

# الجهد المحث عند تفاعل ايونات العناقيد الثنائية مع المواد

## الصلبة

أ.م.د. رياض خليل احمد م.م. سحر مزهر مطشر

الجامعة المستنصرية / كلية العلوم / قسم الفيزياء

### الخلاصة:

تم في هذا البحث دراسة الجهد المحث المتولد عند تفاعل العناقيد الثنائية مع المواد الصلبة . وركز هذا البحث على دراسة الجهد المحث عند انتقال عنقود الهيدروجين الثنائي في الأهداف الصلبة (الذهب Au ، الكربون C ، الألمنيوم Al ، والسيزيوم Cs ) في السرعة العالية والواطئة وكذلك تناول هذا البحث تأثير كثافة الشحنات المتساوية أي عندما يكون عنقود الهيدروجين (H<sup>+</sup>-H<sup>+</sup>) وكثافة الشحنات المختلفة (H<sup>0</sup>-H<sup>+</sup>) والمقارنة بين الحالتين.

يعطي هذا البحث دراسة تفصيلي للجهد المحث المتولد عند انتقال عنقود الهيدروجين الثنائي خلال المادة الصلبة وتحت ظروف مختلفة.

### المقدمة:

بينت الدراسات النظرية بان تفسير تأثير المركبات العنقودية (cluster) يكون أكثر صعوبة من تأثير الايونات بسبب التأثير اللاخطي الناتج من تفاعل العنقود مع ذرات مادة الهدف [1, 2]. وان الإيقاف للعنقود الذي يتكون من n من الذرات ليس كالإيقاف لـn من المرات لايون منفرد. ان الاختلاف بين الايون والعنقود يسمى تأثير التجاور

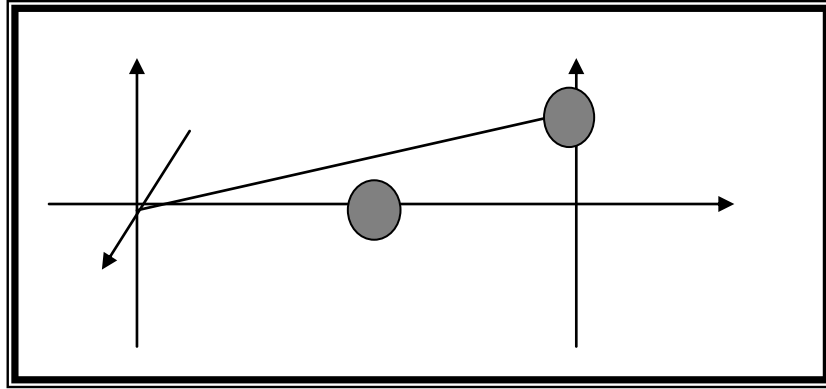
(Vicinage effect) أي إن الاختلاف يكون ناتج من التداخل في التهيجات الالكترونية لذرات مادة الهدف والناتجة من الحركة المرتبطة مع الايون المضطرب ولقد وجد تجريبيا [3] ونظريا [2] بان قدرة الإيقاف النووية في ذرات العنقود تكون اقل من قدرة الإيقاف النووية لايون منفرد.

تستخدم صيغة دالة العازل (Dielectric function) لدراسة تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة الصلبة. إن الجهد المحث (Induce potential) والقوى المؤثرة على الجسيم الساقط (العنقود ) على الأهداف الصلبة والمتحرك بسرعة (v) ، فانه يتولد جهد محث ومجال كهربائي محث نتيجة حركة الجسيم المشحون الساقط على الهدف الصلب [1]، وبالتالي وبأخذ المركبتين العمودية على اتجاه حركة الجسيم المقذوف باتجاه الهدف الصلب والموازية للحركة، فانه تتولد قوتان تؤثران بالاتجاهين العمودي والموازي هي (

القوة الموقفة Stopping force و القوة الجانبية Lateral force). وذلك باستخدام الاحداثيات الأسطوانية (r,z) الخلفية النظرية:

