

## دراسة لخواص عدسة مغناطيسية مسقطية متناظرة باستعمال الانموذج الاسي

انتهاه احمد محمد

قسم الفيزياء ،كلية التربية ابن الهيثم، جامعة بغداد

استلم البحث في: 28، نيسان ، 2010

قبل البحث في: 8، شباط ، 2011

### الخلاصة

يتضمن البحث دراسة نظرية في مجال بصريات الجسيمات المشحونة بالاستعانة بطرائق التحليل العددي. يتركز البحث حول تصميم عدسة مغناطيسية مسقطية متناظرة ثنائية القطب باستعمال الطريقة العكسية (طريقة التوليف). وزعت كثافة الفيض المغناطيسي من خلال اختيار دالة جهد مناسبة، إذ أختير الانموذج الاسي Exponential model لتصميم عدسة مغناطيسية ثنائية القطب. ومن ثم ايجاد مسار الجسيمات المشحونه التي تحقق معادلة الجهد المفروضة من خلال حل معادلة الاشعة المحورية ، ومن معرفة المشتقة الاولى والثانية للجهد المحوري تحتسب الخواص البصرية بعد بؤري ومعاملات زيوغ (معاملات التشويه الشعاعي والحلزوني)، إذ يتم الحصول على افضل الخواص البصرية واقل زيوغ ممكن. واخيرا يمكن تحديد الشكل الهندسي للقطب القادر على توليد المجال المغناطيسي.

**الكلمات مفتاحية:** البصريات الالكترونية، عدسة مغناطيسية مسقطية متناظرة ثنائية القطب ، الطريقة العكسية لتصميم العدسات الكهروستاتيكية، الخواص البصرية

### المقدمة

تعد البصريات الالكترونية فرع من فروع الفيزياء الذي يتعامل مع المسائل المتعلقة بحركة الجسيمات المشحونة من حيث تعجيلها وتبئيرها او حرفها باستعمال المجالات الالكتروستاتيكية والكهرومغناطيسية[1] . في بحثي هذا صممت عدسة مغناطيسية مسقطية بطريقة التوليف او الطريقة العكسية ودراسة خواصها المسقطية لما لهذه العدسات من اهمية في استخدامها في الكثير من التطبيقات العلمية والاجهزة البصرية . يعود بداية استعمال العدسات المغناطيسية كانت من العالم (Gabor)، إذ قام في عام 1924 بتصميم ملف محاط بحديد يقوم بتركيز حزمة من الالكترونات الداخلة خلال محوره في نقطة واحدة . بعد ذلك شهدت العدسات الالكترونية تطوراً سريعاً ؛ وذلك لأهمية هذه العدسات في المجالات البحثية من خلال استعمالها لانها تعد الجزء المشترك في جميع الاجهزة الالكترونية البصرية (ويعد المجهر الالكتروني من اهمها) [2].

وهناك طريقتان رئيستان للتصميم الامثل للعدسات سواء الكهربائية اوالمغناطيسية هما طريقة التحليل (analysis)، والآخرى طريقة التوليف او ماتسمى بالطريقة العكسية (synthesis). اما في طريقة التحليل فيبدأ المصمم بتغيير المعاملات المغناطيسية او الكهربائية او الهندسية لاجل التوصل الى تصميم مقبول ضمن شروط معينة، اذا كان هناك تخمين ملائم للتصميم فان هذه الطريقة تعطي نتائجاً ملائمة ولكنها طريقة بطيئة واما الطريقة العكسية فهي الطريقة التي تم اعتمادها في بحثي هذا فانها مبنية على ان خواص الرتبة الاولى والزيوغ لمجال تصويري تحدد كلياً بواسطة تحديد او تعيين دالة محورية حيث قمت باستخدام الدالة الاسية في عملي لتمثيل توزيع كثافة الفيض المغناطيسي وبعدها يمكن حل معادلة الشعاع المحوري لاجاد مسار الحزمة الالكترونية ومن ثم تحديد الخواص البصرية المقابلة لهذه الدالة واخيرا تمكنا من تحديد شكل الاقطاب. ولقد اعتمدت هذه الطريقة لان هذه الطريقة تتميز بدقتها العالية وسهولة تصميم العدسات.

