

تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي على مسار الإلكترون داخل المحلل المرآتي الإسطواني

الدكتور بدر الأعرج*

غادة جبور**

(تاريخ الإيداع 13 / 12 / 2007. قُبِلَ للنشر في 18 / 3 / 2008)

□ الملخص □

يتميز محلل الطاقة المرآتي الإسطواني عن الأنواع الأخرى من المحللات والمستخدم بشكل واسع في مطيافية إلكترونات أوجيه AES بخصائص متميزة هي: نفاذية عالية، قدرة تحليل معقولة، وسهولة في التركيب والاستخدام. يهدف هذا العمل إلى إيجاد الأبعاد الهندسية للمحلل CMA انطلاقاً من معادلة Laplace، وكذلك دراسة تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي على مسار الإلكترون داخل المحلل، ثم إزالة هذا التأثير بوساطة وشائع Fonzylane ثلاثية الأبعاد التي تلغي مركبات الحقل المغناطيسي الأرضي وتأثيره على مسار الإلكترون لكي تمحرق الإلكترونات على الكاشف وذلك بوضع المحلل داخل هذه الوشائع وبالتالي تحسين طيف الإلكترونات الثانوية الصادرة عن سطح العينة المدروسة من خلال ظهور قمم طيفية لم تظهر قبل اختزال الحقل المغناطيسي الأرضي. وقد بينا التأثير المغناطيسي الأرضي على الإلكترون، حيث تسبب شدة المركبة المغناطيسية الأرضية $25\mu T$ انحرافاً للإلكترون ذي الطاقة $50eV$ قدره $d=52.3\mu m$ عند انتقاله المسافة $10mm$ الفاصلة بين العينة والقسم الأمامي من المحلل.

كلمات مفتاحية:

AES: مطيافية إلكترونات أوجيه.
CMA: المحلل المرآتي الإسطواني.
CHA: المحلل نصف الكروي المتمركز.
RFA: محلل الحقل المبطن.
LEED: حيود الإلكترونات ذات الطاقة المنخفضة.
EELS: مطيافية فقد الطاقة.
FWHM: العرض عند منتصف القيمة العظمى.
D: الانحراف الأفقي.
I: الميل الشاقولي.
GF: الحقل المغناطيسي الأرضي.

* أستاذ - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** مشرفة أعمال - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

The Effect of Geomagnetic Field on Electron Track Inside Cylindrical Mirror Analyzer (CMA)

Dr. B. Al-aaraj *

G. Jabour**

(Received 13/ 12 / 2007. Accepted 18/3/2008)

□ ABSTRACT □

The CMA has a set of attractive properties different from other ones which are widely applied in AES, namely: high transmission, reasonable energy resolution and easy construction and operation.

This paper aims to find geometrical dimensions of CMA using Laplace equation and studying the effect of geomagnetic field GF on the electron track within CMA. Then, we work to reduce this effect using three dimensions Fonzylane coils which diminish the components of GF and its effect on the electron track inside CMA in order to focus electrons on detector by situating the analyzer inside Fonzylane coils. Further, we expect an improvement of secondary electron spectrum emitted from the sample surface under study during appearance of the low energy peaks which did not clearly appear before reduction of GF.

Furthermore, we have shown a geomagnetic field component of , $25\mu\text{T}$, resulting in a deflection of $d = 52.3 \mu\text{m}$ for 50eV electron traveling through 10mm distance between sample and front part of CMA.

