

مقارنة الخواص البصرية الشبئية والمسقطية لعدسة الكترونية

لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي

مقارنة الخواص البصرية الشبئية والمسقطية لعدسة الكترونية

لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م محمد جواد ياسين

أ.م أسعد أحمد كامل

أ.م.د علي هادي حسن البطاط

الجامعة المستنصرية - كلية التربية - قسم الفيزياء

قسم الفيزياء- كلية العلوم -جامعة ديالى

قسم - كلية التربية -الجامعة المستنصرية الفيزياء

م.م حسن عبد الصاحب هادي

الجامعة المستنصرية-كلية التربية-قسم الفيزياء

### الخلاصة

في هذا البحث النظري أجريت دراسة مقارنة للخواص الشبئية والمسقطية للعدسات المغناطيسية ثنائية القطب غير المتناظرة وغير المشبعة مغناطيسيا والتي يتمثل توزيع كثافة فيضها المغناطيسي المحوري ببعض النماذج الرياضية المعروفة في بصريات الإلكترون والتي لها شكل قطب متشابه تقريبا، وهي أنموذج كلازر الناقوسي الشكل، النموذج للأس الثلاثة أنصاف والنموذج للأس أربعة. إن أهمية البحث تكمن في معرفة أي من النماذج الثلاث لها خواص شبئية ومسقطية أفضل من غيرها، حيث لم يسبق أن تطرق الباحثين إلى مثل هذه الدراسة من قبل.

**كلمات مفتاحية:** بصريات الإلكترون ، تصميم العدسات المغناطيسية، الخواص البصرية لعدسة الكترونية

## Comparison of The Objective And Projector Optical Properties Of Asymmetrical Electron Lens By Using Inversion Design

### Abstract

In this theoretical research investigation compares has been carry out for objective and projector optical properties for asymmetrical double polepiece magnetic lenses under magnetic unsaturated condition which whose axial magnetic field distribution representing well known models in electron optics have same pole shaped such as Glaser's Bell-shaped model, power to (3/2) model and power to (4) model. The importance of this

## مقارنة الخواص البصرية الشينية والمسقطية لعدسة الكترونية

لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي

research lie in the fact that show which model has best objective and projector properties, since researcher doesn't investigate this state later.

**Keywords:** electronic optics magnetic lenses design, optical properties of electron lences

### المقدمة Introduction

ان الأسس النظرية للتوليف في بصريات الجسيمات المشحونة كان قد وضعها Grinberg عام 1948 [Guogiang et al, 1990]. وان أول من استعمل تقنية حساب التغيرات لتقليل تكاملات الزيغ الكروي والزيغ اللوني للعدسات المغناطيسية هو Tretner عام 1959 [Moses, 1973] وبعد ذلك قدم [Szilagy, 1977a,b; 1978] طريقة جديدة تدعى البرنامج الديناميكي (dynamic programming) إذ يتم بهذه الطريقة تقسيم الفترة التكاملية بين الجسم والصورة  $Z_0 \leq Z \leq Z_i$  إلى فترات جزئية صغيرة ومن الحل التحليلي لمعادلة لابلاس تم إعادة بناء أقطاب العدسة المغناطيسية، وبهذا الأسلوب استطاع الباحث اختزال مسألة المغناطيسية المستقرة (magnet static problem) وبطريقة مشابهة لمسألة الكهروستاتيكية (electro static problem). وكانت النتيجة إن توزيع المجال المحوري التحليلي هو المجال الامثل [Hawkes and Kasper, 1989]. واقترح [Szilagy, 1984] طريقة أخرى لحل مسألة التوليف تدعى السيطرة المثلى (optimum control) إذ يتم توزيع الجهد المحوري إلى  $N$  من المناطق وفي كل منطقة يمثل الجهد بمتعدد حدود بسيط. وتتطلب هذه العملية استمرارية دالة الجهد ومشتقاتها الأولى والثانية عند الحدود بين متعدد الحدود. بعدئذ يتم اختزال المسألة لإيجاد  $N$  من الحدود التي تحقق معادلة الناشرة المحورية، لذلك تفرض بعض العلاقات بين معاملات متعدد الحدود في المناطق المتجاورة. ثم اقترح [Szilagy, 1985] طريقة جديدة في التوليف البصري الالكتروني والأبوني إذ استعمل طريقة البرنامج الديناميكي أو طريقة السيطرة المثلى بصيغة منحنيات مستمرة للشرائح التكعيبية في دراسة توزيعات المجالات ذات الزيوغ القليلة. إذا يتم تمثيل الجهد الكهروستاتيكي أو الجهد العددي المغناطيسي المحوري بشرائح تكعيبية على طول مناطق العدسة وعند نهاية كل منطقة توضع قيود يجب تحقيقها. والنتيجة النهائية يتم الحصول على توزيع الجهد العددي المغناطيسي المحوري أو الجهد الكهروستاتيكي على طول العدسة بناءً على القيود الموضوعية. ومن ثم يتم حساب شكل القطب للعدسة. ولقد استمر التطور في طريقة التوليف كما استعملت هذه الطريقة في تصميم الكثير من العدسات. إذ طبق [Ahmad, 1993] طريقة التوليف في العدسات الكهروستاتيكية بفرض مسار معين للجسيم المشحون داخل العدسة بعد ذلك يتم حل معادلة الأشعة المحورية للعدسات الكهروستاتيكية للحصول على الجهد الكهروستاتيكي المحوري. وبعدئذ يتم حساب خواص المرتبة الأولى ومعادلات الزيوغ للمنظومة، واستعمل وبالطريقة نفسها [Al-Obaidi, 1995] طريقة التوليف في تصميم عدسات مغناطيسية ثنائية القطب المتناظرة غير المشبعة مغناطيسياً إذ تم تقسيم العدسة إلى ثلاث مناطق ويتم تمثيل مسار حزمة الجسيمات المشحونة في كل منطقة بمتعدد حدود مناسب وبحل معادلة الأشعة المحورية للعدسات المغناطيسية تم الحصول على توزيع كثافة الفيض المغناطيسي

