

دراسة مدى تأثير التكبير الخطي باختلاف الشكل الهندسي للعدسات الكهروستاتيكية ثلاثية القطب الكهربائي الاسطواني

محمد ادريس كنعان عبدالله ادريس العبدالله

قسم الفيزياء / كلية العلوم / جامعة الموصل

p-ISSN: 1608-9391
e-ISSN: 2664-2786

Article information

Received: 1/8/2022
Revised: 16/9/2022
Accepted: 3/10/2022

DOI:
[10.33899/rjs.2023.180291](https://doi.org/10.33899/rjs.2023.180291)

corresponding author:

محمد ادريس كنعان

Mohammed.20scp13@student.uomosul.edu.iq

عبدالله ادريس العبدالله

abdullahidrees@uomosul.edu.iq

الملخص

تصمم العدسات الكهروستاتيكية باستخدام منظومة أقطاب كهربائية ذات فتحات أسطوانية منظمة بدقة على خط من التماثل. في هذا البحث، تم تصميم أربع عدسات إلكتروستاتيكية ثلاثية الاقطاب الكهربائية الاسطوانية، ثلاث منها بأشكال هندسية غير مألوفة وواحدة بشكل هندسي تقليدي، اذ تم تطبيق ذات الجهود الكهربائية وذات المعلمات الهندسية على جميع العدسات المقترحة في كل من وضعي التشغيل التسارعي والتباطئي. ومن ثم حساب الخصائص البصرية لكل عدسة مصممة في وضعي التسارع والتباطؤ، ولبيان مدى تأثير التكبير الخطي للشكل الهندسي للعدسات الكهروستاتيكية، وقورنت النتائج بين العدسات المقترحة. اذ برهنت النتائج ان هندسة العدسة الكهروستاتيكية لها تأثير هام في زيادة او نقصان مدى التكبير الخطي، يتم اختيار أفضل عدسة من بين العدسات الاربع المصممة بناءً على أدائها البصري. لقد وجد أن العدسة ذات السطح الداخلي المقعر للقطب الكهربائي تتمتع بأفضل أداء بصري عن باقي العدسات والذي يبين ان تقعر السطح الداخلي للقطب الكهربائي له تأثير مباشر على خصائص العدسات الكهروستاتيكية. اذ تفردت هذه العدسة بأكبر مدى للتكبير الخطي (1.0-2.4) و(1.4-3.74)، على التوالي في وضعي التشغيل التسارعي والتباطئي. اجريت الحسابات باستخدام برنامج (SIMION8.0).

الكلمات الدالة: تصميم العدسات الكهروستاتيكية، بصريات الجسيمات المشحونة، برنامج (SIMION8.0).

المقدمة

العدسة الكهروستاتيكية هي جهاز يساعد في نقل الإلكترونات المنبعثة من عينة إلى محلل إلكترون، على غرار الطريقة التي تساعد بها العدسة البصرية في نقل الضوء (Heddle, 2000) في الأجهزة البصرية. يمثل التطور الأخير في التحليل الطيفي الإلكتروني (Electron spectroscopy) إمكانية الكشف عن الهياكل الإلكترونية للجزيئات (Electronic structures of molecules) على الرغم من أن هذا مهم بشكل أساسي بواسطة محلات الإلكترون (Electron analyzers) (Orloff, 2008)، إلا أن العدسات الكهروستاتيكية تؤدي أيضاً دوراً مهماً في تطوير التحليل الطيفي الإلكتروني. وذلك لأن التحليل الطيفي الإلكتروني يكشف العديد من الظواهر الفيزيائية حول الإلكترونات المنبعثة من العينات، وعليه فإنه من الضروري نقل الإلكترونات إلى محلل الإلكترون. يمكن تصميم أنظمة العدسات الكهروستاتيكية بنفس طريقة تصميم العدسات البصرية، لذلك فإن العدسات الكهروستاتيكية تقوم بتكبير أو تجميع مسارات الإلكترون وبكل سهولة (El-Kareh, 2012).

