تصميم عدسات كهروسكونية أحادية الجهد تعمل تحت نمط التكبيرالصفري

Design of Unipotential Electrostatic Lenses Operated Under zeroMagnification

بلال خالد جاسم ، احمد كمال احمد و عبد الجبار محمد

جامعة النهرين، كلية العلوم ، قسم الفيزياء.

الخلاصة

يقدم البحث دراسة نظرية في مجال بصريات الجسيمات المشحونه ويتركز حول ايجاد التصميم الامثل لعدسة كهروسكونية احادية الجهد لتبئير حزم الجسيمات المشحونة والتي تعمل تحت ظروف التكبير الصفري، حيث استخدمت الطريقة العكسية في تصميم العدسة الكهروسكونيه. مثل الجهد الكهروسكوني المحوري من خلال اقتراح دالة قطع زائد لتمثيله، ومن معرفة المشتقة الاولى والثانية للجهد المحوري تم حل معادلة الشعاع المحوري للحصول على مسار الجسيمات المشحونة الذي يحقق دالة الجهد المفروضة لحساب الخصائص لبصرية مثل الزيغ الكروي واللوني والبعد البؤري ومن ثم الحصول على شكل القطاب للعدسة الكهروسكونيه من خلال حل معادلة لابلاس. وقد بينت نتائج البحث قيم صغيرة للزيغين الكروي واللوني .ونتائج الخصائص البصرية والاقطاب المصممة للعدسة الكهروسكونية جيدة.

المقدمة

يعتبر علم البصريات الإلكترونية أحد فروع الفيزياء التي تتعامل مع حركة الجسيمات المشحونة في المجالين الكهربائي و المغناطيسي[1].و يمكن القول بأن أي مجال كهروسكوني متماثل محوريا تمثل عدسة كهروسكونيه حيث إن المجال الكهروسكوني ينتج بواسطة نظام من الأقطاب وان لكل قطب جهد ملائم و بذلك تكون العدسة نظاما ذات أقطاب متماثلة محوريا[2].وتكمن اهمية العدسات الكهروسكونية في كونها تدخل في العديد من مجالات العلوم

التطبيقية وفي نكنولوجيا الصناعات المتطورة مثل صناعة اجهزة الغرس الايوني التي تعد واحدة من التكنلوجيا التي تدخل في تصنيع شبه موصل ذو مواصفات متعدد الاستعمالات[3]. تعتبر العدسات الكهروسكونيه أحادية الجهد و التي صمم أحد أنواعها في هذا البحث من العدسات المهمة في تطبيقات البصريات الإلكترونية التي تمتاز بأنها تمتلك نفس الجهد في جانبي الجسم و الصورة بحيث تبقى طاقة الجسيمات المشحونة ثابتة.

النظرية

لتمثيل توزيع الجهد المحوري تم اقتراح دالة قطع زائد لتمثل الجهد المحوري لعدسة أحاديه الجهد وهي كما ياتي:

$$U(z) = a * \sec h(z-b) + c \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث أن Z هو المحور البصري للعدسة وان a,b,c هي معاملات يمكن من خلالها ان التحكم بشكل العدسه وتناظرها وقيمه الجهد الداخل الى العدسه. يمكن ان تكون العدسة الكهروسكونيه عدسة مبطئة أومعجلة لذلك سنقتصر على حالة واحدة وهي عندما تكون العدسة معجلة. وللحصول على الصفات البصريه الجيدة للعدسة تم حل معادلة الشعاع المحوري (Paraxial-ray equation) آلاتية[4]:

$$\frac{d^2 r}{dz^2} + \frac{U'(z)}{2U(z)}\frac{dr}{dz} + \frac{U''(z)}{4U(z)} r = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

تمثل هذه المعادلة وصفا للجسيمات المشحونة في المجال الكهروسكوني المتماثل دورانيا وهي معادلة تفاضلية متجانسة خطية من الدرجة الثانية، والتي يمكن استعمالها لكل أنواع الجسيمات المشحونة لعدم احتوائها على نسبة