إن الأسس النظرية للتوليف في بصريات الجسيمات المشحونة كان قد وضعها Grinberg عام 1948 [3] ان الصور التي تكونها العدسات سواء العدسات الالكترونية ام المغناطيسية ليست مثالية والسبب يعود الى ان هذه العدسات تعاني عددا من العيوب التي تسمى بالزيوغ وان من اهم الزيوغ في العدسات المغناطيسية المسقطية والتي تمت دراستها في بحثي هذا هما التشويه الشعاعي والتشويه الحلزوني بينما تعد الزيوغ اللونية والكروية هي من اهم العيوب للعدسات الشينية . في عام 1982 استطاع AL-Hilly تصحيح التشويهين الشعاعي والحلزوني في ان واحد للعدسات المغناطيسية [4] . كما استطاع العبيدي عام 1991 الحصول على صورة عديمة التشويه الشعاعي والحلزوني في نقطة التكبير الاولى لعدسة ثنائية القطب [5].

في عام 2001 استطاع كلا من الباحثين AL-Jubori and AL-Batat من الحصول على صورة عديمة التشويه باستخدام اسلوب التوليف وليس التحليل [6] . في عام 2005 قام الباحث Zangana باستعمل أنموذج Gray، لدراسة الخواص البصرية الشينية والمسقطية لعدسة مغناطيسية ثنائية القطب متناظرة اذ لاحظ ان الخواص البصرية الشينية تتحسن وبشكل ملموس كلما قلت قيم معاملات التصميم الهندسية. في حين وجد ان الأمر معاكس لحالة الخواص البصرية المسقطية [7] . يهدف بحثي هذا الى الحصول على عدسة مغناطيسية ذي خواص مسقطية جيدة من خلال اختيار دالة هدف مناسبة (الدالة الاسية).

## النظرية

في هذا البحث استعملت الطريقة العكسية لتصميم ودراسة الخواص المسقطية لعدسة مغناطيسية بالاستعانة بطرائق التحليل العددية (Simpson's rule and Runge-Kutta technique). من خلال اختيار دالة مناسبة التي تمثل الانموذج الاسي (exponential model) لغرض دراسة توزيع شدة المجال المغناطيسي المحوري (Bz)magnetic field distributions لهذه العدسة كما تم درست الخواص البصرية لهذه العدسة من بعد بؤري وزيوغ (التشوه الاشعاعي والحلزوني ومعاملاتها) التي تعتمد بصورة كبيرة على الدالة التي تم اختيارها.

يمكن تمثيل الانموذج الاسي بالعلاقة التي تربط بين قيمة شدة المجال المغناطيسي  $B_{max}$  وعرض النصف Half

width (w) والتي تعتمد عليها الدالة وكما مبين في المعادلة :

Exponential model [8].

$$B_z(z) = B \left[ \exp\left(-2 \ln 2 \left(\frac{z}{w}\right)\right) \right] \text{----- (1)}$$

اذ ان Z يمثل المحور البصري

حدّد مسار الجسيمات المشحونه  $r(z)$  في هذا البحث من خلال حل معادلة الشعاع المحوري (paraxial ray equation) باستعمال طريقة رنج -كتا ذي المرتبة الرابعة (fourth-order Runge-Kutta technique) [9].

$$r'' + \frac{\eta}{8V_r} B_z^2(z)r = 0 \text{----- (2)}$$

اذ ان :

$B_z(z)$  يمثل شدة المجال المغناطيسي.

$\eta$  تمثل النسبة بين شحنة الالكترون وكتلته.

$V_r$  فولتية التعجيل المصححة نسبيا.

$r''$  يمثل المشتقة الثانية لـ Z.

