تصميم عدسات مسقطية ثلاثية متعددة الأقطاب والفجوات

د.طالب محسن عباس
كلية التربية–جامعة بابل

الخلاصة:

في هذا البحث تم دراسة تصميم وبناء عدسات مغناطيسية مسقطية ثلاثية ذات أقطاب متنوعة الأشكال بفجوات مختلفة، إذ تتكون كل عدسة من هذه العدسات من ثلاث عدسات أحادية القطب وثنائية القطب بإشكال مختلفة للحصول على صور عديمة الدوران والتشويه في نقطتي التكبير العظمى الأولى والثانية .لقد تم حساب توزيع المجال المغناطيسي المحوري لهذه العدسات بوساطة طريقة العناصر المتناهية في منطقتي الدوران الأولى والثانية واستخدمت أيضا برامج حاسوبية لدراسة الخواص البؤرية لهذه العدسات.أوضحت النتائج إمكانية بناء وتصميم مثل هذه العدسات بخواص بؤرية مسقطية جيدة وخالية من التشويه لاستخدامها في المجاهر الالكترونية.

Abstract:

In this research has been studied to design and construct the triplet projector magnetic lenses with different polepieces and air gaps. Each lens consist of three lenses, which is a single and double- pole pieces with different shapes, for getting on the free-rotation and distortion images in the first and second maximum magnification regions. However, the axial magnetic field of these lenses has been calculated with the aid of finite element method in the first and second rotation regions. In addition, the properties of these lenses have been calculated with aid of the computer programs.

The results have been showed, that these lens can be constructing and designing with projector focal properties and without distortion for use in the electron microscope.

1.المقدمة:

تناول البحث دراسة تصميم عدسات مغناطيسية مسقطية ثلاثية، متعددة الأقطاب والفجوات الهوائية. إذ تعد هذه العدسات من أهم العدسات في منظومة التصوير، حيث تقوم بتكبير الصورة التي تكونها العدسة الشيئية وتسقطها على شاشة المجهر.لكن الصورة المتكونة تعاني من دورانها حول المحور البصري اضافة الى التشويه الشعاعي والتشويه الحلزوني.

لقد درس كل من (Juma & Mulvey, 1974, 1976, 1978, Juma, 1975)العدسات المغناطيسية المسقطية المزدوجة بأقطاب متشابهة، وتمكنوا من الحصول على صور عديمة الدوران وذلك بجعل تهيج العدسة المسقطية الأولى مساويا ومعاكسا لتهيج العدسة الثانية اي ان ($NI_1= -NI_2$).وقام (Tsuno& Harada, 1981) بتصميم عدسة مسقطية مزدوجة وثلاثية القطب تعمل عند منطقة الدوران الاولى حيث تم الحصول على صورة بتشويه حلزوني نسبته 0.07% عند اعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ التي يكون فيها التشويه الشعاعي مساويا للصفر.بينما تم الحصول على صور عديمة الدوران وخالية من التشويه الشعاعي والتشويه الحلزوني في نقطة التكبير العظمى الأولى من قبل (AL-Obaidi, 1991).واستطاع (Al-Saady, 1996, Al-Saady *et al,* 1999) من تصميم عدسات مغناطيسية مزدوجة وثلاثية باقطاب اسطوانية متشابهة وحصل فيها على صور عديمة الدوران وخالية من التشويهين في نقطتي التكبير العظمى

الأولى والثانية.كما تمكنت (AL- Abedeen, 1997) من الحصول على صور عديمة الدوران وخالية من التشويه باستخدام عدسات مغناطيسية مسقطية مزدوجة وثلاثية باقطاب كروية الشكل.ودرست أيضا الدراسة نفسها ولكن بأقطاب مخروطية متشابهة(Al-Shummary,2002) و (Al-Saady&Al-Shummary,2004)حيث تمكنوا من الحصول على صور عديمة الدوران وخالية من التشويه في نقطتي التكبير العظمى الأولى والثانية.وتمكن أيضا (AL- Saady et al, 2005) من الحصول على صور عديمة الدوران وخالية من التشويه في نقطتي التكبير العظمى الأولى والثانية باستخدام عدسات مغناطيسية مسقطية مزدوجة وثلاثية بتصاميم متعددة ومتنوعة الأقطاب.

استخدمت برامج حاسوبية مثل برنامج M12 (Munro, 1971) لحساب ومعرفة المجال المغناطيسي المحوري للعدسات المصممة وذلك بوساطة استخدام طريقة العناصر المتناهية (FEM) .كذلك استخدم برنامج حاسوبي (Marai, 1977) لدراسة الخواص البؤرية المسقطية للعدسات المستخدمة.

2.تصميم العدسات:

يوضح الشكلان (1) و(2) تصاميم العدستين (L_2وL_1) المغناطيسيتين المسقطيتين الثلاثيتين ذات الفجوات المتعددة والأقطاب المختلفة الأشكال مثل القطب المخروطي ذو الوجه المستوي (Al- Al-Shafii,2001;Shummary,2002) ،الاسطواني (Al-Saady,1996) والكروي (Al- Abedeen, 1997).

يوضح الشكل (1) النصف العلوي للعدسة المغناطيسية المسقطية الثلاثية التي تتكون من ثلاث عدسات فالعدسة الأولى ثنائية القطب المخروطي والعدسة الثانية ثنائية القطب الكروي والعدسة الثالثة أحادية القطب الاسطواني.