شحنة الجسيمة إلى كتلتها (e/m)، وهذا يعني إن الجسيمات ذات الشحنات المختلفة تبئر في نفس النقطة ولكنها تصل في أوقات مختلفة[5]. كذلك تمتاز المعادلة (2) بأنها متجانسة بالنسبة للجهد U لذلك فان زيادة الجهد او نقصانه في كل نقاط المجال سوف لن يغير من المسار وتكون هذه المعادلة متجانسة بالنسبة إلى r و z وهذا يعني إن أي زيادة في أبعاد النظام ينتج عنها زيادة في أبعاد المسار أي إن شكل المعادلة لا يتغير[6]، في حاله عدم وجود شحنه الفراغ والحاله غير النسبية يتم حساب الخواص البصرية للعدسة بعد حل معادلة الشعاع المحوري باستخدام طريقة رانج – كتا (Range-Kutta) من الدرجة الرابعة ومعرفة توزيع الجهد المحوري ومشتقتيه الأولى والثانية. ولإيجاد قيمة معاملي الزيغ الكروي C_s واللوني C_c تم استخدام المعادلات الآتية [7]:

$$Cs_O = \frac{U^{-1/2}}{16 r_o'^4} \int_{zo}^{zi} \left\{ \left[\frac{5}{4}\left(\frac{U''(z)}{U(z)}\right)^2 + \frac{5}{24}\left(\frac{U'(z)}{U(z)}\right)^4 \right] r^4(z) + \frac{14}{3}\left(\frac{U'(z)}{U(z)}\right)^3 r'(z) r^3(z) - \frac{3}{2}\left(\frac{U'(z)}{U(z)}\right)^2 r'^2(z) r^2(z) \right\} U^{1/2}(z)\, dz \quad \text{.....(3)}$$

$$Cc_O = \frac{U^{1/2}(z_o)}{r_o'^2} \int_{zo}^{zi} \left[\frac{1}{2}\frac{U'(z)}{U(z)} r'(z) r(z) + \frac{U''(z)}{4U(z)} r^2 \right] U^{-1/2}(z)\, dz \quad \text{.....(4)}$$

حيث إن Cs_o و Cc_o يمثلان معاملي الزيغ الكروي واللوني للجسم على التوالي. ولحساب معاملي الزيغ الكروي واللوني للصورة Csi و Cci على التوالي يمكن استخدام العلاقتين السابقتين وذلك باستبدال $U^{1/2}(z_o)$، $r_o'^2$ و $r_o'^4$ بـ $U^{1/2}(z_i)$، $r_i'^2$ و $r_i'^4$ وعلى الترتيب. ويحسب نصف قطر قرص الزيغ الكروي d_s ونصف قطر قرص الزيغ اللوني d_c والكلي d_t باستخدام المعادلات التالية[8]:

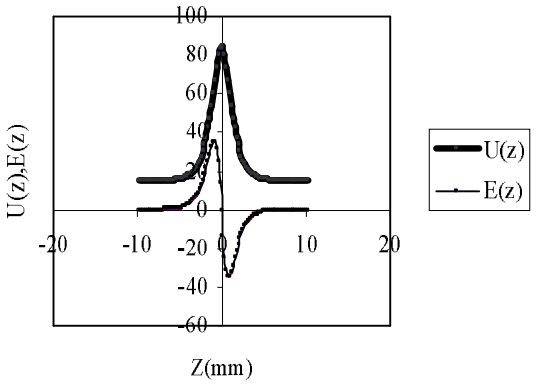
$$d_s = C_s \alpha^3 \quad \text{.....(5)}$$
$$d_c = C_c \alpha\ \Delta U/U \quad \text{.....(6)}$$
$$d_t^2 = d_s^2 + d_c^2 \quad \text{.....(7)}$$

حيث إن α تمثل نصف زاوية القبول (half acceptance angle) و $\Delta U/U$ التغير النسبي لطاقة حزمة الإلكترونات المنتشرة إن حساب أشكال الأقطاب للعدسة الإلكترونية اعتمادا على توزيع الجهد والذي يكون دالة إلى قيمة الموقع بالنسبةللمحور البصري. ويتم ذلك باستخدام الحل التسلسلي لمعادلة لابلاس الآتية[9] :

