



متوفرة على الموقع: <http://www.basra-science-journal.org>



ISSN -1817 -2695

دور الحالات الصورية في تبادل الشحنة بين الذرة و سطح المعدن

فؤاد عبد قاسم و شاكراً أبراهيم عيسى

قسم الفيزياء، كلية التربية، جامعة البصرة، بصره، عراق

الاستلام 18-12-2013 ، القبول 23-2-2014

الملخص

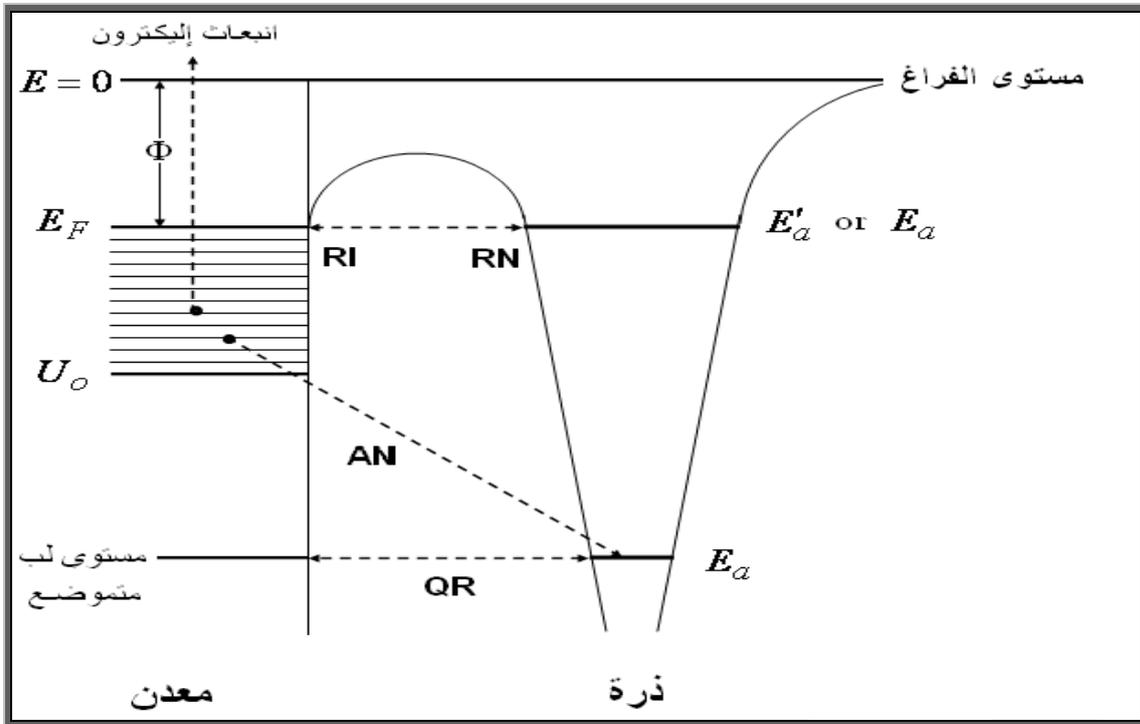
يتناول البحث دور الحالات الصورية على عملية انتقال الشحنة أثناء استطارة ذرة Li في حالاتها الأرضية والتهيجة $(2s, 3s, 4s)$ من سطح النحاس $Cu(111)$ ، حيث تم حساب احتمالية التأين الموجب P^+ للمستوي الذري للذرة القلوية باستخدام طريقة تشمل تفاعل $(n+1)$ من المستويات حيث كتب المؤثر الهاملتوني بصيغة رموز ديرك والتي فيها أخذت أزمان الحياة للمستويات الذرية ومستويات الصورة بنظر الاعتبار. إن احتمالية التأين الموجب $P^+(t)$ للمستوي الذري فحصت كدالة لزمناً الاستطارة وكما تم فحص الاحتمالية النهائية $P^+(\infty)$ كدالة لمقلوب السرعة، ولوحظ أن تأثير الحالة الصورية يظهر على شكل تنذبات في منحنى $P^+(t)$ وفي منحنى $P^+(\infty)$ وان سعة هذه التذبذبات تختلف باختلاف الحالة الأليكترونية للذرة فأنها تزداد بزيادة طاقة المستوي الذري. **كلمات مفتاحية:** علم السطح، حالات صورية، تبادل الشحنة

1- مقدمة

2. عمليات أوجيه لتعادل الايون AN بسبب انتقال إلكترون من السطح إلى الايون وانبعاث إلكترون آخر من السطح .
حيث نلاحظ إن أي من هذه القنوات تكون سائدة يعتمده على طاقة مستوي الإلكترون نسبة إلى تركيب الحزمة الالكترونية للقاعدة [3]. حيث يكون نفق الإلكترون في العملية (1) هو السائد إذا كانت الحالة الالكترونية متموضعة ضمن حزمة القاعدة .

إن انتقال الإلكترون بين سطح وذرة قريبة منها يحدث ويسيطر على العديد من ظواهر السطح الديناميكية مثل، زمن الحياة للحالات المتهيجة [1,2] وديناميكيات تفاعلات انتقال الشحنة على السطح [3-5] وكذلك عمليات انتقال الطاقة على السطح [6-9] . ويعتقد بأن تبادل الإلكترون بين كل من الذرة والسطح يمر عبر القنوات التالية (انظر الشكل (1)) .:

1. النفق ألرنيني لتعادل الايون RN أو تأين الذرة RI حيث يتم تبادل الإلكترون بين مستوي التكافؤ للذرة وحزمة التوصيل للمعدن .



