10^{-20}		9.48×10^{-19}	1.87×10^{-17}	

الجدول (3b): المقاطع العرضية لأسر $\sigma_c(Kn)$ والفقدان $\sigma_f(n)$ (إلكترون واحد لذئيفة في هدف من الميلاز $C_5H_4O_2$ بطاقة قدرها $7(MeV/A)$ ، حيث K يرمز للطبقة و n لطبقة الذئيفة المعنية، $n = K, L, M$)، إن واحدة المقاطع العرضية هي الـ cm^2 .

الذئيفة	الأهداف	$\sigma_c(KK)$	$\sigma_c(KL)$	$\sigma_c(KM)$	$\sigma_f(K)$	$\sigma_f(L)$	$\sigma_f(M)$
Mg	H	2.14×10^{-24}	1.16×10^{-24}		1.76×10^{-20}	3.31×10^{-19}	
	C	5.83×10^{-20}	1.94×10^{-20}		6.34×10^{-19}	1.19×10^{-17}	
	O	2.03×10^{-19}	4.70×10^{-20}		1.13×10^{-18}	2.12×10^{-17}	
	$C_5H_4O_2$	1.04×10^{-19}	2.78×10^{-20}		7.98×10^{-19}	1.50×10^{-17}	
Al	H	1.72×10^{-24}	1.43×10^{-24}		1.40×10^{-20}	2.40×10^{-19}	
	C	5.06×10^{-20}	2.50×10^{-20}		5.04×10^{-19}	8.64×10^{-18}	
	O	1.87×10^{-19}	6.22×10^{-20}		8.96×10^{-19}	1.54×10^{-17}	
	$C_5H_4O_2$	9.40×10^{-20}	3.63×10^{-20}		6.36×10^{-19}	1.10×10^{-17}	
Si	H	1.40×10^{-24}	1.69×10^{-24}		1.10×10^{-20}	1.86×10^{-19}	
	C	4.35×10^{-20}	3.08×10^{-20}		3.96×10^{-19}	6.70×10^{-18}	
	O	1.69×10^{-19}	7.91×10^{-20}		7.04×10^{-19}	1.19×10^{-17}	
	$C_5H_4O_2$	8.35×10^{-20}	4.56×10^{-20}		5.00×10^{-19}	8.43×10^{-18}	
P	H	1.10×10^{-24}	1.93×10^{-24}		8.77×10^{-21}	1.49×10^{-19}	
	C	3.59×10^{-20}	3.66×10^{-20}		3.16×10^{-19}	5.35×10^{-18}	
	O	1.45×10^{-19}	9.71×10^{-20}		5.61×10^{-19}	9.52×10^{-18}	
	$C_5H_4O_2$	7.08×10^{-20}	5.52×10^{-20}		4.00×10^{-19}	6.75×10^{-18}	

الجدول (3 c)

المقاطع العرضية لأسر σ_c (Kn) ولفقدان σ_1 (n) الكترون واحد لقذيفة في هدف من الميلار $C_5H_4O_2$ بطاقة قدرها 7 MeV/A، حيث K يرمز للطبقة K للهدف و n لطبقة القذيفة المعنية (n = K, L, M). إن واحدة المقاطع العرضية هي cm^2 .