Keywords:

AES: Auger Electron Spectroscopy,

CMA: Cylindrical Mirror Analyzer,

CHA: Concentric Hemispherical Analyzer,

RFA: Retarding Field Analyzer,

LEED: Low Energy Electron Diffraction

EELS: Electron Energy Loss Spectroscopy,

FWHM: Full Width at Half Maximum,

D: Declination,

I: Inclination,

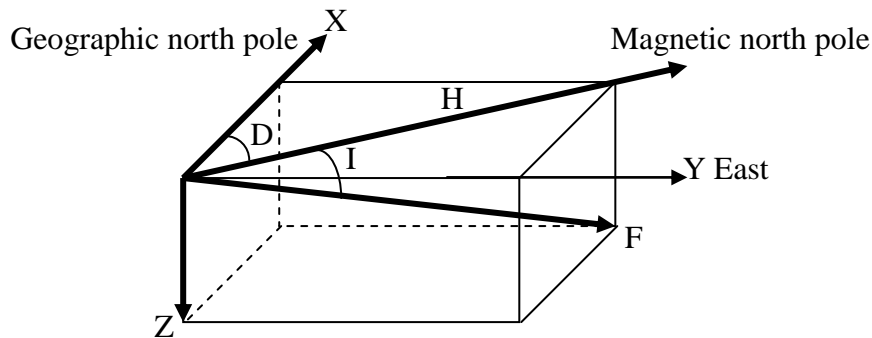
GF: Geomagnetic Field

* Professor, Department of Physics, Faculty of Sciences, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Work Supervisor, Department of Physics, Faculty of Sciences, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

كما نعلم الأرض عبارة عن مغناطيس ضعيف تتغير شدته الكلية بين القيمة $30\mu\text{T}$ عند خط الاستواء والقيمة $70\mu\text{T}$ بالقرب من القطب المغناطيسي. ويتصف الحقل المغناطيسي الأرضي بالعناصر الأساسية التالية: الشدة الكلية F ، والمركبة الأفقية H ، والمركبة الشاقولية Z وزاوية الانحراف D بين الشمال الجغرافي واتجاه المركبة الأفقية، وزاوية الميل I بين اتجاه المركبة الأفقية واتجاه محصلة الحقل الكلية [2,1] الشكل 1.



الشكل 1: عناصر الحقل المغناطيسي الأرضي.

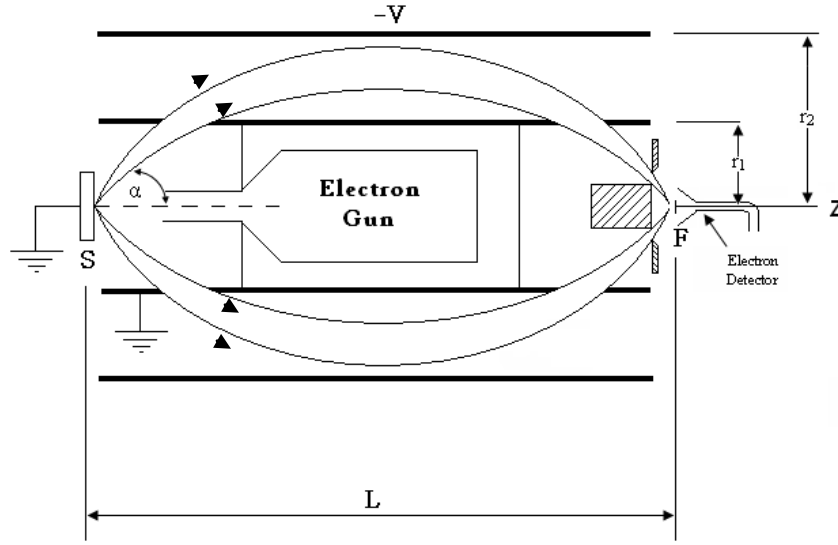
لدراسة توزيع طاقة الإلكترونات الصادرة عن سطح جسم صلب ما بفعل تأثير حزمة طاقة مناسبة واردة على العينة من مدفع الكتروني يلزمنا محلل مناسب لفصل الإلكترونات حسب طاقاتها المختلفة. يتميز المحلل المرآتي الأسطواني CMA المستخدم في مطيافية الكترونات أوجيه AES عن المحللات الأخرى بخصائص متميزة هي: نفاذية عالية، قدرة تحليل معقولة، وسهولة في التركيب والاستخدام.

