تصميم عدسة كهروستاتيكية ذات زيوغ قليلة تعمل تحت ظرف التكبير الصفري

ندى عبد الفتاح محمد

جامعة بغداد/ كلية العلوم للبنات

الملخص:

تعد الطريقة العكسية من الطرق المهمة في تصميم العدسات الكهروستاتيكية والتي اعتمدت في هذا البحث بأستخدام تقنية جديدة تعتمد على تحديد معادلة مناسبة للجهد المحوري على شكل متعدد حدود ومن ثم حل معادلة الشعاع المحوري لايجاد مسار الجسيمات والذي يحقق معادلة الجهد المفروضة. في هذا البحث تم تصميم عدسة كهروستاتيكية بأستخدام حلول معادلة لابلاس بأستخدام طريقة العناصر المحددة.

وقد بينت النتائج قيم قليلة لمعاملات الزيغين الكروي واللوني حيث كانت بحدود 3.9 للزيغ الكروي و o.24 للزيغ اللوني عند نسبة الجهد 10 وهذا يعطي مؤشراً جيداً لتصميم العدسة .

الكلمات المفتاحية : البصريات الالكترونية, العدسة الكهروستاتيكية, عدسة احادية الجهد, الخواص البصرية للعدسة الكهروستاتيكية.

المقدمة:

يعد علم البصريات الالكترونية احد فروع الفيزياء التي تتعامل مع حركة الجسيمات المشحونة في المجالين الكهربائي والمغناطيسي 1] ان اي مجال كهروستاتيكي متماثل محوريا هو عدسة الكتروستاتيكية ,وان المجالات الالكتروستاتيكية تنتج من مجموعة من الاقطاب ذات جهود ملائمة وتستخدم لتبئير الحزم الالكترونية.

حيث ان اول من اثبت امكانية تكوين صورة بواسطة الالكترونات هو H. Busch عام 1962 [2] و في عام 1978 قام Riddle بحساب معاملات

الزيوغ والخواص البصرية للعدسات احادية الجهد (einzel) [3]، تعد العدسات احادية الجهد و التي تم تصميم احد انواعها في هذا البحث من انواع العدسات المهمة في تطبيقات البصريات الالكترونية التي تمتاز بانها تمتلك نفس الجهد في جانبي الجسم والصورة بحيث تبقى طاقة الجسيمات المشحونة ثابتة ولكنها تتغير فقط داخل العدسة, تستخدم العدسات الكهروستاتيكية في العديد من منظومات الاجهزة الالكترونية للتحكم في مسار انطلاق الجسيمات المشحونة بطاقات واتجاهات مختلفة ونكون هذه العدسات اكثر فعالية من العدسات الكهرومغناطيسية لان قوة التبئير تعتمد فقط على الجهد المسلط والشكل الهندسي للاقطاب [4] , تعد العدسة احادية الجهد من العدسات الكهروستاتيكية المهمة ,لقد اجري العديد من البحوث لتحليل خواص العدسات الكهروستاتيكية فقد قام Read, 1969 بدراسة الخواص البصرية للعدسات احادية الجهد واستند الباحث في دراسته الى استخدام طريقة المربعات الصغرى لحساب توزيع الجهد المحوري على امتداد المحور البصري للعدسات الكهروستاتيكية كالبعد البؤري ,ومعامل الزيغ الكروي واللوني على مدى واسع من قيم الجهود المسلطة على الاقطاب [5].

التصميم النظري للعدسة :

لتصميم عدسة الكترونية تم اختيار اشكال الاقطاب ذات جهود مناسبة وتم حساب توزيع الجهد المحوري لهذه العدسة من حل معادلة لابلاس المبينة في المعادلة (1) باستخدام طريقة العناصر المحددة (Finite element method) .

$$\nabla^2 V = 0 \qquad \text{----------(1)}$$

حيث ان V يمثل الجهد الالكتروستاتيكي .

