حيود الالكترونات باستخدام بلورة الكرافيت

أسماء احمد عزيز

قسم الفيزياء، كلية التربية، جامعة تكريت، تكريت، جمهورية العراق

الملخص :

تتضمن هذه الدراسة التحقق من ان الإلكترون يتصرف كموجة وله طول موجي يمكن إيجاده باستخدام فرضية ديبرولي . استخدمت في هذه الدراسة بلورة الكرافيت كمحزز لحيود الالكترونات . وتم قياس المسافات البينية من رسم العلاقة البيانية بين أنصاف أقطار الدوائر المتداخلة كدالة للطول الموجي للإلكترون وكانت خطية وان الميل لهذا الرسم يمثل المسافات البينية للكرافيت d_1,d_2 . كما تم ملاحظة نموذج الحيود على الشاشة المتفلورة ، وكان بشكل دوائر متداخلة.

المقدمة :

في عام ١٩٢٤ طور العالم الفرنسي ديبرولي Debroglie فكرة الازدواجية في طبيعة الضوء والتي فرضتها النتائج التجريبية (الازدواجية في طبيعة الضوء يجب أن تقابل ازدواجية في طبيعة المادة) .

أن العلاقة بين زخم وطول موجة الفوتون هي علاقة عامة تنطبق على الفوتونات والجسيمات المادية الأخرى على حد سواء [1] . استخدم ديبرولي هذه العلاقة للجسيمات المادية ووفقاً لفرضيته فان كل جسيم ترافقه موجة طولها λ تربط بزخم الجسم حسب العلاقة الآتية :-

$$P = \frac{h}{\lambda} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$mv = \frac{h}{\lambda} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

حيث إن :

h ثابت بلانك

λ طول الموجة

استخدم كل من دافسن C.J.Davisson وكرمرL.H.Germer وثومسنG.P.Thomson في عام١٩٢٨ بلورة النيكل لحيود الالكترونات وتم أيجاد سرعة انطلاقها باستخدام العلاقات الكلاسيكية وذلك لان الطاقة الحركية للإلكترون تكون صغيرة وبالتالي سرعته صغيرة مقارنة مع سرعة الضوء [2] .

في حالة تعجيل الإلكترون بأعظم فولتية (12kV) فأن سرعة الإلكترون قد تصل إلى حوالي 22% من سرعة الضوء وهي سرعة قليلة لذلك تطبق العلاقة الكلاسيكية في حساب الطاقة الحركية للاكترون [3] .

لقد زادت البراهين العملية لإثبات فرضية ديبرولي ، ففي المانيا اجرى ايسترمان و شتيرن Estermann&Stern تجربتهم في حيود ذرات الهليوم بواسطة بلورة فلوريد الليثيوم وفي الولايات المتحدة الأمريكية قام جونسون Johnsonبحيود الهيدروجين ببلورة مماثلة، وجاءت جميع النتائج مطابقة لفرضية ديبرولي[4] .

أما الطول ألموجي المصاحب للالكترون فيمكن حسابه باستخدام قانون براك(Bragg Low) .

فرض براك تشتت الأشعة بذرات الشبيكة البلورية، على اعتبار أن المسافات الأساسية بين ذرات هذه البلورات هي بحدود الطول الموجي للإلكترون .

فلو سقطت أشعة موجية على نسق من الصفوف الذرية المنتظمة على شكل مستويات متوازية، فإذا كانت الأشعة المشتتة من الذرات الواقعة في مستويين متوازيين لهما نفس الطور فعندئذ تحدث ظاهرة التداخل البناء[5] .

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

$n = 1,2,3,4,\ldots\ldots$

حيث أن :

n رتبة الطيف .

λ طول موجة ديبرولي .

d المسافة الفاصلة بين مستويات براك .

θ الزاوية المحصورة بين الأشعة الساقطة ومستوى البلورة .