بالإضافة إلى المحلل المرآتي الأسطواني CMA، يستخدم في تقانة الكترونات أوجيه AES محللات أخرى مثل: محلل الحقل المبطن RFA و المحلل نصف الكروي المتمركز CHA [3].

يهدف هذا العمل إلى إيجاد الأبعاد الهندسية للمحلل المرآتي الأسطواني CMA انطلاقاً من معادلة Laplace، وكذلك دراسة تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي على مسار الإلكترون داخل المحلل.

وصف المحلل:

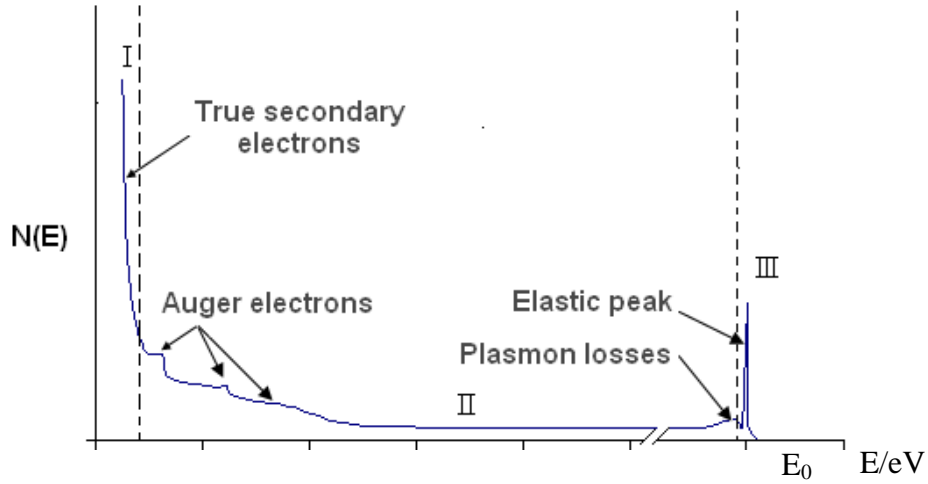
يتكون المحلل CMA من أسطوانتين متمركزتين (لهما نفس المحور Z) [4]: داخلية وخارجية نصفي قطريهما r_1 و r_2 على التسلسل الشكل 2.
توصل العينة S والأسطوانة الداخلية بالأرضي، بينما يطبق جهد سالب V على الأسطوانة الخارجية وبالتالي ينشأ حقل كهربائي بين الأسطوانتين.



الشكل 2: يبين مكونات المحلل CMA المؤلف من أسطوانتين متمركزتين نصفياً قطريهما r_1 و r_2 ، ومدفع الكتروني يولد حزمة الكترونية أولية، كاشف الكتروني، L المسافة بين العينة S ونقطة الخيال F .

طيف الالكترونات الثانوية الصادرة عن العينة داخل المحلل:

تدعى حزمة الالكترونات الواردة على العينة من المدفع الالكتروني بالالكترونات الأولية، بينما الالكترونات الصادرة عن العينة نتيجة عمليات التشتت المرن واللامرن وآليات تولد الكترونات أوجيه بالالكترونات الثانوية. يبين الشكل 3 طيف الالكترونات الثانوية (كثافة الالكترونات الصادرة بدلالة طاقتها الحركية) الصادرة عن سطح عينة ما لمادة صلبة عند قذفها بحزمة أولية طاقتها E_0 صادرة عن المدفع الالكتروني.



الشكل 3: يظهر طيف الالكترونات الثانوية.

نمیز في هذا الطيف ثلاث مناطق أساسية [5] هي:

المنطقة الأولى (منطقة الالكترونات الثانوية الحقيقية):

إن بعض الالكترونات الأولية تعاني في المادة من تصادمات غير مرنة منتجة الكترونات ثانوية بسبب تصادمها مع الذرات، وبدورها تولد هذه الالكترونات الثانوية إلكترونات ثانوية أخرى مشكلة سلسلة من الالكترونات الثانوية الحقيقية بطاقات متناقصة.

