

## تأثير شحنة الفراغ في التصميم النظري لقاذف الكتروني يعمل تحت ظرف التكبير الصفري

سمير خضر ياسين\*

انتهاه احمد محمد\*\*

استلام البحث 20، كانون الاول، 2012  
قبول النشر 11، اذار، 2014

### الخلاصة:

يتضمن البحث اجراء دراسة نظرية في مجال بصريات الجسيمات المشحونة وذلك بالاستعانة بطرائق التحليل العددي (طريقة العناصر المحددة) وبأستخدام الحاسوب الشخصي ، تم ايجاد تصميم لقاذف الكتروني مع الاخذ بنظر الاعتبار تأثير شحنة الفراغ في التصميم المقترح.  
تم حساب توزيع الجهد المحوري لعدسة مغمورة ثنائية الاقطاب تعمل تحت ظرف التكبير الصفري مع وجود تأثيرات شحنة الفراغ وذلك بحل معادلة بواصون ، ومن حل معادلة الشعاع المحوري تم حساب الخواص البصرية مثل البعد البؤري ومعامل الزيغ الكروي ومعامل الزيغ اللوني، كذلك تم حساب قيم الأضائة والأنتشارية للعدسة.  
تم ايجاد شكل الاقطاب والذي يعطي قيم زيوغ قليلة حيث رسمت الاقطاب ببعدين وبثلاثة ابعاد باستخدام برنامج ساميون 7 SIMION كذلك تم ايجاد شكل المسار الذي يمكن الحصول عليه من هذه الاقطاب.

الكلمات المفتاحية: البصريات الالكترونية، العدسة المغمورة ، طريقة العناصر المحددة، برنامج ساميون، شحنة الفراغ.

### المقدمة:

العالي حيث وضحا ان الانحراف الذي يحصل في تيار القاذف هو نتيجة تأثير شحنة الفراغ [5].  
استمرت دراسات عديدة في هذا المجال في حيث اجرى العالم Qasseer عام 1998 دراسة حول تأثير شحنة الفراغ في تصميم عدسة كهروستاتيكية اذ اخذ عدستين وعدهما عدسة واحدة [2].

ان اختيار تأثير شحنة الفراغ في تصميم القاذف الالكتروني نتيجة لكثافة التيار العالي الذي يؤدي الى انحراف في تيار القاذف وهذا يعني زيغ اضافي للعدسات الكهروستاتيكية بالإضافة الى الزيوغ الاخرى.

### الجزء النظري:

تم استخدام طريقة التحليل لتصميم عدسة مغمورة ثنائية الأقطاب حيث تم اولا اختيار شكل مناسب لأقطاب العدسة ذات جهود مناسبة لغرض دراسة توزيع الجهد المحوري (V) field Electrostatic distributions لهذه العدسة كما تم دراسة الخواص البصرية لهذه العدسة من بعد بؤري وزيوغ ( الكروية واللونية) وذلك بأستخدام برامج حاسوبية وضعت من قبل العالم Munro [6]

البصريات الألكترونية هي فرع من فروع فيزياء الألكترون والذي يتعامل مع حركة الجسيمات المشحونة (الكترونات وأيونات ) في المجالين الكهربائي والمغناطيسي. وان المجالات الالكتروستاتيكية تنتج من مجموعة من الأقطاب وان لكل قطب جهد ملائم (أي ان لكل قطب جهد) وبذلك تكون العدسة نظاماً ذات قطب متماثل محوريا وان هذه العدسات تستخدم لتبئير الحزم الالكترونية [1]

تعتبر النظريات التي وضعت لدراسة البصريات الضوئية ملائمة لحل مسائل البصريات الألكترونية حيث ولدت البحوث الأولى في العشرينات ثم تطورت بعد ذلك بصورة كبيرة [2].

