

تصميم عدسة كهروستاتيكية احادية الجهد معجلة ومبطنة تعمل تحت ظرف التشغيل النهائي والانهائي

إنتهاء احمد محمد

قسم علوم الفيزياء / كلية التربية للعلوم الصرفة (أبن الهيثم) / جامعة بغداد

استلم البحث في 31 تشرين الاول 2011 ، قبل للنشر في 17 حزيران 2012

الخلاصة

لقد أجريت دراسة نظرية حاسوبية في موضوع البصريات الالكترونية لتصميم عدسة كهروستاتيكية احادية الجهد، اذ استعملت الطريقة العكسية التي تعد من الطرائق المهمة في تصميم العدسات الكهروستاتيكية وذلك من خلال تحديد معادلة مناسبة للجهد المحوري على شكل متعددة حدود ومن ثم حل معادلة الشعاع المحوري لايجاد مسار الجسيمات الذي يحقق معادلة الجهد المفروضة .

في هذا البحث صممت عدسة ثلاثية الاقطاب احادية الجهد معجلة ومبطنة بطول $L=5\text{mm}$ تعمل تحت ظروف التشغيل النهائي والانهائي، اذ تم الحصول على شكل الاقطاب لهذه العدسة باستخدام حلول معادلة لابلاس. وقد بينت نتائج البحث قيم قليلة للزيغين الكروي واللوني التي تعطي مؤشراً على كفاية تصميم العدسة.

الكلمات المفتاحية: بصريات الكترونية، عدسة كهروستاتيكية، أحادية الجهد، الزيغ الكروي، الزيغ اللوني.

المقدمة

يعد علم البصريات الالكترونية احد فروع الفيزياء التي تتعامل مع حركة الجسيمات المشحونة في المجالين الكهربائي والمغناطيسي . النظريات التي وضعت لدراسة البصريات الضوئية ملائمة لحل مسائل البصريات الالكترونية ، من خلال البحوث الاولى التي ظهرت في عشرينات القرن الماضي والتي عدت موضوع البصريات الالكترونية موضوعاً حديثاً نسبياً اذ أن أول من اثبت امكانية تكوين صورة بوساطة الالكترونات هو H. Busch في عام 1926 [1] تعد العدسات الكهروستاتيكية احادية الجهد التي صمم احد انواعها في هذا البحث من انواع العدسات المهمة في تطبيقات البصريات الالكترونية التي تمتاز بأنها تمتلك الجهد نفسه في جانبي الجسم والصورة بحيث تبقى طاقة الجسيمات المشحونة ثابتة وهي عدسة كهروستاتيكية وليست عدسة مسطوية مغناطيسية . وهي تستخدم عادة في انبوبة الاشعة الكاثودية والعديد من اجهزة البصريات الالكترونية[2].

الجزء النظري

صممت عدسة كهروستاتيكية ثلاثية الأقطاب واستخدمت متعددة حدود من الدرجة الرابعة لتمثيل توزيع الجهد المحوري $U(z)$ على المحور البصري Z للعدسة احادية الجهد والتي تحقق الشروط الآتية :

$$U(0)=A, U(L/2)=B, U(L)=A, U'(0)=0, U'(L)=0$$

والتي اعطت معادلة توزيع الجهد المحوري للعدسة الاحادية الجهد ثلاثية الاقطاب

$$U(z) = A + \frac{16(B-A)}{L^2}z^2 - \frac{32(B-A)}{L^3}z^3 + \frac{16(B-A)}{L^4}z^4 \dots \dots \dots (1)$$

اذ أن z المحور البصري ، L طول العدسة المؤثرة ، A قيمة الجهد عند بداية العدسة $U(0)$ ونهايتها $U(L)$ و B قيمة الجهد عند منتصف العدسة $(L/2)$. تم حل معادلة الشعاع المحوري [3] الآتية للحصول على الخواص البصرية للعدسة:

$$\frac{\partial^2 r}{\partial z^2} + \frac{\dot{U}(z)}{2U(z)} \frac{\partial r}{\partial z} + \frac{U'(z)}{4U(z)} r = 0 \dots \dots \dots (2)$$

تمثل هذه المعادلة وصفاً للجسيمات المشحونة في المجال الكهروستاتيكي المتمائل دورانياً . وهي معادلة تفاضلية متجانسة خطية من الدرجة الثانية يمكن استعمالها لكل انواع الجسيمات المشحونة كما تمتاز المعادلة (2) بأنها متجانسة بالنسبة الى الجهد U . لذلك فإن زيادة الجهد أو نقصانه في كل نقاط المجال سوف لن يغير من المسار وتكون هذه المعادلة متجانسة بالنسبة الى r و Z [4].