النظرية :

تنص فرضية دي برولي على أن الجسيمات المادية ترافقها حركة موجية فطول الموجة المرافقة لأي جسيم كتلته m ويتحرك بسرعة V :-

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

فإذا اكتسب جسيماً سرعة قدرهاV نتيجة تأثيره بفرق جهد قدره V_A فأن الطاقة الحركية للإلكترون E_k تصبح حسب العلاقة الآتية :-

$$E_k = eV_A = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{P^2}{2m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

$$P = \sqrt{2meV_A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

فيكون الطول الموجي المرافق للإلكترون كما ياتي :-

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV_A}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

حيث أن :

$J.sec = 6.62\times10^{-34}$

$e = 1.602\times10^{-19}C$

$m = 9.109\times10^{-19}$ kg

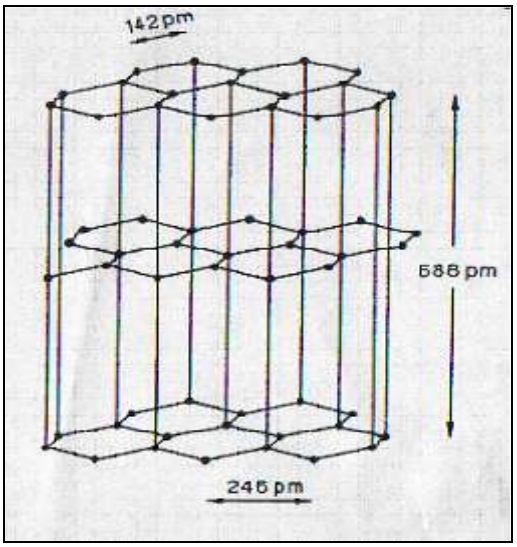
وبالتعويض عن h,e,m بما يساويها في المعادلة (6) ينتج :

$$\lambda = \frac{12.24}{\sqrt{V_A}} \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

فعند سقوط حزمة إلكترونية على بلورة الكرافيت . فأن كل ذرة من ذرات الكاربون تصبح مصدراً للإشعاع الإلكتروني كما مبين في الشكل (1) وأن اتجاه بعض هذه الذرات مع الحزمة الالكترونية يحقق شرط براك[6] :-

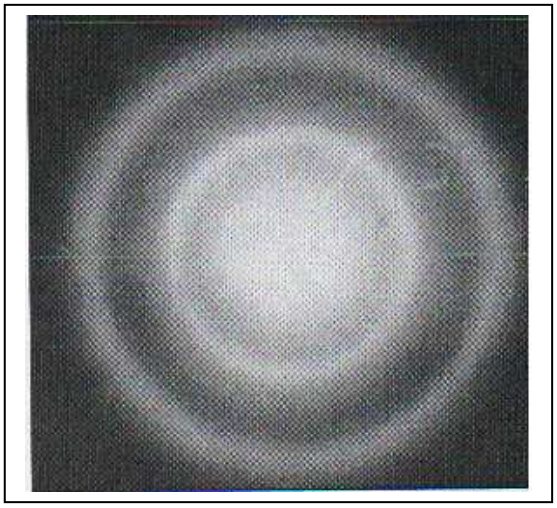
$$2d\sin\theta = n\lambda$$

حيثd يمثل المسافة البينية بين ذرات الكاربون في بلورة الكرافيت .



شكل (1): الترتيب البلوري للكرافيت

في هذه الدراسة تسقط الحزمة الالكترونية على بلورة من الكرافيت وأن أتجاه بعض هذه البلورات مع الحزمة الالكترونية يحقق شرط براك . وأن مجموع هذه الحزم سيشكل دوائر خضراء مضيئة متحدة المركز حول بقعة مضيئة في وسط الشاشة المتفلورة شكل (2) . وهذه البقعة ناتجة عن حزمة الإلكترونات (وليس عن الحيود) . وهذه البقعة مهمة جدا" لأنها تجعل قراءة دوائر الحيود المحيطة بها سهلة [7] .



شكل(2):دوائر الحيود المتكونة حول بقعة مضيئة

ويمكن حساب زاوية براك من خلال قياس أنصاف أقطار دوائر الحيود المتداخلة التي تظهر على الشاشة المتفلورة . ويجب أن نتذكر أن زاوية الانحراف α والتي تمثل ضعف زاوية θ [8] .