Induce potential الجهد المحث

وصف بور (Bohr 1948) اختراق الجسيمات الذرية خلال المادة. [1] ، فعندما الشحنة الموجبة ( $Z1e$ ) تخترق المادة، فإن الإلكترونات الذرية سوف تزاح قليلا باتجاه (الموثر Wake) القذيفة. هذا التأثير هو أقوى خلف القذيفة من أمامها، وبالتعاقب فان القذيفة تسقط بقوة تاخرية (Force  $Z1e$  Eind Retarding) [1]. وان استجابة الوسط تتميز بالتردد المعتمد لدالة استجابة العازل  $\epsilon(\omega)$  ، [4] وعندما تكون القذيفة عنقود يتكون من جسيمين  $P1, P2$  كثافة الشحنات لكل منهما  $\rho_1(k), \rho_2(k)$  بالترتيب، يتحرك بسرعة مرتبطة  $v$  على طول المحور  $z$  كما في الشكل (1) [4].



الشكل (1)

يوضح العنقود ثنائي ( $P1, P2$ ) المتحرك بسرعة  $v$  على طول المحور  $z$  حيث  $R12, v1t$  تمثلان مواقع الجسيمين الأول والثاني .

فالجهد المحتث (Induce potential) يعطى بالمعادلة الآتية: [4]

$$\phi(z, r) = \frac{2}{\pi v} \int_0^{\infty} \frac{dk}{k} \int_0^{kv} d\omega J_0 \left( r \sqrt{k^2 - \omega^2/v^2} \right) \rho_1(k) \rho_2(k) \left\{ \cos\left(\frac{\omega z}{v}\right) \operatorname{Re} \left[ \frac{1}{\epsilon(k, \omega)} - 1 \right] - \sin\left(\frac{\omega z}{v}\right) \operatorname{Im} \left[ \frac{1}{\epsilon(k, \omega)} - 1 \right] \right\} \quad (1)$$

حيث إن:  $J_0(x)$  تمثل معادلة بسل المرتبة الصفرية

$\rho_1(k)$ ,  $\rho_2(k)$  تمثلان كثافة الشحنات للجسيمين ( $P_1$ ,  $P_2$ ) وتخضعان لتحويل Fourier كما في المعادلة الآتية [4]:

$$\rho(k) = \begin{cases} 1 \rightarrow H^+ \\ 1 - \frac{1}{[1 + (k/2)^2]^2} \rightarrow H^o \end{cases} \quad (2)$$

في الطاقات العالية حيث يستطيع العنقود الثنائي (Dicluster) تهيج البلازمون في الوسط [2]. حيث نستخدم تقريب قطب البلازمون التقريبي (Plasmon Pole Approximation) (PPA) لدالة العازل كما في المعادلة الآتية [1]

الحسابات والنتائج:  
i. الجهد المحتث عند وجود الاضمحلال ( $\gamma > 0$ ) عند السرعة العالية ( $v > v_F$ )  
Induce potential with damping ( $\gamma > 0$ ) at high velocity ( $v > v_F$ )

$$\epsilon(k, \omega) = 1 + \frac{\omega_p^2}{\omega_g^2 + \beta^2 k^2 + \frac{k^4}{4} - \omega(\omega + i\gamma)} \quad (3)$$

$\Omega_o = (\omega_p^2 + \omega_g^2)^{1/2}$   
[5]. تشتت البلازمون يتضمن خلال الحد الذي يحتوي  $\beta^2$  ، تأثيرات الجسيم المفرد تحسب بواسطة الحد المساوي إلى مربع الطاقة الحركية  $k^2/2$  لإلكترون حر ويزخم  $k$ . الثابت  $\gamma$  يمثل الاضمحلال وعليه فان معادلة الجهد المحتث تكتب بالصيغة الآتية:

حيث إن: الثابت  $\beta = (3/5)^{1/2} k_F$  يمثل اضطرابات الكثافة في غاز الكتروني ، تردد البلازمون  $\omega_p = 3^{1/2} / r_s^{3/2}$  و  $\omega_g$  فتمثل طاقة الفجوة الفعالة في شبه الموصل والعازل بحيث تعطي تردد رنيني جماعي