إن حساب شكل الأقطاب للعدسة الكهروستاتيكية الاحادية الجهد اعتماداً على توزيع الجهد المحوري الذي يكون دالة الى قيمة الموقع والمحور البصري ويتم ذلك باستخدام معادلة لابلاس الآتية [5]:-

$$U(r, z) = U(z) - U''(z) \frac{r^2}{4} \dots \dots \dots (3)$$

يتم حساب الخواص البصرية للعدسة بعد حل معادلة الشعاع المحوري باستخدام طريقة راينج كوتا (Range-Kutta) من الدرجة السادسة ومعرفة توزيع الجهد المحوري ومشتقاته الاولى والثانية.

في المنظومات البصرية المثالية جميع الاشعة المنبعثة من نقطة في مستوي سطح الجسم سوف تنفرق الى النقطة نفسها في مستوى سطح الصورة مكونة صورة واضحة ، هذا التدفق الذي يسبب تشتت الاشعة المختلفة الى نقاط مختلفة يسمى الزيغ [6]. ولايجاد قيمة معاملي الزيغ الكروي C_s واللوني C_c للجسم استعملت المعادلات الآتية [7]

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

$$r'(z)r^3(z) - \frac{3}{2} \left(\frac{U'(z)}{U(z)} \right)^2 r'^2(z)r^2(z) \} U^{1/2}(z) dz \quad (4)$$

$$C_{c_0} = \frac{U^{1/2}(z_0)}{r_o'^2} \int_{z_0}^{z_i} \left[\frac{1}{2} \frac{U'(z)}{U(z)} r'(z)r(z) + \frac{U''(z)}{4U(z)} r^2 \right] U^{-1/2}(z) dz \quad (5)$$

اذ أن C_{s_0} و C_{c_0} يمثلان معاملي الزيغ الكروي واللوني للجسم على التوالي . ولحساب معاملي الزيغ الكروي واللوني للصورة C_{s_i} ، C_{c_i} على التوالي يمكن استخدام العلاقتين السابقتين وذلك باستبدال r_o^{14} ، r_o^{12} ، $U^{1/2}(z_0)$ بـ r_i^{14} ، r_i^{12} ، $U^{1/2}(z_i)$ على الترتيب و تحسب قوة تكبير العدسة M (النسبة بين ارتفاع الصورة r_i وارتفاع الجسم r_o) كما في المعادلة الآتية[8]:-

$$M = \frac{r_i}{r_o} \quad (6)$$

النتائج والمناقشة

حسب توزيع الجهد الكهروستاتيكي المحوري $U(z)$ ومشتقته الاولى $U'(z)$ [المجال الكهروستاتيكي] لعدسة احادية الجهد معجلة ومبطنة استناداً الى المعادلة رقم (1)، اذ ان الشكل (1) يوضح منحنى توزيع الجهد المحوري (a) لعدسة معجلة (b) لعدسة مبطنه ، حيث يلاحظ من الشكل ان المشتقة الاولى للجهد المحوري تمتلك نقطتي انقلاب عندما يصل المجال الكهربائي المحوري الى قيمته العظمى الموجبة والسالبة ، كذلك فان منحنى توزيع الجهد المحوري يحتوي على قمة واحدة اعتماداً على فولتية القطب الثاني . ان الجهد المحوري متساو في جانبي الجسم والصورة اي ان $U(z_i)=U(z_o)$ كما ان المجال الكهربائي المحوري يساوي صفر عند هاتين النقطتين اي ان $E(z_i)=E(z_o)$ وهذا يدل على ان العدسة هي احادية الجهد كما هو واضح من الشكل (1) . ان توزيع الجهد المحوري $U(z)$ وتوزيع المجال الكهربائي المحوري $E(z)$ متمائل حول محور التناظر.

للحصول على شكل الاقطاب للعدسة الاحادية الجهد المعجلة والمبطنه التي تعمل تحت ظرف التكبير المحدد وغير المحدد كما هو واضح من الشكل (2) تم الاستعانة بالمعادلة (3)، اذ ان الاقطاب الخارجية الأول والثالث اقواب متمائلة أو متناظرة وكلاً منها يملك الجهد نفسه . أما القطب الثاني فإنه يكون مختلف الجهد الذي يؤدي الى اختلاف في شكل القطب . ارتفاع الاقطاب يساوي 0.78 من طول العدسة الكلي والمسافة بين القطب الأول والثاني تساوي المسافة بين القطب الثاني والثالث وهي 0.05 من طول العدسة الكلي.