## مقارنة الخواص البصرية الشينية والمسقطية لعدسة الكترونية

## لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي

المحوري الذي ينتج منه هذا المسار ومن ثم حدد خواص المرتبة الأولى ومعاملات الزيوغ ومن الحل التحليلي لمعادلة لابلاس تم إعادة بناء أقطاب العدسة المغناطيسية وبهذا الأسلوب استطاع الباحث اختزال مسألة المغناطيسية المستقرة (magnetostatic problem) بطريقة مشابهة للمسألة الكهروستاتيكية (electrostatic problem). واستعمل [Al- Ani, 1996] طريقة التوليف في تصميم العدسات الكهروستاتيكية الطريقة نفسها التي اتبعها كل من [Ahmad, 1993] و [Al-Obaidi, 1995]، ولكن بدراسة تأثير الشحنة الفراغية على تصميم زيوغ هذه العدسات بطروف تشغيل محددة مسبقا إذ فرض معادلة مسار للجسيمات المشحونة داخل العدسة، وتم الحصول على الجهد والمجال الكهروستاتيكي بحل معادلة الأشعة المحورية إذ قام الباحث بإدخال الشحنة الفراغية من خلال معادلة بواسون وبحل هذه المعادلة تم الحصول على أقطاب العدسات الكهروستاتيكية الناتجة تحت تأثير الشحنة الفراغية. وطبق [Al-Tabbakh, 2000] تقنية البرنامج الديناميكي (dynamic programming) في تصميم العدسات الكهروستاتيكية المختلفة وذلك من خلال تمثيل الجهد الكهروستاتيكي على طول محور العدسة بشرائح تكعيبية معينة ومن حل معادلة الأشعة المحورية للعدسات الكهروستاتيكية يتم الحصول على مسار حزمة الجسيمات المشحونة ومن ثم الحصول على خواص العدسة وأشكال أقطابها. كذلك قام [Al-Batat, 2001] باستخدام طريقة التوليف في تصميم العدسات المغناطيسية المتناظرة و اللامتناظرة، إذ قسّم العدسة إلى فترات محددة بشروط حدودية معينة وبفرض متعدد حدود معين لكل فترة تم استخدام تقنية الشريحة التكعيبية لتمثيل الجهد العددي المغناطيسي المحوري ومنه حصل على توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري ومن ثم تم حساب خواص المرتبة الأولى ومعاملات الزيوغ. وقامت [Al-Jubori, 1999] بتصميم عدسات مغناطيسية متناظرة تحت ظروف انعدام التشبع المغناطيسي ولنمط التشغيل المرقبي باستعمال أنموذج الظل الزائدي لتمثيل المسار المرقبي مرة والجهد العددي المغناطيسي مرة أخرى ومن ثم حساب الخواص البصرية للعدسة المغناطيسية. واستخدمت [Al-Jubori, 2001] طريقة التوليف في تصميم عدسات مغناطيسية ثنائية القطب اللامتناظرة وبطريقة [Al-Obaidi, 1995] نفسها. واستخدم [Salimin, 2001] طريقة التوليف في تصميم عدسات مغناطيسية ثنائية القطب المتناظرة غير المشبعة مغناطيسياً تعمل بنمط التشغيل المرقبي باستخدام دوال الظل المعكوس والجيب المعكوس لتمثيل المسار مرة والجهد العددي المغناطيسي مرة أخرى ومن ثم حساب المجال المغناطيسي المحوري وبعدها الخواص البصرية وشكل القطب. واستخدم [Warid, 2004] طريقة التوليف في تصميم العدسات المغناطيسية المتناظرة باستعمال دالة الجيب تمام لتمثيل المجال المغناطيسي المحوري. واستخدم [Zangana, 2005] أنموذج Gray لتمثيل شدة المجال المغناطيسي المحوري، كدالة هدف في الإجراء التوليفي لبناء عدسات مغناطيسية ثنائية القطب متناظرة. واستخدم [Al-Amshani, 2006] طريقة التوليف في دراسة زيوغ العدسة المسقطية ثنائية الفجوة الهوائية. وقام (Al-Shafi'I, 2007) بتصميم منظومات بصرية مغناطيسية ذات خواص بؤرية جيدة بحيث يمكن استخدامها كمنظومة تصوير في المجهر الالكتروني النفاذ باستخدام الطريقة التوليفية في تصميم العدسات المغناطيسية.

مقارنة الخواص البصرية الشينية والمسقطية لعدسة الكترونية

لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي

**دالة الهدف: Target Function**

في هذا البحث تم اعتماد ثلاثة دوال هدف ذات متغيرات أمثلية (optimization variables) تمثل المعلمات الهندسية والفيزيائية للعدسات المغناطيسية التقليدية، وكما هو موضح في العلاقات الآتية:

$$B(z) = \frac{B_m}{1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2} \quad (1)$$

$$B(z) = \frac{B_m}{1 + \left(\frac{z}{a}\right)^{3/2}} \quad (2)$$

$$B(z) = \frac{B_m}{1 + \left(\frac{z}{a}\right)^4} \quad (3)$$

تمثل العلاقة (1) أنموذج كلازر الناقوسي الشكل، العلاقة (2) النموذج للأس الثلاثة أنصاف والعلاقة (3) النموذج للأس أربعة. يلاحظ من العلاقات أعلاه أن توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري  $B(z)$  هي دالة لكل من القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي المحوري  $B_m$ ، ونصف عرض النصف  $a$  الذي يساوي  $(a=a_1+a_2)$ ، فعندما تكون  $(a_1=a_2)$  تصبح العدسة متناظرة وعندما  $(a_1 \neq a_2)$  فعندئذ تكون العدسة غير متناظرة. ونلاحظ كذلك من العلاقات أعلاه إن كل من

$$\left(1 + \left(\frac{-z}{a_1}\right)^2\right), \left(1 + \left(\frac{-z}{a_1}\right)^{3/2}\right) \text{ و } \left(1 + \left(\frac{-z}{a_1}\right)^4\right) \text{ يمثل الجزء السالب من المجال الذي عرضه } a_1 \text{ و}$$

$$\left(1 + \left(\frac{z}{a_2}\right)^2\right), \left(1 + \left(\frac{z}{a_2}\right)^{3/2}\right) \text{ و } \left(1 + \left(\frac{z}{a_2}\right)^4\right) \text{ تمثل الجزء الموجب من المجال الذي عرضه } a_2. \text{ في هذا}$$

البحث تم تثبيت قيمة  $(B_m=0.1T)$ ،  $(z=\pm 200 \text{ mm})$  والذي يمثل طول العدسة،  $(a_1=1 \text{ mm})$  و  $(a_2=2 \text{ mm})$ .