القذيفة	الأهداف	$\sigma_c(KK)$	$\sigma_c(KL)$	$\sigma_c(KM)$	$\sigma_1(K)$	$\sigma_1(L)$	$\sigma_1(M)$
S	H	8.41×10^{-25}	2.12×10^{-24}		6.97×10^{-21}	1.24×10^{-19}	
	C	2.87×10^{-20}	4.22×10^{-20}		2.51×10^{-19}	4.46×10^{-18}	
	O	1.21×10^{-19}	1.16×10^{-19}		4.46×10^{-19}	7.92×10^{-18}	
	$C_5H_4O_2$	5.83×10^{-20}	6.50×10^{-20}		3.15×10^{-19}	5.61×10^{-18}	
Cl	H	6.29×10^{-25}	2.28×10^{-24}	9.94×10^{-25}	5.56×10^{-19}	1.03×10^{-18}	1.63×10^{-18}
	C	2.23×10^{-20}	4.73×10^{-20}	1.61×10^{-20}	2.00×10^{-18}	3.71×10^{-17}	5.87×10^{-17}
	O	9.70×10^{-20}	1.34×10^{-19}	3.82×10^{-20}	3.56×10^{-19}	6.59×10^{-18}	1.04×10^{-16}
	$C_5H_4O_2$	4.63×10^{-20}	7.42×10^{-20}	2.28×10^{-20}	2.52×10^{-19}	4.68×10^{-18}	7.14×10^{-17}
A	H	4.63×10^{-25}	2.38×10^{-24}	1.17×10^{-24}	4.40×10^{-21}	8.46×10^{-20}	1.05×10^{-18}
	C	1.69×10^{-20}	5.16×10^{-20}	1.94×10^{-20}	1.58×10^{-19}	3.04×10^{-18}	3.78×10^{-17}
	O	7.58×10^{-20}	1.50×10^{-19}	4.70×10^{-20}	2.82×10^{-19}	5.41×10^{-18}	6.72×10^{-17}
	$C_5H_4O_2$	3.58×10^{-20}	8.22×10^{-20}	2.78×10^{-20}	1.99×10^{-19}	3.84×10^{-18}	4.61×10^{-17}
K	H	3.36×10^{-25}	2.43×10^{-24}	1.34×10^{-24}	3.50×10^{-21}	6.92×10^{-20}	8.28×10^{-19}
	C	1.26×10^{-20}	5.49×10^{-20}	2.10×10^{-20}	1.26×10^{-19}	2.49×10^{-18}	2.98×10^{-17}
	O	5.79×10^{-20}	1.65×10^{-19}	5.68×10^{-20}	2.24×10^{-19}	4.43×10^{-18}	5.10×10^{-17}
	$C_5H_4O_2$	2.72×10^{-20}	8.93×10^{-20}	3.33×10^{-20}	1.60×10^{-19}	3.15×10^{-18}	3.63×10^{-17}

الجدول (3 d)

المقاطع العرضية لأسر σ_c (Kn) ولفقدان σ_1 (n) الكترون واحد لقذيفة في هدف من الميلار $C_5H_4O_2$ بطاقة قدرها 7 MeV/A، حيث K يرمز للطبقة K للهدف و n لطبقة القذيفة المعنية (n = K, L, M). إن واحدة المقاطع العرضية هي cm^2 .

القذيفة	الأهداف	$\sigma_c(KK)$	$\sigma_c(KL)$	$\sigma_c(KM)$	$\sigma_1(K)$	$\sigma_1(L)$	$\sigma_1(M)$
Ca	H	2.41×10^{-25}	2.43×10^{-24}	1.52×10^{-24}	2.78×10^{-21}	6.36×10^{-20}	6.97×10^{-19}
	C	9.25×10^{-21}	5.72×10^{-20}	2.69×10^{-20}	1.00×10^{-19}	2.29×10^{-18}	2.51×10^{-17}
	O	4.34×10^{-20}	1.78×10^{-19}	6.78×10^{-20}	1.78×10^{-19}	4.07×10^{-18}	4.46×10^{-17}
	$C_5H_4O_2$	2.03×10^{-20}	9.51×10^{-20}	3.94×10^{-20}	1.26×10^{-19}	2.88×10^{-18}	3.06×10^{-17}
Sc	H	1.72×10^{-25}	2.38×10^{-24}	1.69×10^{-24}	2.22×10^{-21}	5.43×10^{-20}	5.40×10^{-19}
	C	6.61×10^{-21}	5.84×10^{-20}	3.08×10^{-20}	7.99×10^{-20}	1.95×10^{-18}	1.94×10^{-17}
	O	3.20×10^{-20}	1.87×10^{-19}	7.91×10^{-20}	1.42×10^{-19}	3.48×10^{-18}	3.46×10^{-17}
	$C_5H_4O_2$	1.48×10^{-20}	9.87×10^{-20}	4.56×10^{-20}	1.00×10^{-19}	2.46×10^{-18}	2.37×10^{-17}

حسبنا أيضاً المقاطع العرضية لفقدان إلكترون من قبل القذيفة باستخدام العلاقة (9)، حيث قيم التابع $G(V)/U^2$ [14,13] معطاة في الجدول رقم (4) وذلك من أجل الطبقات الإلكترونية K و L و M.