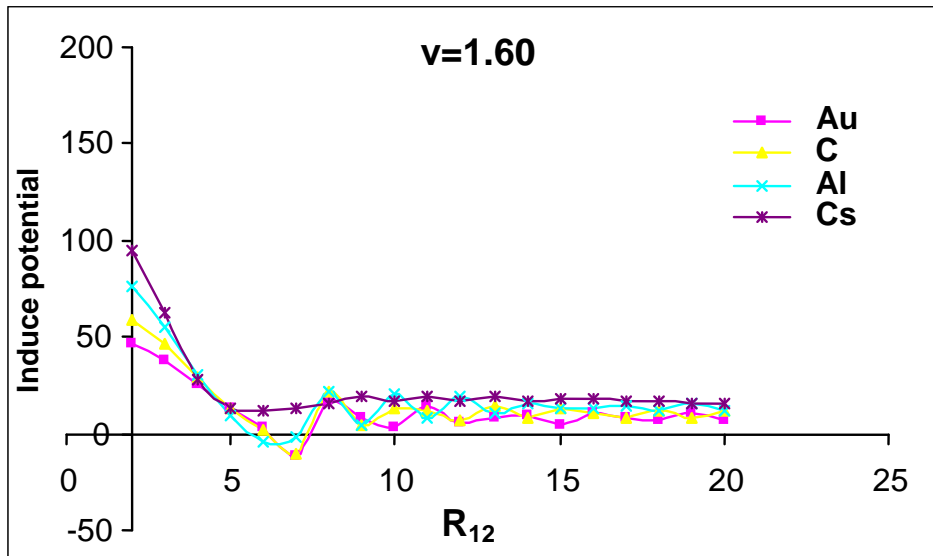
$$\phi(z, r) = \frac{2}{\pi v} \int_0^\infty \frac{dk}{k} \int_0^{kv} d\omega J_0(r \sqrt{k^2 - \frac{\omega^2}{v^2}}) \rho_1(k) \rho_2(k) \quad (4)$$

$$\int \cos\left(\frac{\omega z}{v}\right) \operatorname{Re} \left[ \frac{1}{1 + \frac{\omega_p^2}{\omega_g^2} \frac{\omega^2}{\omega_g^2 + \beta^2 k^2 + \frac{k^2}{4}} - 1} \right]$$

$$- \sin\left(\frac{\omega z}{v}\right) \operatorname{Im} \left[ \frac{1}{1 + \frac{\omega_p^2}{\omega_g^2} \frac{\omega^2}{\omega_g^2 + \beta^2 k^2 + \frac{k^2}{4}} - 1} \right]$$

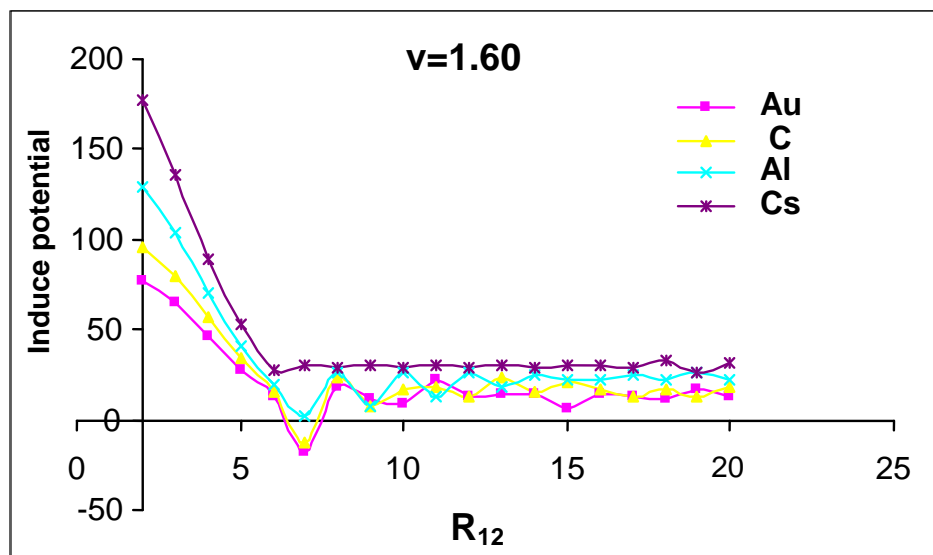
تمت برمجة المعادلات الرياضية وحسابها تقريبا وباستخدام طرق التكامل التقريبية لكأوس من خلال كتابة برنامج (VinH2cluster) وباستخدام البرنامج الجاهز (Compaq Visual fortran) لتنفيذه CVF [8]. حيث ان الشكل (٢) يبين الجهد المحتث (Induce potential) للأهداف الصلبة (الذهب Au، الكربون C، الألمنيوم Al، السيزيوم Cs) كدالة للمسافة النووية (R12) عندما تكون قيمة عامل الاضمحلال ثابتة ( $\gamma=0.50$ ) في السرعة العالية ( $v=1.60$ ) حيث نلاحظ إن العنصر الأخير (السيزيوم Cs) والذي له مؤثر كثافة كبير نسبيا يمتلك أعلى قيمة للجهد المحتث تكون عندما ( $r \rightarrow 0$ ). كما نلاحظ أن الجهد المحتث لكل هدف تكون له قيمة أعلى عندما تكون كثافة الشحنات متساوية  $\rho_1(k) = \rho_2(k) = 1$  كما في الشكل (2a) من قيمته عندما تكون كثافة الشحنات مختلفة  $\rho_1(k) \neq \rho_2(k)$  كما في الشكل (2b) ولنفس السرعة.