وبعد حساب شدة المجال المغناطيسي ومسار الجسيمات المشحونة اصبح بالامكان دراسة الخواص البصرية للعدسة

المسقطية من معامل تشوه شعاعي و حلزوني

• معامل التشويه الشعاعي (radial distortion) Dr الذي يحدث بسبب ان الاجزاء الخارجية للمجال المغناطيسي

للعدسة تكون قويه نسبيا فان الاشعة المارة من خلال مناطق تكون الصورة تكسر بحدّة اكثر من الاشعة القريبة من

المحور وهذا يؤدي الى اختلاف التكبير في مناطق الصورة عموما (وفيه نوعان من التشوهات هما التشويه الشعاعي

الموجب او مايسمى التشويه الوسادي (pincushion distortion) ويحصل هذا النوع من التشوه لان المناطق

الخارجية للصورة تكون مكبرة اكثر من المناطق الداخلية [10]. والتشوه الاخر هو التشوه الشعاعي السالب او

مايسمى بالتشوه البرميل (barrel distortion) يحدث عندما تكون المناطق الخارجية للصورة اصغر من المناطق

الداخلية لها [11].

• معامل التشويه الحلزوني (spiral distortion) Ds يحدث بسبب دوران الصورة حول المحور البصري بفعل تأثير

القوة المغناطيسية بشكل عمودي على مستوى حركة الالكترون مسببة حركته بشكل حلزوني.

ولقد حسب كلاً من التشوه الشعاعي والحلزوني من خلال استعمال تقنية Simpson's rule والذي تم التعبير

عنهما بالمعادلتين 3،4 على الترتيب: [12]

$$D_r = \left[ \frac{\eta}{128V_r} \int_{z_1}^{z_2} \left( \frac{3\eta}{V_r} B_z'' + 8B_z'^2 \right) r_\alpha r_\gamma^3 - 4B_z^2 (r_\gamma'^2 r_\alpha r_\gamma + r_\gamma' r_\gamma^2 r_\alpha') \right] dz \text{--- (3)}$$

$$D_s = \int_{z_1}^{z_2} \left[ \frac{3}{128} \left( \frac{\eta}{V_r} \right)^{\frac{3}{2}} r_\alpha^2 B_z^3 + \frac{1}{6} \left( \frac{\eta}{V_r} \right)^{\frac{1}{2}} r_\alpha'^2 B_z \right] dz \text{----- (4)}$$

اذ ان :

Bz توزيع كثافة الفيض المغناطيسي المحوري .

$B_z'$  المشتقة الاولى لكثافة الفيض المغناطيسي المحوري نسبة الى Z.

$B_z''$  المشتقة الثانية لكثافة الفيض المغناطيسي المحوري نسبة الى Z.

$r_\alpha, r_\gamma$  طول مستقلة خطية لمعادلة الشعاع المحوري.

$Z_1, Z_2$  حدود المجال.

$Vr$  فولتية التعجيل المصححة نسبيا.

ومن معرفة معامل الزيغ الشعاعي والحلزوني يمكن حساب (كميات عديمة الوحدات) اعلومة التشويه الشعاعي  $Qr$  (radial

quality factor) واعلومة الشعاع الحلزوني  $Qs$  (radial quality factor) من خلال المعادلتين في ادناه : [12]

$$Qr = (Dr)^{1/2} fp \quad \text{-----(5)}$$

$$Qs = (Ds)^{1/2} fp \quad \text{-----(6)}$$

اذ ان :

$Dr, QR$  هما اعلومة التشويه الشعاعي و معامل الزيغ الشعاعي على الترتيب.

$Ds, QS$  هما اعلومة التشويه الحلزوني و معامل الزيغ الحلزوني على الترتيب.

$fp$  هو البعد البؤري المسقطي .