مقارنة الخواص البصرية الشبكية والمسقطية لعدسة الكترونية

لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي

## تحديد شكل القطب: Polepiece Profile Determination

بما أن الجهد العددي المغناطيسي في أي نقطة في الفضاء يحدد بواسطة توزيعه المحوري فإن إعادة بناء الأقطاب نظرياً ليست صعبة ولكنها عملياً مسألة معقدة، وهذا التعقيد يكمن في صعوبة الحصول على نتيجة دقيقة جداً لشكل القطب، وهذا واضح في علاقة متسلسلة القوى (علاقة 4) التي يكون فيها التوزيع المحوري دالة قابلة للاشتقاق  $2(n-1)$  من المرات بالنسبة للمحور  $z$ ، إذ إن  $n$  يمثل عدد الحدود المستعملة في متسلسلة القوى [Adriaans et al, 1989]

$$V(r,z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(n!)^2} V_z^{(2n)}(z) \left[ \frac{r}{2} \right]^{2n}, \quad r \neq 0 \quad (4)$$

إن توزيع الجهد المحوري يعبر عنه عادةً بدلالة بيانات عددية أو بدلالة دالة تحليلية معقدة، وبذلك فإن المشتقات العليا تكون محسوبة عن طريق التقنيات العددية التي غالباً ما تكون غير دقيقة.

وقد أجريت عدة محاولات في هذا المجال للتغلب على صعوبة المشتقات العليا لتوزيع الجهد المحوري لها أهمية كبيرة في التصميم العكسي للحصول على شكل القطب الذي يتلاءم مع الشروط المحددة مسبقاً. وكانت هذه المحاولات غير دقيقة في التطبيقات العملية إلى أن قدم [Szilagy, 1984] تقنية خاصة للتغلب على هذه الصعوبة، حيث اقترح طريقة الشريحة التكعيبية (cubic spline method) لتكون حلاً دقيقاً وبسيطاً لمسألة بناء القطب بشكل تام. وهذه التقنية بُنيت على أساس تقسيم توزيع الجهد المحوري على امتداد محور العدسة إلى عدد محدد من المناطق حيث يمثل الجهد المحوري في كل منطقة بواسطة تعبير خطي أو تربيعي. وقد طُورت هذه الطريقة لتشمل تعابير الرتب العالية وحل مسألة التوليف بشكل منحنى مستمر (continuous curve)، أي إن المشتقة الأولى والمشتقة الثانية للشريحة التكعيبية تكون مستمرة ويمكن استعمال الحدين الأول والثاني أو ثلاثة حدود من متسلسلة القوى التي سوف تؤدي من حيث المبدأ إلى إعادة تركيب القطب. إذن لتحديد شكل القطب يجب أولاً معرفة الجهد العددي المغناطيسي ولأجل ذلك تم إتباع الطريقة التي وضعت من قبل [Al-Obaidi, 1995]. وبناءً على ذلك يمكن أن تختزل العلاقة (5) الآتية:

$$\vec{H} = -\text{grad}V \quad (5)$$

على امتداد محور العدسة إلى الصيغة الآتية:

$$B_z = -\mu_0 \frac{dV_z}{dz} \quad (6)$$

وبتكامل العلاقة (6) يتم حساب الجهد العددي المغناطيسي المحوري  $V_z$  على امتداد محور العدسة:

## مقارنة الخواص البصرية الشينية والمسقطية لعدسة الكترونية

لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي

$$\int_a^b dV_z = -\frac{1}{\mu_o} \int_a^b B_z dz \quad (7)$$

أي أن:

$$V_{zb} - V_{za} = -\frac{1}{\mu_o} \int_a^b B_z dz \quad (8)$$

إن  $a, b$  تمثل حدود المجال المغناطيسي المحوري.

ولحساب الجهد العددي المغناطيسي على امتداد العدسة فإن المنطقة التي يوجد فيها المجال المغناطيسي المحوري تقسم إلى  $(n-1)$  منطقة جزئية حيث  $n$  تمثل عدد نقاط توزيع المجال  $(z, B_z)$  على امتداد محور العدسة، وان كثافة الفيض المغناطيسي المحوري  $B_z$  يمكن أن تمثل بواسطة شريحة تكعيبية في كل منطقة جزئية كما هو موضح في العلاقة الآتية:

$$B_z(z) = B_1 + B'_1(z-z_1) + 0.5B''_1(z-z_1)^2 + \frac{B'''_{i+1} - B''_i}{6(z_{i+1} - z_i)}(z-z_i)^3 \dots \quad (9)$$

إذ أن:  $i=1, 2, 3, \dots(n-1), z_i \leq z \leq z_{i+1}$ 

إن العلاقة (8) يمكن أن تُحسب لكل فترة جزئية بالاستعانة بالعلاقة (9) والنتيجة هي الصيغة التكرارية الآتية:

$$V_{z(i+1)} = V_{z_i} - \mu_o^{-1} [B_1 h_i + B'_1 \left(\frac{h_i^2}{2}\right) + B''_1 \left(\frac{h_i^3}{6}\right) + \frac{B'''_{i+1} - B''_i}{6} \left(\frac{h_i^4}{24}\right)] \quad (10)$$

إذ إن  $h_i$  يمثل عرض كل فترة جزئية وهو يساوي  $z_{i+1} - z_i$  ويمكن كتابة العلاقة (10) بالصيغة الآتية:

$$V_{z(i+1)} = V_{z_i} - E_i \quad (11)$$

إذ إن  $E_i$  يعطى بالعلاقة الآتية:

مقارنة الخواص البصرية الشينية والمسقطية لعدسة الكترونية

لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي

$$E_i = \mu_0^{-1} [B_i h_i + B'_i \left( \frac{h_i^2}{2} \right) + B''_i \left( \frac{h_i}{2} \right)^3 + \frac{B'''_{i+1}}{3} \left( \frac{h_i}{2} \right)^3] \quad (12)$$

وإذا تم اعتبار كثافة الفيض المغناطيسي المحوري متناظرة فيمكن الحصول على:

$$V_z(n) = -V_z(1) = 0.5 NI \quad (13)$$

وعليه يمكن إعادة كتابة العلاقة (13) بالصيغة الآتية:

$$V_{z(i+1)} = 0.5 \sum_{k=1}^{n-1} E_k - \sum_{j=1}^i E_j \quad (14)$$

وذلك لكل فترة جزئية  $Z_i \leq Z \leq Z_{i+1}$ ، وهكذا يمكن الحصول على الجهد العددي المغناطيسي على امتداد محور العدسة  $Z_i \leq Z \leq Z_n$ .