تجد العدسات الكهروستاتيكية تطبيقات متزايدة في العديد من المجالات والتكنولوجيا، بسبب تعدد استخداماتها وتطورها السريع في الأجهزة الحديثة (Szilagy, 1988). بمساعدة العدسات الكهروستاتيكية، يتم استخدام مجسات الأيونات (Ion probes) المستخدمة في زرع الأيونات لتغيير الخصائص الأساسية لأشباه الموصلات (Semiconductors). تستخدم مجسات الإلكترون على نطاق واسع في الصناعة لتصنيعها في أجهزة أشباه الموصلات المصغرة والمستخدمه بالطباعة الحجرية الإلكترونية (Electron lithography) (Hawkes and Kasper, 1996). تمتاز العدسات الكهروستاتيكية بعدة مزايا:

(1) بالنسبة للحالات غير المباشرة فإن خصائص التركيز وكذلك الانحرافات لا تعتمد عن حاصل قسمة الشحنة على الكتلة (Q/m) للجسيمات المشحونة، لهذا السبب يمكن استخدام العدسات الكهروستاتيكية في أي نظام لتركيز الأيونات المختلفة (Al-Ani, 2007).

(2) نسب الجهود لها تأثير على خصائص العدسة، لذلك إذا كان من الضروري تركيز الجسيمات المشحونة ذات الإشارة المعكوسة، لا بد من عكس إشارات جميع جهود الأقطاب الكهربائية (Electrode potentials) المكونة للعدسة للوصول إلى نفس الخصائص. تبقى مسارات الجسيمات المشحونة نفسها إذا كان كل من إشارة شحنة الجسيم وجهود الأقطاب الكهربائية مختلفة (Szilagy, 1988).

(3) تتميز العدسات الكهروستاتيكية بأقطابها الكهربائية بسيطة التصنيع والمحاذاة وصغر الحجم والوزن. علاوة على ذلك، فهي تحتاج إلى مصدر طاقة منخفض ومستقر. وإن مشاكل الرئيسية في تصنيعها هي الانهيار الكهربائي (Electric breakdown) وتراكم الشحنات على الأسطح العازلة. من الشروط الأساسية يجب فصل الأقطاب الكهربائية بمسافة عن بعضها البعض حتى يتم تجنب التفريغ الكهربائي (Electrical discharge) بحيث لا تتجاوز شدة المجال القصوى (15 kV/mm) (Juma et al., 2007).

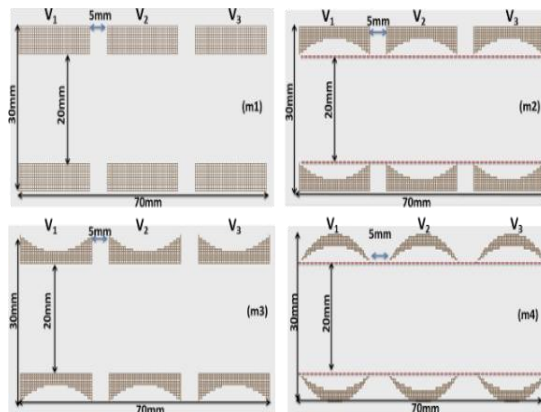
(4) المشكلة الحقيقية في العدسات الكهروستاتيكية هي صعوبة حساب خصائصها بسبب احتوائها على عدد كبير من المعلمات الهندسية المميزة لها، كعدد الأقطاب الكهربائية، نسب جهود الأقطاب الكهربائية، فتحة العدسة حجم، سمك الأقطاب الكهربائية، المسافة بينها، الأقطار، والابعاد الطولية للعدسة. لذلك، فإن المقارنة بين خصائص العدسات الكهروستاتيكية المختلفة صعبة للغاية، حيث يتم ترتيب خصائص العدسة على شكل جداول وأشكال. وكمثال يتم عرض النقاط الأساسية (Cardinal points) ومعاملات الزيوج (Aberration coefficients) كدالة لنسب جهد الأقطاب الكهربائية والمعلمات الهندسية (Szilagy, 1987). تستخدم العدسات الكهروستاتيكية على نطاق واسع في مجموعة متنوعة من المجالات للتحكم في حزم الجسيمات المشحونة ذات الطاقات والاتجاهات المختلفة، خاصة في التحليل الطيفي الإلكتروني (Sise et al., 2007). تعتمد المعجلات الكهروستاتيكية منخفضة الطاقة مثل معجلات Cockcroft-Walton و Van de Graaff بشكل كبير على