$$U(r,z) = U(z) - \frac{r^2}{4} U''(z) \quad \text{.....(8)}$$

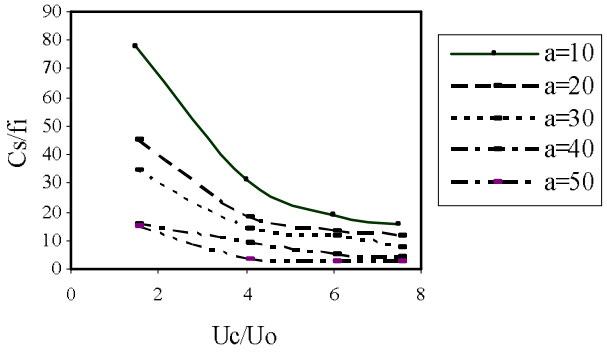
النتائج والمناقشة

الشكل (1) يمثل توزيع الجهد المحوري U(z) وتوزيع المجال الكهروسكوني المحوري E(z) لعدسه أحاديه الجهد ومن الواضح إن توزيع المجال المحوري يمتلك نقطتي انقلاب عندما يصل المجال المحوري إلى قيمته العظمى الموجبة والسالبة وان نقطتي الانقلاب تدل على ان العدسة تتكون من ثلاث أقطاب، كذلك فان توزيع الجهد يمتلك قمة واحدة وذلك بالاعتماد على فولتيه القطب المركزي ويمكن ملاحظه ان الجهد المحوري متساوٍ في جانبي الجسم والصورة أي إن $U(z_i)=U(z_o)$ كما ان المجال المحوري يساوي صفرا" عند هاتين النقطتين أي$E(z_i)=E(z_o)=0$ هذا يدل ان توزيع الجهد لعدسه أحاديه الجهد U(z) وكما موضح من الشكل (1) وتوزيع المجال المحوري E(z) متماثل (Symmetrical) حول محور التناظر (Z). ان تغير معامل الزيغ الكروي نسبة الى البعد البؤري في جانب الصورة لنمط التكبير الصفري, C_s/f_i عند قيم مختلفة لـ (a) كداله الى نسبه الجهد U_c/U_o نلاحظ ان افضل قيم تم الحصول عليها عند a=50 موضحة في الشكل (2) نلاحظ ان Cs/fi يقل بزيادة U_c/U_o حتى يصل إلى اقل قيمه له وهي (2.3) عند نسبه الجهد (7.5). وعند مقارنة هذه النتيجة مع خصائص نموذج اخر يمثل توزيع الجهد المحوري يمثل بواسطة دالة متعددة الحدود تعطي نفس شكل الجهد والمجال المحوري لعدسة احادية الجهد والدالة هي $\left[U(z) = S - \frac{S-g}{50} Z^2 + \frac{S-g}{10000} Z^4 \right]$ كما موضح في الشكل (3) نجد ان نتائج Cs/fi في نموذج دالة القطع الزائد افضل من نتائج دالة متعددة الحدود.

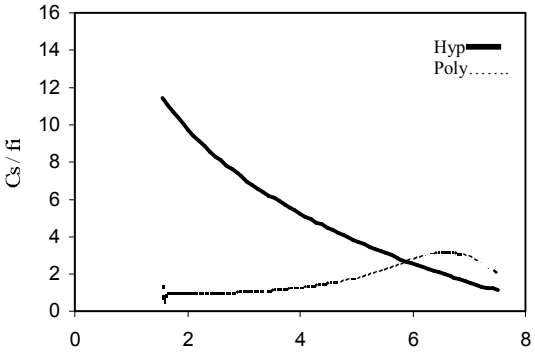


الشكل(1) يمثل توزيع الجهد المحوري U(z) وتوزيع المجال المحوري E(z) لعدسة احادية الجهد عند نمط التكبير الصفري.

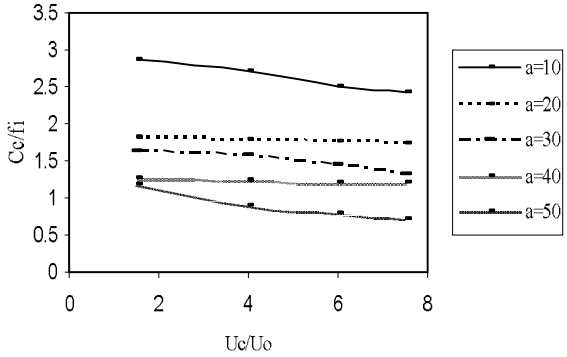
الشكل (4) يوضح تغير معامل الزيغ اللوني نسبة الى البعد البؤري في جانب الصورة Cc/fi عند قيم مختلفة لـ (a) كدالة الى نسبة الجهد نلاحظ ان افضل قيمة لـ Cc/fi عندما a=50 نلاحظ إن C_c/f_i يقل بازدياد U_c/U_o حتى يبلغ اقل قيمه عند نسبه الجهد (7.5) هي (0.7). عند مقارنة هذه النتيجه مع نتائج الزيغ اللوني لنموذج دالة متعددة الحدود نجد ان نموذج الدالة ذات القع الزائد افضل بكثير من نموذج دالة متعددة الحدود هذا يدا على افضلية النموذج المقترح في هذا البحث. تم حساب نصف قطر قرصي الزيغ الكروي واللوني والكلي d_t, d_c, d_s على الترتيب وقد رسمت كداله الى نسبه الجهد Uc/U_o عندما α=4mrad و $\Delta U/U = 1/3*10^3$ التي أخذت بالاعتماد على المصدر[9] كما في الشكل (3). ويلاحظ من الشكل (6) أن المنحنين d_t ,d_s متقاربان وهذا يعني ان قرص الزيغ الكروي هو الغالب وذلك لان الزيغ الكروي هو اكبر من الزيغ اللوني.