(a)



(b)

الشكل (٢)



Induce potential with damping ( $\gamma > 0$ ) at

low velocity ( $v < v_F$ )

عندما تكون الطاقة المنتقلة اقل من طاقة فيرمي فان

دالة العازل توصف بالصيغة الآتية: [6]

$$\epsilon(k, \omega) = 1 + \frac{\omega_p^2}{\left\{ s^2 k^2 [1 - i\pi\omega\theta(2k_F - k)] / 2kv_F - \omega(\omega + i\gamma) \right\}} \quad \dots(5)$$

حيث إن:  $s = v_F / \sqrt{3}$  السرعة التوليد

propagation velocity

التعبير النسبي لـ  $\omega$  المضروب بـ  $2k_F$

الموجود في المقام يصف الاضمحلال الناتج

لتهيج إلكترون-فجوة ،  $k_F$  زخم فيرمي ،  $v_F$

سرعة فرمي،  $\theta(2k_F - k)$  فتمثل دالة الخطوة

الموحدة (the Heaviside unit step

function)، والتي تساوي واحد عندما

تهيجات إلكترون-فجوة تكون بطاقة صغيرة

بحيث لا تستجيب لزخم منتقل اكبر من

$$\theta(x) = \left[ \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{x}{|x|} \right) \right], 2k_F$$

ووجود هذه

الدالة يفسر بان دالة الطاقة المفقودة تختفي

عندما  $k > 2k_F$  ،  $\gamma$  يصف الاضمحلال. [7]

ولحساب الجهد المحتث في الطاقات الواطنة

وبوجود الاضمحلال نعوض المعادلة (٥) في

المعادلة (١) فنحصل على [8] :

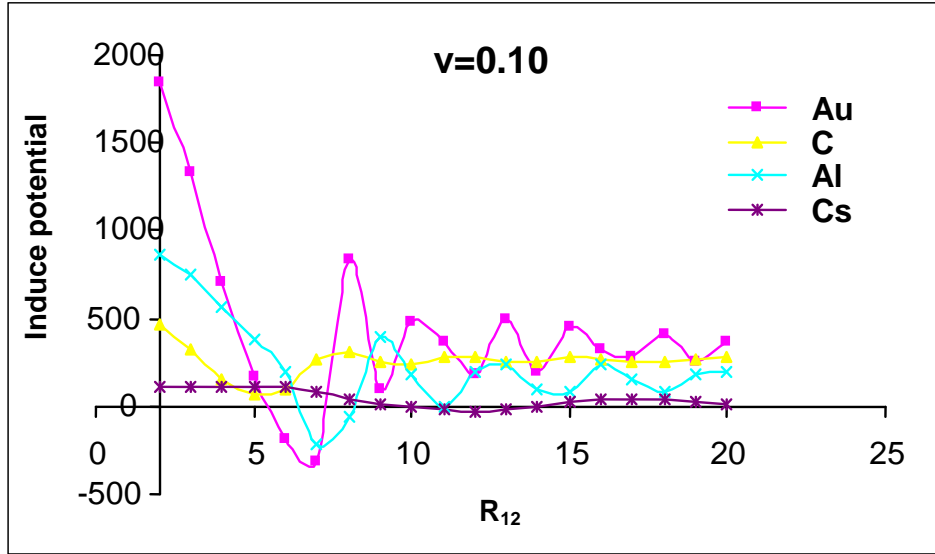
المسافة النووية  $(r)$ . كما أن الجهد المحتث لكل هدف من الأهداف المستخدمة تكون له قيمة أعلى عندما  $\rho_1(k) = \rho_2(k) = 1$  كما في الشكل (3a) من قيمته

