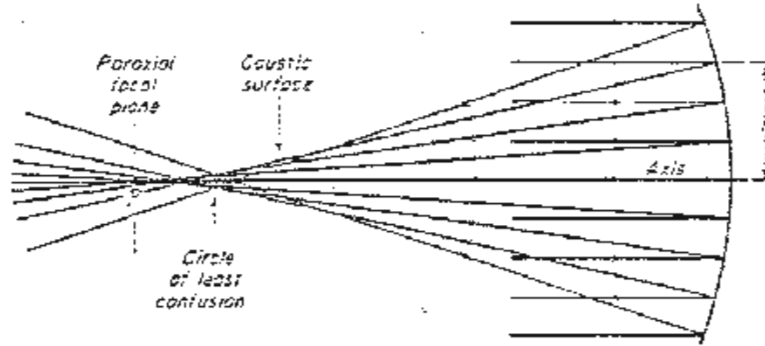


الزئغ الكروي spherical aberration

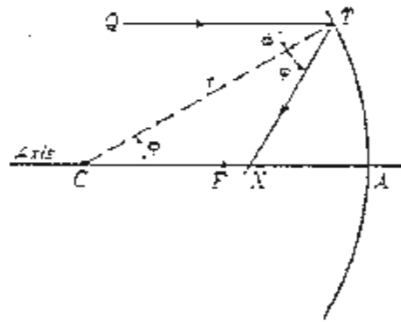
لقد كانت احاديثنا السابقة عن المرآة الكروية على اساس ان الضوء الساقط عبارة عن اشعة محورية، وتحت هذا الشرط تتكون صورة حادة وواضحة للجسد على الشاشة حيثما كان الجسم.

اذا كانت الاشعة المنبعثة من الجسم والمنعكسة عنه اشعة غير محورية تكونت لكل نقطة من نقاط الجسم اكثر من صورة، وتدعى هذه الظاهرة بالزئغ الكروي.

يوضح الشكل (١) ان هذه الظاهرة حيث تسقط اشعة متوازية تشغل حيزا كبيرا بارتفاع (h) عن المحور الاساس.



ويدعى السطح المكرومطي الذي يحوي جميع الاشعة المنعكسة *caustic surface*، ولو استخدمنا شاشة صغيرة عند المستوى البؤري *focal surface* وحركناها نحو المرآة ببطء نلاحظنا مرورنا بنقطة تكون فيها دائرة الضوء المتكونة اصغر ما يمكن وتدعى هذه الدائرة بدائرة التسويش الانسي *circle of least confusion* وللبرهنة على ان الاشعة المنعكسة الاشعة الموازية للمحور والبعيدة عنه تتجمع في مكان غير البؤرة نلاحظ الشكل (٢)



ففي هذا الشكل سقط الشعاع رقم (١) على المرآة في النقطة (T) وانعكس عنها حسب قوانين الانعكاس بزواوية (θ) حيث ($\theta = \theta''$) وكذلك فان الزاوية $\theta = TCA$ (قاطع لمستقيين متوازيين)

$$\therefore \angle TCA = \theta''$$

$$\therefore CX = TX$$

وحسب القاعدة فان الخط المتكافئ هو اقصر مسافة بين نقطتين.

$$\therefore \angle CT (CX + TX)$$

$$\therefore 1/2 CT \angle CX$$

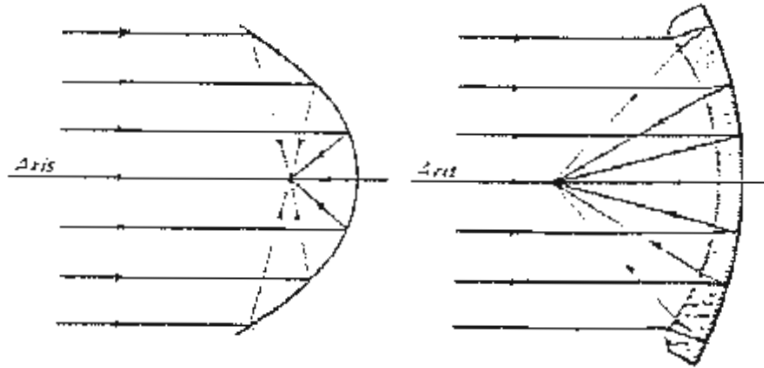
ولكن $CA = CT$ علامنا نصف قطر لكرة

$$\therefore 1/2 CA \angle CX$$

أي ان X لا تقع على البؤرة F ، وكلما اقتربت النقطة T من القطب A كلما اقتربت النقطة X من البؤرة F حتى تتطابق عنينا بزوايا سقوط صغيرة (اشعة محورية).