فللحصول على صورة عديمة الدوران والتشويه في نقطة التكبير العظمى الأولى يجب أن تكون العدسة الأولى والثانية بالنسبة للعدسة المسقطية الثلاثية عاملة, على حيث تكون العدسة المسقطية الثالثة غير عاملة.أما للحصول على صورة عديمة الدوران والتشويه في نقطة التكبير العظمى الثانية يجب أن تكون العدستان المسقطيتان الثانية والثالثة عاملتين على حين تكون العدسة المسقطية الأولى غير عاملة.

اختير القطر الخارجي لهذه الأقطاب 20ملم وان تهيج العدسات الثلاث NI يكون متساو ومتعاكس ومقداره (NI=1000) أمبير– لفة، وقد وضع الملف ضمن تركيب حديد العدسة وعلى بعد 3 ملم عن وجه القطب (AL-Saady,1996).

ومثلما مبين في الشكل (1) فان قيم الفجوات الهوائية للعدستين المسقطيتين الأوليتين كانت متساوية $S_1= S_2= 1.5mm$. أما بالنسبة للشكل (2) فان الفجوات الهوائية لهاتين العدستين تم تغييرهما حيث $S_2= 0.5mm$, $S_1=25mm$.

3.النتائج والمناقشة:

1.3.منطقة الدوران الأول:

لقد تم حساب توزيع المجال المغناطيسي المحوري B_z للعدسة المسقطية الثلاثية L_1 في منطقة الدوران الأول وتم الحصول على صورة عديمة الدوران والتشويه في حالة الفجوات الهوائية $S_1=S_2$ =1.5mm والنسبة $D_1:D_2:D_3$= 1:0.5: 0.5 ، وكما هو موضح في الشكل (3) فان المجالين المغناطيسيين متعاكسين في الاتجاه وذلك للحصول على صورة عديمة الدوران وان القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي B_{m1} للعدسة المسقطية الأولى الثنائية القطب المخروطي تساوي 0.649 تسلا وتقع في منتصف الفجوة الهوائية لان المجال المغناطيسي متناظر، أما القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي للعدسة المسقطية الثنائية القطب الكروي B_{m2} فتساوي 0.802 تسلا وتقع أيضا في منتصف الفجوة الهوائية لتناظر المجال المغناطيسي. ان المسافة الفاصلة(L) بين قمتي المجالين المغناطيسيين لهاتين العدستين تساوي 21.5 ملم.

أما بالنسبة لتوزيع المجال المغناطيسي المحوري B_z للعدسة المسقطية الثلاثية L_2 فقد تم حسابه عند قيمتي الفجوة الهوائية S_2= 0.5mm, S_1= 25mm والنسبة: $D_1:D_2:D_3$= 3:0.5: 0.5 ،حيث تم الحصول عندها على تشويه صفري. وكما هو مبين في الشكل (4) فان للمجالين المغناطيسيين اتجاهين متعاكسين أيضا وان القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي B_{m1} للعدسة المسقطية الأولى تساوي 0.177 تسلا وتقع على وجه قطب العدسة أما القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي B_{m2} للعدسة المسقطية الثانية فتساوي 0.817 تسلا تقع في منتصف الفجوة الهوائية لان المجال المغناطيسي متناظر. وان المسافة (L) الفاصلة بين قمتي المجالين المغناطيسيين تساوي 45.25 ملم.

استخدم توزيع المجال المغناطيسي المحوري B_z المبين في الشكلين (3) و (4) في حساب الخواص البؤرية المسقطية للعدستين L_1, L_2 على التوالي،حيث يوضح الشكل (5) تغير البعد البؤري ألمسقطي F_p، معامل التشويه الشعاعي D_r ومعامل التشويه الحلزوني D_s مع اعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ للعدسة المسقطية الثلاثية L_1 في الدوران الاول اذ يلاحظ من الشكل ان اصغر قيمة للبعد البؤري ألمسقطي $(F_p)_{min1}$ تساوي 22.3 ملم عند اعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$=2.5 ، وهي نفس اعلومة التهيج التي يصل فيها معاملي التشويه الشعاعي D_r والحلزوني D_s الى قيمهما الصفرية.أما القيم الصغرى لاعلومتي التشويه ألشعاعي و الحلزوني $(Q_r)_{min1}$ و $(Q_s)_{min1}$ فتساوي 4.92 و0.12 على التوالي و تقعان عند اعلومة التهيج التي يحصل عندها انعدام التشويه في الدوران الأول.

يبين الشكل (6) تغير البعد البؤري ألمسقطي F_p ومعامل التشويه الشعاعي D_r ومعامل التشويه الحلزوني D_s مع اعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ للعدسة المسقطية الثلاثيةL_2 في منطقة الدوران الأول، اذ يلاحظ من الشكل ان القيمة الصغرى للبعد البؤري ألمسقطي$(F_p)_{min1}$ في الدوران الأول تساوي 25.3 ملم وتقع عند اعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ = 4.5 .و يلاحظ أيضا إن كلا من D_r و D_s يقعان عند اعلومة تهيج واحدة التي تقع عندها القيمة الصغرى للبعد البؤري ألمسقطي$(F_p)_{min1}$ في الدوران الأول ،إن اعلومة التهيج هذه مساوية تقريبا لاعلومة التهيج التي حصل فيها (Tsuno et al, 1980) على تشويه شعاعي وحلزوني صفري في الدوران الاول حيث $NI/V_r^{1/2}$ = 4.8 باستخدام عدسة ثلاثية ثنائية الفجوة الهوائية S_2= 2.25mm، S_1=2.8mm والنسبة $D_1:D_2:D_3$= 9:3:3 .