العدسات الكهروستاتيكية (Hinterberger, 2006). تستخدم معجلات الجسيمات وطريقة غرس الأيونات ومقاييس الطيف الكتلي (Mass spectrometry) هذا النوع من العدسات في مجموعة من الاستخدامات، أهمها دراسات غرس الأيونات الذرية، واستقصاء تشتت الأيونات السطحية، والتفكك الناجم عن السطح (surface-induced dissociation) (SID)، (Ginzela et al., 2010) و (O'Connor et al., 1991). يمكن استخدام الأجهزة المكونة من سلسلة من الأقطاب الكهربائية المتسارعة مع تناظر أسطواني وخصائص العدسة لتركيز الجسيمات المشحونة في مجال كهروستاتيكي، ونمذجة خصائص نقطة التركيز لعدسات التكبير ثلاثية الأقطاب بأقطار ونسب جهد كهربائي مختلفة (Hedde, 1971). يمكن إبطاء الأيونات بنجاح إلى مستويات طاقة أقل من خلال قيم الجهود باستخدام طريقة إبطاء جديدة تجمع بين العدسة الكهروستاتيكية وتقنية مصيدة الأيونات (Chen et al., 2020). يتم استخدام عدسات Einzel أكثر فأكثر في العديد من مجالات العلوم والتكنولوجيا (Al-Ani, 2007) و (Syms et al., 2003). من خلال تطبيق الفولتية المختلفة على القطبين الخارجيين، من الممكن القضاء على التناظر مع الحفاظ على عدسة قابلة للاستخدام (Kim et al., 2005).

في هذا البحث صممت أربع عدسات كهروستاتيكية ثلاثية القطب الكهربي الاسطواني، ثلاث عدسات بأشكال هندسية غير مألوفة لا يوجد لها مثل لدى وتم دراسة العلاقة بين الجهد النسبي (V_B) والجهد النسبي (V_A) في وضعي التشغيل التسارعي والتباطئي، وكذلك دراسة العلاقة بين مدى التكبير الخطي وهندسة العدسات في وضعي التشغيل التسارعي والتباطئي.

تصميم العدسات الكهروستاتيكية ثلاثية القطب الكهربي الاسطواني

في هذا العمل البحثي، تم تصميم أربع عدسات كهروستاتيكية مختلفة تتألف من ثلاثة أقطاب كهربائية لكل قطب شكل هندسي خاص كما هو موضح في الشكل (1). في هذا الشكل، العدسة الأولى المشار إليها (m1) لها أقطاب كهربائية ذات سطح داخلي وخارجي مستوي والعدسة الثانية المشار إليها (m2) لها أقطاب كهربائية ذات سطح داخلي مقعر وخارجي مستوي والعدسة الثالثة المشار إليها (m3) لها أقطاب كهربائية ذات سطح داخلي مستوي وخارجي مقعر والعدسة الأخيرة (m4) لها أقطاب كهربائية ذات سطح داخلي مقعر وخارجي محدب. كل عدسة لها قطر داخلي (40 mm) وقطر عدسة خارجي (60 mm) وطول عدسة (140 mm) وعرض فجوة بين القطبين المتتاليين (10 mm). إذ ان النسبة بين المسافة من منتصف الفجوة الأولى الى منتصف الفجوة الثانية على قطر العدسة (A / D) تساوي (1.25). تم إنجاز معاملات العدسة المحسوبة في نطاق واسع من قيم (V_3 / V_1) و (V_2 / V_1) في ظل ظروف ($V_3 / V_1 > 1$) لوضع التسارع، و ($V_3 / V_1 < 1$) لوضع التباطؤ. حيث ان جهد القطب الاول القريب من موقع الجسم يساوي ($V_1=1$ Volt) وجهد القطب المركزي ($V_2=3$ Volt) وجهد القطب الثالث القريب من موقع الصورة يساوي ($V_3=2$ Volt) في وضع التسارع، وجهود الاقطاب الثلاث يساوي (1.5, 3 and 2 Volt) على التوالي في وضع التباطؤ (Hujazie, 2010).