معالجة الزيغ الكروي:

قدمت خلال السنوات الماضية مجموعة تصاميم للتخلص من هذه الظاهرة: فتم استبدالنا سطح المرآة الكروي بسطح بيضاوي PARABOLIC حول المحور فان الاشعة الموازية للمحور ستجتمع جميعها في البؤرة لاحظ الشكل (٣-١)



وهناك ما يدعى بمرآة مانجن التي تراها في الشكل (٣-٢) حيث تستخدم عدسة هلالية كروية الوجيين ويطلق الوجه الخلفي تعنسة بالفضة لتكوين مرآة مقعرة حيث تجتمع الاشعة المتوازية في نقطة البؤرة.

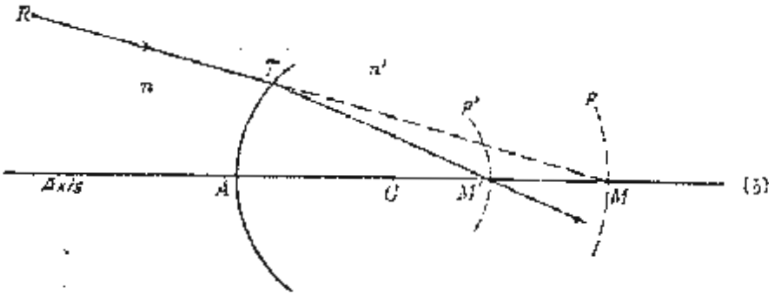
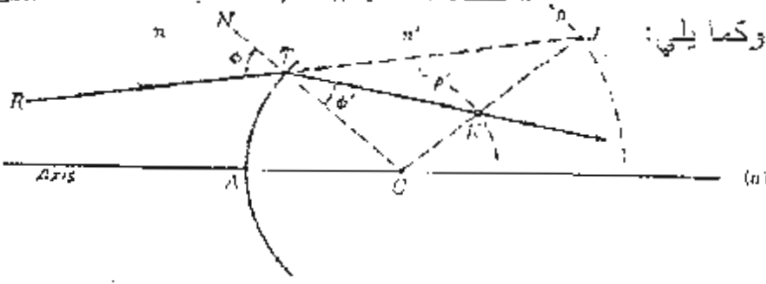
الفصل التاسع

الزيف في العدسات

إن سقوط حزمة ضوئية عرضية موازية لمحور عتسة يؤدي الى اجتماع جميع أشعتها في نقطة واحدة (البؤرة) إن الحيود عن موقع الصورة المتوقعة رياضياً يدعى بالزيف الكروي. إن القيم التي تعطينا معادلة كنوس المذكورة آنفاً هي قيم مثالية لعدسات ذات فتحات ضوئية صغيرة وكلما قمتا بتتبع مسار شعاع أبعد وأبعد عن المحور الأساس للعدسة زاد الزيف أكثر وأكثر. إن طرق الإقلال من هذا الزيف بأنواعه المختلفة تعتبر من أعظم معضلات الهندسة البصرية. إن حدود دراستنا الحالية لا يسمح لنا بالتطرق الى كافة النظريات الرياضية لحل هذه المعضلات ولكن سنقتصرها على بعض الطرق المستخدمة والتي تعطينا نتائج عملية ممتازة للتخلص من ظاهرة الزيف في العدسات.

نظرية الرقعة الأولى (مفتاح الحساب):-

لقد وجد أن أفضل طريقة لتحقيق نظرية مرضية لحل مشاكل الزيف في العدسات هو أن نبدأ بصيغ تصحيح المسار الشعاعي للعدسات وكما يلي:



نلاحظ في الشكل شعاع مائل مع المحور بزواوية θ يسقط على سطح كروي أحادي التحدب عند النقطة T وينكسر ملتقياً بالمحور عند M حيث تكون صورة النقطة M' . ونستخدم العلاقات التالية للزوايا:

١- زوايا الانحراف عندما يجب دوران المحور عكس عقارب الساعة خلال زاوية أقل من $\frac{\pi}{2}$ لينطبق على الشعاع.

٢- زاوية السقوط والانكسار تعتبر موجبة عند دوران المستقيم بزوايا من $\frac{\pi}{2}$ لينطبق المستقيم على الشعاع.