أما القيم الصغرى لاعلومتي التشويه ألشعاعي$(Q_r)_{min1}$ و الحلزوني$(Q_S)_{min1}$ في هذه الدراسة فتساوي (2.56 و0.40) على التوالي وتقعان عند اعلومة التهيج التي حصل عندها انعدام التشويه في الدوران الاول.

2.3.منطقة الدوران الثاني:

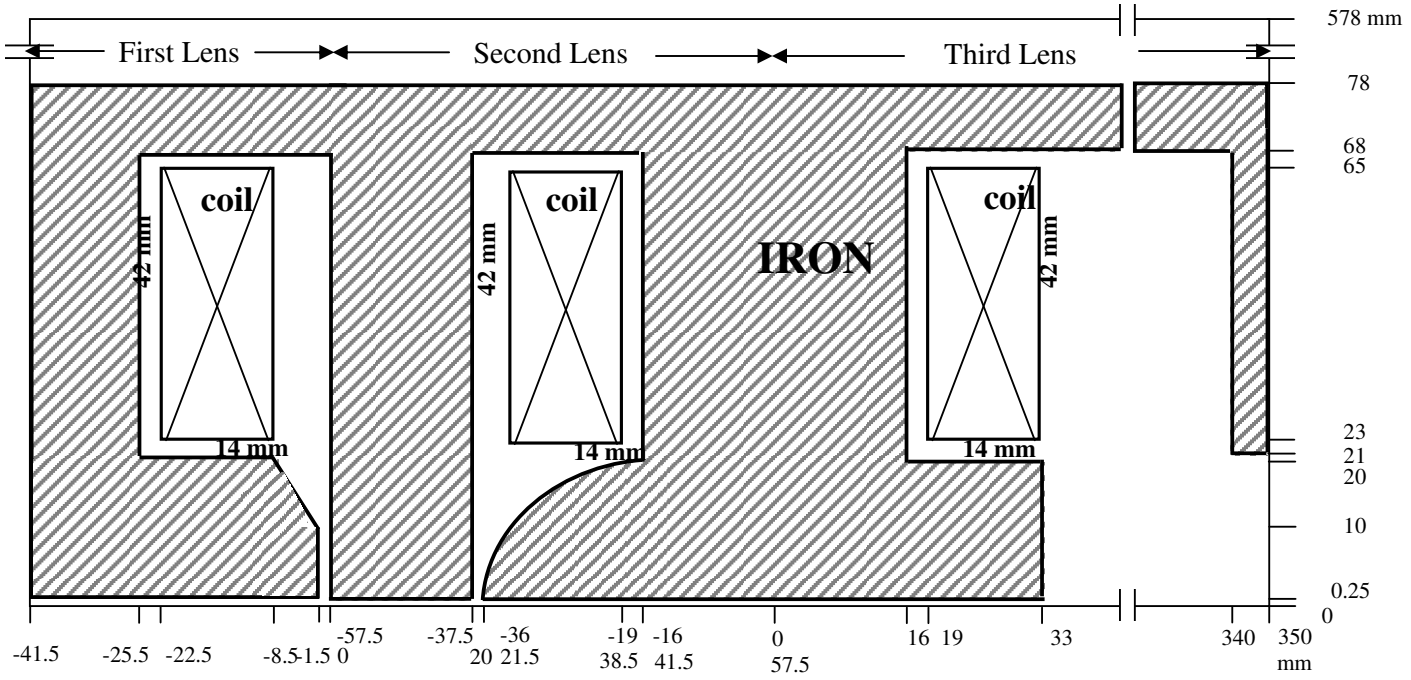
يبين الشكل (7) توزيع المجال المغناطيسي المحوري B_z للعدسة المسقطية الثلاثية L_1 عند القيمة العظمى الثانية للتكبير، عند قيمة الفجوة الهوائية S=1.5mm والنسبة $D_2:D_3:D_4$= 2.44: 0.5: 0.5 التي تم الحصول عندها على تشويه صفري، نلاحظ في الشكل ان المجالين المغناطيسيين متعاكسين في الاتجاه للحصول على صورة عديمة الدوران وان المسافة(L) الفاصلة بين قمتي المجالين المغناطيسيين تساوي 72.75 ملم.

إن القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي B_{m2} للعدسة المسقطية الثانية تساوي 0.830 تسلا وتقع في منتصف الفجوة الهوائية الثانية S_2 لتناظر المجال المغناطيسي. بينما تساوي القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي B_{m3} للعدسة المسقطية الثالثة 0.096 تسلا وتقع على بعد 3mm عن وجه القطب.أما الشكل (8) فيوضح توزيع المجال المغناطيسي المحوري B_z للعدسة المسقطية الثلاثية L_2 في الدوران الثاني عند قيمة الفجوة الهوائية S=0.5mm والنسبة $D_2:D_3:D_4$= 9.96: 0.5: 0.5 التي تم الحصول عندها على تشويه صفري، اذ يلاحظ من الشكل إن المجالين المغناطيسيين متعاكسان في الاتجاه للحصول على صورة عديمة الدوران. وان المسافة (L) الفاصلة بين قمتي المجالين تساوي 49.25 ملم وان القيمة العظمى B_{m2} للعدسة المسقطية الثانية تساوي 0.651 تسلا وتقع في منتصف الفجوة الهوائية الثانية S_2 لتناظر المجال المغناطيسي. اما قيمة B_{m3} للعدسة المسقطية الثالثة فتساوي 0.100 تسلا وتقع على بعد 2 ملم عن وجه القطب.