يعتبر القاذف الالكتروني المصدر الرئيسي للحزم الالكترونية والجزء المهم لاي نظام بصري الكتروني ، تتألف القاذفة من مصدر لانبعثات الألكترونيات الحرة والذي يمثل الكاثود وأقطاب لتشكل الحزمة والسيطرة عليها وتركيزها وتعجيلها والتي تمثل أنود. [3]

لقد شهد عام 1911 ولادة اولى البحوث المتعلقة بشحنة الفراغ اذ وضع العالم Child دراسة توضح تأثير شحنة الفراغ في تحديد تيار القاذف . [4] ولوحظ في بداية الخمسينات الانحراف الذي يحصل في تيار القاذف بالاستناد الى نظرية Flower-Nordhin من قبل العالمين Dyke and Cowerkers نتيجة لكثافة التيار

\*قسم الحاسبات -كلية التربية للبنات -جامعة بغداد

\*\*قسم الفيزياء -كلية التربية-ابن الهيثم للعلوم الصرفة والتطبيقية -جامعة بغداد

$$C_{c_0} = \frac{U^{1/2}(z_0)}{r_0^2} \int_{z_0}^z \left[ \frac{1}{2} \frac{U'(z)}{U(z)} r'(z)r(z) + \frac{U''(z)}{4U(z)} r^2 \right] U^{-1/2}(z) dz \quad (4)$$

وبعد اختيار العدسة المناسبة ودراسة خواصها البصرية تم حساب خواص القاذف الالكتروني من كثافة التيار J [9]، تيار القاذف الالكتروني والاضاءة او السطوعية B [1] والانتشارية P [10] من المعادلات الآتية وعلى التوالي:

$$Jc = 0.0233 \frac{Va^2}{d^2} \quad (5)$$

$$I = \pi r^2 J \quad (6)$$

$$B = \frac{I}{(\pi r \gamma)^2} \quad (7)$$

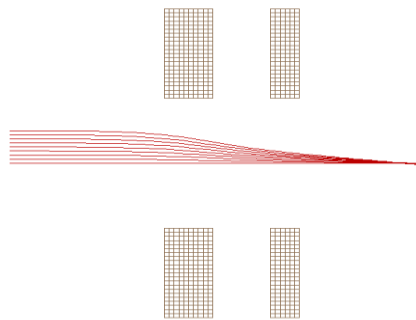
$$P = \frac{I}{V^{3/2}} \quad (8)$$

$J_c$  هي كثافة التيار المحدد بشحنة الفراغ  $V_a$  هو الجهد على الانود،  $d$  المسافة بين الاقطاب،  $(\gamma)$  بزاوية نصف قطرية.

### النتائج والمناقشة:

تم تصميم عدسة مغمورة ثنائية القطب بطول 22mm ذات زيوغ قليلة تعمل كعدسة معجلة لقاذف الكتروني في حالة التكبير الصفري، وباستخدام برنامج 7 Simion تم رسم اقطاب العدسة بابعاد ثلاثية وثنائية.

حيث يوضح الشكل (1) رسم ثنائي الابعاد لاقطاب العدسة حيث يبين الشكل (1a) مسار الحزمة الالكترونية ونقطة تبنيها والشكل (2b) يبين خطوط المجال الكهربائي بين الاقطاب بالاضافة الى مسار الحزمة الالكترونية ونقطة تبنيها



1a يوضح المسار بدون خطوط تساوي الجهد

باستخدام طريقة العناصر المحددة (Finite Element Method) تم حساب توزيع الجهد المحوري لهذه العدسة من خلال حل معادلة بواسون Poisson's Equation [1]

$$\nabla^2 V = \frac{-\rho}{\epsilon_0} \quad (1)$$

$\rho$  هي كثافة شحنة الفراغ (Space charge density)

$\epsilon_0$  تمثل سماحية الفراغ (Permittivity of free space)

$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$  بعد ان يتم حساب توزيع الجهد المحوري للعدسة الكهروستاتيكية التي تعمل تحت ظرف التشغيل الصفري تحل معادلة الشعاع المحوري [7].