الاستجماتيزم ASTIGMATIZM

تحصل هذه الظاهرة عند وقوع صورة نقطة في الجسم على مسافة عن المحور الأساس لمرآة مقعرة أو مرآة محدبة، إن الأشعة الساقطة على المرآة سواء كانت متوازية أو غير متوازية تكون زاوية صغيرة مع المحور مثل ϕ ونتيجة لذلك تكون صورتين خطيتين متعامدتين بدلا من تكوين صورة نقطية لنقطة جسمية وتعرف هذه الظاهرة بالاستجماتيزم وهي موضحة في الشكل (٤) حيث إن الأشعة الساقطة اشعة متوازية إلا أن الأشعة المنعكسة اشعة منكرفة لتكون خطين T & S وتتجمع الأشعة الساقطة عموديا على الأفق في المستوي (RASE) عند T بينما تتجمع الأشعة المتوازية للأفق في المستوي (T.AKE) عند S، إذا وضعت شاشة عند E وحركت نحو المرآة فإن الصورة المتكونة هي صورة خط عمودي عند S ودائرة عند L وخط أفقي عند T.

إذا ما أخذنا جميع مواقع T & S لمواقع مختلفة للجسم وزوايا سقوط مختلفة فإن النقاط تكون (نقاط الصورة) سطح بيضوي و سطح مستوي على التوالي كما في الشكل (٦) وكلما اقتربت الأشعة من المحور وقلت زاوية الميل على المحور اقتربت الخطوط من بعضها وأصبحت وتضربت أيضاً.. إن مقدار الاستجماتيزم يعتمد على المسافة بين سطح S و T المقاسين على امتداد الشعاع الرئيسي، وتستخدم العلاقة التالية لتحديد موقع صورتي الاستجماتيزم

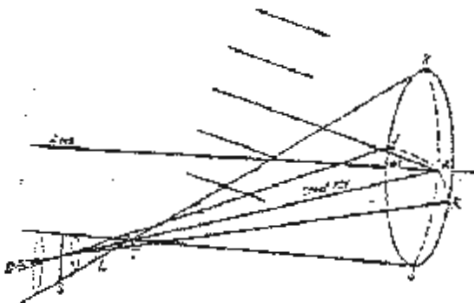
$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = - \frac{2}{r \cos \phi} \rightarrow (1)$$

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'_s} = - \frac{2 \cos \phi}{r} \rightarrow (2)$$

ولقد قيست s و S على امتداد الشعاع الرئيسي Chief ray وتمثل ϕ زاوية ميل الشعاع الرئيسي بينما تمثل r نصف قطر تكور المرآة.

إن منظومة Schmidt (التي ستناقش لاحقاً) أو مرآة مانجين الموضحة سابقاً تستخدم في المنظومات البصرية لتقليل الاستجماتيزم في المرايا الكروية وتكون الصورتان S و T قريبتان للغاية من بعضهما.

إن المرايا البيضوية خالية من الزيغ الكروي لكنها تعاني من استجماتيزم كبير حيث تبعد S عن T لذا يقل استخدامها في المنظومات البصرية.



المحور وعلى ارتفاعات كبيرة وحده لا تصح صيغة كاويس لتحديد موقع الصور المتكونة ويجب استخدام جيوب الزوايا المبينة في المعادلات أعلاه. وتستخدم نظرية ماكلورين لفك قيد الجيوب وهي:

$$\sin \theta = \theta' - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \frac{\theta^7}{7!} + \frac{\theta^9}{9!} - \dots \dots \dots ETC$$

ونلاحظ من المعادلة أعلاه أنه عندما تكون قيمة الزاوية صغيرة يكون الحد الثاني من المعادلة مهماً يليه من حدود صغيرة يمكن إهماله لذا نستخدم الحد الأول فقط أي صيغة كاويس وعندما

تكون قيم θ, ϕ, θ' صغيرة أيضاً:

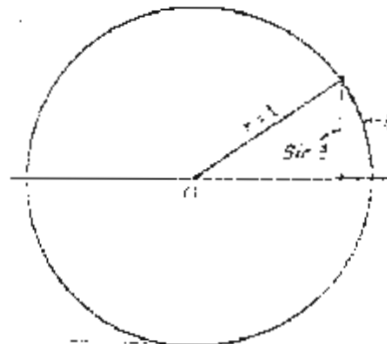
$$\sin \theta = \theta$$

$$\therefore \phi = \frac{r-s}{r} \theta \dots \dots (1), \phi' = \frac{n}{n'} \phi \dots \dots (2), \theta' = \phi' + \theta - \phi \dots \dots (3), S' = r - r \frac{\phi'}{\theta} \dots \dots (4)$$

بتعويض (1) في (2) والنتيجة في (3) والنتيجة في (4) نحصل على معادلة كاويس:

$$\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = \frac{n' - n}{r}$$

إن هذه المعادلة وما يشتق منها تدعى بنظرية المرتبة الأولى The first order Theory إن التحقق من مساواة θ بـ $\sin \theta$ يلاحظ من الشكل المجاور حيث نلاحظ أن طول القوس أكبر من طول المستقيم $\sin \theta$ بمقدار 5% عندما تكون الزاوية = 10° بينما يصل الفرق بينها إلى 10% عندما تكون الزاوية = 40° وتمثل هذه الفروقات مقياساً لتزيغ الكروي للعدسة.