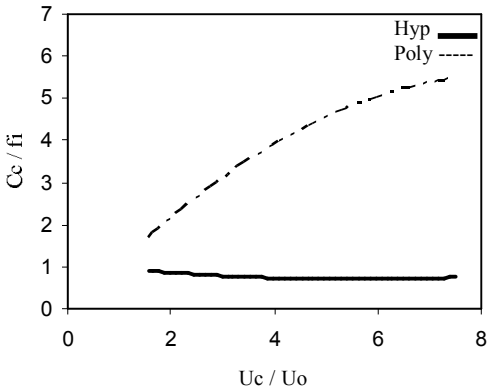
الشكل (2) يمثل العلاقة بين نسبة الجهد U_c/U_o مع معامل الزيغ الكروي Cs/fi عند قيم مختلفة لـ a.



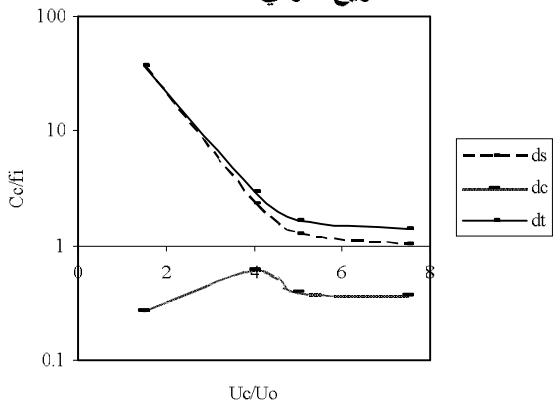
الشكل (3) يمثل العلاقة بين نسبة الجهد U_c/U_o ومعامل الزيغ الكرويCs/fi.



الشكل (4) يمثل العلاقة بين نسبة الجهدU_c/U_o مع معامل الزيغ اللوني Cc/fi عند قيم مختلفة لـ a.

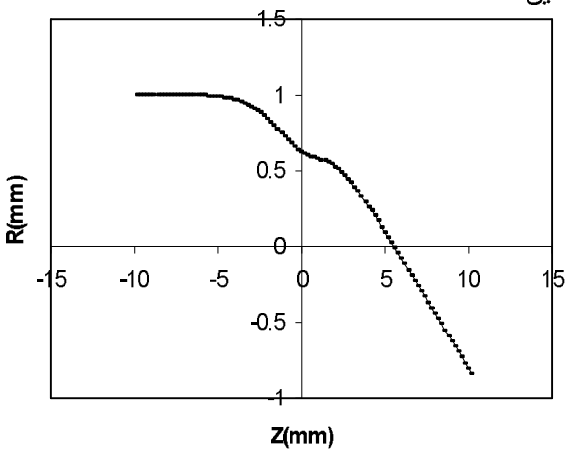


الشكل (5) يمثل العلاقه بين نسبة الجهد U_c/U_o ومعامل الزيغ اللونيCc/fi.

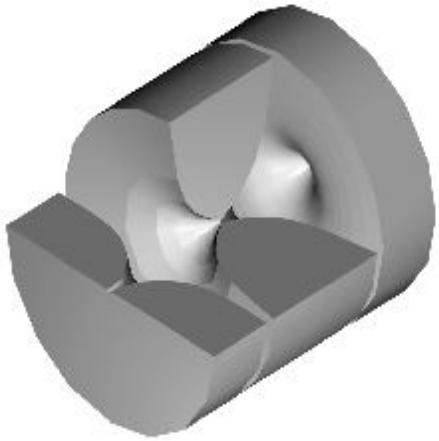


الشكل(6) يمثل تغير ds, dc, dt مع نسبة الجهد لعدسة احادية الجهد.