تم حساب مسار الجسيمات المشحونة في المجال الكهروستاتيكي المتماثل دورانيا وهي معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية (2) تتميز هذه المعادلة بانها معادلة متجانسة بالنسبة للجهد (V) لذلك فان زيادة الجهد او نقصانه في كل نقاط المجال سوف لن تغير من المسار وتكون هذه المعادلة متجانسة بمعنى اي زيادة في ابعاد النظام باكمله ينتج عنها زيادة مماثلة في ابعاد المسار وان الكمية (Q/m) نسبة الشحنة الى

الكتلة لا تظهر بالمعادلة (3) وهذا يعني ان الجسيمات ذات الشحنة المختلفة تبئر في نفس النقطة ولكنها تصل في اوقات مختلفة[6].

$$r'' + \frac{V'}{2V} r' + \frac{V''}{4V} r = 0 \quad ----(2)$$

باستخدام طريقة رنج– كتا , (Runge Kutta Methods) من الدرجة الرابعة ومعرفة توزيع الجهد المحوري ومشتقته الاولى والثانية تم حساب معاملي الزيغ الكروي Cs واللوني Cc حيث تم حساب الخواص البصرية للعدسة بعد حل معادلة الشـــعاع المحوري [7] ولحساب معامل الزيغ الكروي Cso في جانب الجسم .

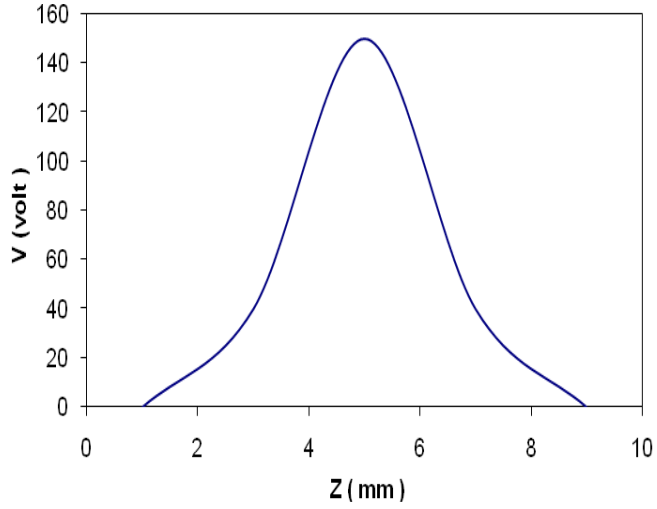
$$Cs_{\mathrm{O}} = \frac{V^{-1/2}}{16 r_o'^4} \int_{zo}^{zi} \left\{ \left[\frac{5}{4}\left(\frac{V''(Z)}{V(Z)}\right)^2 + \frac{5}{24}\left(\frac{V'(Z)}{V(Z)}\right)^4 \right] r^4(z) + \frac{14}{3}\left(\frac{V'(Z)}{V(Z)}\right)^3 \right.$$

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

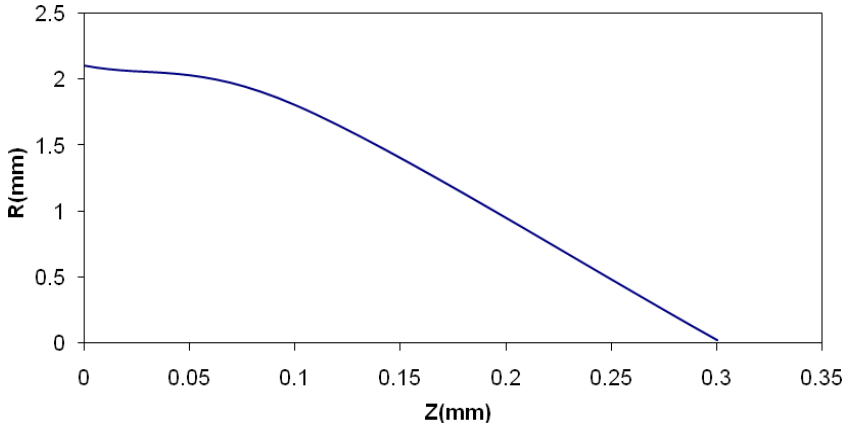
$$Cc_{\mathrm{O}} = \frac{V^{1/2}}{r_o'^2} \int_{zo}^{zi} \left[\frac{1}{2}\frac{V'(Z)}{V(Z)} r'(z) r(z) + \frac{V''(Z)}{4V(z)} r^2(z) \right] V^{-1/2}(z) dz \quad --------(4)$$