٣- لذا تكون الزوايا θ, ϕ, ϕ' موجبة بينما تكون θ' سالبة باستخدام قوانين الجيوب والمثلثات MTC نحصل على:

$$\frac{\sin(\pi - \phi)}{r + s} = \frac{\sin \theta}{r}$$

$$\frac{\sin \pi * \cos \phi - \sin \phi * \cos \pi}{r + s} = \frac{\sin \theta}{r}$$

$$\frac{\sin \phi}{r + s} = \frac{\sin \theta}{r}$$

$$\therefore \sin \phi = \frac{r + s}{r} \sin \theta \dots (1)$$

$$\sin \phi' = \frac{n}{n'} \sin \phi \dots (2)$$

$$MTM' \Rightarrow \theta + \phi + \theta' \angle MTC = \pi$$

$$BUT, \phi + \angle MTC = \pi \Rightarrow \therefore \phi = \theta + \phi' - \theta'$$

$$\therefore \theta' = \theta + \phi' - \phi \dots (3)$$

وتعطينا المعادلة (3) إمكانية حساب المسافة التي تقع بين تقاطع الشعاع مع المحور وبين القطب A ، أي حساب المسافة s'

وبتطبيق قانون الجيوب على المثلث TCM يكون:

$$\frac{-\sin \theta'}{r} = \frac{\sin \phi'}{s' - r}$$

$$\therefore s' = r - r \frac{\sin \phi'}{\sin \theta'} \dots \dots \dots (4)$$

والحالة الخاصة الميعة عندما يسقط الشعاع الموازي للمحور على السطح الكروي عندها:

$$\sin \phi = \frac{h}{r} \dots \dots \dots (5)$$

$$ALSO \Rightarrow \theta' = \phi' = \phi$$

وتحدد المعادلات من ٥-١ قيم زوايا السقوط والميل وبدلالة جيب الزوايا ولقد لاحظنا عند اشتقاق صيغة كاوس التقريب المستخدم في جيب الزوايا وجعلها مساوية لقيم الزوايا بذاتها باعتبار أن الأشعة الساقطة أشعة محورية إلا أنه عند سقوط الأشعة مشكلة زوايا كبيرة مع

حيث تمثل M نقطة على المحور الأساس تبعث أشعة متفرقة تسقط أعلاها على ارتفاع h عن المحور البصري الأساس وتتجمع هذه الأشعة على المحور الأساس في مواقع مختلفة تشكل صور متباينة الوضع اقربيا الى القطب أعلاها عن المحور شكله مخروطاً قائم عند السطح الكروي نصف قطره h ورأسه على بعد s_h عن القطب A . إن المسافة NM مقياساً لقيمة السزيف الكروي في هذه السطوح والذي يحصل على قيمة من معادلة المعوية الثالثة:

$$\frac{n}{s} - \frac{n'}{s'} = \frac{n' - n}{r} + \left[\frac{h^2 * r * n^2}{2f' * n'} * \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{s} \right)^2 * \left(\frac{1}{r} - \frac{n' - n}{n * s} \right) \right] \dots \dots (1)$$

وحيث ان الاشعة المحورية (صيغة كزوس) هي:

$$\frac{n}{s} - \frac{n'}{s'_p} = \frac{n' - n}{r} \dots \dots (2)$$

فان الحد بين القوسين يمثل مقدار الحيود في ناتج المعادلة (١) عن معادلة المرئية الاولى والذي يتناسب قيمته طردياً مع h^2 وعكسياً مع s .

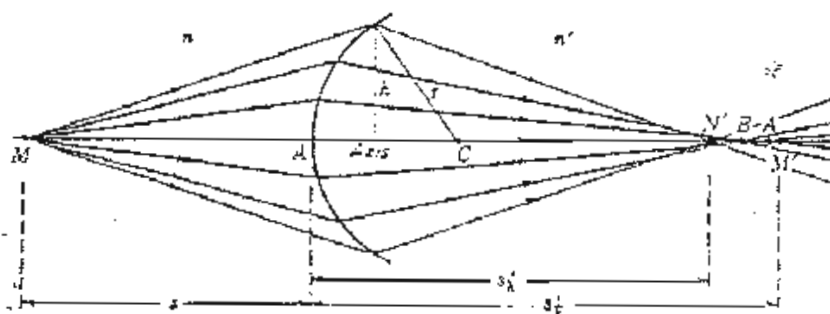
وإذا كان الجسم في اللانهاية أي $s = \infty$ تصبح العلاقة (١) كما يلي:

$$\frac{n'}{s} = \frac{n'}{f'} + \frac{h^2 * n^2}{2f' * n' * r^2}$$

وبالقسمة على n' تصبح:-

$$\frac{1}{s'_h} = \frac{1}{f'} + \frac{h^2 * n^2}{2f' * n'^2 * r^2} \dots \dots (3)$$