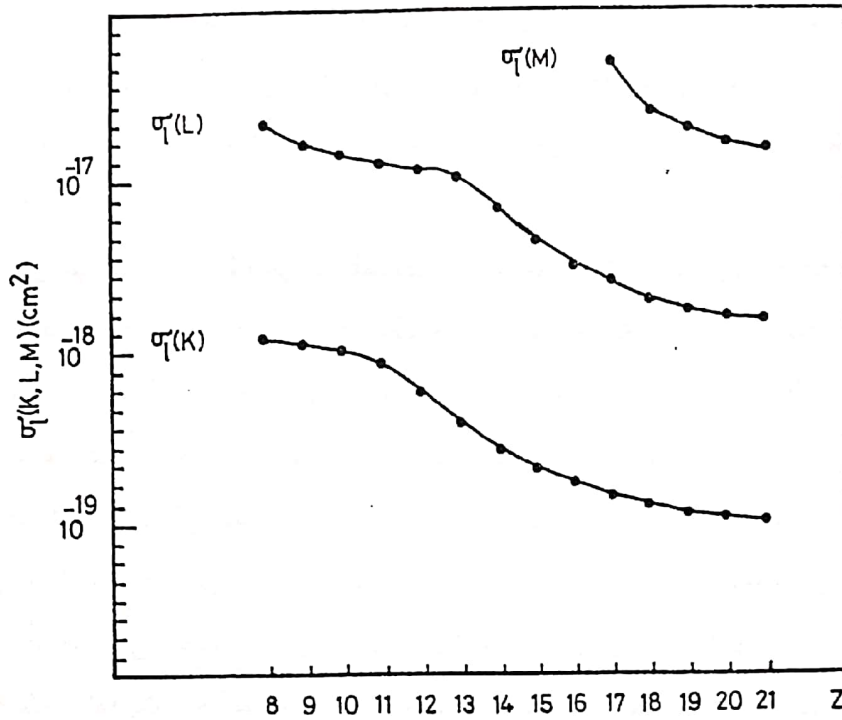
الجدول (4): قيم التابع $G(V)/U^2$ مقدرة بالـ $[1/(eV)^2]$ للطبقة K، وللطبقة L، وللطبقة M للعناصر المدروسة.

العنصر	$[G(V)/U^2] \times 10^{-7} [1/(eV)^2]$		
	الطبقة K	الطبقة L	الطبقة M
O	6.25	137.5	
F	5.05	105.0	
Ne	4.05	82.5	
Na	3.30	65.0	
Mg	2.68	50.4	
Al	2.13	36.6	
Si	1.68	28.4	
P	1.34	22.7	
S	1.06	18.9	
Cl	0.847	15.7	248.5
A	0.671	12.9	160.1
K	0.533	10.5	126.2
Ca	0.424	9.7	106.3
Sc	0.338	8.3	82.3