ومن العلاقة بين زاوية الانحراف وزاوية براك كما في الشكل (3) يكون لدينا :-

$$\alpha = 2\theta$$

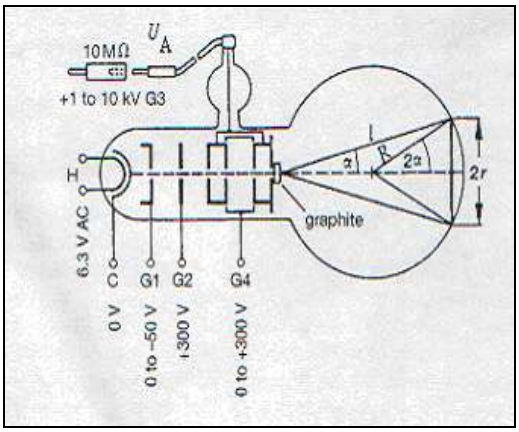
$$\sin 2\alpha = \frac{r}{R}$$

حيث أن :

R نصف قطر الأنبوبة الزجاجية .

r نصف قطر دائرة الحيود .

$$\therefore \sin 2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha \quad \text{.....(9)}$$



شكل (3): العلاقة بين زاوية الانحراف و زاوية براك وكذلك يبين ربط مجهز القدرة مع أنبوبة حيود الإلكترون .

وعند الزوايا الصغيرة مثلا" $\cos 10^o = 0.985$

$$\therefore \sin 2\alpha \cong 2\sin\alpha \quad \text{.....(10)}$$

كذلك لزوايا براك الصغيرة يمكن أن تقرب :

$$\sin\alpha = \sin 2\theta \cong 2\sin\theta \quad \text{.....(11)}$$

وبالتالي نحصل على نصف القطر لدائرة الحيود :

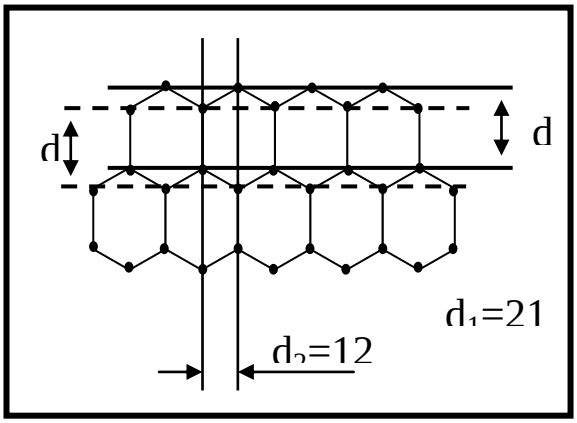
$$r = \frac{2R}{d}.n.\lambda \quad \text{.....(12)}$$

for $n = 1$

$$\therefore r = \frac{2R}{d}\left(12.24/\sqrt{V_A}\right) \quad \text{.....(13)}$$

وأن دوائر الحيود المتداخلة تحدث نتيجة انعكاس المستويات البلورية والتي تبعد عن بعضها البعض d_1, d_2 والموضحة في شكل (4) [9] .

ومن الجدير بالملاحظة أن الشدة لدوائر الحيود في مراتب الطيف التي أكبر من الواحد n>1 تكون اقل بكثير من شدة الضوء عندما تكون n=1 شكل (2) .



شكل (4): مستويات بلورة الكرافيت للدائرتين الأولى المنعكسة

الهدف من البحث:

١- التحقق من ان الالكترون يتصرف كموجة ويمكن ايجاد الطول الموجي له بتطبيق فرضية دي برولي باستخدام بلورة الكرافيت كمحزز لحيود الالكترونات .

٢- إيجاد المسافات البينية للكاربون في بلورة الكرافيت .

الجانب العملي

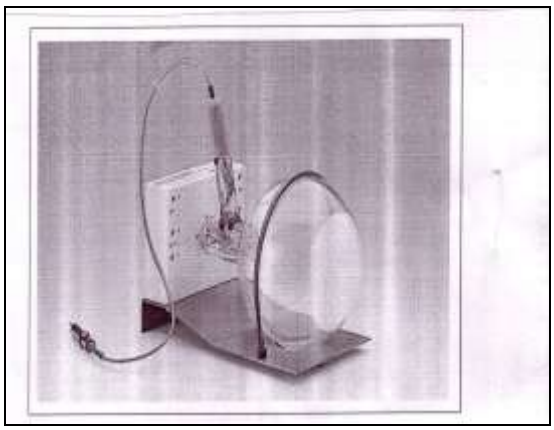
الأجهزة المستخدمة:

١- أنبوبة حيود الإلكترون :

وهي عبارة عن أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء قطرها حوالي (130mm). تحتوي على قاذفة الكترونية تعطي حزمة ضيقة من الالكترونات شكل(5) . تتكون القاذفة الالكترونية من فتيلة Filament 6.3 A.C وأربعة شبكات Grids (G1,G2,G3,G4).