الشكل(1): القنوات المحتملة لانتقال الإلكترون بين الذرة و سطح المعدن ، E_a المستوي الذري للأرضي للجسيم الساقط ، E'_a مستوى التهييج ، E_F مستوى فيرمي ، Φ دالة الشغل لسطح المادة الصلبة، U_0 قعر الحزمة المملوءة.

للانعكاس المتكرر للإلكترون، وذلك لان الإلكترون يرى صورته في الجهة الأخرى عند الحاجز ويعود الى السطح بتأثير قوة كولوم ويبقى قريباً من السطح وذلك لان متجه موجته يكون ضمن حيز برليون .
ويمكن إيجاد سلسلة من حالات الصورة على سطوح معادن عديدة والتي تظهر نتيجة لإعادة توزيع الشحنة في

إن حالات الصورة هي حالات ضعيفة مقيدة في بئر الجهد بين السطح والفراغ، وقد عينت لمختلف سطوح المعادن باستخدام تقنيات عملية مختلفة [10-13]، و تتولد خلال بئر الجهد الذي يتكون بسبب حاجز جهد الصورة التجاذبي وحاجز السطح ألتنافري، وتتسأ حالات السطح [14] هذه بين حاجز السطح وجهد الصورة نتيجة

عن التصرف البسيط للإلكترون الحر في نموذج الإلكترون الحر يمكن تصحيحه بأخذ الكتلة الفعالة M^* للإلكترون بنظر الاعتبار.

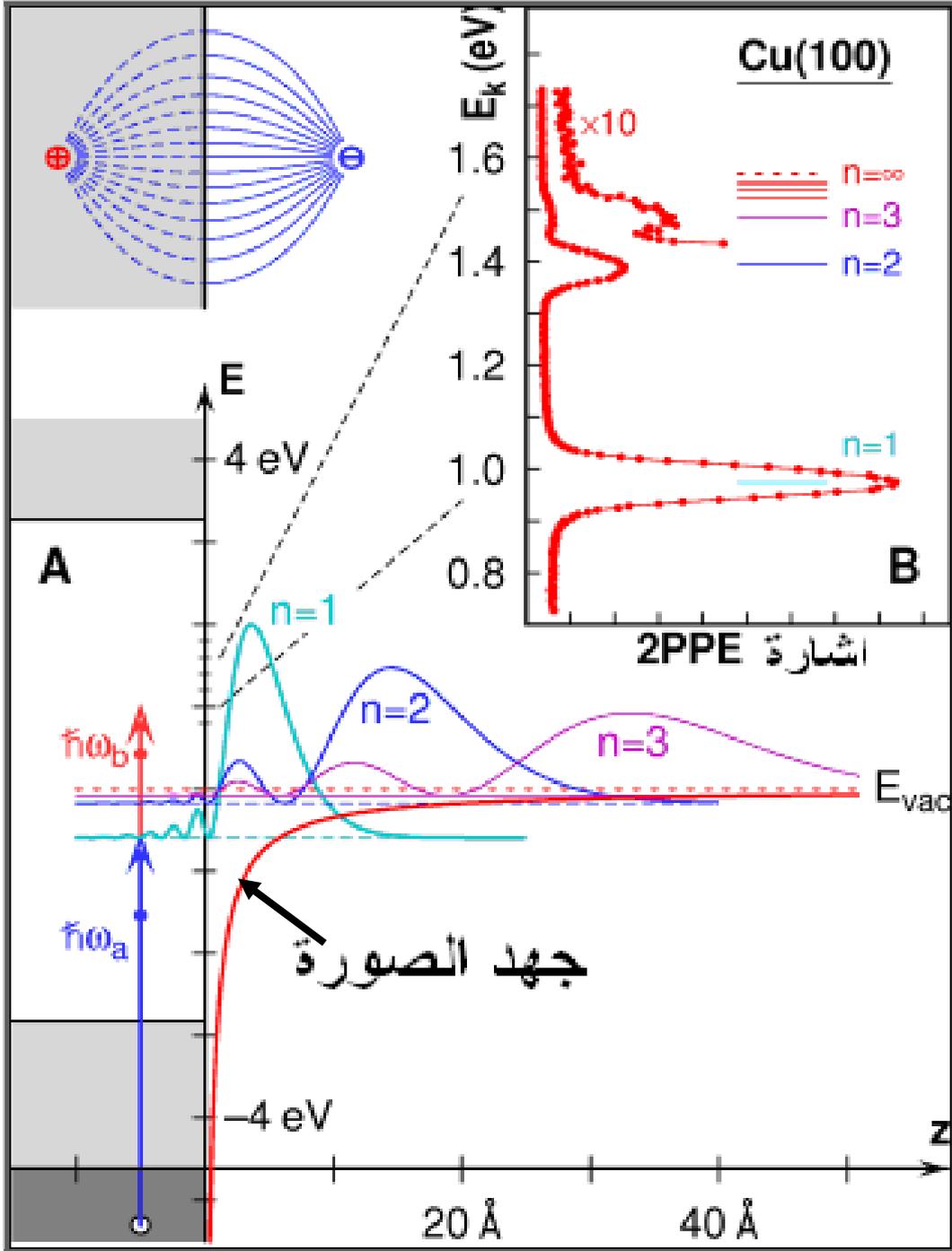
حالات الصورة تمتلك أزمان حياة طويلة مقارنة بحالات السطح الأخرى وذلك لأنها تقع بصورة رئيسية أمام السطح، حيث يكون التداخل بين الدوال الموجية لحالات الصورة والدوال الموجية لحالات السطح صغير نسبياً [17]. الشكل (2) يبين مخطط مستوى الطاقة للإلكترون أمام سطح Cu(100)، ومنه نلاحظ إن حالات جهد الصورة تقع تقريباً في منتصف فجوة الحزمة S-P والتي تكون كبيرة نسبياً، وأيضاً نلاحظ في الشكل مربعات الدوال الموجية لحالات الصورة ذات الرتب (n=1,2,3) والتي تتقارب طاقة ربطها كلما اقتربنا من مستوى الفراغ وفقاً للعلاقة (1)، أما الجزء B من هذا الشكل فيبين القيم العملية المحسوبة لطاقة ربط الحالات الصورية باستخدام تقنية انبعاث الفوتونين (2PPE) [18,19]. في الشكل (2) نلاحظ أن كثافة الاحتمالية الصورية بالتناقص الشديد كلما زادت رتبة الحالة الصورية مما يعطي احتمالية لإهمال الحالات ذات الرتب العالية في الحسابات النظرية مستقبلاً.