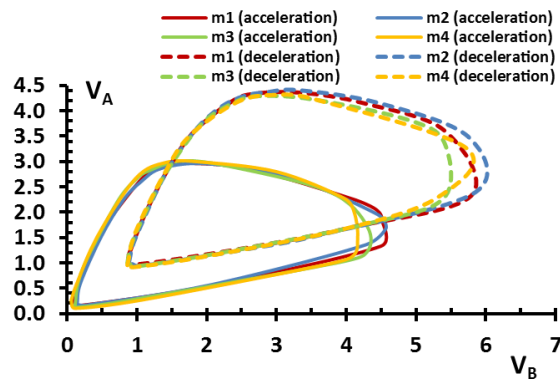


الشكل 1: رسم توضيحي ثنائي الأبعاد والمعلومات الهندسية للعدسات الكهروستاتيكية الأربعة

ثلاثية القطب الكهربي والمسماة بـ (m1, m2, m3 & m4)

النتائج والمناقشة

أولا يجب إيجاد العلاقة بين الجهد النسبي (V_A) والجهد النسبي (V_B) لكل عدسة من العدسات الأربع والمستخدمة في إيجاد الخواص البصرية لكل من وضعي التشغيل التسارعي والتباطئي والموضح بالشكل (2) لقيم ثابتة لموقع الجسم (P/D) وموقع الصورة (Q/D) نسبة لقطر العدسة والنسبة ($A/D=1.25$). حيث ان (V_A) النسبة بين جهد القطب الكهربائي (V_2) والمركزي وجهد القطب الأول (V_1) بالصيغة ($V_A = V_2 / V_1$) وان (V_B) هي النسبة بين جهد القطب الكهربائي الخارجي (V_3) وجهد القطب الأول (V_1) والموضح سابقا. لقد بينت النتائج ان التغير في مدى الجهد النسبي (V_B) يغير مدى التكبير (M)، ويبين الشكل ايضا ان العدسة (m_2) سجلت اعلى مدى للجهد النسبي (V_B) في وضع التسارع، واعلى مدى للجهد النسبي (V_A) والجهد النسبي (V_B) في وضع التباطؤ.