الآن يمكن إيجاد شكل القطب باستخدام التقنية التي استخدمت من قبل [Szilagy, 1984] في إعادة بناء أقطاب العدسة الكهروستاتيكية من أجل بناء أشكال الأقطاب المغناطيسية. استناداً إلى هذه التقنية فإن معادلة سطوح تساوي الجهد (الأقطاب) في هذه الحالة تعطى بالصيغة الآتية:

$$R_p(z) = 2 [(V_z - V_p) / V''_z]^{1/2} \quad (15)$$

إذ إن:  $R_p$ : الارتفاع القطري للأقطاب.

$V_z$ : الجهد العددي المغناطيسي.

$V''_z$ : المشتقة الثانية للجهد  $V_z$ .

$V_p$ : الجهد على أي سطح أو قطب والذي يساوي (0.5 NI).

باستخدام تقنية الشريحة التكميلية التفاضلية يمكن الحصول على قيم المشتقة  $V''_z$  المقابلة لقيم الجهد العددي المحوري  $V_z$ ، أما  $V_p$  فيمكن إيجاده عن طريق حساب قيمة التكامل لكثافة الفيض المحوري  $B_z$  على امتداد محور العدسة ومن ثم تقسيم قيمة التكامل على  $2\mu_0$ .

### النتائج والمناقشة

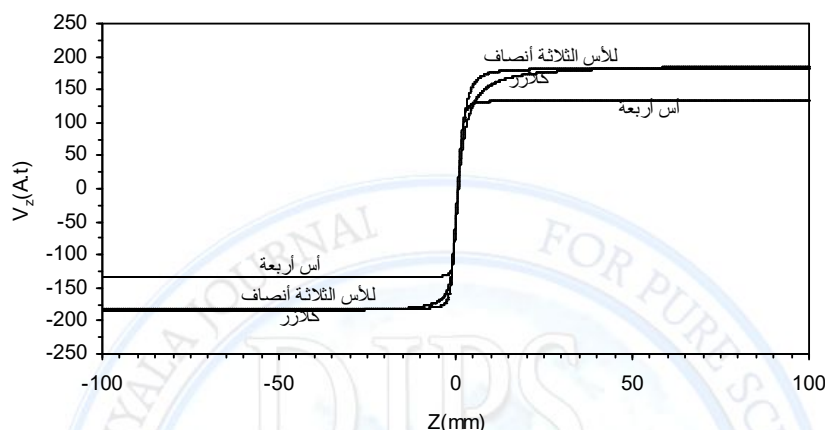
يوضح الشكل (1) توزيع الجهد المغناطيسي العددي  $V_z$  عند قيم نصف عرض النصف ( $a_1=1\text{mm}$ ) و ( $a_2=2\text{mm}$ ) والقيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي ( $B_m=0.1\text{T}$ ) للنماذج الثلاث. ويتبين من الشكل إن ميل منحنيات الجهد للنماذج

## مقارنة الخواص البصرية الشينية والمسقطية لعدسة الكترونية

## لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

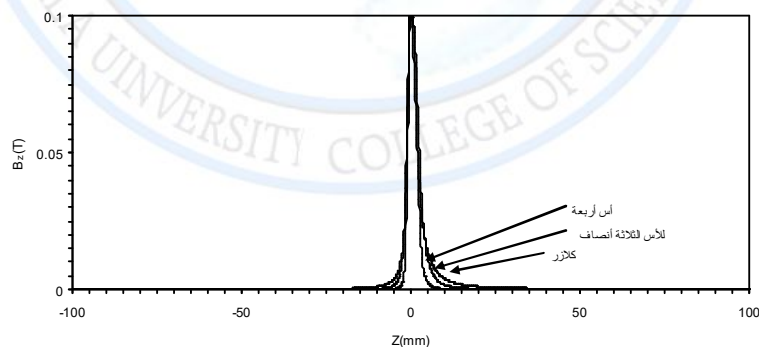
أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي

الثلاث يزداد (عند الابتعاد عن مركز التناظر) نحو المحور البصري z للعدسة أي زيادة الفرق بين قيم الجهد المتتالية والذي يؤدي إلى ازدياد إثارة العدسة [Salimin, 2001].



شكل (1) توزيع الجهد المغناطيسي العددي على امتداد المحور البصري عند قيم  $(a_1=1\text{mm})$  و  $(a_2=2\text{mm})$  وقيمة  $(B_m=0.1\text{T})$  للنماذج الثلاث.

يوضح الشكل (2) توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري عند قيم نصف عرض النصف  $(a_1=1\text{mm})$  و  $(a_2=2\text{mm})$  والقيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي  $(B_m=0.1\text{T})$  للنماذج الثلاث المقابلة لكل توزيع  $V_z$ .



شكل (2) توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري عند قيم  $(a_1=1\text{mm})$  و  $(a_2=2\text{mm})$  وقيمة  $(B_m=0.1\text{T})$  للنماذج الثلاث.



## مقارنة الخواص البصرية الشبكية والمسقطية لعدسة الكترونية

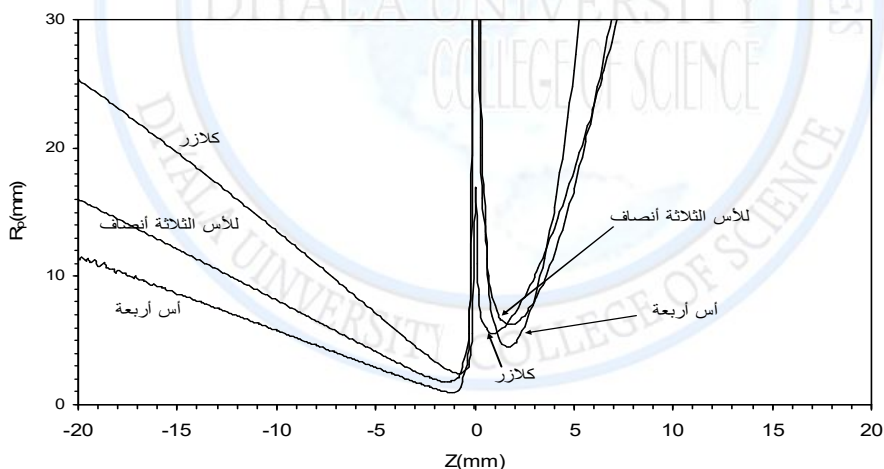
لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي

يلاحظ من الشكل إن المساحة تحت المنحني لتوزيع المجال لأنموذج كلازر اكبر من بقية النماذج، أي أن إثارة العدسة NI لهذا النموذج تساوي (371.419A.t) وهي اكبر من إثارة النموذجين الآخرين واللذين تساوي إثارتها (363.64 A.t) للنموذج للأس الثلاثة أنصاف و (265.165.t) للنموذج للأس أربعة أنصاف على التوالي. ونتيجة لذلك فان خطوط الفيض المغناطيسي التي تخترق الدائرة المغناطيسية والفجوة الهوائية S لوحدة المساحة تكون أكثر لأنموذج كلازر. يعد توزيع المجال المغناطيسي لأنموذج كلازر بطئ الانحدار، بينما يكون توزيع المجال المغناطيسي شديد الانحدار للنموذج للأس أربعة وأكثر انحدارا للنموذج للأس الثلاثة أنصاف. يوضح الشكل (3) مقطعا عرضيا لنصف القطب المغناطيسي العلوي المقابلة لتوزيع المجال المغناطيسي المحوري المحسوبة من النماذج الثلاث.