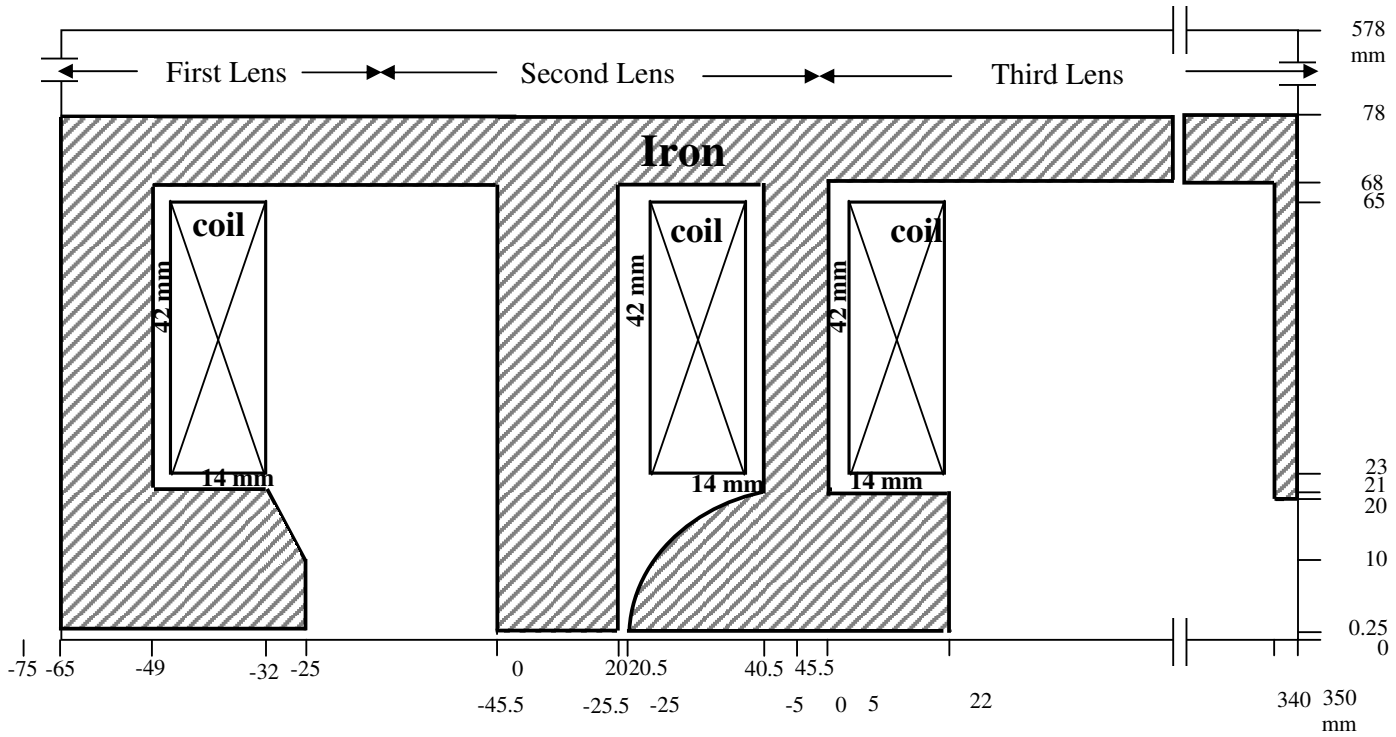
استخدم توزيع المجال المغناطيسي المبين في الشكل (7) في حساب الخواص البؤرية المسقطية للعدسة المسقطية الثلاثية L_1 في الدوران الثاني،حيث يوضح الشكل (9) تغير البعد البؤري ألمسقطي F_p، ومعاملي التشويه ألشعاعي D_r والحلزونيD_s كدالة لاعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$،اذ يلاحظ إن القيمة الصغرى للبعد البؤري ألمسقطي $(F_p)_{min2}$ في الدوران الثاني تساوي 1.519ملم و تقع عند اعلومة التهيج 15= $NI/V_r^{1/2}$ وان كلا من D_rوD_s يصبحان صفرا عند اعلومة تهيج واحدة 17 =$NI/V_r^{1/2}$.

أما القيم الصغرى لاعلومة التشويه الشعاعي$(Q_r)_{min2}$ والحلزوني $(Q_s)_{min2}$ في الدوران الثاني فتساوي(0.27 و0.26) على التوالي، وتقعان عند اعلومة التهيج التي يصل فيها كلا من D_rوD_s لقيمهما الصفرية في الدوران الثاني . كذلك استخدم توزيع المجال المغناطيسي المحوري المبين في الشكل (8) في حساب الخواص البؤرية المسقطية للعدسة المسقطية الثلاثية L_2 في الدوران الثاني ،حيث يوضح الشكل(10) تغير البعد البؤري ألمسقطيF_p ، معامل التشويه ألشعاعي D_r ومعامل التشويه الحلزوني D_s كدالة لاعلومة التهيج$NI/V_r^{1/2}$ ، اذ يلاحظ إن القيمة الصغرى للبعد البؤري ألمسقطي $(F_p)_{min2}$ في الدوران الثاني تساوي 1.613 ملم وتقع عند اعلومة التهيج15 =$NI/V_r^{1/2}$. وان كلا من D_rوD_s يصبحان صفرا عند اعلومة تهيج واحدة وهي 18= $NI/V_r^{1/2}$.