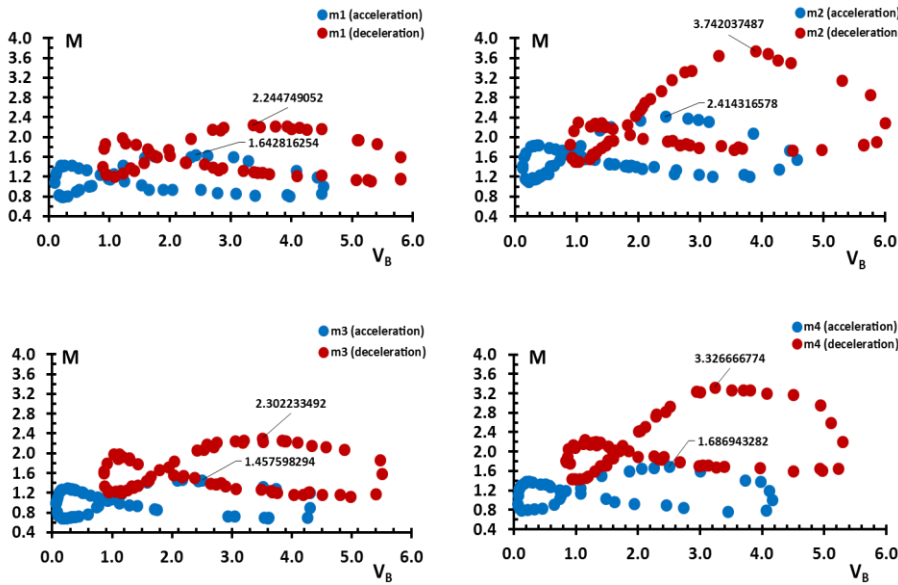


الشكل 2: العلاقة بين الجهد النسبي (V_A) والجهد النسبي (V_B) لكل عدسة من العدسات الأربع لكل من وضعي التشغيل التسارعي والتباطئي، بعد تحديد الجهود للأقطاب الكهربائية (1, 3 and 2 Volt) و (2, 3 and 1.5 Volt) على التوالي.

من المعلمات الأساسية للعدسة في تحديد مسارات الحزم الالكترونية هو التكبير الخطي (M) الذي يحسب بقسمة ازاحة موقع الصورة (r_i) عن المحور البصري على ازاحة موقع الجسم (r_o) كما موضح في المعادلة (1) لكل عدسة من العدسات الأربع في وضع التسارعي والتباطئي (Heddle, 2000).

$$M = \frac{r_i}{r_o} \dots (1)$$

وكان موقع انطلاق حزمة الالكترون (-160 mm) على المحور البصري (Z) علما ان المستوي المرجعي principle (R) plane في موقع ($Z=0$)، لكل من وضعي التشغيل ومقدار الطاقة الحركية الابتدائية (0.8 eV) لوضع التسارع، و (1 eV) التباطؤ ولذات الجهود المذكورة سابقا لكل من وضعي التشغيل. يوضح الشكل (3) مدى التكبير الخطي كدالة للجهد النسبي (V_B) لكل من العدسات المقترحة ومقارنة النتائج لكل عدسة في وضعي التشغيل التسارعي والتباطئي، لقد بينت النتائج ان العدسة (m_2) تفردت بأفضل مقدار للتكبير في كلا الوضعين مع فرق طفيف عن العدسة (m_4)، بينما اظهرت النتائج فرق طفيف في مقدار التكبير بين العدستين (m_1 and m_3). لقد بينت النتائج ان الشكل الهندسي للعدسات يلعب دوراً مهماً بالتحكم في مقدار التكبير الخطي من خلال التحكم في مسارات حزمة الالكترون، كذلك لوحظ ان مقدار التكبير في وضع التباطؤ أكبر منه في وضع التسارع وهذا يدل على امكانية التحكم في مقدار التكبير بتحديد مقدار الجهد الداخل (V_1) والجهد الخارج (V_3) وليس على مقدار الجهد المركزي (V_2) فقط، بالإضافة الى ان الطاقة الحركية للحزمة الخارجة من العدسة تلعب دور مهم في مقدار التكبير.



الشكل 3: مقارنة مدى التكبير الخطي كدالة لنسبة الجهد (V_B) للعدسات الأربع الكهروستاتيكية ($m1, m2, m3$ & $m4$) لكل من وضعي التشغيل التسارعي والتباطئي بعد تحديد الجهود للأقطاب الكهربائية (1, 3 & 2 Volt) و (2, 3 & 1.5 Volt) على التوالي.