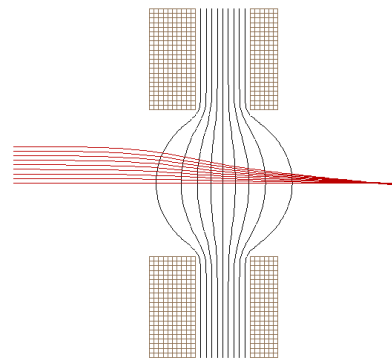
$$\frac{\partial^2 r}{\partial z^2} + \frac{U'(z)}{2U(z)} \frac{\partial r}{\partial z} + \frac{U''(z)}{4U(z)} r = \frac{I}{2\pi\epsilon_0 (2\eta U)^{1/2} R} \quad (2)$$

حيث  $R$  تمثل المسافة على المحور و  $\eta$  تمثل النسبة بين الشحنة/كتلة الألكترون والتي يرمز لها عادة بالرمز  $q/m$  و  $\pi = 3.14$  ثابت  $I$  يمثل تيار القاذف الإلكتروني ويقاس بوحدتي الامبير A و  $U'$  هي المشتقة الاولى والثانية للجهد المحوري  $U$ .

من حل معادلة الشعاع المحوري يتم حساب الخواص البصرية: معامل الزيغ الكروي Cs (Spherical aberration) ومعامل الزيغ اللوني Cc (Chromatic aberration) وذلك باستخدام المعادلات ادناه [8]:

$$C_{s_0} = \frac{U^{-1/2}(z_0)}{16r_0^4} \int_{z_0}^z \left[ \frac{5}{4} \left( \frac{U''(z)}{U(z)} \right)^2 + \frac{5}{24} \left( \frac{U'(z)}{U(z)} \right)^4 \right] r^4(z) + \frac{14}{3} \left( \frac{U'(z)}{U(z)} \right)^3$$

$$r'(z)r^3(z) - \frac{3}{2} \left( \frac{U'(z)}{U(z)} \right)^2 r^2(z)r^2(z) \} U^{1/2}(z) dz \quad (3)$$



1b يبين خطوط تساوي الجهد

الشكل 2 شكل ثنائي الابعاد لعدسة ثنائية الاقطاب

تم اخذ قيم مختلفة للتيار ابتداء بالقيم القليلة  $I=10^{-7}$  A ومن ثم الارتفاع بهذه القيم ودراسة تأثير تغير التيار في قيم الزيوغ ولما كان تأثير شحنة الفراغ واضحا في القيم العالية فقد تم التوصل الى قيم مقبولة للزيوغ عند  $I=10^{-4}$  A ودرس بعد ذلك تأثير العوامل الاخرى في قيم الزيوغ.

الشكل (5) يمثل العلاقة بين معاملات الزيوغ الكروية واللونية النسبية مع تغير قيم التيار، حيث نلاحظ زيادة معامل الزيغ الكروي Cs/f ومعامل الزيغ اللوني Cc/f بأزدياد قيم التيار، افضل القيم التي تم الحصول عليها عندما  $I=10^{-4}$  A حيث  $Cc/f=0.8997$  و  $Cs/f=1.23$ .

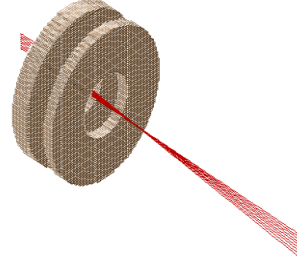
ولحساب معاملات الزيوغ الكروية واللونية تمت الاستعانة بالمعادلة (3) لحساب الزيغ الكروي والمعادلة (4) لحساب الزيغ اللوني.

