

حساب معامل التشتت المرن لحزمة الكترونية على شريحة من النحاس

* إبراهيم علي

** بدر الأعرج

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٤/٧/١٠ - تاريخ النشر ٢٠٢٤/١١/٢١)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى حساب قيم مقطع التشتت التفاضلي $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ، ومعامل التشتت المرن لحزمة الكترونية طاقتها في المجال (1500 – 250) eV والمتشعبة عن صفيحة من النحاس ضمن زوايا التشتت $\theta = 5^\circ - 44^\circ$.

وقد بلغ متوسط قيم مقطع التشتت التفاضلي في المجال المدروس $\frac{d\sigma}{d\Omega} = 3.3540 \times 10^5 A^2/st$ في المجال الطاقوي المذكور أعلاه، ومتوسط معامل التشتت المرن $\eta_e = 0.5 \times 10^5$.
الكلمات المفتاحية: معامل التشتت المرن، المسار الحر الوسطي المرن، مقطع التشتت التفاضلي.

* أستاذ مساعد، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة تشرين، سورية

** أستاذ، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة تشرين، سورية

Computation of the coefficient of elastic scattering of electrons beam on copper foil

Ibrahim Ali*

Badr Al-Aaraj**

(Received 10/7/2024. Accepted 21/11/2024)

□ABSTRACT □

this research aims to compute the differential scattering cross- section $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ and the elastic scattering coefficient for electron beam whose energy (250 – 1500) eV scattered by copper foil at the scattered angles $\theta^\circ = 5^\circ - 44^\circ$.

The mean value of differential cross-section is $\frac{d\sigma}{d\Omega} = 3.3540 \times 10^5 A^2/st$ and elastic scattering coefficient $\eta_e = 0.5 \times 10^5$ in the energy range mentioned above.

Keywords: elastic scattering coefficient, inelastic scattering free path, differential scattering free path.

*Assistant Prof, Department of Physics, Faculty of Science, Tishreen University, Syria.

** Prof, Department of Physics, Faculty of Science, Tishreen University, Syria.

مقدمة:

إصدار الإلكترونات وامتصاصها: عندما ترد حزمة من الإلكترونات الأولية على سطح هدف معدني تيارها i_p فإن جزءاً منها يُمتص بمقدار i_{AE} والجزء الآخر يترد عن سطح المعدن بمقدار i_{BE} للإلكترونات المتشتملة، والقسم المتبقي كإلكترونات ثانوية وشدها i_{SE} محققة مجتمعة مع بعضها معادلة التوازن الآتية [2,1].

$$i_p = i_{AE} + i_{BE} + i_{SE} \quad (1)$$

ويتقسيم هذه المعادلة على حدها الأيسر نحصل على كلا من معامل الامتصاص α_e ومعامل

التشتت η_e ومردود الإلكترونات الثانوية δ_e :

$$\frac{i_{AE} + i_{BE} + i_{SE}}{i_p} = \eta_e + \alpha_e + \delta_e = 1 \quad (2)$$

الإلكترونات ذات التشتت المرتد: تشمل هذه الإلكترونات كافة الإلكترونات التي تغادر السطح عند ورود حزمة من الإلكترونات على سطح هدف معدني، وهي تتمثل بالتشتت المرن والتشتت اللامرّن المغادرة للسطح. وتقع طاقة الإلكترونات ذات التشتت المرن بالقرب من طاقة الإلكترونات الأولية [2,1] وتتعلق مقدرة تشتت هدف ما على العدد الذري Z لشريحة الهدف. هذا ويمكننا الحصول على معلومات حول تركيب السطح من الرسم البياني لمعامل التشتت η بدلالة العدد الذري [2,1].. ويرتبط معامل التشتت مع التركيز الكتلي C_i للعنصر i و η_i معامل التشتت للعنصر الداخل في الخليطة η_i وفقاً للعلاقة الآتية:

$$\eta = \sum_i C_i \eta_i \quad (3)$$

ويُعطى مقطع التشتت التفاضلي المرن حسب رزفورد وفق المعادلة :

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_\theta = \left(\frac{d}{4E}\right)^2 \cdot \frac{1}{\sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (4)$$