المنطقة الثانية (قمم الكترونات أوجيه Auger Peaks):

تتضمن هذه المنطقة قمم الكترونات أوجيه الصادرة من ذرات سطح العينة بدون خسارة في طاقتها. عندما تظهر إشارات ضعيفة أي شداتها غير واضحة في الطيف نعمل على تضخيم هذه الإشارات عن طرق مفاضلة كثافة الالكترونات $N(E)$ بالنسبة للطاقة.

نحصل من شدات قمم الكترونات أوجيه على معلومات عن عدد الذرات المساهمة في انتقال أوجيه، وكذلك التعرف على نوعية العناصر الموجودة على السطح وحالتها الكيميائية [6,7].

المنطقة الثالثة (قمة الالكترونات المرنة):

تمثل القمة المرنة للإلكترونات المستطارة بدون خسارة في طاقتها (استطارة مرنة) لكن تعاني تغير في اتجاهها. ولهذه القمة المرنة أهمية كبرى في تحليل طيف الالكترونات الثانوية منها: معايرة سلم الطاقة، أي أن جميع القمم الطيفية الموجودة في الطيف تنسب طاقياً إليها. قياس قدرة التحليل للمحلل المعبر عنها بعرض نصف الشدة العظمى للقمة المرنة FWHM.

لقمة المرنة تطبيقات هامة في تقنيتين أساسيتين تستخدمان في دراسة بنية الطبقة السطحية هما:

1. طريقة حيود الالكترونات البطيئة LEED.

2. مطيافية فقد طاقة الإلكترون EELS.

إلى جانب القمة المرنة بأخفض طاقة توجد قمة صغيرة الشدة ناتجة عن التأثيرات المتبادلة بين حزمة الالكترونات الأولية والبلازمون، أي التشتت اللامرّن الناتج عن الكترونات الجسم الصلب. وتكون قمة البلازمون دائماً ملازمة إلى جانب القمة المرنة في الطيف أثناء تغير الطاقة الأولية الواردة على العينة.

معادلة جهد المحلل:

بما أن العينة والأسطوانة الداخلية موصلتان بالأرضي بينما يطبق جهد سالب V على الأسطوانة الخارجية، فيتولد حقل كهربائي بين الأسطوانتين. لإيجاد جهد المحلل نطبق معادلة Laplace في الإحداثيات الأسطوانية

$$:(r, \varphi, z)$$

$$\nabla^2 V = 0$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

بفرض أن الجهد متناظر بالنسبة لمحور الأسطوانتين ولا يتغير حسب المحور Z نجد:

$$\frac{d}{dr} \left(r \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (2)$$

نكامل المعادلة (2) مرتين نحصل على:

$$(3) V = c_1 \ln r + c_2$$

حيث c_1 و c_2 ثابتان يحددان من الشروط الحدية الآتية:

$$\begin{aligned} V=0 & \quad \text{when } r = r_1 \\ V = -V_0 & \quad \text{when } r = r_2 \end{aligned}$$

$$c_1 = -V_0 \left(\ln \frac{r_2}{r_1} \right)^{-1} \quad \text{ومنه نجد الثابت:}$$

من هذه الشروط والمعادلة (3) نحصل على جهد المحلل:

$$(4) \quad V = -V_0 \left(\ln \frac{r_2}{r_1} \right)^{-1} \ln \frac{r}{r_1} = -g_t V_0$$

$$g_t = g_0 \ln \frac{r}{r_1} = 1.38 g_0 \quad \text{for } r = 100\text{mm}; r_1 = 25\text{mm}$$

حيث g_t العامل الهندسي.

وبالتالي تعطى طاقة الإلكترون في المحلل بالعلاقة الآتية:

$$(5) \quad E_A = g_t eV + \phi_A$$

حيث Φ_A تابع العمل للمحلل.