الجدول (1)

اسم الأنموذج	S (mm)	D <sub>2</sub> (mm)	D <sub>1</sub> (mm)
أنموذج كلازر	0.5	11	5
النموذج للأس الثلاثة أنصاف	1	12.4	3.8
النموذج للأس أربعة	0.8	9.2	1.6

شكل (3) مقطعا عرضيا لنصف القطب المغناطيسي العلوي عند قيم (a<sub>1</sub>=1mm)و (a<sub>2</sub>=2mm) وقيمة (B<sub>m</sub>=0.1T) للنماذج الثلاث.

الجدول (1) يبين بعض المعلمات الهندسية للنماذج الثلاث كعرض الفجوة الهوائية S، قطر فتحة القطبين للعدسة D<sub>1</sub> و D<sub>2</sub> عند قيم (a<sub>1</sub>=1mm)، و (a<sub>2</sub>=2mm) وقيمة (B<sub>m</sub>=0.1T) للنماذج الثلاث. نلاحظ من الجدول إن النموذج للأس أربعة يملك اقل فتحة محورية قطرية D<sub>1</sub>، D<sub>2</sub> يليه النموذج للأس الثلاثة أنصاف ثم النموذج للأس أربعة بينما يملك

## مقارنة الخواص البصرية الشينية والمسقطية لعدسة الكترونية

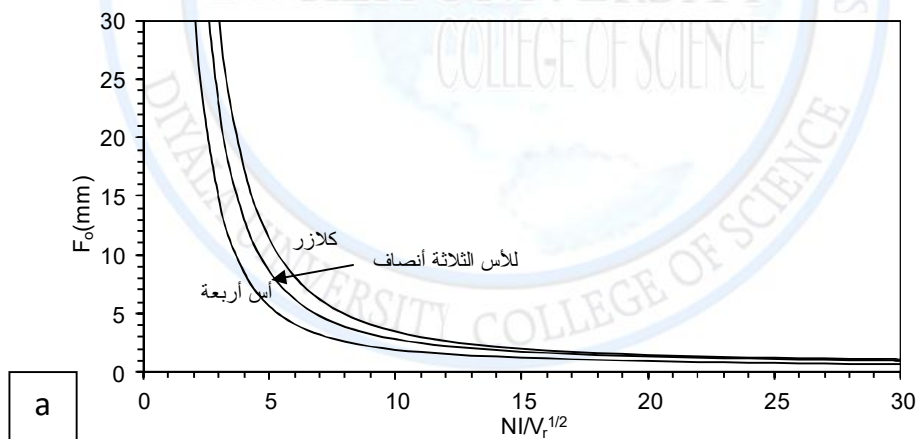
## لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي

النموذج للأس الثلاثة أنصاف أكبر فتحة محورية قطرية  $D_2$  يليه أنموذج كلازر ثم النموذج للأس أربعة، وكذلك نلاحظ من الجدول إن أنموذج كلازر يملك أقل عرض فجوه هوائية يليه للأس أربعة ثم النموذج للأس الثلاثة أنصاف.

الخواص البصرية الشينية

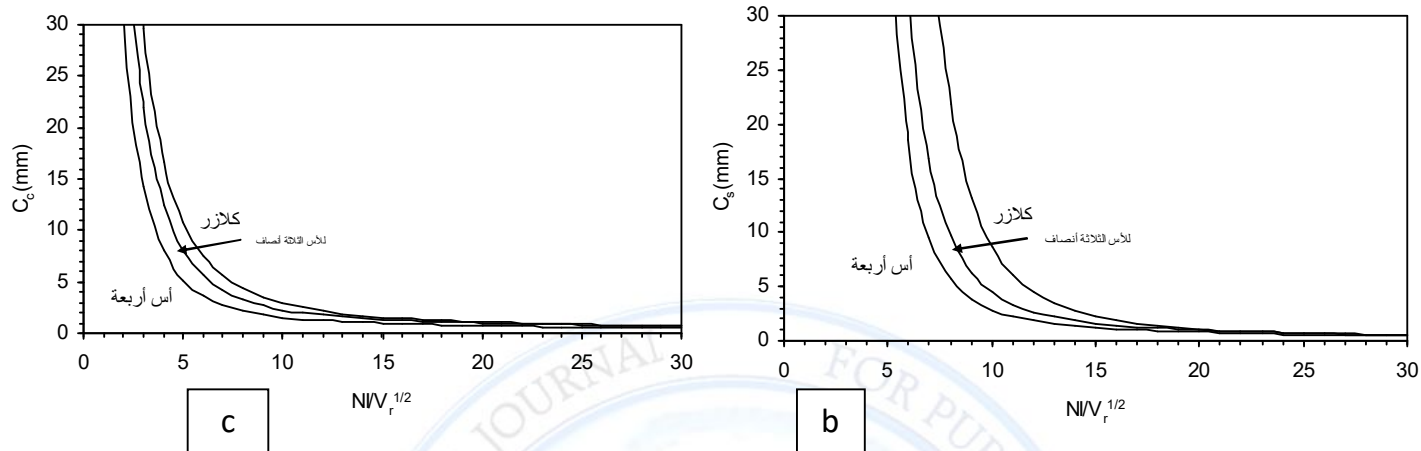
يوضح الشكل (4) تغير كل من (a) البعد البؤري الشيني  $F_0$  ، (b) معامل الزيغ الكروي  $C_s$  و (c) معامل الزيغ اللوني  $C_c$  مع اعلومة التهيج  $NI/V_r^{1/2}$  عند قيم نصف عرض النصف ( $a_1=1mm$ ) و ( $a_2=2mm$ ) والقيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي ( $B_m=0.1T$ ) للنماذج الثلاث. ولكي يتم الحصول على تكبير عال فمن الضروري أن يكون البعد البؤري قليلا. ولأجل تقليص قيم الزيغ يجب أن يكون لتوزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري في العدسة الالكترونية قمة كثافة فيض عالية وعرض نصف قليل. يلاحظ من الشكل إن قيم معاملات الزيغ الكروي، الزيغ اللوني و البعد البؤري الشيني تكون عالية عند قيم اعلومة التهيج الواطئة وتقل كلما ازدادت اعلومة التهيج إذ إن هذه القيم تعتمد على شكل المجال الذي تتقاطع معه الحزمة الالكترونية الموازية للمحور البصري.