من خلال ايجاد توزيع شدة المجال المغناطيسي والمشتقة الاولى والثانية للجهد المغناطيسي يمكن تعيين شكل القطب

باستعمال التقنية التي استعملت من قبل (Szilagy) في اعادة بناء اقطاب العدسة الكهروستاتيكية من اجل بناء اشكال

الاقطاب المغناطيسية .

استنادا الى هذه التقنية فان معادلة سطوح تساوي الجهد (الاقطاب في هذه الحالة) تعطى بالصيغة الاتية [13] :

$$Rp(z)=2[(Vz-Vp)/ Vz'' ]^{1/2} \quad \text{-----(7)}$$

اذ ان

$Rp$  : الارتفاع القطري للاقطاب.

$Vz$ : الجهد العددي المغناطيسي .

$Vz''$  المشتقة الثانية للجهد  $Vz$

$Vp$  الجهد على اي سطح او قطب.

## الحسابات والنتائج

لقد تم في بحثنا هذا تصميم عدسة مسقطية ثنائية القطب متناظرة ولغرض حساب ودراسة المجال المغناطيسي

والخواص البصرية المسقطية لهذه العدسة تم تثبيت قيمة عظمى لشدة المجال  $B_{max}=0.6T$  وباختيار قيم متغيرة لعرض

النصف ( $W=1,2,3,4,5$ ).

### 1. حساب المجال المغناطيسي المحوري لعدسة ثنائية القطب

يوضح الشكل (1) توزيع شدة المجال المغناطيسي المحوري  $B(Z)$  التي تم حسابها من معادلة رقم (1) دالة

للمحور البصري  $Z$ ، اذ يبين الشكل ان قوة الانكسار (refractive power) للمجال المغناطيسي لهذه العدسة والذي

يمثل المساحة السفلى لمنحني التوزيع  $Bz$  تزداد بزيادة عرض النصف ( $W=1,2,3,4,5$ ).

### 2. حساب الخواص البصرية المسقطية للعدسة المغناطيسية

يوضح الشكل (2) تغير البعد البؤري المسقطي  $fp$  مع اعلومة التهيج  $NI/\text{SQRT}(Vr)$ ، اذ يبين الشكل السلوك

التقليدي لكل منحني من منحنيات  $fp$  اذ ان الانحدار السريع يتناقص مع زيادة  $NI/\text{SQRT}(Vr)$  حتى يصل الى اقل

قيمة له  $(fp)_{min}$  عند اعلومة التهيج  $NI/SQRT(Vr) = 15$ ، إذ ان السبب في نقصان قيمة البعد البؤري المسطحي هو زيادة المدة الزمنية للتلاحم بين مسار الحزمة الالكترونية والمجال المغناطيسي بعد ذلك يعود هذا المنحني لياخذ بالزيادة التدريجية التي تزداد شيئاً فشيئاً لتكون سريعة جدا عند قيم  $NI/SQRT(Vr)$  العالية كما يوضح الشكل زيادة قيمة البعد البؤري  $fp$  بزيادة عرض النصف ويعود السبب الى زيادة اعلومة التهيج التي تؤدي الى توسع او انفراج المجال ومن ثم الى ضعف قوة كسر العدسة وهذا يعني بان الحزمة الالكترونية في مسافة ابعد وبحساب المسافة نسبة الى موقع قطع الحزمة للمحور البصري يحسب البعد البؤري، كما يبين الشكل زيادة قيم  $(fp)_{min}$  بزيادة قيمة عرض النصف ( $W$ ) وهذا يعني زيادة التكبير للعدسة.

### 3. حساب معاملات الزيوغ او التشوه للعدسة المغناطيسية

يوضح الشكل (3) تغير معامل التشويه الشعاعي  $Dr$  (الذي تم حسابه باستعمال معادلة رقم 3) مع اعلومة التهيج  $NI/SQRT(Vr)$  لاقطاب هذه العدسة، اذ يلاحظ من الشكل ان كل منحنى من منحنيات  $Dr$  يكون موجبا (اي تشويه وساديا) ثم عند قيمة  $NI/SQRT(Vr) = 17$  والتي تمثل القيمة المثلى (optimization value)، اذ يتلاشى معامل التشوية الشعاعي اي تصبح قيمته يساوي صفرا  $Dr=0$  ولجميع قيم  $(W=1,2,3,4,5)$  وبعدها يصبح تشويها سالبا (اي تشويه برميلي).