يبين (الجدول 1) مقارنة مدى قيم التكبير الخطي كدالة لتغير نسب الجهد (V_B) لكل من العدسات الأربع لكل من وضعي التشغيل التسارعي والتباطئي، إذ بينت النتائج تفاوتاً في مدى قيم التكبير لكل عدسة وتميز العدسة ($m2$) بأفضل امتداد لقيم التكبير عن العدسات الأخرى مما يدل على قابليتها للتكبير لكل من وضعي التشغيل.

الجدول 1: مقارنة قيم التكبير الخطي كدالة لتغير نسب الجهد (V_B) لكل عدسة من العدسات الأربع المقترحة ($m1, m2, m3$ and $m4$) في وضعي التشغيل التسارعي والتباطئي، بعد تحديد الجهود للأقطاب الكهربائية (1, 3 and 2 Volt) و (2, 3 and 1.5 Volts) على التوالي.

Electrostatic lenses	V_B acceleration	M Acceleration	V_B deceleration	M deceleration
m1	0-4.6	0.8-1.64	0.6-5.9	1.1-2.42
m2	0-4.7	1.0-2.4	0.8-6	1.4-3.74
m3	0-4.3	0.6-1.4	0.6-5.7	1.1-2.30
m4	0-4.4	0.7-1.64	0.8-5.8	1.4-3.32

الاستنتاجات

- 1- بينت النتائج مدى ارتباط التكبير بتغير معلم الجهد (V_B) حيث تبين من الدراسة الحالية ان للشكل الهندسي للعدسات ارتباط وثيق بتغير معلم التكبير الخطي نتيجة تغير الجهد النسبي (V_B).
- 2- بينت الدراسة ان تقعر السطح الداخلي للقطب الكهربائي له تأثير هام في تحسين الخواص البصرية للعدسة التي تتضمن مدى التكبير الخطي.
- 3- برهنت الدراسات المتضمنة في هذا البحث ان من بين العدسات الاربعة المصممة، ان العدسة ذات الاقطاب المقعرة السطح الداخلي تميزت بأفضلية في اغلب معاملات الاداء في وضعي التشغيل التسارعي والتباطئي.
- 4- لوحظ ان مقدار التكبير في وضع التباطؤ أكبر منه في وضع التسارع وهذا يدل على امكانية التحكم في مقدار التكبير بتحديد مقدار الجهد الداخل (V_1) والجهد الخارج (V_3) وليس على مقدار الجهد المركزي (V_2) فقط، بالإضافة الى ان الطاقة الحركية للحزمة الخارجة من العدسة تؤدي دورا مهما في مقدار التكبير.