الشكل (6) يبين العلاقة بين معامل الزيغ الكروي النسبي واللوني النسبي كدالة لنسب الجهود المعجلة  $V_i/V_o$  (حيث ان  $V_o$  هو الجهد في جانب الجسم و  $V_i$  هو الجهد في جانب الصورة) عند قيمة ثابتة للتيار  $I=10^{-4}$  A اذ نلاحظ ان معاملات الزيوغ الكروية واللونية تقل بزيادة الجهود المعجلة حيث انه عند قيمة الجهد المعجل 2 فان  $Cs/f=2.9$  و  $Cc/f=2.3$  وعند زيادة نسب الفولتية الى قيمة 16V فان  $Cs/f=1.96$  و  $Cc/f=1.2$  وهذه قيم مناسبة في تصميم مثل هذا النوع من العدسات.

تمت دراسة تأثير تغير نسبة الجهد  $V_i/V_o$  في الزيوغ نسبة الى طول العدسة L حيث ان الشكل (7) يبين تغير معاملات الزيوغ الكروية واللونية نسبة الى طول العدسة Cs/L و Cc/L مع تغير  $V_i/V_o$  حيث يلاحظ ان قيم الزيوغ تقل بزيادة الفولتية المعجلة فعند قيمة 2 لنسبة الفولتية فان  $Cs/L=45$  و  $Cc/L=16$  وبزيادة الفولتية لقيمة 30V تصبح قيمة معاملات الزيوغ  $Cs/L=5$  و  $Cc/L=2$ .

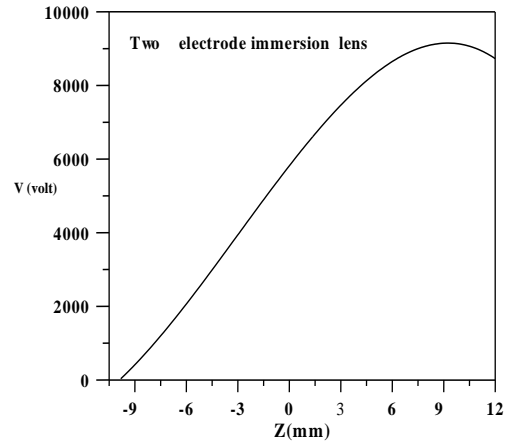
يتضح من الشكلين (6 و 7) ان قيم الزيوغ اللونية اقل من قيم الزيوغ الكروية التي يمكن الاستفادة منها في تصميم العدسات لقاذف الكتروني ان السبب الرئيسي للزيغ الكروي هو ان الالكترونات الخارجية تنثر في نقطة اقرب الى العدسة من الالكترونات القريبة من المحور (الالكترونات المحورية) لذلك فان الالكترونات الخارجية تملك مسافات بؤرية اقصر من الالكترونات المحورية.

ومن استخدام البرنامج ذاته يبين الشكل (2) رسم ثلاثي الابعاد لعدسة ثنائية القطب كما يبين الحزمه الالكترونية ونقطة تبئرها.



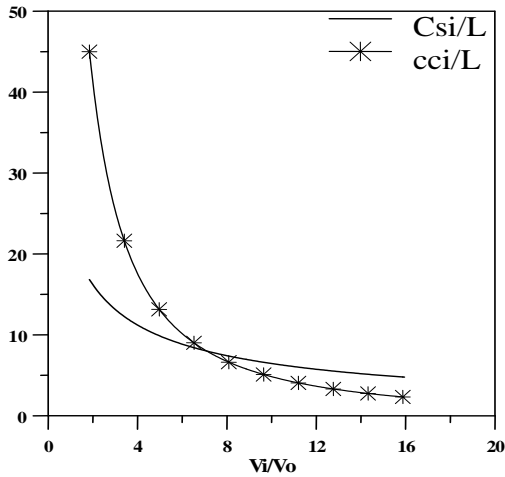
الشكل 2 يوضح رسم ثلاثي الابعاد لعدسة ثنائية الاقطاب كما يوضح مسار الحزمه الالكترونية والتي تم رسمها باستخدام برنامج Simion 7