ونلاحظ هنا ايضاً ان السزيف الكروي يتناسب طردياً مع h^2 (ارتفاع الاشعة الساقطة عن المحور البصري للسطح).



نظرية المرتبة الثالثة Third Order Theory

إذا استخدم الحدان الأوليان في المعادلة (٦) لجميع الزوايا المذكورة في المعادلات من (٥-١)

$$\text{ينتج عنها ما يلي: } \sin \theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} = \theta - \frac{\theta^3}{3 \cdot 2 \cdot 1} \rightarrow \sin \theta' = \theta' - \frac{\theta'^3}{3!}$$

$$\sin \phi = \phi - \frac{\phi^3}{3!} \rightarrow \sin \phi' = \phi' - \frac{\phi'^3}{3!}$$

وتدعى هذه المعادلات بنظرية المرتبة الثالثة ويعبر في هذه النظرية عن زيبغ أي شعاع (حيوده عن مساره الموصوف بصيغة كاوس) بخمسة مجاميع وتدعى Seidel Sum مجاميع سين والعدسة الخالية من جميع أنواع العيوب (جميع أنواع الزيبغ) تكون قيم هذه المجاميع الخمسة فييا مساوية للصفر ولا توجد حقيقة أي منظومة بصرية خالية من جميع العيوب.

تعبير S_1 عن وجود الزيبغ الكروي وإذا كان $S_1=0$ فلا وجود للزيبغ الكروي.

بينما يعبر S_2 عن الزيبغ coma وعندما $S_2=0$ فلا توجد كوما.

بينما يعبر S_3 عن الاستجماتزم

ويعبر S_4 عن انحناء المجث

ويعبر S_5 عن تشوه الصورة

وتدعى أنواع الزيبغ الخمسة بالزيبغ اللوني Chromatic Abraqtion لأنها تتواجد في

كل لون مستخدم و لأي معامل انكسار للعدسات.

وهذاك زيبغ آخر ينتج عن استخدام ضوء متعدد الألوان سيأتي الحديث عنه لاحقاً.

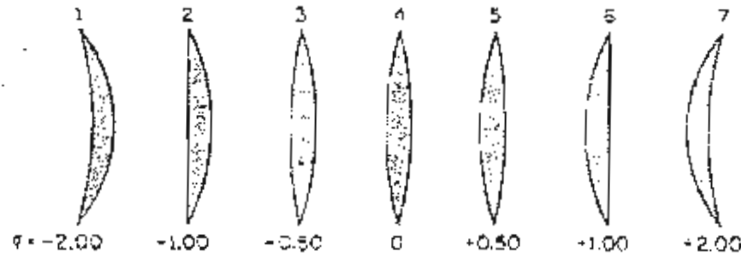
الزيبغ الكروي في السطوح أحادية التكور spherical aberration of single surface

لقد سبق الحديث عن الزيبغ الكروي في المرايا وقتلنا أن الزيبغ الكروي تعبير عن التشويه الحاصل في صورة جسم تنتج عن تكون صور متعددة على امتداد المحور الأساس تتدرج في الوضوح لتكون أوضح صورة للجسم في وسط المسافة التي تتكون فيها جميع الصور. وتكون هذه الصور المتدرجة في الوضوح من أضي وضوح إلى أضي وضوح عبارة عن مجموعة نقاط على المحور الأساس للأشعة المتوازية القادمة من اللانهاية ومجموعة صور متعاقبة للجسم الموضوع أمام السطح الكروي.

إن حالة مماثلة لما سبق ذكره تحدث في السطوح ثنائية التكور أو ما نسميها بالعدسات حيث

نلاحظ في الشكل التالي إيضاح لتلك الظاهرة في سطح أحادي التكور :

ويدعى الأول بالزيج الكروي الموجب Positive والثاني بالزيج الكروي السالب Negative. ونلاحظ في الشكل التالي عدسات مختلفة الأشكال وكلها ذات بعد بؤري واحد وقطر واحد.