أولئك مستوى استجابة للإلكترون القريب من السطح [15]. وعلى هذا الأساس فإن القوة الكولومية الصورية تقود أيضاً إلى سلسلة تشبه سلسلة ريدبرك الهيدروجينية لمستويات طاقة مقيدة.

وقد بين كل من Echenique و Pendry [16] بأن طاقة ربط الحالة الصورية يمكن إن توصف بشكل جيد عند إضافة حد ثابت δ للعدد الكمي n والذي يظهر نتيجة النهاية المحددة للدالة الموجية المتداخلة مع البلورة، والذي أطلق عليه بالخلل الكمي لسلاسل الحالات الصورية ولذلك،

$$E_n = -\frac{Z_{eff}^2}{32(n+\delta)^2} + \frac{\hbar^2 k_{||}^2}{2M^*} \quad ..(1)$$

حيث تكون قيمة الشحنة المؤثرة Z_{eff}^2 مساوية للوحدة الواحدة لسطوح المعادن وتكون قيمتها اصغر من الوحدة الواحدة للمواد العازلة وأشباه الموصلات، حيث انه لشبه موصل معين مثل Si تكون مساوية إلى 0.7، إما في العوازل مثل الهليوم فتصل إلى قيمة صغيرة جداً تقريباً $Z_{eff} \approx 8 \times 10^{-4}$ وعليه فإنه يتوقع طاقة ربط عالية للحالة الصورية (n=1) بمقدار 1/32 (وحدة ذرية a.u) لسطوح المعادن، ولقيم محدده للزخم الموازي للسطح فإنه أضيف الحد $(\hbar^2 k_{||}^2 / 2M^*)$ وان الشذوذ



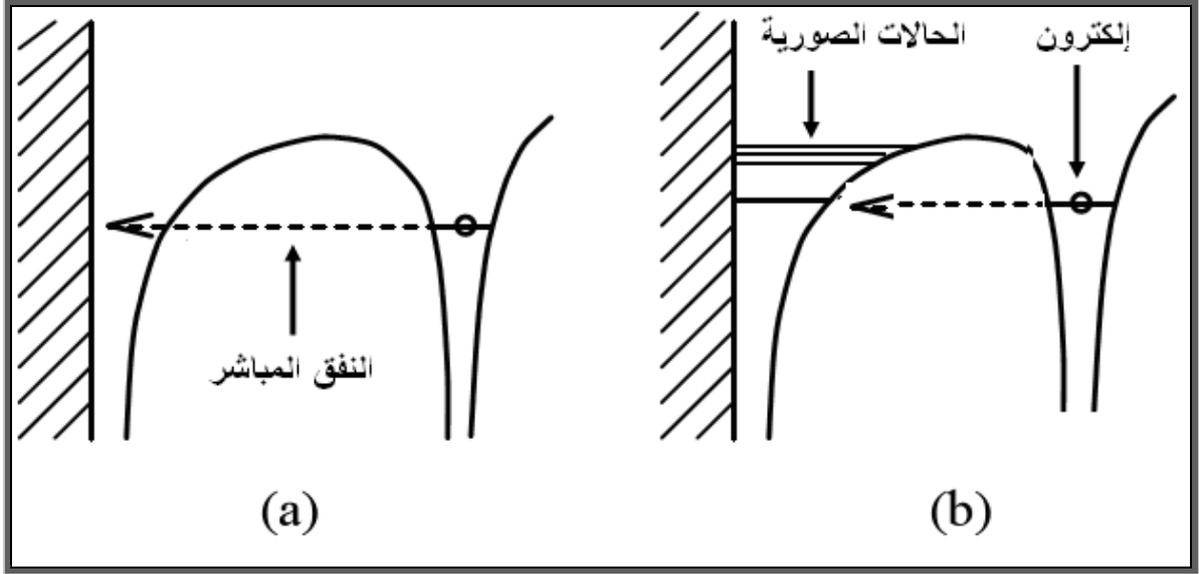
الشكل (2): A. مخطط الطاقة لإلكترون امام سطح Cu
B. القيم العملية لطاقة ربط الحالة الصورية [18].

[20] وكما موضح تخطيطيا في شكل (3) والذي يوضح أيضا قناتي نفق الرنين الاعتيادي والنفق من خلال الحالة الصورية , حيث إن الإلكترون يمكن أن ينفق عبر الحالات المقيدة في بئر جهد السطح والتي تسمى بالحالات الصورية بصورة رنينية أو غير رنينية ويسعات انتقال أساسية, هذه القناة تسمى بقناة حالة الصورة.. إن

إن موقع طاقة المستوي الذري نسبة إلى تركيب الحزمة الالكترونية للقاعدة Substrate [3] , يحدد أي من قناة تبادل الإلكترون بين الذرة والسطح تكون هي السائدة . لذا فإن نفق الإلكترون بين السطح والذرة يتوقع إن يكون سائدا إذا كانت الحالة الالكترونية الذرية متموضعة ضمن حزمة طاقة الحالات الصورية للقاعدة

منه السطح، مثل هذا التداخل القوي في الفضاء يجعل نفق الإلكترون خلال الحالات الصورية بصورة رنينية أو غير رنينية ممكناً .