الجدول (1) يبين خواص العدسة الكهروستاتيكية الاحادية الجهد ثلاثية الاقطاب المعجلة والمبطنه تحت شرط التكبير المحدد وغير المحدد كما هو واضح من الاشكال 3, 5, 4.

حسب معامل الزيغ الكروي C_s ، ومعامل الزيغ اللوني C_c نسبة الى التكبير M لعدسة معجلة ومبطنه بطول $L=5\text{mm}$ استناداً الى المعادلات (4)، (5)، (6) في حالة التكبير المحدد، في الشكل (3).

حسب معامل الزيغ الكروي ومعامل الزيغ اللوني نسبة الى التكبير في حالة التكبير المحدد [تكبير واطئ] ، يتضح من هذا الشكل انه في حالة العدسة معجلة [يعني $U_2/U_1 > 1$] بزيادة نسبة الجهد (U_2/U_1) فان (C_s/M) و (C_c/M) تقل حتى تصل الى $(C_s/M=0.4)$ ، $(C_c/M=0.1)$.

اما في حالة العدسة مبطنه [$U_2/U_1 < 1$] فزيادة نسبة الجهد تقل C_s/M و C_c/M حتى تصل الى قيمة $C_s/M=0.07$ و $C_c/M=0.04$ ويلاحظ من الشكل (3) ان قيم معاملات الزيوغ اللونية هي اقل من قيم معاملات الزيوغ الكروية .

أما في الشكل (4) فحسب C_s/M و C_c/M في حالة التكبير المحدد [تكبير عالي] ، اذ يتضح من هذا الشكل في حالة العدسة المعجلة والمبطنه انه بزيادة U_2/U_1 تقل C_s/M و C_c/M حتى تصل في حالة العدسة المعجلة الى $C_s/M=0.02$ ، $C_c/M=0.02$ وهو اقل زيغ حصلنا عليه في هذا البحث اما في حالة العدسة المبطنه فإنه $C_s/M=0.23$ ، $C_c/M=0.03$.

أما في الشكل (5) C_s/f و C_c/f في حالة التكبير غير المحدد ، وبزيادة نسبة الجهد U_2/U_1 فانه معاملات الزيوغ الكروية واللونية تقل ففي العدسة المعجلة تكون قيم $C_s/f=1.76$ ، $C_c/f=1.9$ أما في العدسة المبطنه فستكون قيم $C_s/f=5.4$ ، $C_c/f=5.9$. ان السبب الرئيسي للزيغ الكروي هو ان الالكترونات الخارجية تبتثر في نقطة اقرب الى العدسة من الالكترونات القريبة من المحور (الالكترونات المحورية) لذلك فان الالكترونات الخارجية تملك مسافات بؤرية اقصر من الالكترونات المحورية.

الاستنتاجات

- 1- إن نسبة الجهود U_2/U_1 تحدد الخواص البصرية للعدسة .
- 2- زيادة نسبة الجهد U_2/U_1 يقل من قيمة الـ C_s/M , C_c/M في حالة التكبير المحدد، و C_s/f ، C_c/f في حالة التكبير غير المحدد.
- 3- أفضل خواص بصرية للعدسة المعجلة عندما التكبير محدد [تكبير عالي] $C_s/M=0.02$ ، $C_c/M=0.02$ عندما $U_2/U_1=400$.
- 4- افضل خواص بصرية للعدسة المبطنه عندما التكبير محدد [تكبير واطئ] ، $C_s/M=0.07$ ، $C_c/M=0.04$ عندما $U_2/U_1=0.9$.