مقارنة الخواص البصرية الشبئية والمسقطية لعدسة الكترونية

لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي



شكل (4) تغير (a) البعد البؤري الشبئي  $F_0$  ، معامل الزيغ الكروي  $C_s$  ، و (b) معامل الزيغ اللوني  $C_c$  مع اعلمة التهيج  $NI/V_r^{1/2}$  عند قيم  $(a_1=1mm)$  و  $(a_2=2mm)$  وقيمة  $(B_m=0.1T)$  للنماذج الثلاث.

الجدول (2) يبين الخواص البصرية الشبئية  $F_0$  ،  $C_s$  و  $C_c$  عند قيم  $(a_1=1mm)$  ،  $(a_2=2mm)$  وقيمة  $(B_m=0.1T)$  واعلمة التهيج  $NI/V_r^{1/2}=30$  للنماذج الثلاث. نلاحظ من الجدول إن النموذج للأس أربعة يمتلك أفضل الخواص البصرية الشبئية.

الجدول (2)

اسم الأنموذج	$C_s$ (mm)	$C_c$ (mm)	$F_0$ (mm)
أنموذج كلازر	0.48	0.72	1.10
النموذج للأس الثلاثة أنصاف	0.53	0.68	0.98
النموذج للأس أربعة	0.45	0.50	0.68

الخواص البصرية المسقطية:

يوضح الشكل (5) تغير كل من (a) البعد البؤري المسقطي  $F_p$  ، (b) معامل التشويه الشعاعي  $D_r$  ، (c) اعلمة التشويه الشعاعي  $Q_r$  ، (d) معامل التشويه الحلزوني  $D_s$  و (e) اعلمة التشويه الحلزوني  $Q_s$  مع اعلمة التهيج  $NI/V_r^{1/2}$  عند قيم  $(a_1=1mm)$  ،  $(a_2=2mm)$  وقيمة  $(B_m=0.1T)$  واعلمة التهيج  $NI/V_r^{1/2}=30$  للنماذج الثلاث. نلاحظ من الشكل (5 - a) إن النموذج للأس أربعة يمتلك اقل بعد بؤري مسقطي  $(F_p)_{min}$  بينما النموذج للأس أربعة وأنموذج كلازر يمتلكان قيمة

## مقارنة الخواص البصرية الشينية والمسقطية لعدسة الكترونية

## لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي

متقاربة جدا، وان هذه القيمة الصغرى للبعد البؤري المسقطي  $(F_p)_{min}$  للنماذج الثلاث تقع عند قيم مختلفة لعلومه التهيج وكما موضح في الجدول (3).

الجدول (3) يبين قيم  $(F_p)_{min}$  وقيم علومه التهيج  $NI/V_r^{1/2}$  التي تقع عندها هذه القيم عند قيم  $(a_1=1mm)$  ، وقيمة  $(a_2=2mm)$  وقيمة  $(B_m=0.1T)$  للنماذج الثلاث.

اسم الأنموذج	$NI/V_r^{1/2}$	$(F_p)_{min}$
أنموذج كلازر	16.6	2.293459
النموذج للأس الثلاثة أنصاف	14.6	2.168516
النموذج للأس أربعة	13.6	1.594294

ويلاحظ من الشكل (b - 5) إن كل منحنى من منحنيات معامل التشويه الشعاعي يمتلك قيمة ثابتة تقريبا عند علومه قيم علومه التهيج الصغرى ويزداد بعد ذلك إلى أن يصل إلى قيمة عظمى، ومن ثم يأخذ بالهبوط إلى أن يصبح صفرا عند علومه التهيج (13.5) للنموذج للأس أربعة، (15) للنموذج للأس الثلاثة أنصاف و (18) لأنموذج كلازر. نلاحظ من الشكل (c - 5) إن القيم الصغرى لعلومه التشويه الشعاعي تحصل عند قيم مختلفة لعلومه التهيج وكما موضح في الجدول (4). إن القيم الواطنة لعلومه التشويه الشعاعي تقابل تشويها أقل في الصورة.

الجدول (4) يبين قيم  $(Q_r)_{min}$  وقيم علومه التهيج  $NI/V_r^{1/2}$  التي تقع عندها هذه القيم عند قيم  $(a_1=1mm)$  ، وقيمة  $(a_2=2mm)$  وقيمة  $(B_m=0.1T)$  للنماذج الثلاث.

اسم الأنموذج	$NI/V_r^{1/2}$	$(Q_r)_{min}$
أنموذج كلازر	18.3	0.123
النموذج للأس الثلاثة أنصاف	15	0.096
النموذج للأس أربعة	13.5	0.128

ويبين الشكل (d - 5) إن قيم معامل التشويه الحلزوني تزداد زيادة سريعة مع زيادة علومه التهيج، وان قيم التشويه الحلزوني لأنموذج كلازر هي الأقل يليها النموذج للأس الثلاثة أنصاف ثم النموذج للأس أربعة. ونلاحظ من الشكل (e - 5) إن قيم علومه التشويه الحلزوني ولجميع النماذج تتناقص بزيادة علومه التهيج لتصل إلى قيم صغرى وكما موضح في الجدول (5) ثم تزداد بزيادة علومه التهيج. إن قيم  $Q_s$  الواطنة تعطي إمكانية تقليص المسافة الاسقاطية للمجهر الالكتروني ومن ثم الحصول على زاوية كبيرة للإسقاط وهذا يؤدي إلى تقليص طول عمود المجهر الالكتروني .