الدوال الموجية لحالات جهد الصورة تقع كلياً خارج المعدن، ولهذا السبب فإنها تمتلك تداخلاً قوياً مع الكترونات الأجزاء الذرية القادمة باتجاه السطح والخارجة



شكل(3) يوضح نفق الإلكترون للمعدن خلال القناة المباشرة (a) وقناة الصورة (b) [20]

تمثل المركبة العمودية لسرعة الذرة المستطيرة و Z_c هي اقرب مسافة تصلها الذرة إلى السطح ، وان v_{\perp} تعطى بالعلاقة التالية : $v_{\perp} = \cos(\theta) \sqrt{E(keV)/25M}$ حيث أن θ تمثل زاوية السقوط التي تحدث نتيجة الاستطارة و M كتلة الذرة المستطيرة ، بينما تمثل E الطاقة الحركية للذرة المستطيرة مقاسه بالكيلو إلكترون فولت ($k eV$).

إن الهدف من بحثنا هو دراسة دور الحالة الصورية في عملية تبادل الشحنة بين الذرات الاحادية الإلكترون (القلوية) و سطح المادة الصلبة في حالة تموضع ذرة قرب سطح المعدن وفي حالة استطارة ذرة من سطح المعدن . حيث قدمنا نموذج حسابي لدراسة تأثير الحالة الصورية في عملية استطارة ذرة من سطح معدن واستخدمنا هاملتون مكتوب بصيغة المصفوفات ورموز ديراك والذي يسمح بتفاعل $(n+1)$ من المستويات. وقد طبقنا هذا النموذج على نظام حقيقي هو استطارة ذرة Li من السطح ($Cu(111)$).

عندما يقع مستوى طاقة الكترون التكافؤ للذرة أعلى من مستوى فيرمي فإن هناك احتمالية لتأين الذرة، وعلى أي حال فإن مقدار هذه الاحتمالية تعتمد على قوة التداخل بين الدوال الموجية للذرة وللمعدن على حد سواء، فعندما تقع الذرة على مسافة بعيدة نسبياً من سطح المعدن فإن قيمة هذا التداخل تكون قليلة الامر الذي يؤدي الى انخفاض احتمالية التأين ولكن عندما تقترب الذرة من السطح فإن تداخل الدوال الموجية سوف تأثران إضافيان هما إزاحة المستوي الذري بمقدار $\Lambda(z)$ وتعرض المستوي بمقدار $2\Delta(z)$ واللذان يعدلان من احتمالية التأين ألرنيني RN [21]. إن العلاقة بين نصف عرض المستوي $\Delta(z)$ والمسافة عن السطح z ربما تعطى بالصيغة التالية [21] :-

$$\Delta(z) = \Delta_o \exp(-2\alpha z) \dots (2)$$

حيث Δ_o هي نصف عرض المستوي الذري عند السطح و $\alpha = \sqrt{2|E_a|}$ و $\Delta_o(t)$ على الزمن يكون نتيجة اعتماد المسار الكلاسيكي Z_c على الزمن حيث إن : $z = v_{\perp} |t| + z_c$ حيث v_{\perp}

2- النموذج النظري لدور الحالة الصورية في عملية تبادل الشحنة

المستوي الذري و n من المستويات الصورية. وأن متابعة النمو الزمني لمعاملات المزج الخطي للدوال الموجية للنظام يكون بواسطة استخدام معادلة شرودنكر .

المعدن على الرغم من أن هذا التفاعل يكون ضعيف جداً , وبالتالي فإن المستوي يمتلك نصف عرض مقداره Γ_{in} والذي يكون غير معتمد على الزمن ومقداره ثابت . الطريقة البسيطة لناخذ بنظر الاعتبار تأثير أزمان الحياة التي ذكرت أعلاه هي بإضافة مركبة خيالية للعناصر القطرية للمصفوفة الهاملتونية $(n+1 \times n+1)$ وكما يلي :

$$\hat{H} = (E_a - i\Delta_a(t))|a\rangle\langle a| + \sum_n (E_{in} - i\Gamma_{in})|in\rangle\langle in| + \sum_N (V_{a,in}(t)|a\rangle\langle in| + V_{in,a}(t)|in\rangle\langle a|) \quad (3)$$

مستويات الحالة الصورية. وأن $\Delta_a(t)$ يمثل معدل النفق المباشر وان الدالة الموجية للنظام يمكن أن تكتب برموز ديراك كمزج خطي للدوال الموجية المتفاعلة و كالاتي :

$$\Psi = C_a(t)|a\rangle + \sum_n C_{in}(t)|in\rangle$$

حيث أن المعادلات التي تحققها المعاملات $C_a(t)$ و $C_{in}(t)$ يحصل عليها من تعويض المعادلة (3 و 4) في معادلة شرودنكر

$$i \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hat{H} \Psi \quad \dots(5)$$

نحصل على :

$$\frac{\partial C_a(t)}{\partial t} = -(iE_a + \Delta_a(t)) C_a(t) - i \sum_n V_{in,a}(t) C_{in}(t) \quad \dots(6)$$

$$\frac{\partial C_{in}(t)}{\partial t} = -(iE_{in} + \Gamma_{in}) C_{in}(t) - iV_{a,in}(t) C_a(t)$$

التي يجب أن تحل تحت الشرط الابتدائي :

$$C_a(-\infty) = 1 \quad ; \quad C_{in}(-\infty) = 0$$

إذ إن $n_a(t)$ عدد إشغال المستوي a يعطى بالعلاقة :

$$n_a(t) = C_a^+(t) C_a(t) \quad \dots(7)$$

أما احتمالية تأين الذرة المستطيرة $P(t)$ فتعطى بالعلاقة التالية:

$$P(t) = 1 - n_a(t)$$

...(8)

وان احتمالية التأين في أي زمن t تعطى بالعلاقة $P^+(t) = 1 - |C_a(t)|^2$.