وتفسير قيم الزيج الكروي قليلاً ما بين $q=4.0$ و $q=-1.0$ تكونيا قريبة من القيمة الدنيا ولا يمكن أن تكون قيمة الزيج الكروي صفراً إطلاقاً إن ما نستنتجه الآن أن الزيج الكروي يمكن نقله إلى أدنى حد بانتخاب أنصاف أقطار r_1 و r_2 مناسبة ونحن لا يمكن إلغائها تماماً. إن التغيير في شكل العدسات يدعى بانحناء العدسة Bending of lens ويتميز بتغيير نرزم له بالرمز q حيث:

ويسمى q بمعامل الشكل Shape Factor

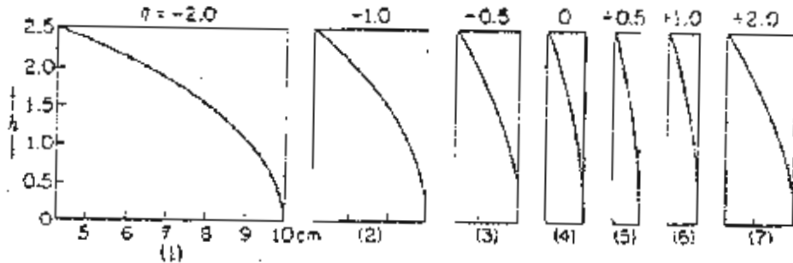
$$q = \frac{r_2 + r_1}{r_2 - r_1}$$

للعدسة البيانية الأولى رقم (1)

$$q = \frac{-5 - 15}{-5 + 15} = -2$$

ويستخدم هذا المتغير لتمييز أي عدسة ذات زيج كروي أقل وكما سنوضح لاحقاً.

(m)



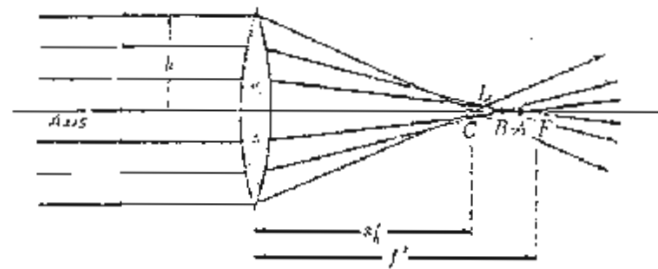
ويمكن ملاحظة العدسة 5 ذات $q=+0.5$ هي العدسة ذات الزيج الكروي الأدنى.

الزيج الكروي لهذه العدسة لارتفاع شعاع $h=1$ cm يمكن حسابه من الشكل البياني التالي:

الزيج الكروي في العدسات الرقيقة :

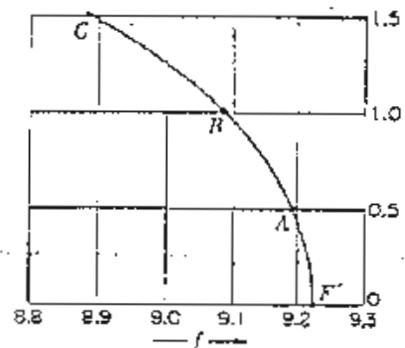
لدراسة ظاهرة انزيج الكروي في العدسات نأخذ حالة عمية لعدسة كما في الجدول أدناه.

$r_1=15 \text{ cm}$	$r_2=-15 \text{ cm}$	$d=3.0 \text{ cm}$	$n=n'=1.0$	$n'=1.625$
h	6.0 cm	$h=4.0 \text{ cm}$	2.0 cm	0 cm
$\text{SIN } \phi_1 \frac{h}{r_1}$	$+0.4000^{\circ}$	0.2666°	0.13333°	0.40000°
$\text{SIN } \phi_1' \frac{n}{n'} \text{SIN } \phi_1$	$+0.246153^{\circ}$	0.1641025°	0.08205128°	0.24615385°
q_1		-23.578178°	15.4660119°	7.6622555°
q_1'		-14.2500327°	9.4451058°	4.7064843°
$\theta' = \phi_1' = \phi_1$		-9.3281458°	6.020906°	2.95577°
$\text{SIN } \theta'$		-0.16208858°	0.10489134°	0.05156506°



ويعطي هذا زيجاً كروياً مقداره 1.79214 سم للارتفاع 4 سم أي نسبة 15.6% من البعد البؤري للأشعة العمودية وتلاحظ في المخطط البياني توضيحاً لهذا التغير في الزيج من أدنى ارتفاع إلى أعلى ارتفاع.