حركة الإلكترون داخل المحلل CMA:

تنتقل الإلكترونات الصادرة بزاوية α من نقطة العينة P الواقعة على محور المحلل على شكل خطوط مستقيمة

في الفراغ الحر من الحقل حيث تعطى Z_1 و Z_f كما يلي الشكل 4.

$$Z_1 = r_1 \cot \alpha$$

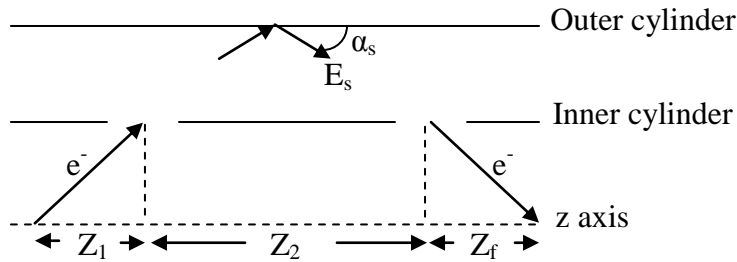
$$Z_f = | r_1 \cot \alpha |$$

عندما تعبر الإلكترونات خلال الفتحة الأمامية للأسطوانة الداخلية إلى الفراغ بين الأسطوانتين تخضع لحقل

كهربائي يقوم بحرفها نحو الفتحة الخلفية في الأسطوانة الداخلية.

يمكننا الحصول على المسافة المحورية Z_2 التي يقطعها الإلكترون بين فتحتي الاسطوانة الداخلية: الأمامية

والخلفية بتطبيق معادلات لاغرانج في الإحداثيات الأسطوانية.



الشكل 4: تشتت الإلكترون عن الأسطوانة الخارجية.

أهمية البحث وأهدافه

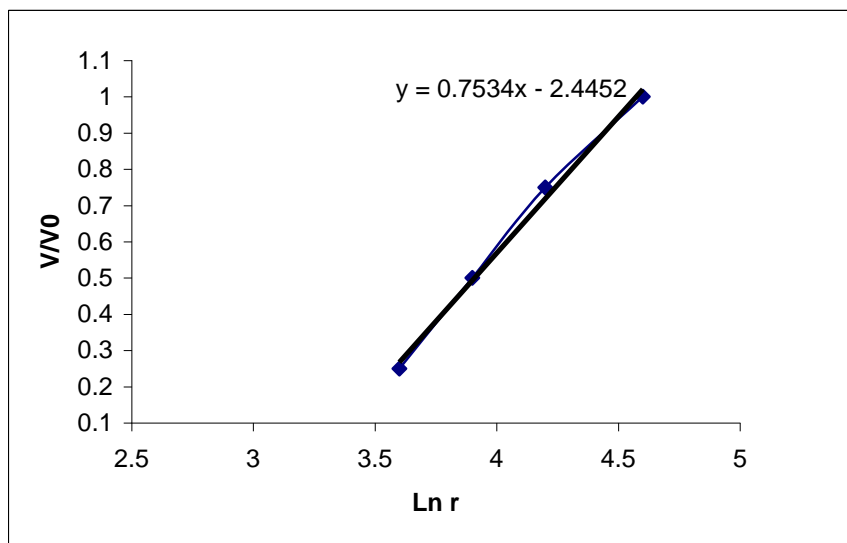
تأتي أهمية هذا البحث من حساب الأبعاد الهندسية المناسبة للمحلل الأسطوانى المراد تصميمه لتحليل طاقات الإلكترونات الثانوية المنبعثة من سطح العينة. إضافة إلى ذلك تصحيح مسار الإلكترون بعد إزالة تأثير الحقل المغناطيسى الأرضي عليه باستخدام وشائع Fonzylane من أجل تحسين طيف الإلكترونات الثانوية، وإظهار القمم المخفية المتأثرة بفعل الحقل المغناطيسى الأرضي.