يبين الشكل (4) العلاقة بين اعلومة التشويه الشعاعي  $Qr$  (التي تم حسابها من المعادلة رقم 5) مع اعلومة التهيج  $NI/Vr^{1/2}$  اذ يبين الشكل ان قيم  $Qr$  تاخذ بالتناقص السريع لقيم  $NI/SQRT(Vr)$  القليلة ثم مايلبث ان يقل هذا التناقص تدريجيا حتى يصل الى اقل قيمة عند  $NI/SQRT(Vr) = 17$  وهذه القيم تمثل القيم المثلى (optimization value) وكما موضح بالشكل التي تمثل اقل قيم للزيوغ بعد ذلك يعود هذا المنحني لياخذ بالزيادة التدريجية التي تزداد شيئاً فشيئاً لتكون سريعة جدا عند قيم  $NI/SQRT(Vr)$  العالية وكما موضح بالجدول رقم 1.

يبين الشكل (5) العلاقة بين معامل التشويه الحلزوني  $Ds$  (الذي تم حسابه باستعمال معادلة رقم 4) مع اعلومة التهيج  $NI/Vr^{1/2}$  لاقطاب هذه العدسة ويتضح من الشكل ان كل منحنى من هذه المنحنيات تبدأ بزيادات قليلة جدا ثم يزداد بشكل سريع مع زيادة اعلومة التهيج. كما يبين الشكل ان معامل التشوية الحلزوني  $Ds$  يقل بزيادة قيم  $W$  (عرض النصف) والسبب في ذلك يعود الى ان زيادة عرض النصف تعني زيادة اتساع المجال المغناطيسي والذي يؤدي الى نقصان التشويه الحلزوني بشكل عام.

يوضح الشكل (6) العلاقة بين اعلومه التشويه الحلزوني  $Qs$  (الذي تم حسابه باستعمال معادلة رقم 6) مع اعلومة التهيج  $NI/Vr^{1/2}$  اذ يوضح الشكل ان قيم  $Qs$  تاخذ بالتناقص السريع لقيم  $NI/SQRT(Vr)$  القليلة ثم مايلبث ان يقل هذا التناقص تدريجيا حتى يصل الى حالة من الثبوت بعد ذلك يعود هذا المنحني لياخذ بالزيادة التدريجية التي تزداد شيئاً فشيئاً لتكون سريعة جدا عند قيم  $NI/SQRT(Vr)$  العالية الذي تحصل عندها حالة من الاختلاف في قيم  $Qs$  بعد حالة من التطابق وهذا السلوك يحصل بسبب التغير في البعد البؤري.

يبين الشكل (7) شكل الاقطاب للعدسة التي تم تصميمها من خلال اختيار الانموذج الاسي المتمثل بالمعادلة (1) اذ بينت النتائج أن العدسة هي عدسة ثنائية القطب متناظرة بطول  $L=80mm$  كما تبين من خلال حل المعادلة (7) ان هذه العدسة تمتلك عرض فجوة هوائية  $S=0.2mm$  وقطر فتحة محورية  $d=4.9mm$ .

## الاستنتاجات

عند استعمال دالة هدف لتمثيل اي دالة محورية مثل المجال المغناطيسي او الجهد المغناطيسي لا بد من يكون المجال المغناطيسي مساويا للصفر او قريبا منه عند نهايات المحور البصري . والا فان جزء من التهيح ستم خسارته وسيؤدي الى زيادة نسبة الخطا في الحسابات.