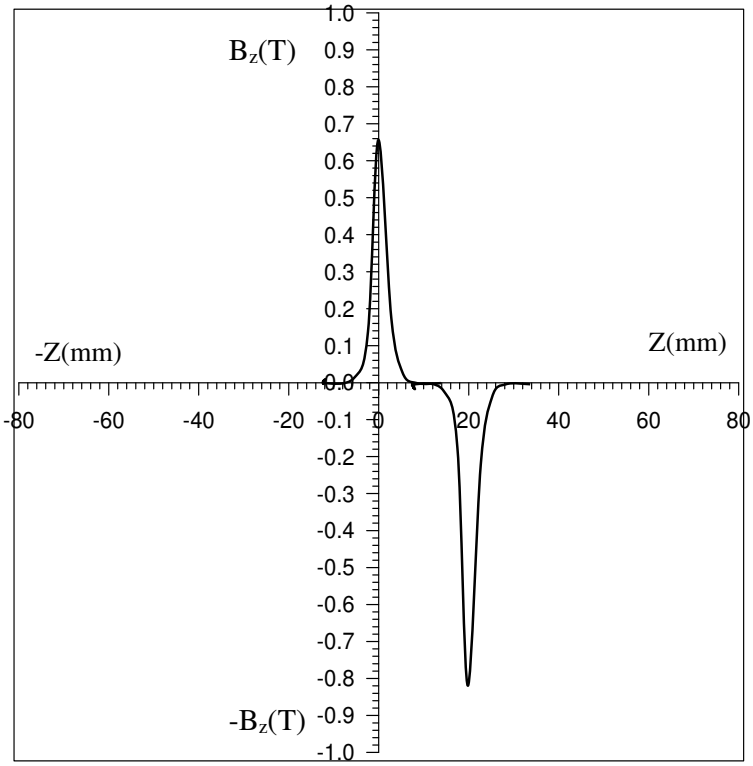
أما القيم الصغرى لاعلومتي التشويه ألشعاعي $(Q_r)_{min2}$ والحلزوني $(Q_s)_{min2}$ في الدوران الثاني فتساوي (0.05و0.49) على التوالي وتقعان عند اعلومة التهيج التي يصل فيها كلا من D_rوD_s لقيمها الصفرية في الدوران الثاني.



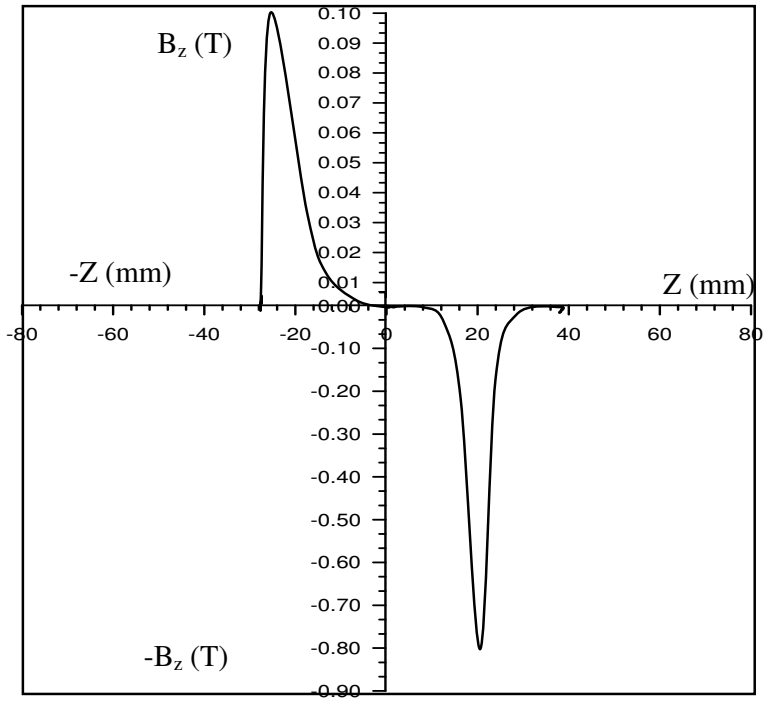
الشكل (1) النصف العلوي للعدسة المسقطية الثلاثية القطب L_1