مقارنة الخواص البصرية الشينية والمسقطية لعدسة الكترونية

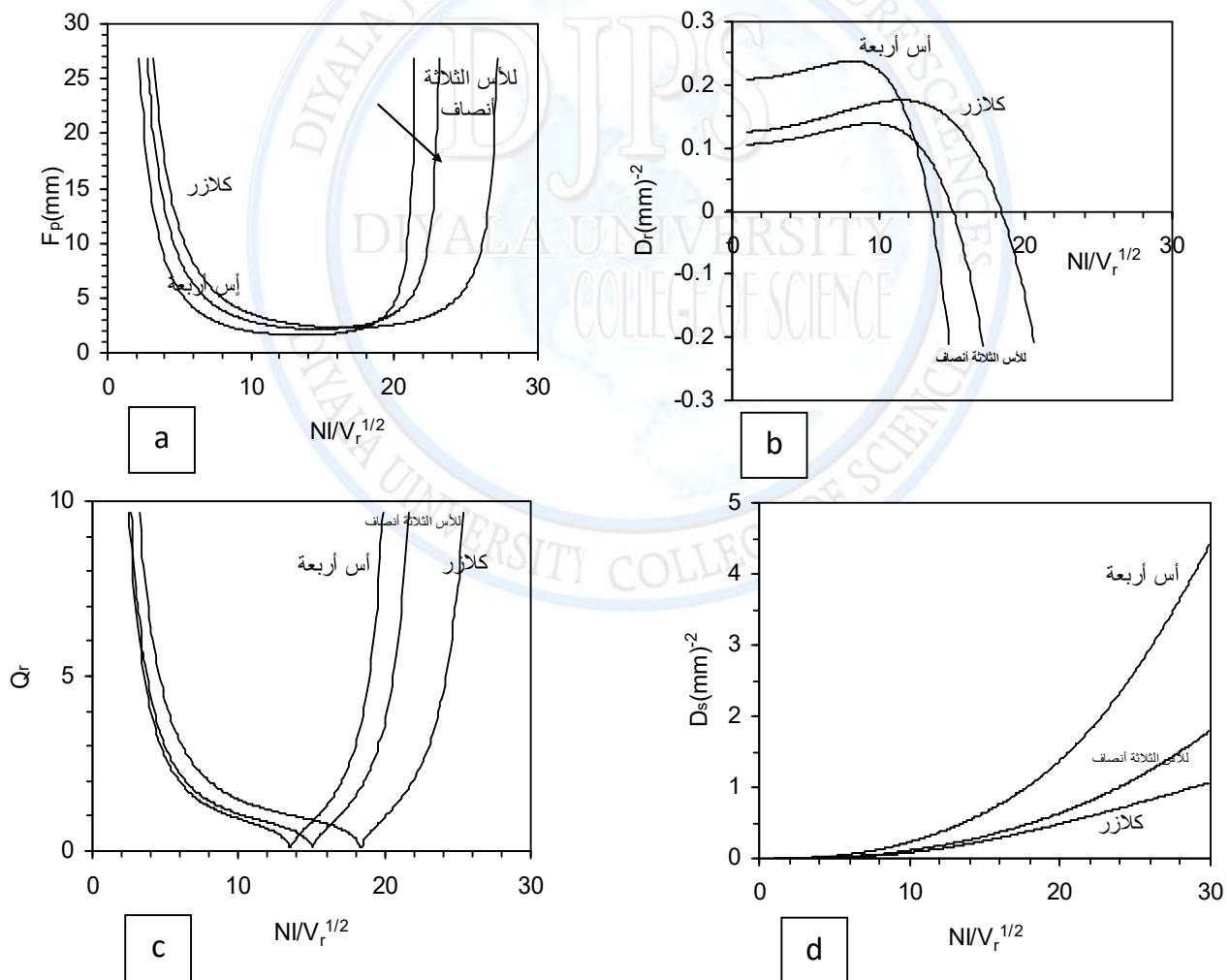
لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي

الجدول (5) يبين قيم  $(Q_s)_{min}$  وقيم اعلومة التهيج  $NI/V_r^{1/2}$  التي تقع عندها هذه القيم عند قيم  $(a_1=1mm)$  ، وقيمة  $(a_2=2mm)$  وقيمة  $(B_m=0.1T)$  للنماذج الثلاث.

اسم الأنموذج	$NI/V_r^{1/2}$	$(Q_s)_{min}$
أنموذج كلازر	9.5 → 9.9	1.006
النموذج للأس الثلاثة أنصاف	8.9 → 9.2	0.939
النموذج للأس أربعة	8.6 → 8.8	0.914

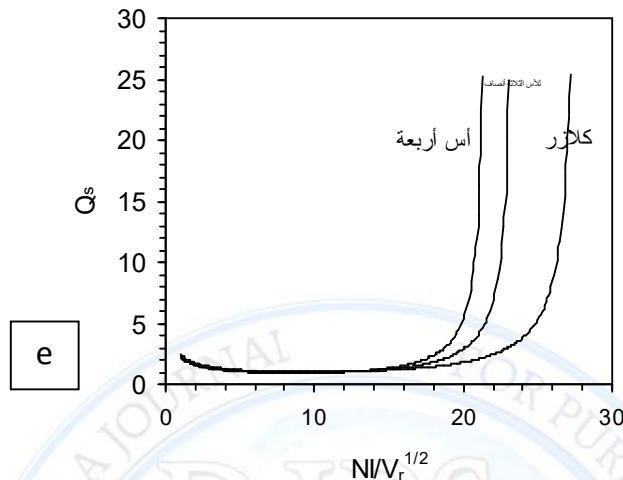
نلاحظ من الجدول إن القيمة الصغرى لاعلومة التشويه الحلزوني لأنموذج كلازر اكبر من الواحد بمقدار 0.006 بينما قيم النموذجين الآخرين اقل من القيمة  $(Q_s)_{min}=1$  المعروفة للعدسات المسقطية المتناظرة [Lambrakis et al, 1977].



مقارنة الخواص البصرية الشينية والمسقطية لعدسة الكترونية

لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي



شكل (5) تغير (a) البعد البؤري المسقطي  $F_p$ ، (b) معامل التشويه الشعاعي  $D_r$ ، (c) اعلومة التشويه الشعاعي  $Q_r$ ، (d) معامل التشويه الحلزوني  $D_s$  و (e) اعلومة التشويه الحلزوني  $Q_s$  مع اعلومة التهيج  $NI/V_r^{1/2}$  عند قيم  $(a_1=1mm)$  و  $(a_2=2mm)$  وقيمة  $(B_m=0.1T)$  للنماذج الثلاث.