النتائج والمناقشة:

تتراوح الجهود السالبة المطبقة على الأسطوانة الخارجية بين 50 – 1000V ، ونصف قطر الأسطوانة الخارجية بين مقياس العينة 20mm حتى القيمة 100mm. لرسم العلاقة (4) بين الجهد المطبق بين الأسطوانتين ونصف قطر المحلل نفرض القيم الموجودة في الجدول الآتي:

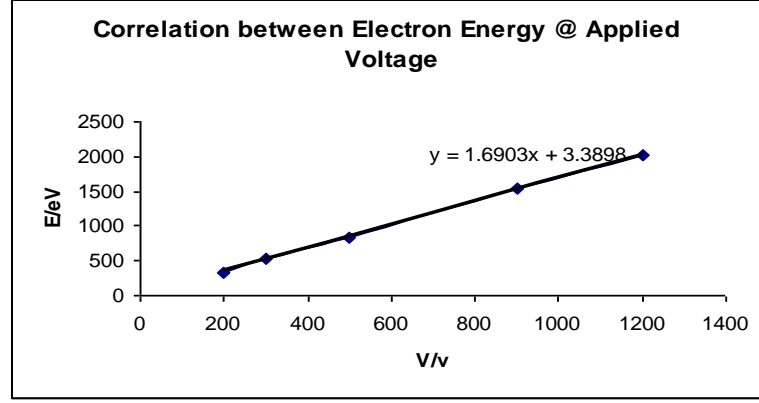
V/V_0	0.25	0.50	0.75	1.0
$\text{Ln}r$; where r in mm	3.6	3.9	4.2	4.6

يبين الشكل 5 العلاقة بين الجهد المطبق ونصف قطر المحلل. نستنتج من هذا الشكل ما يلي: من أجل قيمة محددة لنصف قطر الأسطوانة الداخلية فإنه يتطلب نصف قطر أكبر للأسطوانة الخارجية كلما أنقصنا قيمة الجهد المطبق. على عكس ذلك، يلزمنا نصف قطر أصغر للأسطوانة الخارجية كلما زدنا قيمة الجهد المطبق. من ميل هذا المستقيم نجد أن $r_2 = 94\text{mm}$ من أجل $r_1 = 25\text{mm}$: على سبيل المثال، من أجل $r_1 = 20\text{mm}$ ينبغي أن يكون نصف قطر الأسطوانة الخارجية $r_2 = 75.42\text{mm}$ حسب العلاقة (4).



الشكل 5: يبين العلاقة بين الجهد المطبق على الأسطوانة الخارجية والمدى القطري بين الأسطوانتين.

علاوةً على ذلك، لإيجاد العامل الهندسي للمحلل g_t نرسم تغيرات الطاقة الحركية للإلكترونات الثانوية التي تظهر في الطيف، والتي تتراوح بين $50 - 2000\text{eV}$ بتابعة الجهود المطبقة على المحلل عندما $V_0=1200\text{V}$ حسب العلاقة (5) كما في الشكل (6).



الشكل 6: يبين العلاقة بين الطاقة الحركية للإلكترونات الثانوية والجهود المطبقة على المحلل.

تأثير الحقل المغناطيسي:

يحسب مقدار انحراف الإلكترونات d تحت تأثير حقل التحريض المغناطيسي B بالعلاقة:

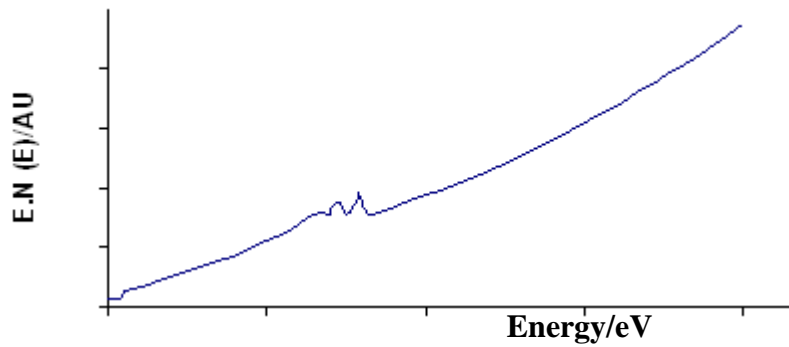
$$(6) \quad d = 148 \times 10^3 l^2 B / \sqrt{E}$$