ويوجد في نهاية القاذفة الالكترونية وعلى مسافة معينة منها طبقة رقيقة جداً من الكرافيت بحيث تسقط الحزمة الالكترونية عمودياً عليها. وبعد حيود الالكترونات من قبل بلورة الكرافيت تسقط على شاشة مغطاة بمادة متفلورة في نهاية الأنبوبة[8] .

وهذه الأنبوبة من صنع شركة PHYWE الألمانية طراز 0672100 .



شكل (5): أنبوبة حيود الإلكترون

٢- وحدة مجهز الفولتية العالي High Voltage supply unit ,O…10 kV

وهذه الوحدة من شركة PHYWE الالمانية طراز 113670.93 .

٣- مقاومة عالية القيمة تصل إلى حوالي 10 ميكا اوم. High-value Resistor,10M Ohm

وتعمل هذه المقاومة كحماية(Protective resistor) تربط بين H.V والانود G3 حيث تعمل كانحياز تلقائي an out bias اذا لم تستخدم مجهز قدرة خارجي[11] . وهذه المقاومة من صنع شركة PHYWEالألمانية طراز 07160.00 .

٤- أسلاك ربط Connecting Cords

٥- مجهز قدرة Power Supply, 0…600 VDC

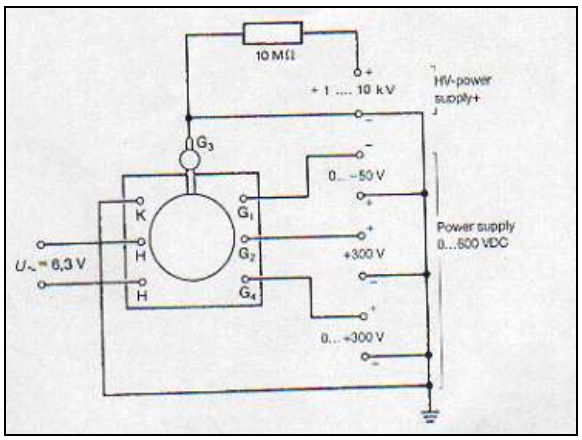
هذا المجهز ايضاً من شركة PHYWE طراز 13672.93 .

٦- فيرنية Venire

ولأجل قياس طول الموجة للإلكترون تربط الأجهزة الكهربائية كما موضح في الشكل (6) . ثم نسلط فرق جهد مناسب حول نهايتي الفتيلة وننتظر دقيقة واحدة لكي تسخن وتتوهج الفتيلة. ثم نبدأ بتسليط فرق جهد بخطوات منتظمة على الانود وبزيادة مقدارها 500 V في كل مرة . فنلاحظ نموذج الحيود على الشاشة المتفلورة (عبارة عن دائرتين متحديتي المركز حول بقعة مضيئة) . حيث ان قسم من الالكترونات نكتسب طاقة حركية مساوية للصفر ويمكن تعجيلها بزيادة فولتية الانود V (5000-2000) [11] .

تم قياس نصف قطر دائرة الحيود الأولى والثانية بواسطة الفيرنية، وحتى تكون العملية اكثر دقة نقيس نصف القطر (الحافة الداخلية) ونصف القطر الخارجي (الحافة الخارجية) للدائرة الواحدة ومن ثم نأخذ المعدل .

وهكذا نزيد فرق الجهد 500 V في كل مرة ثم نقيس أنصاف أقطار دوائر الحيود. ولأجل أن نأخذ القياسات بصورة دقيقة وواضحة يجب أن تكون غرفة القياسات مظلمة جدا .