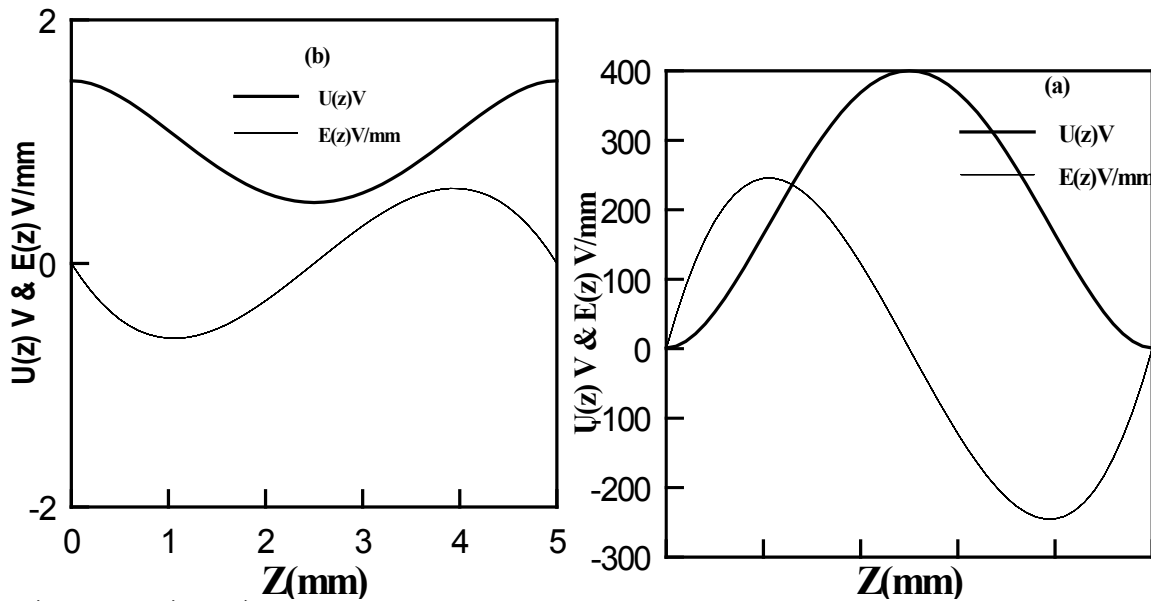
المصادر

1. Septier, A. (1980), applied charged particles optics, Part A, (Academic pres : NewYork).
2. Cosslett, V.E. (1950), Introduction to electron optics , (Oxford University press , London)
- 3- Ahmad A. K. (1993), "Computerised investigation on the optimum design and properties of the electrostatic lens", Ph.D. Thesis, Nahreen University , Baghdad , Iraq.
- 4- Zhigarev, A. (1975), Electron Optics and electron-beam devices. (Mir publishers , Moscow)

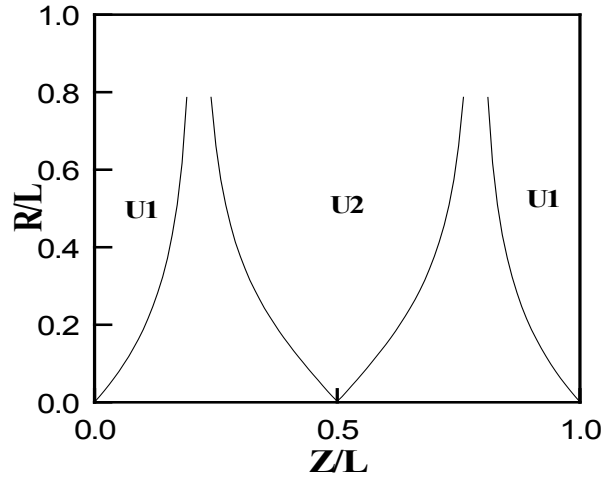
- 5-Baszkowski, B. (1968), Electron optics, (Iliffe Book, London).
 6-Szilagy, M. (1988), Electron and ion optics, (pinum press, NewYork)
 7-Http://hyperphysics.physics.phyasr.gsu.edu/hlpacel/ligcon.htm/hcl) 23/5/2005 , Eric :
 weissten's world of physics. Science world , wolfram.com/physics/spheaircal aberration.htm-
 13K.
 8-Scheinfein,M. and Galantai, A.,(1986),Optik Multiobjective optimization techniques for
 design of electrostatic charged particles lenses , 74: 154-164.
 9-Rempfer G.F., fyfield M.S. and Griffith O. H. , (1998), Microse. Microanal , lenses for
 electron microscopy and micro analysis : Shadow graph method of determining focal
 properties and aberration coefficients, 4 : 43 -49

الجدول (1): خواص العدسة الكهروستاتيكية الاحادية الجهد ثلاثية الاقطاب المعجلة والمبطننة تحت شرط التكبير المحدد وغير المحدد