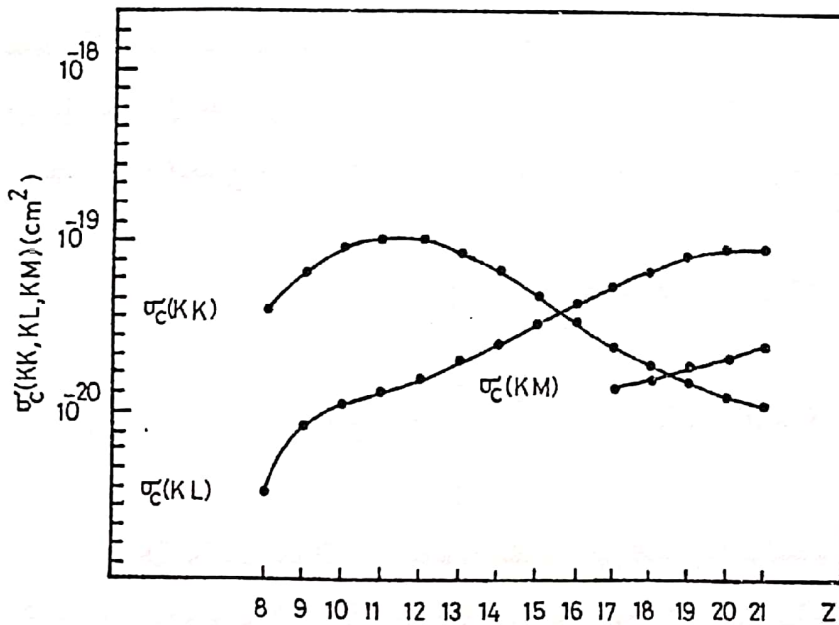
وبما أن العلاقة (9) معطاة من أجل طبقة إلكترونية كاملة تحتوي على N إلكترون، لذلك من أجل حساب المقطع العرضي لفقدان إلكترون واحد يجب قسمة هذه العلاقة على العدد الأعظمي للإلكترونات N الذي يمكن أن يحتويه الطبقة. ونشير أيضاً إلى أن هذه العلاقة تعطي المقطع العرضي للفقدان (للتأين) للعنصر الأثقل المشارك في التصادم. وبما أن الهدف هو من الميلاز $C_5H_4O_2$ والأعداد الذرية للقذائف (الشوارد) تتراوح ما بين 8 و 21 فإن مركبات الهدف (الكربون والهيدروجين والأكسجين) هي التي تؤدي إلى فقدان الإلكترونات من القذائف (تؤدي إلى تأين القذائف). من أجل ذلك سوف نحسب المقاطع العرضية لفقدان إلكترون واحد من القذيفة $[\sigma_1(K)]$ المقطع العرضي لفقدان إلكترون من الطبقة K، $\sigma_1(L)$

المقطع العرضي لفقدان إلكترون من الطبقة L و σ (M) المقطع العرضي لفقدان إلكترون من الطبقة M [نتيجة اصطدامها إما بذرة من الكربون أو بذرة من الهيدروجين أو بذرة من الأكسجين. أما المقطع العرضي الكلي فيحسب باستخدام العلاقة (10) وذلك بعد استبدال المقاطع العرضية للأسر بالمقاطع العرضية للفقدان. إن النتائج التي حصلنا عليها معطاة في الجدول (3).

نبيّن في الشكل (1) تغيرات المقاطع العرضية لفقدان إلكترون بتابعة العدد الذري للذئفة. نلاحظ بشكل واضح ومن أجل طبقة إلكترونية معينة، تناقص المقاطع العرضية للفقدان بتزايد العدد الذري للذئفة (أي كلما كانت الذئفة ثقيلة كلما نقص المقطع العرضي للفقدان). بينما على الشكل (2) نعرض تغيرات المقاطع العرضية لأسر إلكترون بتابعة العدد الذري للذئفة. نلاحظ أن المقاطع العرضية للأسر تتغير بشكل مختلف، حيث يمكن أن يميز المنطقتين التاليتين للطبقتين K و L: من أجل الذائف الأكثر خفة من الفوسفور، فإن الأسر يتم بشكل أساسي في الطبقة K، بينما من أجل الذائف الأثقل فإن الأسر في الطبقة L يصبح ذا أهمية أكبر. أما بالنسبة للطبقة M، فنلاحظ تزايد مقاطع الأسر بتابعة العدد الذري.



الشكل (1): تغير المقاطع العرضية لفقدان إلكترون واحد $\sigma_1(K, L, M)$ للقذائف المعتبرة بتابعة العدد الذري Z لهذه القذائف. الهدف هو من الميلار $C_5H_4O_2$ والطاقة هي $0.7(\text{MeV/A})$.



الشكل (2): تغير المقاطع العرضية لأسر إلكترون واحد $\sigma_c(KK, KL, KM)$ للقذائف المعتبرة بتابعة العدد الذري Z لهذه القذائف. الهدف هو من الميلار $C_5H_4O_2$ والطاقة هي $0.7(\text{MeV/A})$.

3-4- حساب القيم الوسطى لحالات الشحنة \bar{q} ومقارنتها بالنتائج التجريبية:

إن النموذج الذي افترضناه سابقاً [5] لوصف التوزعات غير التناظرية لحالة الشحنة والذي أعطانا وصفاً جيداً للتوزعات التجريبية التي حصلنا عليها، سمح لنا بالحصول على العلاقة التالية:

$$\bar{q} = Z - \frac{2}{1 + (\sigma_i / \sigma_c)} \quad (11)$$

والتي يمكن بواسطتها حساب القيمة الوسطى للشحنة \bar{q} الشاردة عند التوازن وذلك بفرض أن عدد حالات الشحنة هو 3 وأن أسر وفقدان إلكترون يتم في الحالة الأساسية للشاردة (أي في الطبقة K للذئفة). ونشير هنا إلى أن العلاقة (11) تسمح بحساب القيم النظرية لـ \bar{q} وذلك بعد حساب، نظرياً، كل من σ_i و σ_c .