حيث θ هي زاوية التشتت

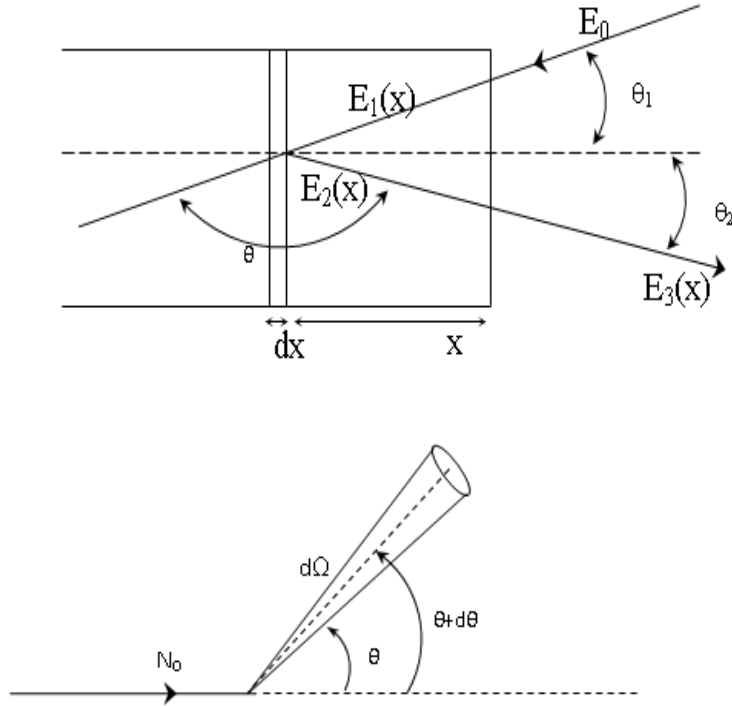
نحصل على أقرب مسافة لمبين الجسم المقذوف وجسيم ذرة الهدف من تساوي الطاقة الحركية E والطاقة

الكامنة:

$$d = \frac{zZe_0^2}{E} ; e_0^2 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} = 1.44 \text{ eV}\cdot\text{nm} \quad (5)$$

حيث Z العدد الذري لمادة الهدف، $z=1$ للحزمة الإلكترونية.

حيث أنّ $d\Omega$ عنصر الزاوية المجسمة كما في الشكل (1) التي عندها يستقبل الكاشف الإلكترونات المتشتملة، و E هي طاقة الحزم الإلكترونية، e هي شحنة الإلكترون العنصرية، $d\sigma$ مقطع التشتت التفاضلي [3].



الشكل (1) يوضح آلية التشتت

ويعطى معامل تشتت يونغ Y في المعادلة (5-a) بواسطة كاشف و بدلالة مقطع تشتت رذرفورد $\sigma(\theta)$ ، والزاوية المجسمة للكاشف Ω الشكل (1)، و Q_0 كمية الجسيمات الواردة على الشريحة ، و $N_s = N \cdot t$ كثافة الذرات السطحية التي تساوي الى N تركيز ذرات الشريحة الحجمي ذي السماكة $t=0.3\text{mm}$ بالعلاقة:

$$Y = \sigma(\theta) \cdot \Omega \cdot Q_0 \cdot N_s \quad (5-a)$$

ويعرف معامل التشتت المرن تجريبياً بأنه النسبة بين تيار الإلكترونات ذات التشتت المرن I_{el} وبين تيار حزمة الإلكترونات الأولية I_p :

$$\eta_e = \frac{I_{el}}{I_p} \quad (6)$$

وكنموذج بسيط لتشتت الإلكترونات تمّ استخدام علاقة لحساب معامل التشتت المرن η_e والذي يرتبط مع تركيز ذرات العينة N ومع المسار الحر الوسطي المرن L ، (*Inelastic Mean Free Path*) ، وبقيم مجال زاوية التشتت بين القيمة الدنيا θ_1 والعظمى θ_2 [3] وفقاً لما يلي:

$$\eta_e = 2\pi N L \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\theta} \frac{\sin\theta \cos\theta}{1 - \cos\theta} d\theta \quad (7)$$

الإلكترونات الثانوية: هي الإلكترونات التي ترافق عملية تأين ذرات الهدف التي تتحرر كإلكترونات ثانوية منه، ولعلّ أهم ما يميزها أنها تملك طاقة منخفضة ($< eV$) وهي منبعثة من المجال السطحي ذات السماكة $(\approx 1-10) \text{ nm}$ ، وغالباً ما يتم استخدامها في تصوير طبوغرافيا السطوح.