• يوضح الشكل (3) توزيع الجهد المحوري على طول المحور البصري Z للعدسة التي تم حسابها من معادلة (1)



شكل 3 يمثل توزيع الجهد لعدسة ثنائية القطب مغمورة بطول 22mm

يبين الشكل (4) مسار الحزمه الالكترونية للعدسة المغمورة التي تم حسابها من المعادلة (2) لقد تمت دراسة الخواص البصرية لهذه العدسة تحت تأثير حالة التكبير الصفري عند تغيير نسب الجهود (2-16)



شكل 7 يمثل العلاقة بين معامل الزيغ الكروي واللوني نسبة الى طول العدسة مع نسب الجهود

بعد الحصول على عدسة الكترولستاتيكية مغمورة ثنائية الاقطاب ذات خواص بصرية جيدة ذات زيوغ كروية ولونية قليلة وكما تم ذكرها سابقاً) قمنا بدراسة خواص هذه العدسة من كثافة تيار، وتيار القاذف، اضاءة، انتشارية والتي تم حسابها من المعادلات (5-8) على التوالي

وباستخدام  $r=100\text{nm}$

$$I=4*10^{-4}\text{ A}$$

$$J=1.3*10^9\text{ A/m}^2, B=1.622*10^{14}$$

$$\text{A/m}^2 \text{ st ra d}$$

$$P=1.7*10^{-11}\text{ A/V}^{3/2}$$

#### الاستنتاجات:

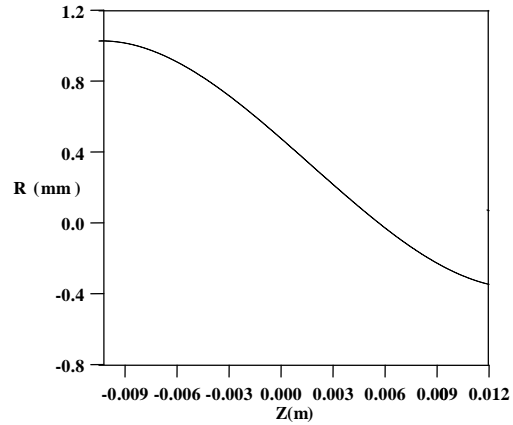
1. وجد انه بزيادة قيم التيار تزداد قيم معاملات الزيوغ الكروية والنسبية واللونية النسبية حيث تم التوصل الى افضل قيم للزيوغ الكروية النسبية  $Cs/f=1.23$  والزيوغ اللونية النسبية  $Cc/f=0.899$  عندما  $I=1*10^{-4}\text{ A}$

2. وجد ان معاملات الزيوغ الكروية واللونية نسبة الى البعد البؤري تقل بزيادة الفولتية المعجلة فعند نسبة الجهد 2 فإن  $Cs/f=2.3$  و  $Cc/f=2.85$  وعندما نسبة الجهد 16 فإن  $Cs/f=1.7$  و  $Cc/f=1.25$ .

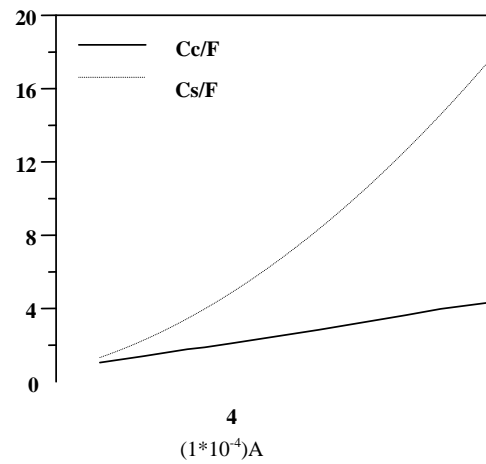
3. لوحظ ان معاملات الزيوغ الكروية واللونية نسبة الى طول العدسة تقل بزيادة نسب الفولتية المعجلة عندما نسبة الجهد 2 فإن  $Cs/L=16$  و  $Cc/L=45$  وعند نسبة الجهد 16 فإن  $Cs/L=5.2$  و  $Cc/L=0.98$ .