حيث E طاقة الإلكترون مقاسة بـ eV ، d الانحراف عن مسار الخط المستقيم، B حقل التحريض المغناطيسي المؤثر على الطول l من المسار.

من هذه العلاقة نجد أن شدة المركبة المغناطيسية $25\mu\text{T}$ تسبب انحرافاً للإلكترون ذي الطاقة 50eV قدره $52.3\mu\text{m}$ عند انتقاله المسافة 10mm الفاصلة بين العينة والقسم الأمامي من المحلل. وتسبب الشدة الكلية للحقل المغناطيسي الأرضي $50\mu\text{T}$ انحرافاً قدره $d=104.6\mu\text{m}$.

نلاحظ من العلاقة (6) أن الإلكترونات ذات الطاقة العالية أقل تأثراً بالحقول المغناطيسية من الإلكترونات ذات الطاقة المنخفضة.

يظهر الشكلان 7 و 8 مقارنة افتراضية بين طيف المنطقة II من طيف الإلكترونات الثانوية المؤلف الشكل 3 مأخوذ بنفس طاقة الحزمة الأولية. إن التحسن الذي طرأ على هذا الطيف قد تم بعد اختزال الحقل المغناطيسي الأرضي. وفي هذه الحالة تكون قمم أوجيه المنخفضة والإلكترونات الثانوية الحقيقية مرئية في الطيف الشكل 8.



الشكل 7: طيف مفترض للمنطقة II أخذ قبل اختزال الحقل المغناطيسي الأرضي.

يؤدي الحقل المغناطيسي الأرضي إلى حرف الإلكترونات ذات الطاقات المنخفضة عن مساراتها ، وبالتالي التبعر عند فتحة التجميع في المحلل، مما يؤدي إلى عدم ظهور الإشارات الضعيفة ذات الطاقات المنخفضة في الطيف. لتجنب تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي واختزاله نقترح وضع المحلل داخل حجرة وشائع Fonzylane. لمراقبة الحقل المغناطيسي الأرضي يلزمنا دائماً مقياس لتحديد شدة التمتع Magnetometer.

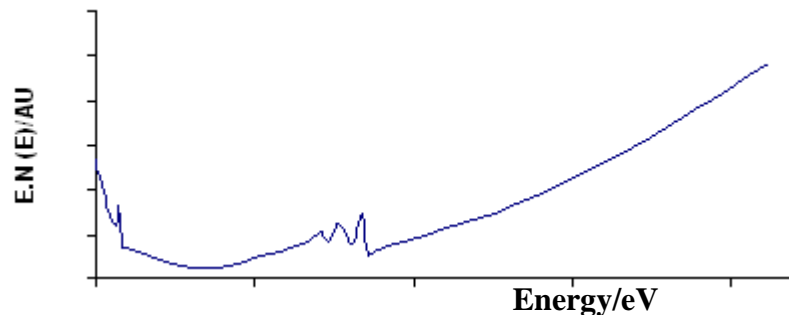
تتألف وشائع Fonzylane من ست وشائع في الأبعاد الثلاثة بحيث يحمل كل بعد وشيعتين متوازيتين ومتعامدتين مع محوريهما. وهما على شكل مربع طول ضلعه a يسري فيهما تيار I وباتجاه واحد ، والبعد بينهما يساوي نصف قطر اللفة المربعة.