الإلكترونات الممتصة: إنَّ آلية امتصاص الإلكترونات تعتمد بالدرجة الأساسية على متوسط العدد الذري لذرات الهدف، حيث يتناسب مع الدرجة الرابعة للعدد الذري في حالة حزمة من الأشعة السينية، وعلى الدرجة الثالثة لطول الموجة. أما طول المسار الحر الوسطي L يعطى بدلالة تركيز الذرات n ومقطع التشتت σ .

$$L = \frac{\int_0^{\infty} x e^{-n\sigma x} dx}{\int_0^{\infty} e^{-n\sigma x} dx} = \frac{1}{n \cdot \sigma} \quad (8)$$

هدف البحث وأهميته:

يهدف هذا البحث إلى حساب قيم المسار الحر الوسطي المرن L بدلالة تركيز الذرات n ومقطع التشتت σ باستخدام العلاقة (8). وبمساعدة قيم η_e التجريبية المتوفرة في المراجع ، ومن ثمَّ تحديد معامل الامتصاص α وربط معامل التشتت المرن ومعامل الامتصاص بالعدد الذري Z . وبعد ذلك مقارنة النتائج مع بعض قيم النماذج المتوفرة في المراجع [3-4-5]..

النتائج والمناقشة:

بعد الاستفادة من بعض القيم المرجعية لـ L تمَّ إيجاد قيم η_e لشريحة من النحاس تبعاً لمجال طاقة الحزمة الإلكترونية من العلاقة (7). وبعد ذلك حسبنا قيمة التكامل الموجود في علاقة η_e بمساعدة كود *Matlab* وذلك كما يلي [4]:

$$\theta_1 = 5^\circ \text{ و } \theta_2 = 44^\circ = 0.7679 \text{ rad} \quad \text{بين الزاويتين} \quad 0.0872 \text{ rad}$$

وذلك بعد تحويل الزاوية بالدرجات إلى الراديان، لأن الماتلاب يتعامل مع الزوايا مقدرة بالراديان.

تمَّ وضع كود ماتلاب لإجراء التكامل للعلاقات (٤) ، (٧) و (٨).

كود الماتلاب *Matlab Code* للحسابات والرسومات البيانية:

```
1-clc;close all; clear;
2-syms LEY
3-E=[250 360 500 920 1000 1500]; % eV
4-L=[8.3 10.5 12.5 19.5 20.1 27.5];% A
5-Z=29;N=8.45e-2;I=3.3540e05; % units in eV and A
6-d=L./E.^2;
7-f=(1/sin(x/2))^4*sin(x)*cos(x)/(1-cos(x));
8-I=double(int(f,4*pi/180,44*pi/180));
9-Y=25.92*pi*8.45e-2*3.3540e05*29^2*d;
10-plot3(E,L,Y),grid
11-plot(E,Y)
12-plot(L,Y)
```

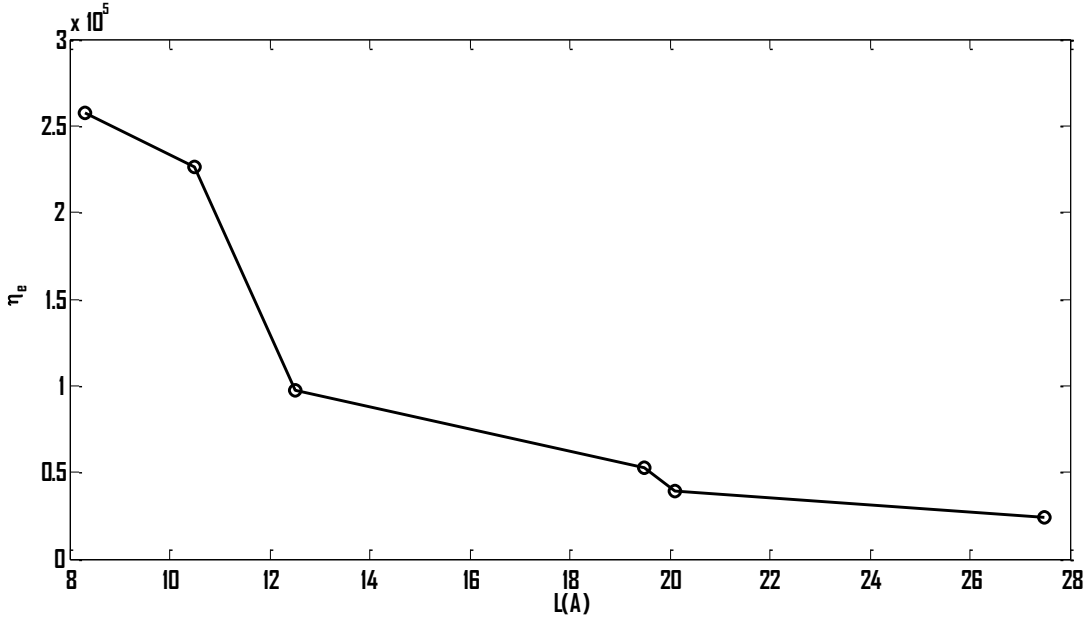
لقد قمنا بالاستفادة من البيانات المرجعية الخاصة بطاقة الموجة E وطول المسار الحر الوسطي L المدونة في الجدول 1 [5,4].