نلاحظ من الشكل أن الارتفاعات الواطنة يكاد يكون شكل بيضوي Parabola ويعتبر الزيج الكروي موجباً إذا كانت الأشعة المنكسرة تقطع المحور الأساس إلى البؤرة المحورية وسالبة إذا قطعتة سلبياً.



ويدعى البعد بين المستوي الأساس (موقع الصورة الثانية) وبين التقاطع الأول بالزيبغ الكروي الطولي Longitudinal بينما تدعى المسافة بين المحور الأساس وبين موقع التقاطع الثاني وضمن المستوي البؤري المحوري بالزيبغ الكروي العرضي ويرمز له بالرمز Lat.S.A. تمثل المسافة S'_h بعد الصورة المتكونة لجسم على بعد S من القطب لشعاع مائل عن الأفق بزاوية كبيرة وساقط على وجه العدسة بارتفاع h عن المحور الأساس بينما تمثل S'_p الصورة المتكونة لنفس الجسم ولكن لأشعة محزوية يبعثها باتجاه العدسة. بينما تمثل f البعد البؤري للعدسة وهي بعد صورة جسم واقع في اللانهاية عن العدسة ويبعث بأشعة قريبة من المحور الأساس.

نتنتج مما سبق أن الزيبغ الطولي Long.S.A يساوي:

$$\text{Long.S.A} = S'_p - S'_h \dots\dots (4)$$

$$\tan \theta' = \frac{\text{Lat.S.A}}{\text{Long.S.A}} = \frac{\text{Lat.S.A}}{S'_p - S'_h}$$

$$\therefore \text{Lat.S.A} = (S'_p - S'_h) \tan \theta' \dots\dots (5)$$

ان حل المعادلة (١) بدلالة Long.S.A نحصل على:

$$\text{Long.S.A} = S'_p * S'_h * L_s \dots\dots (6)$$

$$\text{Lat.S.A} = S'_p * h * L_s$$

وبعد الصورة المتكونة لشعاع مائل عن الأفق (لاي مخروط) هو:

$$S'_h = \frac{S'_p}{1 + S'_p * L_s} \dots\dots (8)$$

وهي الطريق الأديق والأصح في تتبع مسار الشعاع على ارتفاعات وتظهر ابتعاداً معنى

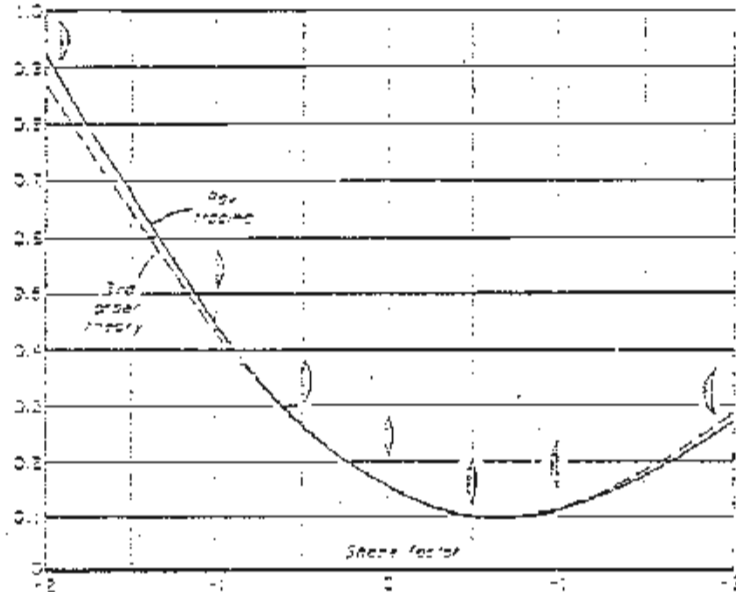
النظرية عن منحنى طريق رسم المسار عند القيم العليا في العوجة.

إن العدسة ذات q قليلة تكون ذات زيبغ كروي قليل وحيث أن q تمثل شكل العدسة أي نصف قطر r_1, r_2 إذ يكون حسن اختيار طريقاً لتقليل الزيبغ الكروي ولكن بعد انعدامه تماماً.