إذا قبلنا أن عمليتي الأسر والفقدان يمكن أن تتعاقبان في الحالات المحرصة L أو M للذئفة (أي في الطبقتين الإلكترونية L و M للذئفة)، فإن العدد الوسطى للإلكترونات عند التوازن لكل طبقة إلكترونية i ($i = K, L, M$) يمكن أن نكتب على الشكل التالي:

$$\bar{n}_i = N \frac{\sigma_c^i}{\sigma_c^i + \sigma_i^i} = \frac{N}{1 + \frac{\sigma_i^i}{\sigma_c^i}} \quad (12)$$

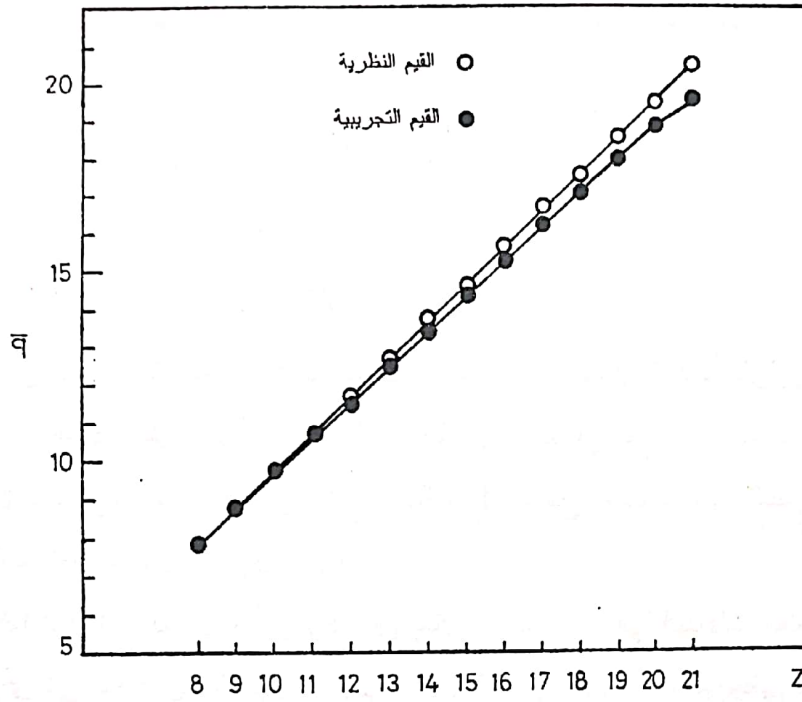
حيث N يمثل العدد الأعظمي للإلكترونات التي يمكن أن تحتويها الطبقة. وعليه فإن العدد الوسطى للإلكترونات يساوي إلى المجموع $(\bar{n}_i = \bar{n}_K + \bar{n}_L + \bar{n}_M)$ ، وذلك من أجل كل عنصر (كل شاردة، كل ذئفة). إن σ_c^i و σ_i^i يمثلان المقاطع العرضية النظرية لفقدان وأسرة إلكترون من قبل الذئفة والناجمة عن اصطدام الذئفة بالميلار. إن قيم هذه المقاطع معطاة في الجدول (3).

إذا أخذنا بعين الاعتبار ما ذكر سابقاً، فيمكن أن نكتب:

$$\bar{q} = Z - \bar{n}_i = Z - \left[\frac{N}{1 + \frac{\sigma_i^i}{\sigma_c^i}} \right] = Z - (\bar{n}_K + \bar{n}_L + \bar{n}_M) \quad (13)$$

وهذه العلاقة تسمح لنا بحساب القيم النظرية للشحنة الوسطى \bar{q} (الجدول رقم 2).