حيث انCso، Ccoيمثلان معاملي الزيغ الكروي واللوني في جانب الجسم على التوالي ويعبر عن معامل الزيغ الكروي واللوني في جانب الصورة Csi و Cci حيث ان المحور Z هو المحور البصري الذي يمثل محور التماثل ويبعد عن الجهد (V) فـــي أي نقطـــة بثلاثة إحداثيات (r,z,θ) أي أن $V = V(r,z,\theta)$ وبما أن النظام متماثل دورانياً فيمكن إهمال θ أي تصبح V هي $V(r,z)$ [8] .

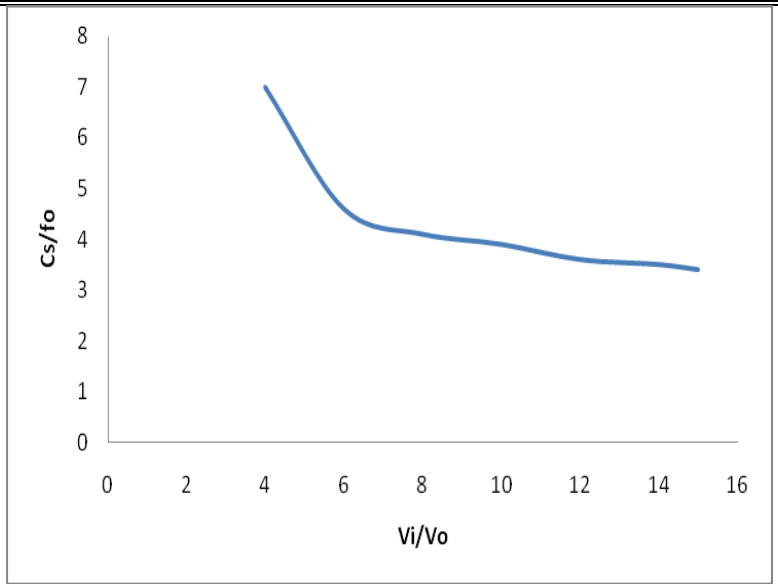
الشكل (1) يوضح توزيع الجهد المحوري لعدسة احادية الجهد ،والذي يبـــين إن توزيع الجهد يمتلك قمة واحدة وذلك بالاعتماد على فولتية القطب المركزي والتـــي تؤثر على قوة التكبير اذ تزداد مع زيادة فولتية القطب المركزي ،ويلاحظ من الشـــكل ايضآ ان الجهد المحوري متساو في جانبي الجسم والصورة أي ان $V(Zo) = V(Zi)$ ، لقد تمت دراسة الخواص البصرية عند تغيير نسب الجهود .