$$\phi(z, r) = \frac{2}{\pi v} \int_0^{\infty} \frac{dk}{k} \int_0^{kv} d\omega J_0 \left( r \sqrt{k^2 - \omega^2/v^2} \right) \rho_1(k) \rho_2(k) \left\{ \cos\left(\frac{\omega z}{v}\right) \operatorname{Re} \left[ \frac{1}{1 + s^2 k^2 [1 - i\pi\omega\theta (2k_F - k)/2k v_F] - \omega(\omega + i\gamma)/\omega_p^2} \right] - \sin\left(\frac{\omega z}{v}\right) \operatorname{Im} \left[ \frac{1}{1 + s^2 k^2 [1 - i\pi\omega\theta (2k_F - k)/2k v_F] - \omega(\omega + i\gamma)/\omega_p^2} \right] \right\}$$

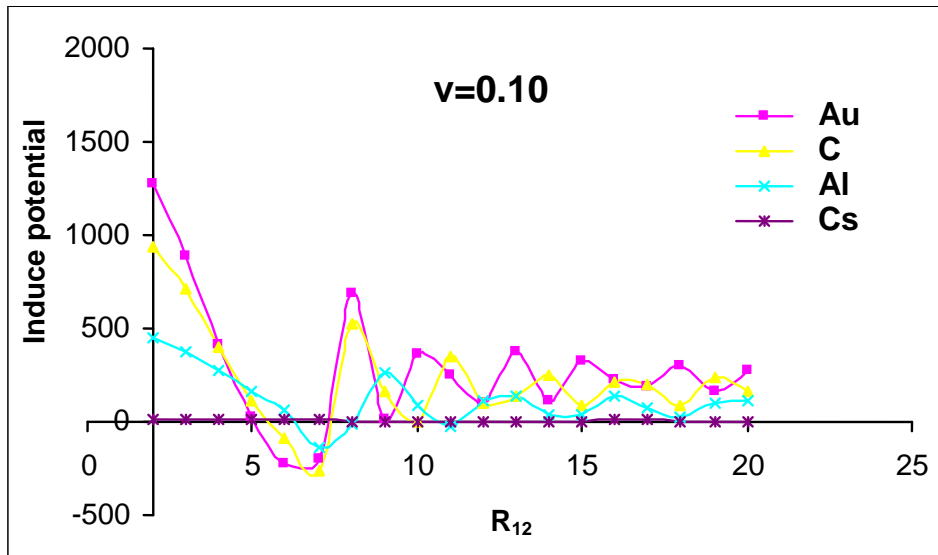
عندما  $\rho_1(k) \neq \rho_2(k)$  كما في الشكل (3b).