شكل(6): الدائرة الكهربائية

النتائج والحسابات:

بعد ربط الدائرة الالكترونية وتوفير شرط كون الغرفة مظلمة تم اخذ القياسات المدرجة والخاصة بقيم فولتية الانود V_A مع معدل أنصاف اقطار دوائر الحيود $r_1(mm)av$, $r_2(mm)av$ ثم نجد $\lambda(Pm)$ بتطبيق العلاقة (7) .

ثم ترتب النتائج كما مبين في جدول (1) .

جدول (1) : يمثل فولتية الانود $V_A(kV)$ مع $r_1(mm)av$, $r_2(mm)av$ و $\lambda(Pm)$.

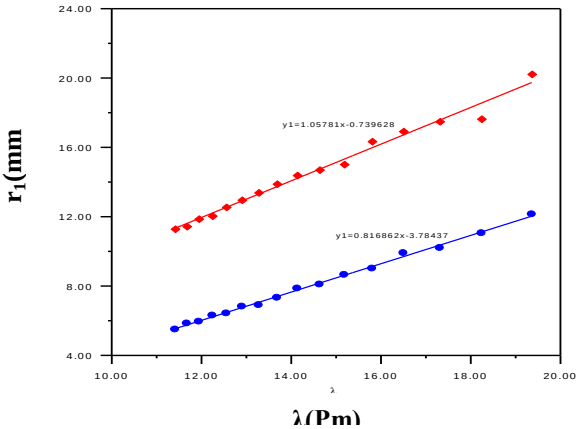
V_A(KV)	r_1(mm)av.	r_2(mm)av.	$\lambda(Pm)$
4.0	12.14	20.24	19.36
4.5	11.05	17.65	18.24
5.0	10.20	17.50	17.31
5.5	9.91	16.93	16.50
6.0	9.01	16.35	15.80

6.5	8.65	15.03	15.18
7.0	8.09	14.71	14.63
7.5	7.86	14.40	14.13
8.0	7.33	13.90	13.68
8.5	6.90	13.40	13.27
9.0	6.82	12.97	12.90
9.5	6.43	12.56	12.55
10.0	6.30	12.05	12.24
10.5	5.95	11.88	11.94
11.0	5.85	11.45	11.67
11.5	5.50	11.30	11.41

وبرسم القيم $r_1(mm)av$ و $r_2(mm)av$ كدالة للطول الموجي $\lambda(Pm)$ ولأيجاد أفضل قيمة تم أستخدام معادلة الخط المستقيم التالية :

$$y = Ax + B$$

ومن الشكل (7) نحصل على الميل الأول والميل الثاني :



شكل (7) : معدل أنصاف أقطار الدائرتين الأولى والثانية كدالة للطول الموجي

$$Slope1 = 0.816$$

$$Slope2 = 1.057$$

وبتطبيق العلاقة(12) نجد قيم المسافات:-

$$d_1 = \frac{2R}{Slope1}$$

$$d_2 = \frac{2R}{Slop2}$$

$$\therefore d_1 = \frac{130}{0.81} = 162(Pm)$$

$$d_2 = \frac{130}{1.05} = 123.8(Pm)$$

وبمقارنة هذه القيم مع القيمة النظرية والموضحة في شكل (4) .

$$d_1 = 213Pm$$

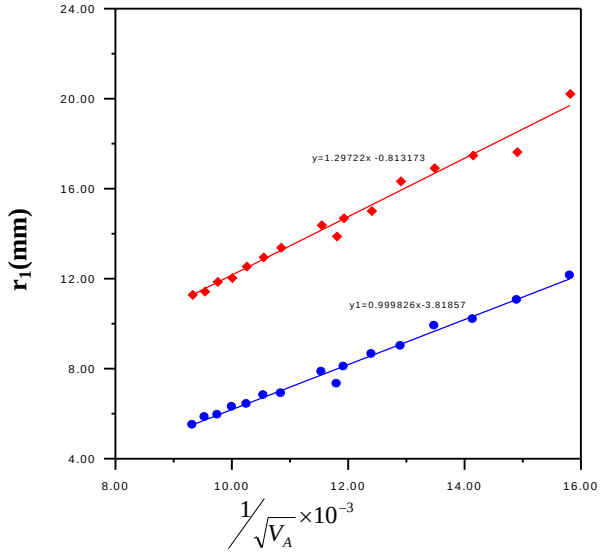
$$d_2 = 123Pm$$

كذلك رتبت قيم فولتية الانود $V_A(kV)$ مع معدل انصاف اقطار دوائر الحيود $r_1(mm)av$ و $r_2(mm)av.$ مع مقلوب جذر فولتية الانود $1/\sqrt{VA}$ كماموضح في الجدول (٢) .