نقارن، على الشكل (3)، بين القيم النظرية والتجريبية لتغير القيم الوسطى للشحنة \bar{q} بتأبعية العدد الذري Z. نلاحظ أن هذه القيم متقاربة فيما بينها وخاصة من أجل القذائف الخفيفة. أما بالنسبة للقذائف الثقيلة فإن التباعد يكون واضحاً من أجل $Z > 18$ ، وسببه وجود حالة رابعة للشحنة (انظر الجدول رقم 1) لم نأخذها بعين الاعتبار في حساباتنا [5].



الشكل (3): مقارنة بين القيم التجريبية والقيم النظرية لتغير القيم الوسطى للشحنة \bar{q} بتابعة العدد الذري Z .

4- الخاتمة:

إن معرفة القيم التجريبية لاحتمالات حالة الشحنة سمح لنا بالحصول على القيم التجريبية للشحنة الوسطى \bar{q} لشوارد تتراوح أعدادها الذرية بين 8 و 21 وذات طاقة قدرها $7(\text{MeV/A})$ ، وذلك باستخدام العلاقة (1). بالإضافة إلى ذلك، فإن النموذج الذي اقترناه في المرجع [5] لوصف التوزعات غير التاظرية لحالة الشحنة والذي أعطانا وصفاً جيداً للتوزعات التجريبية التي حصلنا عليها، سمح لنا بالحصول على العلاقة (11) التي يمكن بواسطتها حساب، نظرياً، القيمة الوسطى للشحنة \bar{q} لشاردة عند التوازن، وذلك بعد حساب كل من σ_e و σ_i .

لقد بينا من خلال وصفنا للآليات الممكنة لتغير حالة الشحنة لشاردة، أن عملية السر تبدو ظاهرة أكثر تعقيداً من عملية فقدان، أي عملية التأين. إن النتائج التي نعرضها هنا ما هي إلا عبارة عن طريقة غير مباشرة، لاختبار العلاقة (4) التي أخذناها بعين الاعتبار، وحسبنا بواسطتها المقاطع العرضية للسر، وخاصة العامل (1/3) الذي اعتمده Nikolaev بشكل مستقل عن الهدف وعن القذيفة. مع هذا الفرض، فإن الشكل (3) يبين أن القيم النظرية لـ \bar{q} أكبر من القيم التجريبية وخاصة بالنسبة للقذائف الثقيلة، بتعبير آخر فإننا نقلل من قيمة المقطع العرضي للأسر من أجل القذائف الثقيلة. وهذا يظهر أن طبيعة القذيفة يمكن أن تمثل عاملاً غير مهم وأكبر أهمية مما كانت تتوقعه الحسابات النظرية.

REFERENCES

المراجع

- [1] N. BOHR and J. LINDHARD, K. Dam. Vid. Selsk. Mat. Fys. Medd. 28(1954)7.
- [2] H. D. BETZ, Rev. Mod. Phys. 44(1972)465.
- [3] N. BOHR, Kgl. Danske Videnskab. Selskab. Mat. Fys. Medd. 18, No. 18, No.8(1948).
- [4] N. O. LASSEN, Kgl. Danske Videnskab. Selskab. Mat. Fys. Medd. 26, NO. 5(1951) and 26, No. 12(1951).
- [5] J. JABBOUR, Tishreen University Journal, Vol. 14, No. 1(1992)
- [6] J. R. OPPENHEINER, Phys. Rev. 31(1928)349.
- [7] H. C. BRINKMAN and H. A. KRAMERS, Proc. K. Ned. Akad. Wet. 33(1930)973.
- [8] G. LAPICKI and W. LOSONSKY, Phys. Rev. A, Vol. 15, No. 3(1977)896.
- [9] V. S. NIKOLAEV, Sov. Phys. JETP 24(1967)847.
- [10] P. J. KRAMERS, Phys. Rev. A6(1972)2125.
- [11] A. N. KOMAR, Czech. J. Phys. B25(1975)1095.
- [12] A. C. Chen and Y. Hahn, Phys. Rev. A12(1975)823.
- [13] J. H. McGUIRE and P. RICHARD, Phys. Rev. A, Vol. 8, No. 3(1973)1374.
- [14] J. A. BEARDEN and A. F. BURR, Rev. Mod. Phys. Vol. 39, No. 1(1967)125.