(8)

إذ إن الشكل (3) يبين الجهد المحتث (Induce potential) للأهداف الصلبة (الذهب، Au، الكربون C، الألمنيوم Al، السيزيوم Cs) كدالة للمسافة النووية (R12) عندما تكون قيمة عامل الاضمحلال ثابتة ( $\gamma=0.50$ ) في السرعة الواطنة ( $v=0.10$ ). إذ نلاحظ اختلاف سلوك العنصر الأخير (السيوم Cs) عن بقية العناصر. وذلك لأن قيمة نصف قطر Wigner sitz  $rs$  له تكون كبيرة نسبياً. وان اعلى قيمة له تكون عندما ( $r \rightarrow 0$ ) ولكن هذه القيمة تبدأ بالنقصان عند زيادة



(a)



(b)

الشكل (٣)

الجهد المحتث عند السرعة  
 الواطنة ( $v=0.10$ ) بوجود الاضمحلال  
 ( $\gamma=0.50$ ) للأهداف (Au, C, Al, and Cs)  
 (b):  $\rho_1(k)=\rho_2(k)=1$  (a) عندما  
 $\rho_1(k)\neq\rho_2(k)$



## الاستنتاجات:

عند وجود الاضمحلال ( $\gamma > 0$ ) وعند حساب الجهد المحتث كدالة للمسافة النووية (r) وسرعة تصادم العنقود الثنائي (Dicluster) للأهداف الصلبة (الذهب Au، الكربون C، الألمنيوم Al، السيزيوم Cs) ولقيمة ثابتة لعامل الاضمحلال ( $\gamma$ ) فأننا نجد انه عندما تكون السرعة عالية ( $v=1.60$ ) إن السيزيوم Cs ( $rs=5.88$ ) يمتلك أعلى قيمة للجهد المحتث بينما الذهب Au ( $rs=1.49$ ) تكون له اقل قيمة للجهد المحتث وان هذا الاختلاف ناتج عن اختلاف قيمة نصف قطر Wigner-sitz (والذي يعرف أيضا بمؤثر الكثافة) لكل منهما. من هذا يمكن الاستنتاج إن قيمة الجهد المحتث يزداد بزيادة مؤثر الكثافة (نصف قطر rs Wigner-sitz) في السرعة العالية بينما في السرعة الواطئة ( $v=0.10$ ) تنعكس قيمة للجهد المحتث أي انه في السرعة الواطئة الجهد المحتث يقل بزيادة نصف قطر Wigner-sitz rs. وبذلك نستنتج إن الجهد المحتث يتناسب عكسيا مع الكثافة في السرعة العالية وطرديا معها في السرعة الواطئة وذلك بسبب التناسب العكسي بين مؤثر الكثافة (نصف قطر rs Wigner sitz) والكثافة. كما نلاحظ إن أعلى قيمة للجهد المحتث تكون عندما ( $R12 \rightarrow 0$ ) ثم تبدأ بالنقصان مع زيادة R12. كما نلاحظ ان الجهد المحتث يقل بزيادة السرعة. كذلك يمكن ملاحظة مدى تأثير كثافة الشحنات لايونات عنقود الهيدروجين الثنائي على الجهد

المحتث عند السرعة العالية والواطئة حيث ان اعلى قيمة للجهد المحتث تكون عندما

$$\rho_1(k) = \rho_2(k) = 1$$

تبدأ هذه القيمة بالتناقص مع تغيير كثافة الشحنات أي عندما

$$\rho_1(k) \neq \rho_2(k)$$

لكثافة الشحنات لايونات عنقود الهيدروجين الثنائي يبقى نفسه عند السرعة العالية والواطئة أي انه لا يتأثر عند تغير السرعة.

## المصادر:

1. N.Bohr , K.Dan.Vidensk.selsk. Mat,Fys.medd.2419(1948).
2. Y.Klimon torich,Statiscal phys.,in Rissium Moscow(1982).
3. N.R.Arista Nucl. Instr. And Meth.In phys. Res.b164 108(2000)
4. Manuel D.Barriga.Carrasco and Rafael Garcia-Molina phy.Rev.A68,062902(2003)
5. W.Barandet and J.Reinheimer,phy. Rev.B23104(1970).
6. T.L.Ferrle, P.M. Echenique and R.H.Ritchie, solid st. commun. 32 419 (1974)
7. E.T.Arakwa, S.M. Dolfini, J.C. Ashley and M.W. Williams, Phys. Rev. B31 (1985).
8. رسالة ماجستير (سحر مزهر مطشر) (الايونات العنقودية المنتقلة في المواد الصلبة)(الجامعة المستنصرية/ كلية العلوم /قسم الفيزياء ٢٠٠٨).