3- تطبيق لنظام حقيقي

Cu(111) أخذت من المصدر [22,23] الثاني وان قيم Δ_o الواردة في المعادلة (2) أُخذت من المصدر [24].

سوف نقوم بتفحص تأثير الحالات الصورية على استقطار ذرة الليثيوم في حالاتها الإلكترونية Li2s, Li3s, Li4s من سطح النحاس Cu(111). أن المعاملات الخاصة بذرة الليثيوم و سطح المعدن

الجدول (1) يحتوي ثوابت جهد التأين V_i لذرة Li [22]

Alkali Atom	V_i (a.u.)
Li2S	0.1985
Li3S	0.0741
Li4S	0.0382

الجدول (2) يبين قيم Γ_I للحالات الصورية لمعدن Cu(111) [23].

I	Cu(111) $\Gamma_I \times 10^{-3} (eV)$
1	38
2	40.6
3	13.4

الجدول (3): يبين قيم Δ_o و Δ لذرة Li المتوقعة على سطح

النحاس Cu(111) بوجود الحالات الصورية وعدم وجودها .

الحالة الأليكترونية للذرة	Δ_o (eV) عدم وجود الحالة الصورية	Δ (eV) بوجود الحالة الصورية
Li2s	3.1015	2.9042
Li3s	0.8507	0.4456
Li4s	0.4051	0.0613

4- النتائج والمناقشة

إن التفحص لتأثير الحالة الصورية في عملية الأستطارة للذرة من سطح المعدن يكون من خلال :

1- رسم علاقة احتمالية التأين الموجب P^+ كدالة لزمن الأستطارة وذلك من خلال متابعة نموها الزمني خلال فترة الأستطارة اللازمة حتى تصل إلى مرحلة الإشباع عند t مقدار كبير وموجب ندعوه $t = \infty$.

2- رسم علاقة احتمالية التأين النهائية للذرة القلوية $P^+(\infty)$ كدالة لمقلوب المركبة العمودية لسرعة الذرة $1/v_{\perp}$, حيث أن لهذه الكمية علاقة بزمن بقاء الذرة بالقرب من السطح (أو زمن التفاعل) .

حيث انه عندما تكون السرعة v_{\perp} كبيرة فان زمن التفاعل أو الزمن الذي يقضيه الايون قرب السطح يكون صغير جداً غير كافي لزيادة التأين وعندما تكون السرعة v_{\perp} صغيرة , فان هناك زمن كبير وكافي لتأين الذرة . لاحظ انه من المعادلة (6) نحصل على العلاقة التالية في حالة عدم وجود حالات صورية :

$$\frac{\partial C_a(t)}{\partial t} = -[iE_a(t) + \Delta_o(t)] C_a(t) \quad \dots (9)$$

التي يكون حلها كالآتي :

$$C_a(t) = \exp\left(-\int_{t_0}^t [iE_a(t') + \Delta_o(t')] dt'\right) \quad \dots (10)$$

وبذلك فأن احتمالية التأين في هذه الحالة تكون كالآتي :

$$P^+(t) = 1 - \exp\left(-2\int_{t_0}^t \Delta_o(t') dt'\right) \quad \dots (11)$$

والتي تظهر كخطوط منقطه في الأشكال التالية :

الشكل (4) يوضح احتمالية التأين الموجب P^+ لذرة الليثيوم بالحالة الأرضية كدالة لزمن الأستطارة. حيث نلاحظ انه عند الزمن $t < 0$ فأن احتمالية التأين الموجب $P^+(t)$ تكون اكبر سعة تنذببية مما هي عليه

عند الزمن $t > 0$ وذلك لوجود زمن حياة محدد للقناة الصورية .

الشكل (5) يوضح احتمالية التأين الموجب $P^+(\infty)$ لذرة الليثيوم للحالة الأرضية $Li2s$ كدالة لمقلوب السرعة. حيث نلاحظ ان تأثير الحالة الصورية يظهر في السرعة العالية وبسعة تنذبب كبيرة مع احتمالية ذات تقعر صغير .

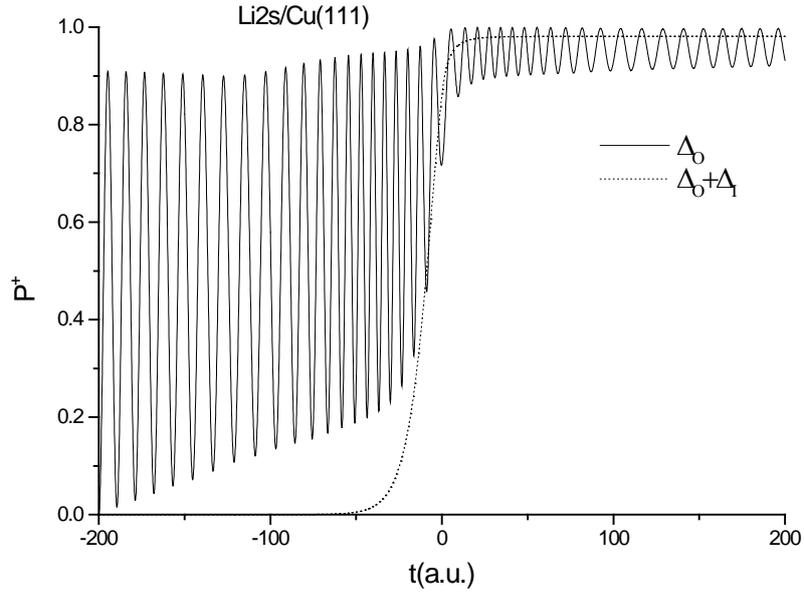
الشكل (6) يوضح احتمالية التأين الموجب $P^+(t)$ لذرة الليثيوم بالحالة المتهيجة الأولى $Li3s$ كدالة لزمن الأستطارة. حيث نلاحظ تصرف لاحتمالية التأين الموجب $P^+(t)$ مشابهة للحالة الأرضية لذرة الليثيوم .