جدول(٢) : يمثل فولتية الانود $V_A(kV)$ و معدل انصاف اقطار دوائر الحيود $r_1(mm)av.$ و $r_2(mm)av.$ و مقلوب جذر فولتية الانود $1/\sqrt{VA}$.

$V_A(kV)$	$r_1(mm)av.$	$r_2(mm)av.$	$1/\sqrt{V_A}\times10^{-3}$
4	12.14	20.24	15.81
4.5	11.05	17.65	14.90
5.0	10.20	17.50	14.14
5.5	9.91	16.93	13.48
6.0	9.01	16.35	12.90
6.5	8.65	15.03	12.40
7.0	8.09	14.71	11.92
7.5	7.86	14.40	11.54
8.0	7.33	13.90	11.80
8.5	6.90	13.40	10.84
9	6.82	12.97	10.54
9.5	6.43	12.56	10.25
10.	6.30	12.05	10.00
10.5	5.95	11.88	9.75
11.0	5.85	11.45	9.53
11.5	5.50	11.30	9.32

تم رسم العلاقة لانصاف الاقطار ($r_1(mm)av$ و $r_2(mm)av.$) كدالة لمقلوب جذر فولتية الانود $1/\sqrt{V_A}\times10^{-3}$ كما موضحة بالشكل (8). وتم استخدام الخط المستقيم وايجاد الميل له وكما مبينة ادناه:



شكل (8) : معدل أنصاف أقطار دوائر الحيود المتداخلة كدالة لمقلوب جدر فولتية الانود

$$Slope1 = 0.99$$

$$Slope2 = 1.29$$

وبتطبيق العلاقة (13) ينتج :

$$d_1 = \frac{2R(12.24)}{Slope1}$$

$$\therefore d_1 = 161Pm$$

$$d_2 = \frac{2R(12.24)}{Slope2}$$

$\therefore d_2 = 123.3Pm$

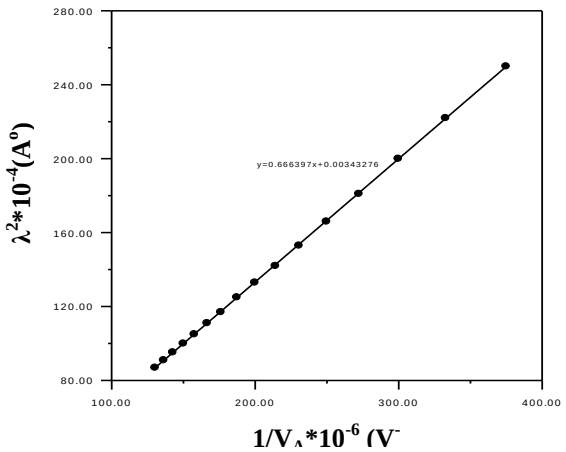
كذلك تم ترتيب قيم مربع الطول الموجي λ^2 ومقلوب فولتية الأنود $1/V_A$ (V^{-1})

وكما موضح في الجدول (3) .

جدول (3) : يمثل مربع الطول الموجي λ^2 مع مقلوب فولتية الأنود $1/V_A$ (V^{-1})

$\lambda^2 x10^{-4}$ (Å)	$1/V_A$ x10^{-6} (V^{-1})
374.8	250
332.6	222
299.6	200
272.2	181
249.6	166
230.4	153
214.0	142
199.6	133
187.1	125
176.0	117
166.4	111
157.5	105
149.8	100
142.5	95.2
136.1	90.9
130.1	86.9

كما تم رسم العلاقة بين λ^2 كدالة لمقلوب فولتية الأنود $1/V_A$. وكانت العلاقة خطية وطردية كما موضحة في الشكل (9) .



شكل (9) : مربع الطول ألموجي للإلكترون كدالة لمقلوب فولتية الانود .