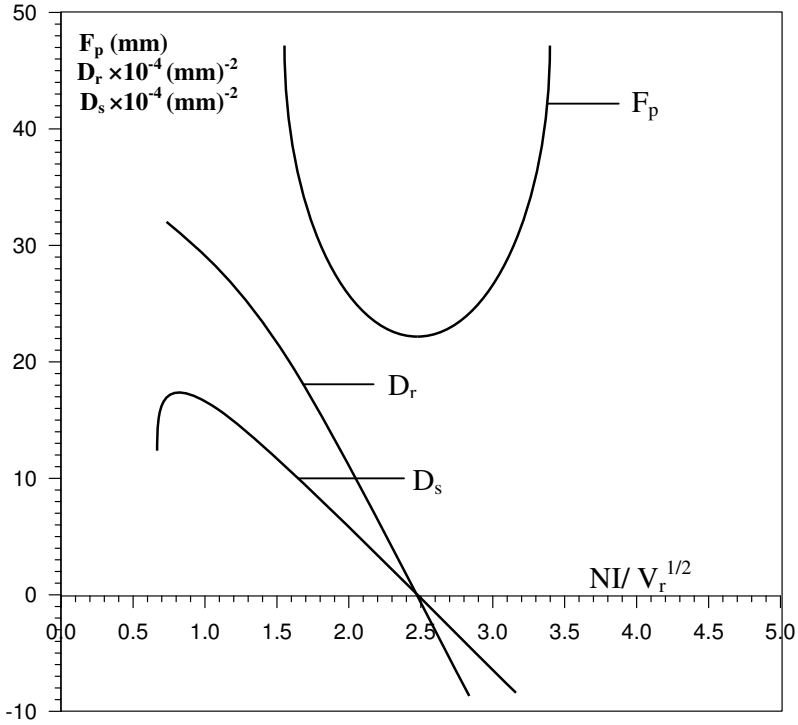
الشكل (2) النصف العلوي للعدسة المسقطية الثلاثية القطب L_2



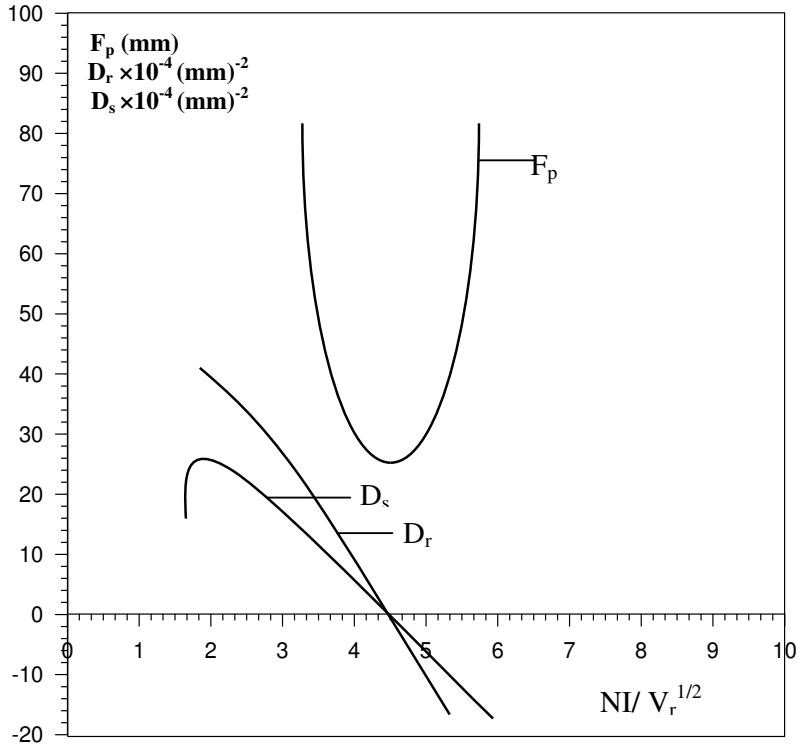
الشكل (3) توزيع المجال المغناطيسي المحوري B_z للعدسة المسقطية الثلاثية L_1 في نقطة التكبير العظمى الأولى .



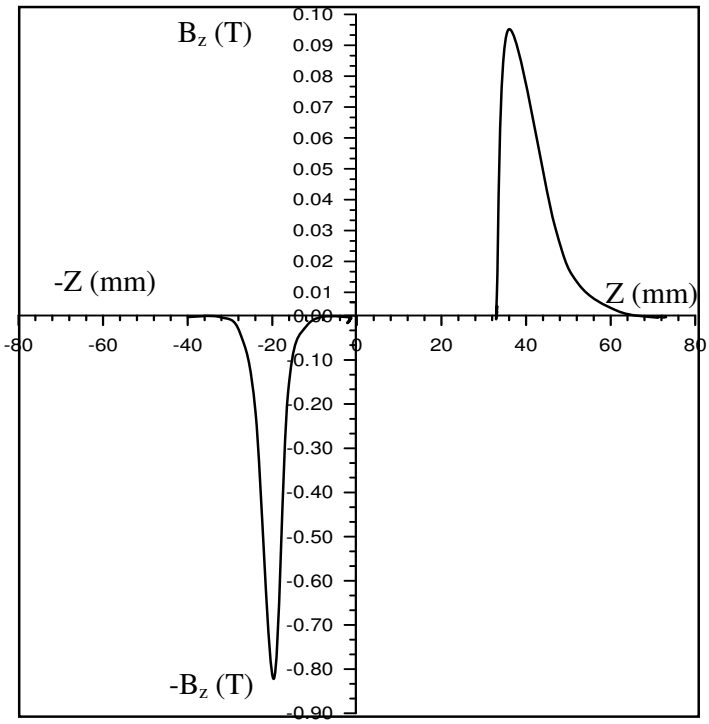
الشكل (4) توزيع المجال المغناطيسي المحوري B_z للعدسة المسقطية الثلاثية L_2 في نقطة التكبير العظمى الأولى .