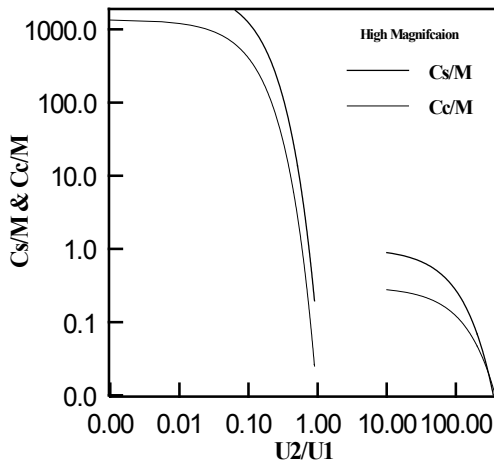
نوع التكبير	U2/U1	Cs/M	Cc/M
محدد [واطى التكبير]	0.9	0.07	0.04
	600	0.4	0.01
محدد [عالي التكبير]	0.9	0.23	0.03
	400	0.02	0.02
	U2/U1	Cs/f	Cc/f
التكبير غير محدد	0.1	5.4	5.9
	400	1.76	1.9



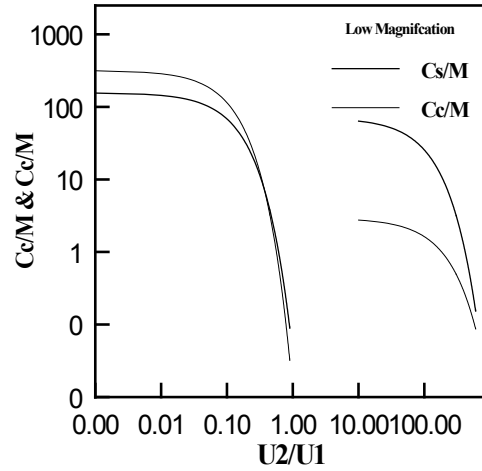
شكل (1) : يوضح توزيع الجهد الكهروستاتيكي المحوري $U(z)$ ومشتقته الاولى $E(z)$ لعدسة احادية الجهد معجلة (a) ومبطننة (b)



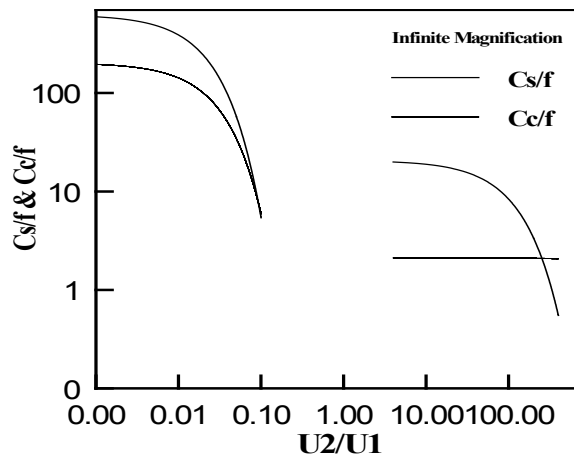
شكل (2): يبين شكل الاقطاب للعدسة الكهروستاتيكية الاحادية الجهد بأفضل الخواص البصرية



شكل (4): يوضح تغير Cs/M و Cc/M مع نسبة الجهد لعدسة احادية الجهد معجلة ومبطننة تعمل تحت نمط التكبير المحدد (تكبير عالي)



شكل (3): يوضح تغير Cs/M و Cc/M مع نسبة الجهد لعدسة احادية الجهد معجلة ومبطننة تعمل تحت نمط التكبير المحدد (تكبير واطئ)



شكل (5): يوضح تغير Cs/f و Cc/f مع نسبة الجهد لعدسة احادية الجهد معجلة ومبطننة تعمل تحت نمط التكبير غير المحدد.

Design of Electrostatic Unipotential Lens Accelerating And Decelerating Operated Under Finite And Infinite Magnification Conditions.

Intiha`A. Mohmmed

Dept. of Physics/College of Education For Pure Science(Ibn Al-Haitham) /
University of Baghdad

Received in: 31 October 2011, Accepted in 17 June 2012

Abstract

Theoretical study computerized has been carried out in field electron optics , to design electrostatic unipotential lens , the inverse problem is important method in the design of electrostatic lenses by suggesting an axial electrostatic potential distribution using polynomial function. The paraxial –ray equation is solved to obtain the trajectory particles that satisfy the suggested potential function.

In this research , design electrostatic unipotential lens three-electrode accelerating and decelerating $L=5$ mm operated under finite and infinite magnification conditions. The electrode shape of the electrostatic lens was then determined from the solution of the Laplace's equation's. the results showed low values of spherical and chromatic aberrations which are considered as good criteria for good design.

Keywords: Electron optics, Electrostatic Lens, Unipotential, spherical aberrations, chromatic aberrations