تحليل النتائج :

بتطبيق فرضية ديبرولي وقانون بلانك يمكن أيجاد الطول الموجي للإلكترون . وبرسم العلاقة البيانية بين أنصاف أقطار دائرتي الحيود الاولى والثانية كدالة للطول الموجي للإلكترون كانت العلاقة خطية وطردية. ويعزى هذا إلى إن الزيادة في الطول الموجي للإلكترون تقابلها زيادة في أنصاف أقطار دائرتي الحيود الاولى والثانية شكل (7) . وبمعرفة قيمة الميل وتطبيقه في العلاقات النظرية تم إيجاد d_1,d_2 بنسبة خطأ مئوي لا تتجاوز 30% بالنسبة لd_1 بينما كانت قيمة 0.08% ل d_2 .

تعتمد دقة القيمة العملية للمسافات البينية d_1,d_2 بصورة أساسية على مدى الدقة في قياس r_1,r_2 وكذلك على مدى العتمة في غرفة القياس[12] .

أما بالنسبة للعلاقة البيانية بين مقلوب جذر فولتية الانود $\frac{1}{\sqrt{V_A}}\times10^{-3}$ مع $r_1(mm)$, $r_2(mm)$ فتكون خطية وطردية أي أن العلاقة بين فولتيه الانود وأنصاف أقطار دوائر الحيود الأولى والثانية علاقة عكسية. وبالتالي فان العلاقة بين مقلوب الفولتية $\frac{1}{\sqrt{V_A}}\times10^{-3}$ مع مربع الطول الموجي λ^2 كانت خطية وطردية وبالتالي أن العلاقة بين V_A مع λ^2 علاقة عكسية .

المصادر :

١- الخفاجي، طالب ناهي و عباس حمادي وهرمز موشي، الفيزياء الذرية (الجزء الأول) ، ص ٢٣٦: ، طبعت بمطابع جامعة بغداد (١٩٨٠) .

٢- ارثر بيريز ، ترجمة منعم مشكور و شاكر جابر، مفاهيم في الفيزياء الحديثة ، ص٩٥ : تأليف ، طبع بمطابع جامعة الموصل (١٩٧٣) .

3- Phywe university Laboratory Experiments, Germany 1980.

٤- الجبوري، محمد احمد و كمال نصر عبد النور، الفيزياء الحديثة ، ص ٢١٠ ، طبع بمطابع دار الكتب للطباعة والنشر – جامعة الموصل ١٩٨٣.

٥- يوسف، مؤيد جبرائيل، فيزياء الحالة الصلبة (الجزء الأول) ، ص٢٥٥ :، طبع بدار الكتب للطباعة والنشر – جامعة الموصل (١٩٨٧) .

6- J.C. willmott, J.W. Arrowsmithy Atomic physic, Ltd 1978 .

7- F.J. Blatt, Modern physice Experiment, 2000 .

٨- الشماع، سالم حسن و خليل إبراهيم سعيد، تجارب في الفيزياء الحديثة، ص٥٩ : ، دار الكتب للطباعة والنشر– جامعة الموصل (١٩٩٢) .

9-Phywe series of publicatation, phywe system GMBH,37070 Germany.

10- http://.www.ph.utexas.edu/phy 453,2005 ,

١١- ف. بوش ، ترجمة د.سعيد الجزيري، د. محمد أمين سليمان ،أساسيات الفيزياء ، ص ١٠٦٤طبع بمطابع الدار الدولية للنشر والتوزيع– القاهرة (١٩٩٢) .

12-Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes (Academic Press) P. 25,(1996).

Electron Diffraction using Crystal Graphite

Asmaa Ahmed Aziz
Department of Physics, College of Education, University of Tikrit, Tikrit, Iraq

Abstract:

In This research demonstrate that electrons behave as waves and their wavelength is given by Debroglie formula . The Crystal lattice of graphite used as a grating to study diffraction of electrons, by which we measured crystal spacing from the relationship between radii of tow interference rings as a fuction of wavelength of electrons was indeed linear, and the slope of this graph was determine the crystal spacing d_1,d_2 .

And was observed diffraction pattern consists of interference rings on the florescent screen.

Key Words: Electron, Diffraction, Debroglie