الصفري والذي يتم حسابه من خلال معادلة الشعاع المحوري. تم اختيار شكل الأقطاب للعدسة أحاديه الجهد باستخدام المعادلة (8) كما مبين في الشكل(8) الذي يمثل العدسة أحاديه الجهد ثلاثية الابعاد تعمل تحت ظرف التكبير الصفري عند $Uc/U_o=4.5$. أن الأقطاب الخارجية (الأول والثالث) هي أقطاب متماثلة او متناظرة وكل منها يملك الجهد نفسه أما القطب المركزي فانه يملك شكلا وجهدا مختلفين.



الشكل (7) يمثل مسار الجسيمات المشحونة لعدسة احادية الجهد عند التكبير الصفري.



الشكل (8) يمثل شكل الاقطاب بثلاثة ابعاد لعدسة احادية الجهد عند نمط التكبير الصفري.

الأستنتاجات

إن النسبة بين جهد القطب المركزي وجهد القطب في جانب الجسم او الصورة هي التي تحدد ظروف عمل العدسة فكلما كانت النسبة اكبر كلما كانت معاملات الزيوغ اقل.

1. عند استخدام نموذج دوال القطع الزائد ومقارنتها مع نموذج اخر مثل دالة متعددة الحدودلاحظنا إن نموذج الدوال الزائديه له نتائج جيدة وعدسة جيدة الخواص البصرية.
2. من النتائج نستنتج ان اقل قيمة للزيغ الكروي Cs/fi والزيغ اللوني Cc/fi هي (2.7) و(0.7) على التوالي عند نموذج دالة القطع الزائدعند نسبة جهد (7.5).
3. من خلال النتائج يتبين بالامكان الحصول على افضل قيم للزيوغ الكروي واللوني باستخدام نموذج دالة القطع الزائد عند مقارنتها مع نتائج نموذج دالة متعددة الحدود عند اعلى نسبه جهد وهي(7.5).
4. نلاحظ ان نصف قطر الزيغ الكروي ds يقل بزيادة نسبة الجهد بينما يزداد نصف قطر الزيغ اللوني dc كلما زادت نسبة الجهد ولكن عند نسبة جهد4.6 يبدا بالنقصان بشكل قليل بينما الزيغ الكلي dt يقل بزيادة نسبة الجهد.

المصادر

[1]A. Zhigararev., Electron optics and electron – beam devices", Mir publisher, Moscow, (1975).
[2] P.W. Hawkes and A. ed. Septier., Lens aberration Focusing of charged particles", Academic press, New York, 1967.
[3]F.A.J. Al- moudarris and S. M. Juma and A. K. Ahmed,"Design Of a Multi-Electrode Immersion Lens for Ion-Optical Systems", Iraqi J. of Appl.Phys, Vol.2, No.1-2, 2006, PP.27-30
[4] B. H. Ahmed and A. K. Ahmed and S. M. Juma, "Some Optical Properties Of an Electrostatic Immersion Lens Using the Charge Density Method", Iraqi J. of Appl. Phys, Vol.1, No.3, 2005, PP.21-27.
[5]A. B. El-Kareh and J. C. J. El-Kareh, Electron beam, lenses and optics", Academic Press, New York and London. 1970.
[6] B. Paskowski, Electron optics", Iliffe Books, London, 1968.
[7] L. Kiss, Computerized investigation of electrostatic lens potential distribution",

12th IMACS world congress, ed. R. Vicheretsky, Paris. 1988

[8] G. F. Rempfer and M.S. Fyfield. and O. H. Griffith, Lenses for electron microscopy and micro analysis : Shadowgraph method of determining focal properties and aberration coefficients", Microsc, Microanal, 4, 34-49. 1998 [9] H.Ohiwa and R.J. Blackwell and B.M, Siegel," Design of an electrostatic ion optical system for microfabication with 100 A resolution ", J.vac.sc.techno, Vol.19, No.,1981, PP1074-1076.

Abstract:

The present research, a theoretical study in the field of charge particles optics .Which concentrated about the design of electrostatic potential lens for focused charge particles beams, and operated under zero magnification and by using inverse method in designing the electrostatic lens .The axial electrostatic potential is represented by suggesting a hyperbolic function. The paraxial ray equation was solved to obtain the trajectory of the particles that satisfies the suggested potential function .The optical properties such as the spherical and chromatic aberrations and focal length in the image side were determined .The shape of the electrode of the electrostatic lens were determined by solving Laplace's equation and, the results of this study showed a small values of spherical and chromatic aberrations, which are considered as good criteria for good design.