تعطى شدة حقل التحريض المغناطيسي B المتولد عن الوشيكتين في نقطة واقعة على محور اللفة وتبعد بمقدار x عن مركزها بالعلاقة الآتية [9,8].

$$B_x = \frac{\mu_0}{\pi} \frac{8a^2 NI}{(4x^2 + a^2)(4x^2 + 2a^2)^{1/2}} \quad (7)$$

نجد من هذه العلاقة قيمة الحقل في منتصف المسافة بين الوشيكتين، أي $x = \frac{\sqrt{2}}{2} a$ حيث N عدد اللفات:

$$B = \frac{4\mu_0}{3\pi} \frac{NI}{a} \quad (8)$$



الشكل 8: طيف مفترض للمنطقة II أخذ بعد اختزال الحقل المغناطيسي الأرضي.

نلاحظ من هذا الطيف أن منطقة الكترونات أوجيه يمكن أن تكون مرئية بوضوح بسبب اختزال الحقل المغناطيسي الأرضي كما هو مبين في بداية الطيف الذي يمثل مجال الطاقات المنخفضة. بالإضافة إلى ذلك ، قمنا بحساب قيمة الحقل المغناطيسي الذاتي المتولد عن حركة الإلكترون داخل المحلل. ووجدنا أنها من مرتبة $10^{-14}T$. وهي قيمة صغيرة بالمقارنة مع قيمة الحقل المغناطيسي الأرضي.

الاستنتاجات والتوصيات:

يمكننا إظهار بعض القمم الطيفية المخفية في طيف الإلكترونات الثانوية الموافقة لطاقات حركية منخفضة باختزال الحقل المغناطيسي الأرضي عن طريق وشائع Fonzylane وباستخدام مقياس شدة التمجنت Magnetometer، لأنه بيّن أن الإلكترونات ذات الطاقات المنخفضة تتأثر بشدة أكثر بالحقل المغناطيسي من الإلكترونات ذات الطاقات العالية، حيث تسبب الشدة الكلية للحقل المغناطيسي الأرضي $50\mu T$ انحرافاً لمسار الإلكترون قدره $d=104.6\mu m$ عند انتقاله مسافة $10mm$ داخل المحلل مما يؤدي إلى خلل في تمرزه على فتحة الكاشف. وهذه العملية تساهم في تحسين الطيف وبالتالي الدقة في التحليل الكمي والنوعي للعناصر الموجودة على سطح العينة المدروسة. إضافة إلى ذلك، حددنا نصف قطر الأسطوانة الخارجية للمحلل بعد افتراض قيمة محددة لنصف قطر الأسطوانة الداخلية التي تتسجم مع حجم العينة. ويمكننا متابعة هذا العمل بتصميم وتركيب وشائع Fonzylane ثلاثية الأبعاد بعد دراسة هذه الو شائع وتحديد ثوابتها.

المراجع:

- [1] GRIMSEHL, A.; LEHRBUCH DER PHYSIK – Band 4, Struktur der Materie 1998.
- [2] JAWORSKI B.M.; DETALF A.A. Taschenbuch der Physik Akademie, Verlag Berlin 1985.
- [3] Al BAKUSH, Al – TAIB, Dissertation , UK York 1994
- [4] AUTORENKOLLEKTIV, METTALKUNDE. Untersuchungsverfahren, VEB Deutscher Verlag, Leipzig 1983
- [5] MANFREDE, V. A.; GEHARD, M.; SIEGBAHN, R. VEB Deutscher Verlag, Berlin 1989
- [6] Al-ARAAJ, B.; TU. J. for Studies and Scientific Research, vol.17, Nr.4, 1995
- [7] BRIGGS, D.; SEAH, M.P. Practical surface Analysis by Auger and X- ray Photoelectron Spectroscopy ,wiley and sons, Chicester 1990.
- [8] KOSCHKIN ,N.L.;SCHIRKEWITSCH ,M.G. Elementare Physiks, Verlag Berlin 1987.
- [9] SERWAY, A.R.; REICHNER J.R. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics , Printed USA 2000.