الأشكال (7) توضح احتمالية التأين الموجب $P^+(\infty)$ كدالة لمقلوب السرعة لذرة الليثيوم للحالة المتهيجة الأولى $Li3s$. حيث نلاحظ تأثير الحالات الصورية في السرعة العالية يكون اكبر مما هو عليه للحالة الأرضية . وكذلك نلاحظ التأثير على السرعة الواطئة يبدأ بالوضوح وان سعة التنذبب تكون اكبر مما هي عليه بالحالة الأرضية.

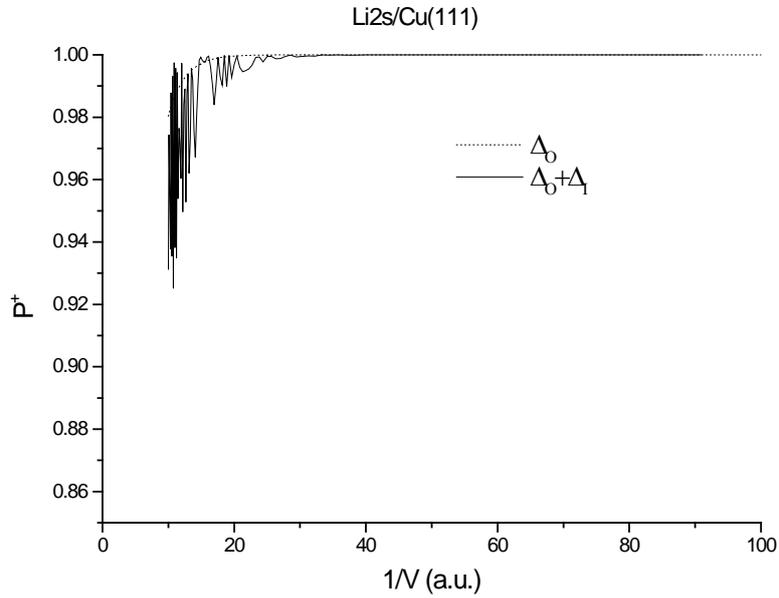
الأشكال (8) و (9) توضح نفس العلاقات السابقة ولكن لذرة الليثيوم للحالة المتهيجة الثانية $Li4s$ حيث نلاحظ هنا تأثير الحالة الصورية يظهر بشكل كبير جداً وواضح عند الأزمنة $t < 0$ و $t > 0$ وعلى السرعة العالية والواطئة إذا ما قورنت بالحالتين الأرضية والمتهيجة الأولى.

وبصورة عامة فأن نصف عرض للحالة الصورية المأخوذ بنظر الاعتبار يؤدي إلى احتمالية نفق اكبر عبر الحالات الصورية إلى مستويات المعدن مما يؤدي إلى زيادة احتمالية التأين (تفريغ مستوي الذرة) .

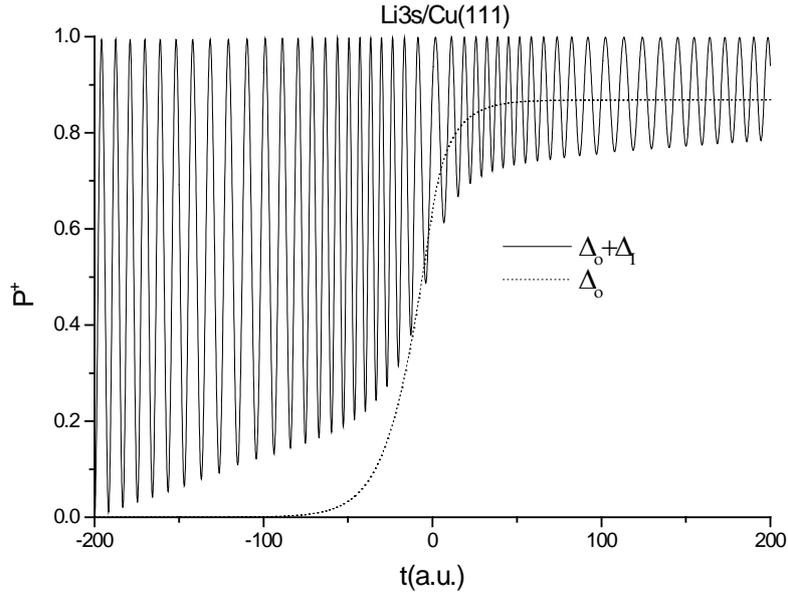
أن احتمالية التأين لذرة الليثيوم ذات السرعة الواطئة في حالاتها المتهيجة العليا اقل من التي هي ادنى منها واقل من تلك للحالة الارضية .