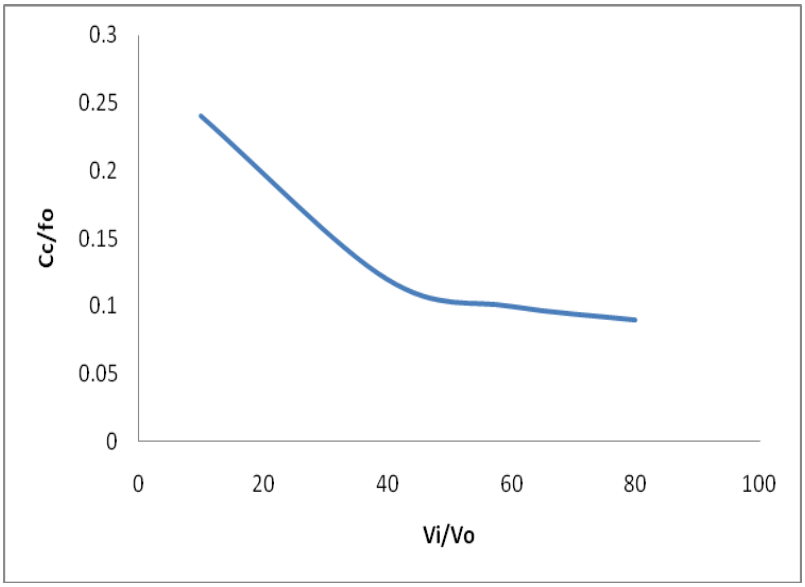
شكل (1) يوضح توزيع الجهد المحوري للعدسة



شكل (2) يوضح مسار الحزمة الالكترونية للعدسة



شكل (3) يوضح العلاقة بين معامل الزيغ الكروي نسبة الى البعد البؤري للعدسة Cs/fo مع نسب الجهد Vi/Vo



شكل (4) يوضح العلاقة بين معامل الزيغ اللوني نسبة الى البعد البؤري للعدسة Cc/fo مع نسب الجهد Vi/Vo

النتائج والمناقشة :

تمت دراسة الخواص البصرية لعدسة كهروستاتيكية احادية الجهد كالبعد البؤري fo ، معامل الزبغ الكروي Cs ، معامل الزيغ اللوني Cc ، موقع الصورة Zi، موقع الجسم Zo .

تم حساب توزيع الجهد المحوري لهذه العدسة من حل معادلة لابلاس بأستخدام طريقة العناصر المتناهية كما موضح بالشكل (1) يوضح توزيع الجهد المحوري لعدسة طولها (16mm) اذ ان توزيع الجهد المحوري للعدسة يمتلك قمة واحدة وذلك بالاعتماد على فولتية القطب المركزي والتي تؤثر على قوة التكبير اذ تزداد مع زيادة فولتية القطب المركزي ويلاحظ من الشكل ايضا ان الجهد المحوري متساو في جانبي الجسم والصورة اي ان V(Zi)=V(Z0) وهذا يدل على توزيع الجهد هو لعدسة احادية الجهد .

لقد تمت دراسة الخواص البصرية لهذه العدسة عند تغير نسب الجهود ,الشكل (2) يبين مسار الحزمة الالكترونية والشكل (3) يوضح العلاقة بين معامل الزيغ الكروي في جانب الصورة نسبة الى البعد البؤري fo كدالة لنسبة الجهد المعجلة Vc/Vo اذ ان Vc تمثل فولتية القطب المركزي ، Vo تمثل فولتية القطب في جانب الجسم والتي تساوي فولتية القطب في جانب الصورة Vi ، اذ ان الشكل يبين انخفاض قيم الزيوغ للعدسة بسبب زيادة نسب الجهود المعجلة اذ ان (Csi/fo) تقل الى (3.4)عند النسبة (15)، اما قيم الزيوغ اللوني لنفس نسب الجهد تصل الى 0.23 في الشكل (4) وهذه تمثل قيماً مناسبة للعدسة والتي يستفاد منها في تصنيع مثل هذا النوع من العدسات .