ان اي متغير امثلية (optimization parameter) تؤدي الزيادة في قيمته الى زيادة خطوط الفيض المغناطيسي لوحدة المساحة نفسها فان ذلك يؤدي الى زيادة قوة كسر العدسة المغناطيسية وهذا يؤدي الى نقصان قيمة البعد البؤري وبالتالي زيادة التكبير في العدسة.

كما يمكن تقليل التشوهات او العيوب في العدسات المغناطيسية المسقطية وذلك بزيادة قيم هذه المتغيرات او المعاملات الهندسية.

ان العدسة المغناطيسية المسقطية التي تم تصميمها باستعمال الانموذج الاسي يمكن استعمالها عدسة مكبرة .

## المصادر

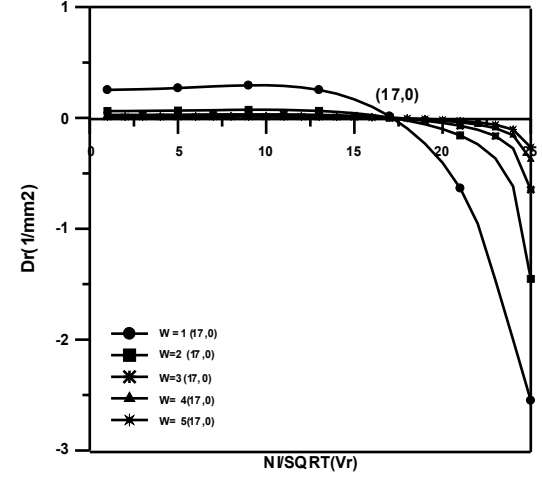
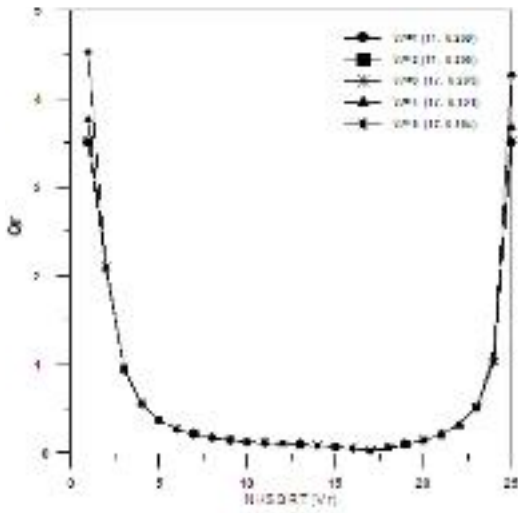
- 1- Cosslett, V. E. (1946), Introduction to electron optics", 1 st edition, oxford: Clarendon press, University of Michigan.
- 2- Gabor,D. (1948), The Electron Microscope. Its Development, Present Performance and Future Possibilities, Edition 2, Brooklyn, Chemical Pub. Co.
- 3- Ni Guoqiang Zhou Liwei, Jin Weiqi ,and Fang (1990), Beijing Institute of Technology, "Electron Optics with Wide Beam Focusing", 7( 1) 6-14.
- 4- AL-Hilly, S.M. and Mulvey, T. (1982), Electron Microscopy and Analysis, "Wide- angle projector system for the TEM", Inst. Phys. Conf. Ser no.61:103-106.

5-العبيدي، حسن نوري عبد الوهاب(1991) ، " تصميم العدسات الكهرومغناطيسية " ، رسالة ماجستير/ كلية العلوم/ الجامعة المستنصرية.