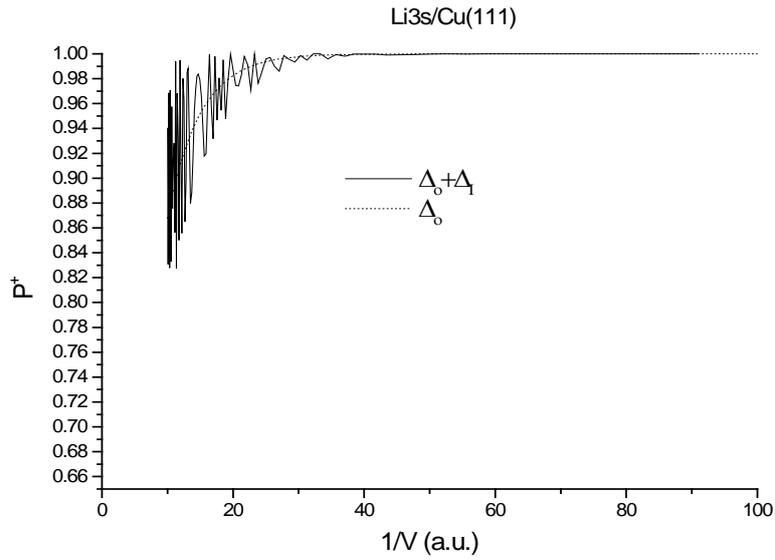
الشكل (4) يوضح احتمالية التأين الموجب P^+ للحالة الأرضية لذرة الليثيوم $Li2S$ على سطح النحاس كدالة الى الزمن بوجود الحالة الصورية وبعدم وجودها.



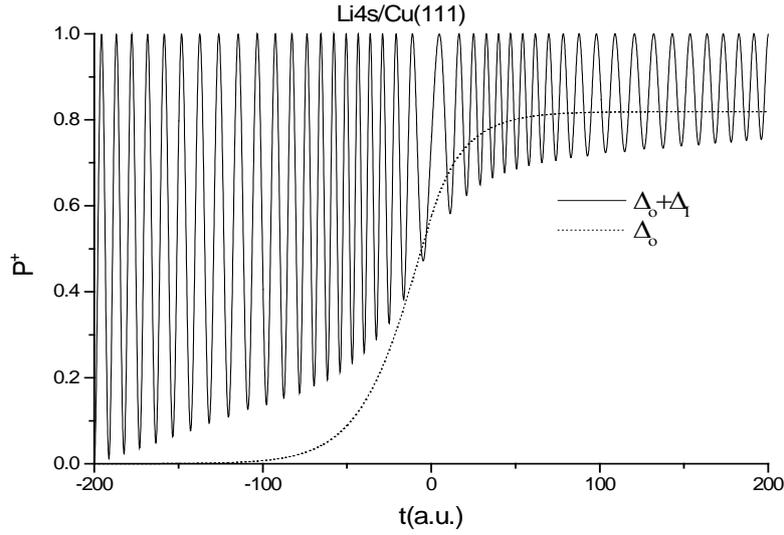
الشكل (5) يوضح احتمالية التأين الموجب P^+ للحالة الأرضية لذرة الليثيوم $Li2S$ على سطح النحاس كدالة لمقلوب السرعة بوجود الحالة الصورية وبعدم وجودها.



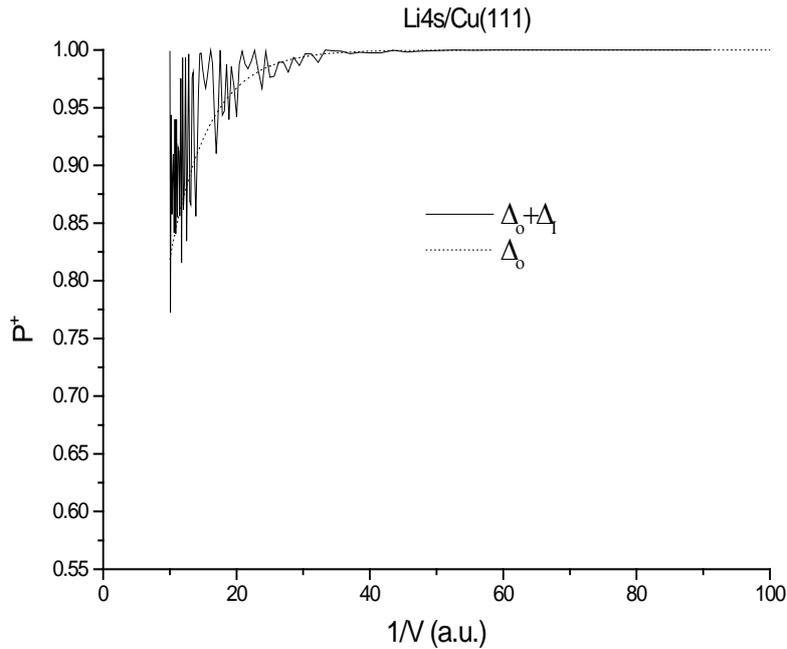
الشكل (6) يوضح احتمالية التأين الموجب P^+ للحالة المتتهيجة الأولى لذرة الليثيوم Li3S على سطح النحاس كدالة الى الزمن بوجود الحالة الصورية وعدم وجودها.



الشكل (7) يوضح احتمالية التأين الموجب P^+ للحالة المتتهيجة الأولى لذرة الليثيوم Li3S على سطح النحاس كدالة لمقلوب السرعة بوجود الحالة الصورية وعدم وجودها.



الشكل (8) يوضح احتمالية التأين الموجب P^+ للحالة المثيجة الثانية لذرة الليثيوم Li4S على سطح النحاس كدالة الى الزمن بوجود الحالة الصورية وعدم وجودها.



الشكل (9) يوضح احتمالية التأين الموجب P^+ للحالة المثيجة الثانية لذرة الليثيوم Li4S على سطح النحاس كدالة لمقلوب السرعة بوجود الحالة الصورية وعدم وجودها.