جدول 1 : يحتوي على بيانات طاقة الحزمة، وقيم المسار الحر الوسطي.

E (eV)	250	360	500	920	1000	1500
L (Å)	8.3	10.5	12.5	19.5	20.1	27.5
θ°	5	12.5	20.0	27.5	35.00	42.5

تأبيعية معامل التشتت المرن للمسار الحر الوسطي:

بعد إجراء التكامل وفق البرنامج المذكور أعلاه (Matlab) والتعويض في علاقة التشتت المرن تمَّ رسم الخط البياني $\eta_e = f(L)$ عند طاقة الحزمة الإلكترونية المدونة في الجدول 1 كما هو موضح في الشكل (2):

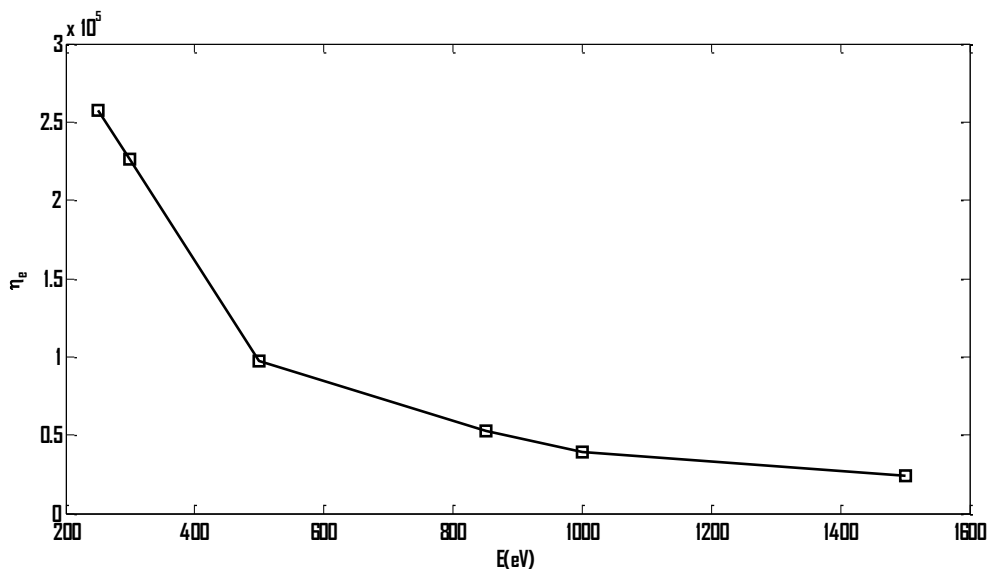


الشكل (2): معامل التشتت المرن η_e بتأبيعية المسار الحر الوسطي المرن L .

نلاحظ من هذا الشكل أن مردود التشتت يتناقص مع زيادة طول المسار الحر الوسطي، وذلك بسبب التأبيعية من الدرجة الثانية لطاقة الحزمة كما ورد في العلاقة (4). وتلعب قيمة جهد قوى ذرات الشريحة النحاسية دوراً في قيمة التشتت حيث أن تأثير الجهد يقلّ مع زيادة طاقة جسيم الحزمة، وبالتالي فإن الجسيم ذو السرعة العالية ينحرف قليلاً عندما يمر خلال منطقة الجهد [9].