### الاستنتاجات: Conclusions

من خلال هذا البحث يمكن الحصول على جملة من الاستنتاجات التي يمكن تلخيصها بما يأتي:

1. عند استخدام أية دالة هدف تحليلية analytical target function لتمثيل أية دالة محورية مثل المجال المغناطيسي أو الجهد العددي المغناطيسي أو مسار الحزمة الالكترونية ... الخ، يجب مراعاة أن يكون المجال المغناطيسي مسلوياً إلى الصفر أو قريباً منه عند نهايات (terminals) المحور البصري. وخلاف ذلك فإن جزءاً من التهيج ستنم خسارته بالتالي ستزداد نسبة الخطأ في الحسابات ولا يمكن الحصول على نتائج موثوق بها. وقد وجد إن لأنموذج كلازر اكبر تهيج .
2. إن لسلك الفجوة الهوائية تأثيراً في مجالات التصوير وخواصها البصرية ومن ثم الأقطاب المعاد بناؤها اكبر حده من نظيره للفتحة المحورية عموماً. وكذلك وجد إن لأنموذج كلازر اقل سمك للفجوة الهوائية.
3. إن لتغير قطر الفتحة المحورية أثراً أكبر في تهيج مجال التصوير وخصوصاً عند نهايات المحور البصري مقارنة مع تغير سمك الفجوة الهوائية. وفي هذا البحث إن النموذج للأس أربعة يمتلك اقل قيمة لقطر الفتحة المحورية  $D_1$  و  $D_2$ .

## مقارنة الخواص البصرية الشبئية والمسقطية لعدسة الكترونية

## لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي

4. الخواص البصرية الشبئية العائدة للنموذج للأس أربعة أفضل من الخواص البصرية الشبئية لأنموذج كلازر والنموذج للأس الثلاثة أنصاف وكذلك الحال بالنسبة للخواص البصرية المسقطية.

### المصادر: References

Adriaanse, J. P., Van der Steen, H. W. G. and Barth, J. E. (1989)., " Practical Optimization of Electrostatic of Lenses", J. Vac. Sci. Technol. B7, 651-666.

الشافعي، طالب محسن عباس، (2007)، " دراسة حاسوبية في تصميم عدسات المجهر الالكتروني النفاذ"، أطروحة دكتوراه / كلية التربية/ الجامعة المستنصرية.

العمشاني، محسن صلبوخ، (2006)، " دراسة تحليلية لزيوغ العدسة المغناطيسية المسقطية"، أطروحة دكتوراه/ كلية العلوم/ الجامعة المستنصرية.

زنكنة، هادي احمد، (2005)، "استخدام انموذج Gray كدالة هدف في التصميم العكسي للعدسات المغناطيسية"، أطروحة ماجستير / كلية التربية/ الجامعة المستنصرية.

Warid, H.H., (2002), " Inverse Design of Symmetrical Magnetic Lenses Using Analytical Function to Approximate Magnetic Field ", M.Sc. Thesis, University of Al-Mustansiriyah, Baghdad, Iraq.

Al-Batat, A. H. H., (2001), "A Theoretical and Computational Investigation on Magnetic Lenses Synthesis", Ph.D. Thesis, University of Al-Mustansiriyah, Baghdad, Iraq.

Al-Jubori, W. J., (2001), "Inverse Design of Asymmetrical Magnetic Lenses in the Absence of Magnetic Saturation ", Ph.D. Thesis, University of Al-Mustansiriyah, Baghdad, Iraq.

سالمة، سامي جمعان، (2001)، " توليف العدسات الالكترونية بمساعدة الحاسوب"، أطروحة ماجستير/ كلية التربية/ الجامعة المستنصرية.

Al-Tabbakh, A. A.,(2000),"Design of afucsed ion beam (FIB)system using the inverse problem procedur ", M.Sc. Thesis, Al-Nahrain University, Baghdad, Iraq.

## مقارنة الخواص البصرية الشينية والمسقطية لعدسة الكترونية

## لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي

الجبوري، سميرة عدنان، (1999)، " التصميم العكسي للعدسات المغناطيسية"، أطروحة ماجستير/ كلية العلوم/ جامعة بابل.

Al-Ani, S. K. , (1996), "A Computational Study of Space – Charge Effect on the Design of Electrostatic LensES ", Ph.D. Thesis, Al-Nahrain University, Baghdad, Iraq.

Al-Obaidi, H. N., (1995), "Determination of the Design of Magnetic Electron Lenses Operated Under Reassigned Magnification Conditions ", Ph.D. Thesis, University of Baghdad, Baghdad, Iraq.

Ahmad, A. K., (1993), "Computational Investigation on the Optimum Design and Properties of the Electrostatic Lens ", Ph.D. Thesis, Al-Nahrain, University, Baghdad, Iraq.

Guogiang, A., Liwei, Z. and Weiqi, J. (1990), " An Inverse Design of Electrostatic Focusing Field for Electrostatic and Magnetic Imaging ", J. Electronics (China). 7, 6 – 14.

Hawkes, P. W. and Kasper, E. (1989), "Principle of Electron Optics ", Vo1.2, (Academic press, London).

Szilagy, M., (1985), " Electron Optical Synthesis and Optimization ", Proceeding of the IEEE.73, pp.412 - 418.

Szilagy, M., (1984), " Reconstruction of Electrodes and Polepieces from Optimized Axial Field Distributions of Electron and Ion Optical Systems ", Appl. Phys. Lett., 45, 499-501.

Szilagy, M., (1978), " A Dynamic Programming Search For Electrostatic Immersion Lenses with Minimum Spherical Aberration ", Optik, 50,35 – 57.

Lambrakis, E., Marai F. Z, and Mulvey T. (1977), " Correction of Spiral Distortion in



مقارنة الخواص البصرية الشينية والمسقطية لعدسة الكترونية

لا متناظرة باستخدام طريقة التصميم العكسي

أ.م.د. علي هادي حسن ، أ.م. أسعد احمد كامل ، أ.م. محمد جواد ياسين ، م.م حسن عبد الصاحب هادي

the Transmission Electron Microscope".

Moses, R. W., (1973), " Lens Optimization by Direct Application of the Calculus of Variations ", Image Processing and Computer – Aided Design In Electron Optics, ed. P.W.Hawkes.(Academic press) pp. 250 – 272.

Szilagy, M., (1977a), " A new Approach to Electron Optical Optimization ", Optik, 48,215 – 224.

Szilagy, M., (1977b), "A Dynamic Programming Search For Magnetic Field Distribution", Optik, 49,223 – 246.