[23] Gau و Langreth من قبل الباحثين Cu(111) . وكانت دراستهم تتركز حول حساب عنصر مصفوفة النفق بين الحالة الذرية والحالة الصورية ومن ثم حساب احتمالية التأين لحالتي قناة الصورة وقناة الرنين وشبه الرنين بين مستوي الذرة ومستويات الحالة الصورية الذي

تم في هذا البحث مناقشة دور القناة الصورية في عملية تبادل الشحنة بين الذرة و سطح المادة . إن هذه القناة المهمة تم مناقشة دورها سابقاً لحالة استتارة ذرة الهيدروجين المثيجة H^* من سطح النحاس

وقد تم فحص الدوال $P^+(t)$ و $P^+(\infty)$ من خلال اعتمادهما على الزمن t أو مقلوب مركبة السرعة العمودية $1/v_{\perp}$, حيث نلاحظ :
 أ- إن احتمالية التأين $P^+(t)$ عند $t < 0$ يكون اكبر سعة تذبذبية مما هو عليه عند $t > 0$
 ب- إن تأثير الحالة الصورية يظهر في السرعة العالية وبسعة تذبذب اكبر ذات احتمالية تأين اكبر وذلك بسبب احتواء نصف عرض الحالة الصورية مما يؤدي إلى احتمالية نفق اكبر عبر الحالات الصورية إلى مستويات المعدن ويزيد من احتمالية التأين للذرة .

استخدمت فيه حالة صورية واحدة , ولم يقارنوا بين القناة الصورية والقناة المباشرة (عدم وجود الحالة الصورية). في هذا البحث نوقش تأثير وجود الحالة الصورية وعدم وجودها وتم التركيز على إبراز التأثير على احتمالية التأين للذرة المستطيرة من السطح حيث جهزنا لدراسة عملية الاستطارة نظرية تعتمد على رموز ديراك حيث تم الأخذ بنظر الاعتبار نصف عرض الحالة الصورية الذي يزيد من احتمالية التأين . حيث كانت قناة الانتقال المباشرة تعطى بالعلاقة :

$$P^+(t) = 1 - \exp\left(-2 \int_{-t_0}^t \Delta_o(t') dt'\right)$$

References

- [1] Nordlander P., Tully T.C., Phys. Rev. Lett. 61 990(1988).
- [2] Nordlander P., Tully T.C., Phys. Rev. Lett. B 42 5564(1990).
- [3] Avouris Ph., Walkup R.E., Ann. Rev. Phys. Chem. 40,73 (1989) .
- [4] Gao S., Busch D.G., Ho W., Surf. Sci. 344,L1252 (1995).
- [5] Stipe B.C., Rezaei M.A., Ho W., Gao S., Persson M., Lundqvist B.I., Phys. Lett. 78 4410 (1997).
- [6] Los J., Geerlings J.J.C., Phys. Rep. 190 133 (1990).
- [7] Brako R., Newns D.M., Rep. Prog. Phys. 52 655 (1989).
- [8] Gadzuk J.W., Surf. Sci.6 133 (1967).
- [9] Remy M., J. Chem. Phys. 53 2487 (1970).
- [10] McRae E.G., Rev. Mod. Phys. 51 541(1979).
- [11] Johnson P.D., Smith N.V., Phys. Rev. B 27 2527(1983).
- [12] Straub D., Himpfel F.J., Phys. Rev. Lett. 52 1922(1984).
- [13] Steinmann W., Appl. Phys. A 49 365(1989).
- [14] Smith N.V.,Phys.Rev.B32,3549(1985).
- [15] Bartel L. et al., phys. Rev. B67, 205416 (2003).

المصادر

- [16] Echenique P.M. and Pendry J.B.,J.Phys.11,2065(1978).
- [17] Link S., Sievers J., Durr H.A., Eberhardt W., Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena 351–355,114–116 (2001).
- [18] www.physik.uni-marburg.de/of/dynamics/import.html.
- [19] Fauster Th., Steinmann W., Halevi P., Ed(Elsevier Amsterdam),pp.347-411 (1995).
- [20] Gao S.,Langreth D.C.,Surf.Sci. L314-L319 398 (1998).
- [21] Gauyacq J.P. and Borisov A.G.,Journal of physics-Condensed Matter 10,30,6585(1998).
- [22] Gadzuk J.W., Physical Review, B79,73411 (2009).
- [23] Maazouz M., Borisov A.G., Esaulov V.A., Gauyacq J.P., Guillemot L., Lacombe S., and Teillet-Billy D.,Phys.Rev.B55,20(1996).
- [24] Qassim F.A. "Role of Image State in the Charge Exchange between Atom and Metal Surface" M.Sc.thesis, Basrah University (2010).

The role of Image States in the Charge Exchange between Atom and Metal Surface

F. A. Qassim and S.I.Easa

Physics department, college of Education, Basrah University, Basrah, Iraq

Abstract

The paper deals with the role of image states on charge exchange during scattering of Li atom in its ground and excited states (2s,3s,4s) from Cu(111) surface, where we calculate the positive ionization probability P^+ of atomic level of the alkali atoms by using the $(n+1)$ interaction levels method, in which the Hamiltonian operator is written by Dirac-notations formula and taking into account both life times for atomic levels and image levels.

The positive ionization probability P^+ of atomic level and final probability $P^+(\infty)$ are drawn as function to scattering time and the inverse velocity. We note that the effect of image states appear as an oscillations at high velocities in $P^+(\infty)$ curve. The amplitude of these oscillations differs for different alkali electronic states, which is increase as the energy of the atomic level increasing.