- 6- Al-Batat, A. H. H. (2001), "A Theoretical and Computational Investigation on Magnetic Lenses Synthesis", Ph.D. Thesis, University of Al-Mustansiriyah.
- 7-Zangana, H .A. (2005), "Using Gary's model as a target function in the inverse design of magnetic lenses", MSC. Thesis, University of Al-Mustansiriyah.
- 8- Szilagy i, M (1988), Electron and Ion optics, New York and London: Plenum Press, University of Michigan.
- 9- Marton ,L. (2007), "Advances in Electronics", volume 2, Academic Press Inc., New York.
- 10-Wischnitzer s. (1981), Introduction to Electron Microscopy, Edition 3, pergamon press, University of Michigan.
- 11- Glauert , A. W.(1974), Practical Methods in Electron Microscopy, volume 1, Amsterdam, the Netherlands.
- 12-Hawkes,P.W.(1972), Electron optics and electron microscopy, Taylor and Francis Ltd., London, University of Minnesota.
- 13-Szilagy i, M. (1984), Reconstruction of Electron and Pole piece from optimized axial Field Distribution of Electron and Ion Optical System, J. Appl. phys .Lett, 45( 5): 499-501.

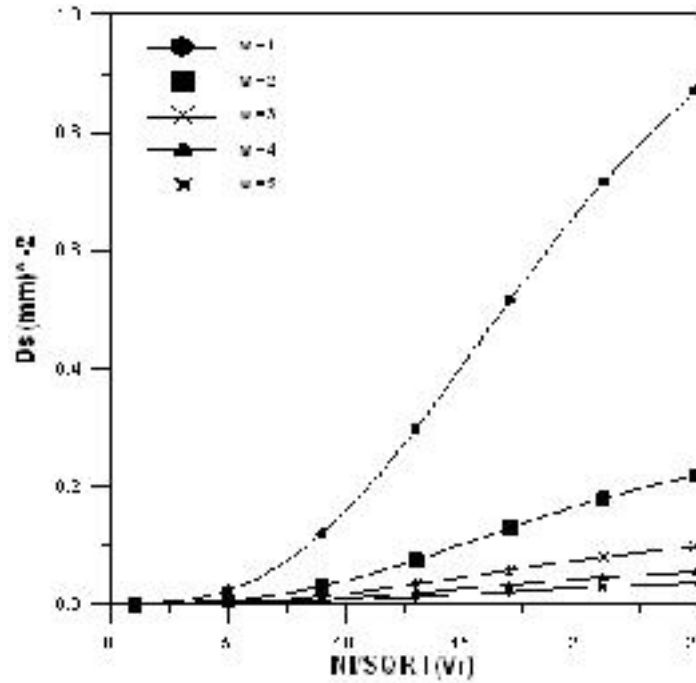
جدول (1): يوضح الخواص المسقطية لعدسة ثنائية القطب متناظرة لقيم مختلفة من عرض النصف (W half width) عند ثبوت كلا من  $B_{max}=0.6T$ ,  $L=80mm$

W(mm) Half width	(Fp)min (mm)	NI/SQRT(Vr)	Dr (Fp)min	Ds (Fp)min	Qr	Qs	NI/SQRT(Vr) At Dr=0
1	0.472	15	0.21785	0.2965	0.798	0.923	17
2	0.625	15	0.04167	0.1010	0.685	0.924	17
3	0.821	15	0.01846	0.0448	0.684	0.957	17
4	1.054	15	0.01032	0.0252	0.682	0.969	17
5	1.536	15	0.00652	0.0162	0.677	0.976	17



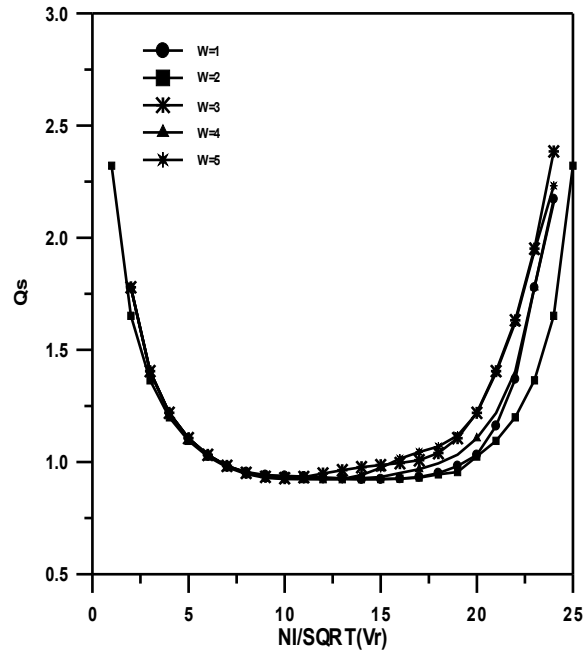
شكل (4): يوضح العلاقة بين اعلومة التشويه الشعاعي  $Q_r$  و اعلومة التهيج  $NI/SQRT(V_r)$