* تأبيعية معامل التشتت المرن إلى طاقة الحزمة الإلكترونية:

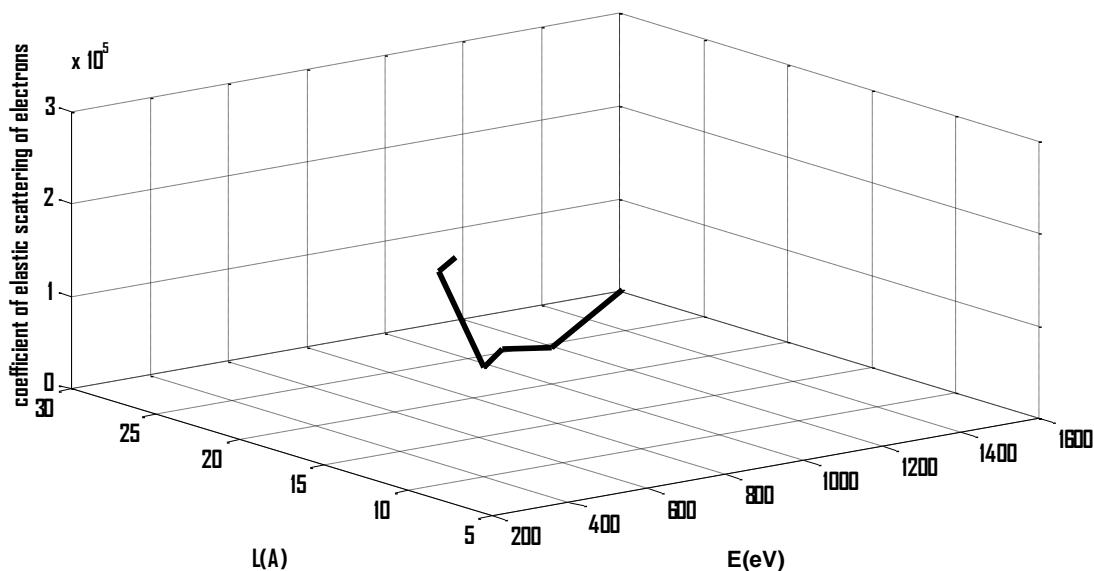
لدى استنتاج المسار الحر الوسطي اللامرّن بتأبيعية معامل التشتت وباستخدام الكود المذكور أعلاه تمَّ الحصول على بيانات تمَّ رسمها في الشكل (3).



الشكل (٣): مردود معامل التشتت المرن بتابعة طاقة الحزمة الإلكترونية الأولية.

• معامل التشتت المرن للإلكترونات ثلاثي الأبعاد:

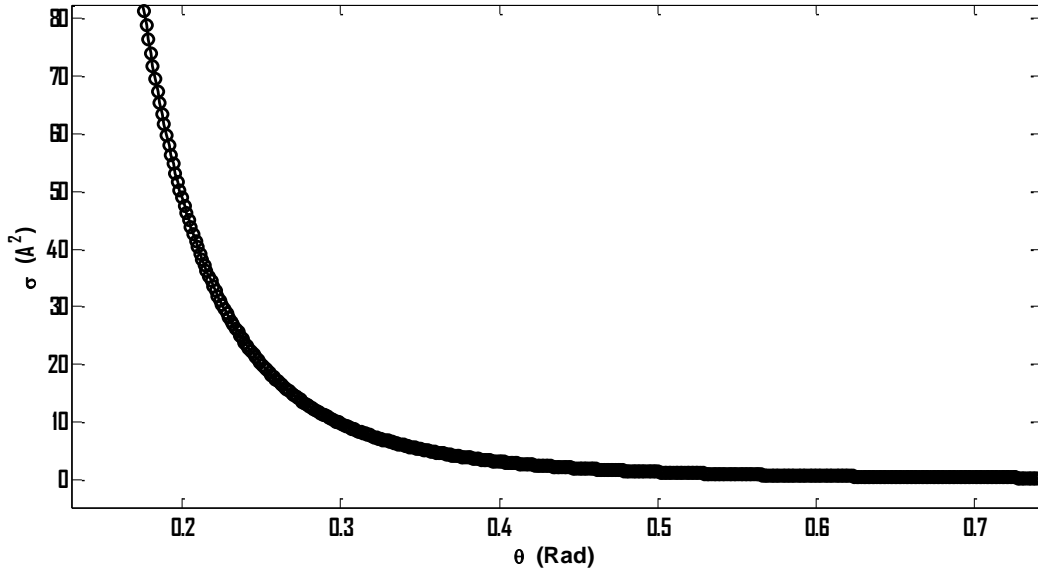
يظهر الشكل (٤) اعتماد معامل التشتت المرن للإلكترونات ثلاثي الأبعاد على L و E ، ويبيّن أن الزيادة في طاقة الحزمة يؤدي الى انحدار واضح في معامل التشتت المرن ويفسّر من خلال العلاقة العكسية ما بين طاقة الحزمة ومعامل التشتت، وهو من مرتبة $10^5 A^2 / S t$ [7-8].