المصادر

- Al-Ani, M.M. (2007). "Design of an Einzel Lens Using Non-Classical Variation Technique". Doctoral dissertation, Ministry of Higher Education.
- Chen, S.L.; Zhou, P.P.; Liang, S.Y.; Sun, W.; Sun, H.Y.; Huang, Y.; Gao, K.L. (2020). Deceleration of metastable Li⁺ Beam by combining electrostatic lens and ion trap Technique. *Ch. Phys. L*, 37(7), 073201, Doi: 10.1088/0256-307X/37/7/073201.
- El-Kareh, A. (Ed.). (2012). "Electron Beams, Lenses, and Optics". Elsevier.
- Ginzela, R.; Higginsa, S.G.; Mrowcynskia, P.; Northwaya, P.; Simona, M.C. (2010). A deceleration system at the Heidelberg EBIT providing very slow highly charged ions for surface nanostructuring. *Nucl. Instr. and Meth. B.*, 268, 2972-29, Doi:10.1016/j.nimb.2010.05.020.
- Hawkes, P.W.; Kasper, E. (1996). "Principles of Electron Optics: Wave Optics". Vol. 3. Academic Press, DOI: 10.1016/C2015-0-06652-7.
- Heddle, D.W. (2000). "Electrostatic Lens Systems". CRC Press, Doi: 10.1201/NOE0750306973.
- Heddle, D.W.O. (1971). An afocal electrostatic lens. *J. Phys. E: Scientific Instruments*, 4(12), 981, Doi: 10.1088/0022-3735/4/12/013.
- Hinterberger, F. (2006). "Electrostatic Accelerators", Doi: 10.1007/b138596.
- Hujazie, N.S. (2010). Investigation of the focal and zoom properties for three-element cylindrical electrostatic lens. *Raf. J. Sci*, 21(6), 40-51, Doi: 10.33899/RJS.2010.37154.
- Juma, S.M.; Jalil, F.A.; Isra'a, L.M. (2007). Computations on the optical properties of the electrostatic symmetric quadrupole triplet lens. *Al-N. J. Sci.*, 10(1), 73-77.
- Kim, H.S.; Kim, D.W.; Ahn, S.; Kim, Y.C.; Cho, J.; Choi, S.K.; Kim, D.Y. (2005). Arrayed microcolumn operation with a wafer-scale Einzel lens. *Micro. Eng*, 78, 55-61, DOI:10.1016/j.mee.2004.12.092.
- O'Connor, P.J.; Leroi, G.E.; John, A. (1991). Understanding ion deceleration lenses: what are the simplicity/performance trade-offs?. *J. Am. Soc. Mass. Spectrom.*, 2, 322-335, Doi:10.1016/1044-0305(91)80024-2.
- Orloff, J. (2008). Schottky emission. *Handbook of Charged Particle Optics*, 2, 5-6.
- Sise, O.; Ulu, M.; Dogan, M. (2007). Characterization and modeling of multi-element electrostatic lens systems. *Rad. Phys and Chem.*, 76(3), 593-598, Doi: 10.1016/j.radphyschem.2005.11.037.
- Syms, R.R.A.; Michelutti, L.; Ahmad, M.M. (2003). Two-dimensional microfabricated electrostatic einzel lens. *Sen. and Act. A: Phys.*, 107(3), 285-295, Doi: 10.1016/j.sna.2003.08.001.
- Szilagy, M. (1987). Electrostatic spline lenses. *J. Vac. Sci. Tech. A: Vac, Sur, and Fil.*, 5(2), 273-278, Doi: 10.1116/1.574117.

Szilagyi, T. (1988). Infrared spectra of methyl cyanide and methyl isocyanide adsorbed on pt/sio2. *Appl. Surface Sci.*, 35(1), 19-26, Doi: 10.1016/0169-4332(88)90034-7.

Study of the Effect Range on Linear Magnification in the Change of the Different Geometry of Cylindrical Electrostatic Lenses of Three-electrode

Mohammed I. Kanaan Abdullah I. M. Alabdullah

Department of Physics/ College of Sciences/ University of Mosul

ABSTRACT

Electrostatic lenses are designed using an array of electrodes with cylindrical apertures precisely arranged on a line of symmetry. In this research, four cylindrical three-electrode electrostatic lenses were designed, three of them with unusual geometric shapes and one with a traditional geometric shape, as the same electrical voltages and the same geometric parameters were applied to all the proposed lenses in both acceleration and deceleration modes. The optical properties of each lens designed in acceleration and deceleration modes were calculated to show the extent to which linear magnification is affected by the geometry of electrostatic lenses, and the results were compared between the proposed lenses. As the results prove that the electrostatic lens geometry has an important effect in increasing or decreasing the linear magnification range, the best lens is selected from among the four designed lenses based on its optical performance. It was found that the lens with the concave inner surface of the electrode has the best optical performance of the rest of the lenses, which shows that the concavity of the inner surface of the electrode has a direct effect on the properties of electrostatic lenses. Which lens' has the largest linear magnification range (1.0-2.4) and (1.4-3.74), respectively, in both acceleration and deceleration modes. The calculations were made using the program (SIMION8.0).

Keywords: Electrostatic lenses design, Charged particle optics, SIMION8.0.