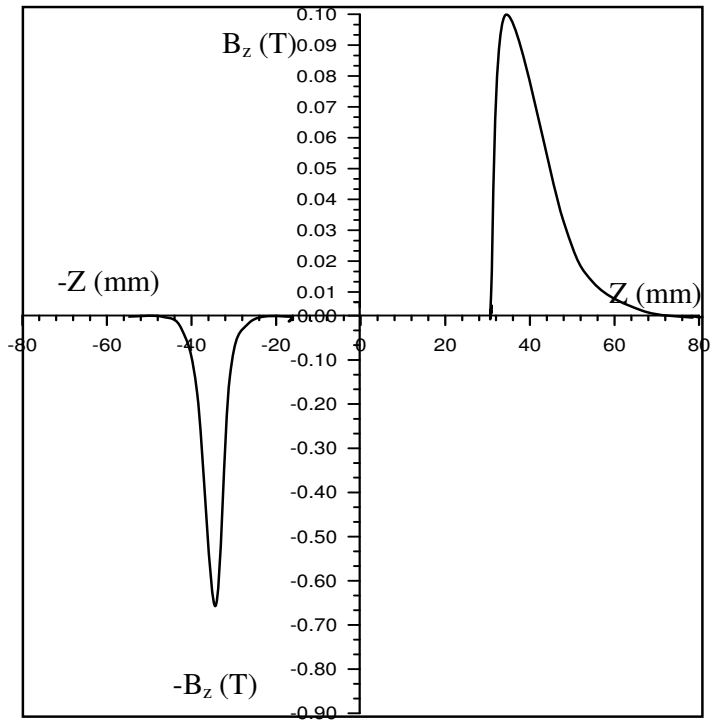
الشكل (5) تغير البعد البؤري ألمسقطي F_p ، معامل التشويه ألشعاعي D_r و معامل التشويه الحلزوني D_s مع اعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ للعدسة المسقطية الثلاثية L_1 في نقطة التكبير العظمى الأولى .



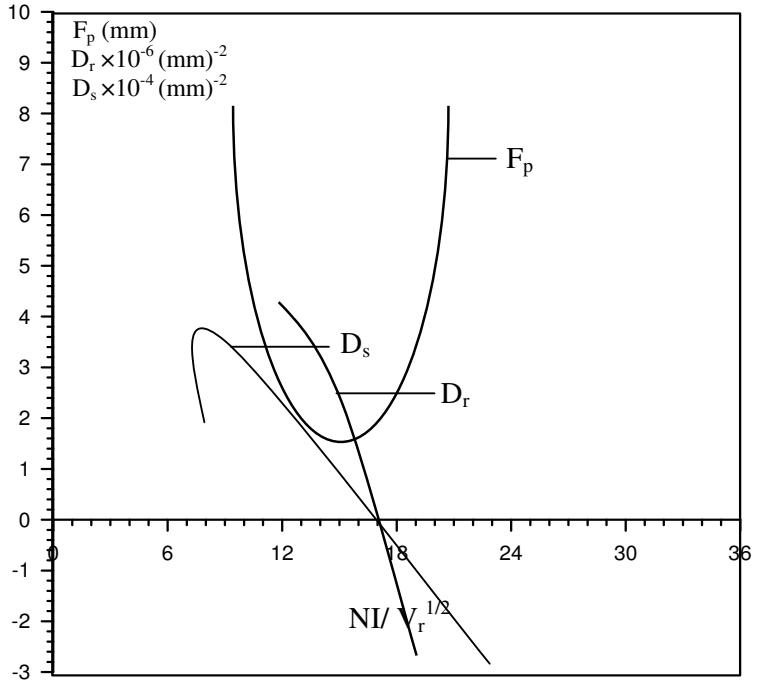
الشكل (6) تغير البعد البؤري ألمسقطي F_p ، معامل التشويه ألشعاعي D_r و معامل التشويه الحلزوني D_s مع اعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ للعدسة المسقطية الثلاثية L_2 في نقطة التكبير العظمى الأولى .



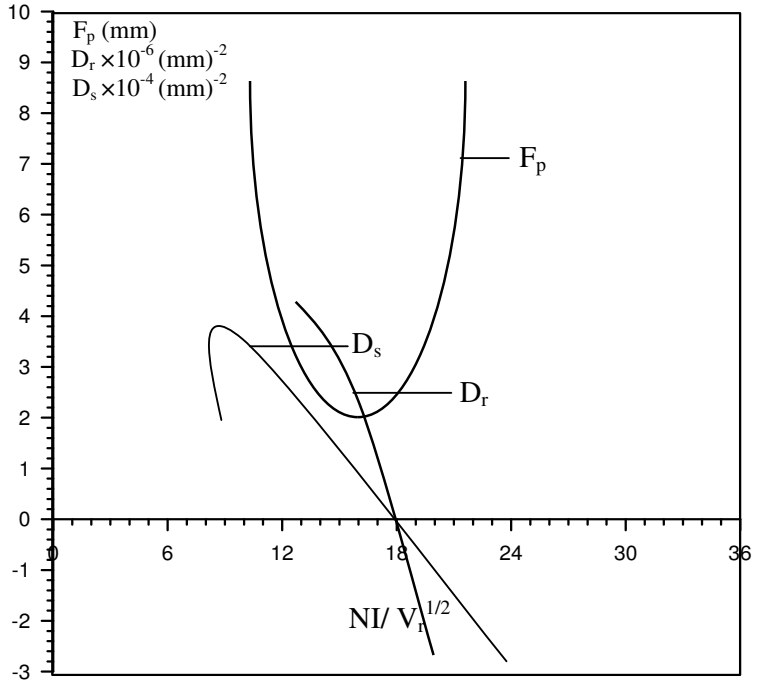
الشكل (7) توزيع المجال المغناطيسي المحوري B_z للعدسة المسقطية الثلاثية L_1 في نقطة التكبير العظمى الثانية .