الشكل (٤): معامل التشتت المرن للإلكترونات وفق مخطط ثلاثي الأبعاد

• مقطع تشتت زيرفورد

• يبين الشكل (٥) مقطع تشتت زيرفورد عند طاقة الحزمة $E=1.5\text{keV}$ على شريحة النحاس عند طاقة الحزمة وضمن مجال زاوية التشتت $5^\circ - 44^\circ$.



الشكل (٥): مقطع تشتت رزفورد بتابعية زاوية التشتت مقدره بالراديان

نلاحظ من هذا الشكل أن مقطع التشتت يتناقص مع الدرجة الرابعة لجيب نصف زاوية التشتت والواضحة أيضاً من العلاقة (٤).

الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث اجراء حسابات المقطع العرضي للتشتت $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_\theta$ ومردود التشتت المرن η_e .
١. نستنتج من هذا العمل أن معامل التشتت المرن و هو من مرتبة $10^5 A^2/st$. وتلعب النسبة بين

طول المسار الحر الوسطي وطاقة الحزمة $\frac{L}{E^2}$ دوراً مهماً في تناقص قيم معامل التشتت المرن لحزمة الالكترونات.

٢. نحصل على أقرب مسافة بين الجسيم المقذوف وجسيم ذرة الهدف من تساوي الطاقة الحركية مع الطاقة الكامنة (التشتت الكولوني).

٣. التشتت على نواة ذرة الهدف يتم عندما تساوي أقرب مسافة إلى $R_0 A^{1/3}$ حيث A العدد الكتلي لذرة

النحاس و $R_0 = 1.4 \times 10^{-7} \text{Å}$.

وذلك عندما نقارن أقرب مسافة مع نصف قطر المدار الاول لذرة النحاس وفق العلاقة :

$$R_{Cu} = \frac{a_0}{Z} = \frac{0.53}{29} = 0.018 \text{ Å}$$

المراجع

- [1] V. P. AFANAS, EV, P.S. KAPLYA and LOBANOV A, *Quantitative EPES*, Russia, 111250 Moscow, L va Tolstog-1982
- [2] G.J.POWELL, *Surf. Interface Analysis*, vol.7,(1985), 203
- [3] V.DOLINSKI, S.MROS AND M.ZAGORSKI, *determination of inelastic mean free path of electrons in silver and copper by measurement and calculation of elastic scattering coefficient*, Uni. Vroctaw Poland, 1988.
- [4] LEONARD G. , FELDMAN, JAMES WIMAYER, *Fundamentals of Surface and Thin Films Analysis*, North Holland, New York Amsterdam-1986
- [5] A. JABLONSKI, *Surf. Science*, vol.151.(1985), 166
- [6] LEONARD C., FELDMANN, JAMOS WIMAYER, *fundamentals of surface and thin film analysis*, North – Holland , London-1986
- [7] HAMZAWY A., *Compton scattering, radiation physics and chemistry* 119(2016),103
- [8] HERRER A., GOMES, *effect of monochromatic X- ray Bragg reflection on photoelectric cross section*, *Journal of electron spectroscopy and related phenomena* 180 (2010), 81
- [9] Nasser I, *Afaf Abedel Hady*, *Scattering theory*, Ch 18, 2011