شكل (3): يوضح العلاقة بين معامل التشويه الشعاعي  $D_r$  و اعلومة التهيج  $NI/SQRT(V_r)$

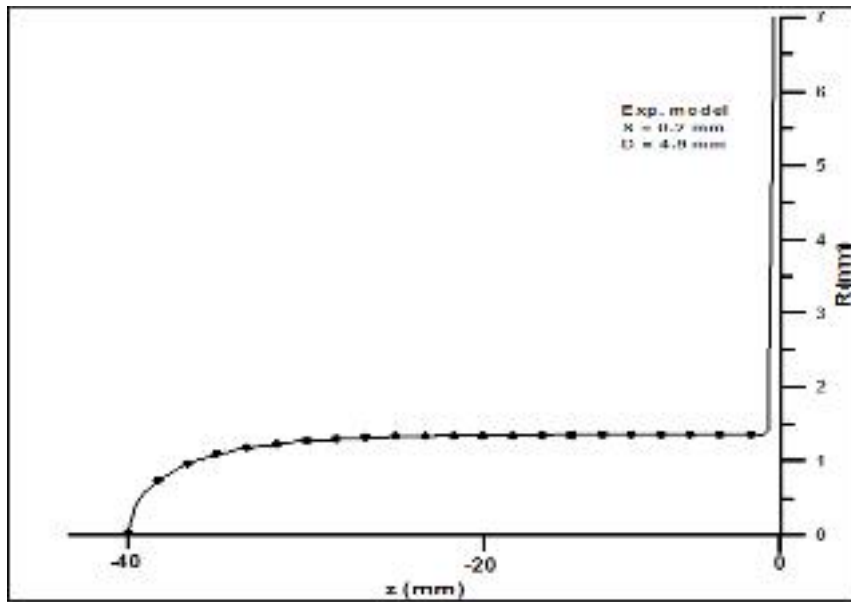


الشكل (5) يوضح العلاقة بين معامل التشويه الحلزوني  $D_s$  و اعلومة التهيج  $NI/SQRT(V_r)$





شكل (6): يوضح العلاقة بين اعلومة التشويه الحلزوني  $Q_s$  واعلومة التهيج  $NI/SQRT(Vr)$



شكل (7) : يوضح شكل القطب لعدسة مسطوية ثنائية القطب المتماثلة بطول  $L=80\text{mm}$   
 $S=0.2\text{mm}, D=4.9\text{mm}$

## **Projective Properties for Symmetrical Magnetic Lens by Using Exponential Model**

**I. A. Mohammed**

**Department of Physics, College of Education Ibn Al-Haitham,  
University of Baghdad**

**Received in : 28, April , 2010**

**Accepted in : 8, February, 2011**

### **Abstract**

A computational investigation is carried out in the field of charged particle optics with the aid of the numerical analysis methods. The work is concerned with the design of symmetrical double pole piece magnetic lens.

The axial magnetic flux density distribution is determined by using exponential model, from which the paraxial-ray equation is solved to obtain the trajectory of particles that satisfy the suggested exponential model.

From the knowledge of the first and second derivatives of axial potential distribution, the optical properties such as the focal length and aberration coefficients (radial distortion coefficient and spiral distortion coefficient) are determined.

Finally, the pole piece profiles capable of producing the assign were determined.

**Key Words** :Electron optics, symmetrical double pole piece magnetic lens, synthesis, optical properties.