الشكل (8) توزيع المجال المغناطيسي المحوري B_z للعدسة المسقطية الثلاثية L_2 في نقطة التكبير العظمى الثانية .



الشكل (9) تغير البعد البؤري ألمسقطي F_p ، معامل التشويه ألشعاعي D_r و معامل التشويه الحلزوني D_s مع اعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ للعدسة المسقطية الثلاثية L_1 في نقطة التكبير العظمى الثانية .



الشكل (10) تغير البعد البؤري ألمسقطي F_p ، معامل التشويه ألشعاعي D_r و معامل التشويه الحلزوني D_s مع اعلومة التهيج $NI/V_r^{1/2}$ للعدسة المسقطية الثلاثية L_2 في نقطة التكبير العظمى الثانية .

الاستنتاجات :

1- أوضحت النتائج إمكانية تصميم وبناء عدسات مغناطيسية مسقطية ثلاثية متعددة الفجوات وذات أشكال أقطاب مختلفة والحصول على صور عديمة الدوران والتشويه في منطقتي التكبير العظمى الأولى والثانية.

2- للحصول على صورة عديمة الدوران والتشويه في نقطتي التكبير العظمى الأولى يتم تشغيل العدسة الثنائية القطب المخروطي الأولى مع العدسة الوسطية الثنائية القطب الكروي ويقطع التيار الكهربائي في العدسة المسقطية الأحادية القطب الاسطواني الثالثة. أما للحصول على صورة عديمة الدوران والتشويه في نقطة التكبير العظمى الثانية فيتم تشغيل العدسة الوسطية الثنائية القطب الكروي مع العدسة الأحادية القطب الاسطواني، في حين تكون العدسة الأولى الثنائية القطب المخروطي غير عاملة.

3- تعطي العدسة الثلاثية صورا عديمة الدوران وخالية من التشويهين ألشعاعي والحلزوني في نقطة التكبير العظمى الأولى عند اعلومة التهيج التي تعطي أعظم قيمة للتكبير. بينما لوحظ عدم إمكانية الحصول على صورة عديمة الدوران وخالية من التشويه في نقطة التكبير العظمى الثانية عند القيمة العظمى للتكبير، لكن ينعدم التشويه في نقطة قريبة دون حدوث خسارة كبيرة في التكبير والتي لا يمكن أن تضاهي أهميتها أهمية التخلص من التشويه.

References:

Al-Abedeen F.S. (1997). Rotation and Distortion- Free with Spherical Triple Lens. M.Sc. Thesis, Al- Mustansiriyah University, Iraq.

Al-Obaidi H.N. (1991). Design of the Electron Magnetic Lenses .M.Sc .Thesis, Al- Mustansiriyah University , Iraq.

Al-Saady A.K.(1996). Computation of the Properties of Magnetic Doublet Lenses for the Transmission Electron Microscope. Ph.D.Thesis, Al-Mustansiriyah University, Iraq.

Al-Saady A.K., Al-Nakeshli I.S. and Juma S.M.(1999). Design of Rotation and Distortion- Free Doublet Projector Lenses. J. Babylon University.Vol.4, No.3.

Al-Saady A.K., Al-Shummary B.A. and Al-Shafii T.M. (2005). A study of Properties Magnetic Projector Lenses with Multiple Different Polepieces. J. Kerbala University, Vol. 3, No. 12.

Al-Shafii T.M. (2001) Magnetic Leakage through the Polepices Bores of Magnetic Lenses. M.Sc. Thesis, Babylon University, Iraq.

Al-Shummary B.A. (2002). A study of Distortion of the Projector Lenses in the Transmission Electron Microscope. M.Sc. Thesis, Babylon University, Iraq.

Al-Saady A.K., and Al-Shummary B.A..(2004).A study of New Design for Magnetic Projector Lens without Distortion. J. Kerbala University, Iraq. Vol. 2 , No. 7 .

Hawkes P.W. (1972). Electron Optics and Electron Microscopy. (Taylor and Francis, London).

Juma S.M. (1975). Rotation- Free Magnetic Electron Lenses. Ph.D. Thesis, University of Aston, Birmingham, England, UK.

Juma S.M and Mulvey T.(1974). Electron Microscopy. Vol.1, ed. J. V. Sanders and D.J. Goodchild. (Australia Academy of sciences, Canberra).134- 135.

Juma S.M. and Mulvey T. (1976). Developments in Electron Microcopy and Analysis, ed. J.A. Venables (London: Academic).45- 48.

Juma S.M. and Mulvey T. (1978). Miniature Rotation- Free Magnetic Electron Lenses for the Electron Microscope. J. Phys. E: Sci. Instrument 11, 759- 764.

Marai F.Z.(1977) Electron Optical Properties of Single-Pole Magnetic Electron Lenses Ph.D. Thesis, University of Aston ,Birmingham, England UK.

Munro E. (1971). Computer- Aided Design Methods in Electron Optics. Ph.D. Thesis, University of Cambridge, England, UK.

Tsuno, K., Arai, Y., and Harada, Y., (1980). Elimination of Spiral Distortion in Electron by Means of Three-Ppolpiece Lens. J. Elec. Micro. 1, 76-77.

Tsuno, K., and Harada Y., (1981). Minimization of Radial and Spiral Distortion in Electron Microscopy through the Use of Triple Polepiece lens. J. phys.14, 313-319