#### المصادر:

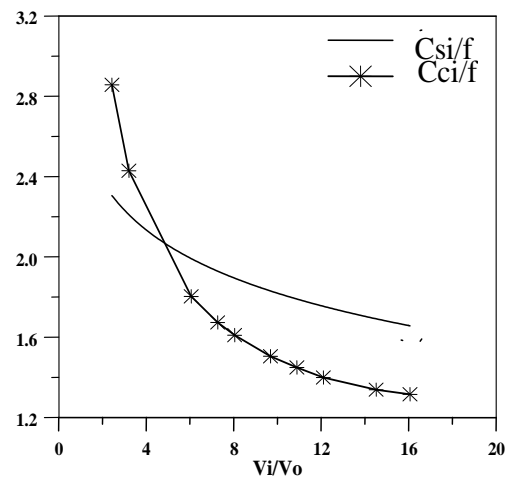
1. Szilgyi, M. (1988), Electron and ion optics, Plenum press, NewYork, (539)pages



شكل (4) يوضح مسار الحزم الالكترونية للعدسة المغمورة ثنائية الاقطاب في حالة التكبير الصغرى.



شكل (5) يمثل العلاقة بين معامل الزيغ الكروي النسبي واللوني النسبي مع التيار



شكل 6 يمثل العلاقة بين معامل الزيغ الكروي واللوني نسبة الى البعد البؤري ونسب الجهود

6. Munro, E. (1975) "A set of computer programs for calculating the properties of electron lenses" Department of Engineering Report CUED/B-Elect. TR45, University of Cambridge, UK.
7. Hawkes, P.W. and Kasper, E. (1989) "Principles of electron optics" vol.1 (Academic Press: London).(752) pages
8. Mahdi A. Mohammed (2012)"A proposed Mathematical Expression for Computer Design of Electrostatic Mirror", J. Baghdad for Sci. Vol.9(1)
9. Bakish,R.(1962)," Introduction to electron beam technology",Inc.New York,London (452) pages
10. Grivet , P. (1972)"Electron optics" Pergamon Press, Oxford and New York. (538) pages .
2. Juma S. M. , Ahmad A. K. and Qaseer L. M. W. (2000), " An electrostatic lens system design for telescopic mode ", J. Col. Education,5:pp1-11.
3. BeltinaV,Eleni-Chrysanth and Koustantinos G. ( 2008)," Electron Microscopy",j.Physics of advanced material , pp1-11
4. El-Gomati, M. M., Prutton,M. and Browning, R.(1985), " An all-electrostatic small beam, diameter, high probe current field emission electron probe ", J. Phys. E: Sci. Instrum., 18: pp32-39.
5. Klempere, O. and Barnett, M. E. (1971), Electron optics, "University of Cambridge" UK, third edition:(506) pages.

## Space-Charge Effect on the Theoretical Design of Electron Gun Operated under Zero Magnification Condition

*Samir Kh. Yassin\**

*Intehaa. A. Mohammed\*\**

\*Computer department –College of education for women–Baghdad University

\*\*Physics department – College of education Ibn AL-Haithem – Baghdad University.

### Abstract:

A computational investigation is carried out in the field of charged –particle optics with the aid of numerical analysis method using the personal computer. The work is concerned with the design of electron gun with space-charge effect.

The Finite element method (FEM) used in the solution of Poisson's equation for determine the axial potential distribution of the two-electrode immersion lens operated under zero magnification condition , and from the solution of the paraxial ray equation the optical properties such as the focal length , spherical and chromatic aberration coefficients are determined, also a calculation of the brightness and perveance for the lens.

The electrodes geometry was determined in two and three dimension with the aid of new drawing software called SIMION 7 and the electron beam trajectory under zero magnification conditions has been determine for these electrodes.