يوضح الجدول (1) قيم معامل الزيغ الكروي في جانب الصورة Csi ومعامل الزيغ اللوني في جانب الصورة Cci نسبة الى البعد البؤري للعدسة حيث تم اختيار قيمة نسبة الجهد (10) لغرض المقارنة مع [10]حيث ان نتائج المستحصل عليها في هذا البحث نلاحظ ان قيم الزيوغ الكروية نسبة الى البعد البؤري هي (3.9)عند نسبة الجهد(10) اماقيم الزيوغ اللونيةنسبة الى البعد البؤري لنفس النسبة هي(0.24)وهذه

القيم للزيوغ الكروية واللونية مقبولة نسبيا، وهذا يرجع الى ان توزيع الجهد على الأقطاب وكذلك شكل العدسة يؤثر في شكل المسار وبدوره يؤثر في الخواص البصرية بأستخدام حلول معادلات لابلاس $\nabla^2 V = 0$ حيث V يمثل الجهد الالكتروستاتيكي [9] .

الباحثون	Csi/fo	Cci/fo
الدراسة الحالية	3.9	0.24
(Munro, 1975)	106.79	2.17
(Al-Meshhdany)	3.6	0.79
(M.A. AL-Khashab)	2.68	0.60

جدول (1) يبين مقارنة بين نتائج العمل الحالي مع بحث سابق[10],[11]

الاستنتاج:

1- ان نسب الجهود المعجلة Vi/Vo لها تاثير كبير على معاملات الزيوغ الكروية واللونية اذ عند زيادة نسب الجهود تقل معاملات الزيوغ الكروية واللونية

2- شكل العدسة الهندسي له تاثير على مسار الحزمة وعلى معاملات الزيوغ .

3- بينت النتائج انه في حالة التكبير غير المحدد هي نفسها للتكبير الصفري وذلك لان العدسة متماثلة.

المصادر:-

1-A. Zhigararev., Electron optics and electron- beam devices" ,Mir publisher, Moscow, (1975).

2- Septier A., "Applied charged particles optics" , Part A (Acade Press: New York) (1980).

3- Riddle , G., N.,Electrostatic enzal lenses with reduced spherical aberration for use in field emission guns'' (1978) .

4-Sise, O., UJu, M. and Dogan, N. Mulit Element Cyliderical Electrostatic Lens Systems for Focusing and Controlling Charged Particals. Web site: www.electrostatic lenses+pdf (2004).

5-Read, F.H. Calculated Properties of Electrostatic Einzel Lenses of Three Apertures, J. Phys. E. Sci. Instrum., 2(2):679-684 (1969) .

6 – EL-Karah A.B and EL-Kareh J.C. J., ,"Electron Beam,Lenses and Optics" ,Vol.I (Academic Press: New York and London) (1970)

7- Kiss L., , "Computerized investigation of electrostatic lens potential distribution",12th IMACS World Congress, ed. R. Vieheretsky, Paris(1988)

8- Polyanin,A. D. Handbook of Linear Partical Differential Equations for Equations for Engineers and Scientists Boca Ration :Chapman&Hall/CRC Prees (2002).
9- Intehaa A.M, "Theoretical design of un electron gun lenses using numericalmethodes P h. M. Thesis education for woman university , Baghdad,Iraq(2002) .
10- *M. A. Al-Khashab and M. T. Al-Shamm- Minimizing the Aberration of the Unipotetial Electrostatic Lenses of Multi-Electrodes* " (2009).
11-Munro, E.. A Set of Computer Programs for Calculating the Properties of Electron Lenses, Cambridge University, Eng. Dept., Report CUED/BELECT/ TR 45 (1975)

Design of Low Aberration Electrostatic Lens Operated under Zero Magnification Condition

Nada. A. Mohammed
*Physics department-College of Science for women
Baghdad University

Abstrac

The inverse problem is important method in the design of electrostatic lenses which is used in this work, with new technique by suggesting an axial electrostatic potential distribution using polynomial function ,the paraxial ray equation was solved to obtain the trajectory of the particles that satisfies the suggested potential function, the Finite-Element Method (FEM) is used in the solution of Laplace's equation for determine the axial potential .

The results showed low values of spherical and chromatic aberrations comparing with other searches about(3.9) for spherical aberration and(0.24) of chromatic aberration for good lens's design. values of potential of 10

Keywords Electrostatic lens design, Einzel Lens , The optical properties of lens