وبالعودة الى الشكل نلاحظ ان التطابق بين المنحني الناتج عن تطبيق نظرية المرتبة الثالثة

وطريقة الرسم لمسار الشعاع Ray Tracing methode :

وللحصول على اقل قيمة لـ (q) نعود الى المعادلة (١) ونشتقها بالنسبة لـ (q) فيكون:



النتائج المستخلصة من نظرية الرتبة الثالثة (معادلة الزيج الكروي): -

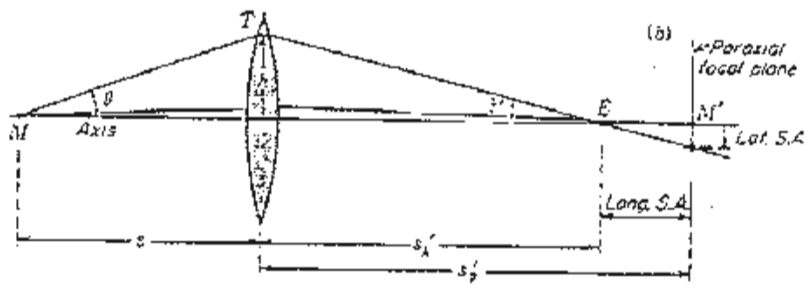
حيث أن اشتقاق معادلة الزيج الكروي من نظرية الرتبة الثالثة طويلة فإننا نستخلص بعض نتائجه والتي تعطينا في بحثنا فقط.

للعدسة الدقيقة هناك معادلة بسيطة كما يأتي:

$$L_s = -\frac{h^2}{8f^3 * n(n-1)} \left[\frac{n-2}{n-1} q^2 + 4(n-1)p * q + (3n-2)(n-1)p^2 + \frac{n^3}{n-1} \right] \dots (1)$$

حيث $L_s = \frac{1}{s'_h} - \frac{1}{s'_p}$ ومعامل المكان $P = \frac{s' - s}{s' + s}$ ومعامل الشكل $q = \frac{r_2 + r_1}{r_2 - r_1}$

ولنعد إلى السوراء قليلاً ونأخذ حالة تكون صورة لجسم نقطي موضوع على محور العدسة الأساس كما في الشكل أدناه.



إن الشعاع المنطلق من الجسم والساقط على سطح العدسة على ارتفاع h من المحور الأساس ينكسر في العدسة مرتين مرة على كل وجه ليخرج مكوناً صورة للجسم عند تقاطعه مع المحور الأساس وصورة ثانية عند تقاطعه مع المستوي البؤري المحوري (وهو المستوي الذي يتكون من إنكسار الأشعة المحورية).

وبتعويض قيم q و p بعد استخراج قيم s و s' من المعادلة (١١) يكون:

$$\left. \begin{aligned} s &= \frac{2f}{1+p} \rightarrow s' = \frac{2f}{1-p} \\ r_1 &= \frac{2f(n-1)}{q+1} \rightarrow r_2 = \frac{2f(n-1)}{q-1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(13)$$

وان حاصل قسمة المعادلتين الاخيرتين لـ r_1, r_2 ستعطينا المعادلة (١٠) ايضاً:

مثال: - عدسة بعدها البصري المطلوب $f=10\text{cm}$ ومعامل تكاثرها $n=1.5$ جد قيمتي r_1, r_2 التي تحدث أدنى زرع كروي لأشعة منبعثة من جسم في اللانهاية.
- الحل:

$$s = \infty, s' = 10\text{cm}$$

$$p = \frac{10 - \infty}{10 + \infty} = -1$$

وبتعويض هذه القيمة في المعادلة (٩) يكون:

$$q = \frac{2(2.25-1)(-1)}{1.5+2} = \frac{2.5}{3.5} = 0.714$$

ويمكن ملاحظة ان هذه القيمة q من الشكل () تقع قرب النقطة الدنيا ولها تعضي نسبة لتصفى القطرين:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{0.714-1}{0.714+1} = \frac{-0.286}{1.714} = -0.167$$

الإشارة السالبة تدل على ان العدسة عدسة محدبة الوجيين وتطبيق العلاقة (١٣) نجد ان:

$$r_1 = \frac{10}{1.714} = 5.82\text{cm} \rightarrow r_2 = \frac{10}{0.286} = -35.0\text{cm}$$

ومتى هذه العدسة تقع بين العدسة رقم (٥) والعدسة رقم (٦) السابق الحديث عنها

ونلاحظ هنا أن السطح الأكبر تحدياً يقع بمواجهة الأشعة الموازية وهذا يبين سبب الوجه محدب للعدسة المحدبة المنقوية (رقم ٦) بمواجهة الأشعة المتوازية في أغلب المنظومات البصرية لتقليل الزرع الكروي حيث تكون $q=+10$ وموقعها كما في الشكل () قريبة من النقطة الدنيا من المنحني بينما لو قلنا وضع العدسة لأصبحت $q=-10$ وهذا يحدث زرعاً قيمته اربع مرات من زرع الحالة الأولى لاحظ الشكل ()

$$\frac{dL_s}{dq} = \frac{h^2}{8f^3} * \frac{2(n-2)*q^2 + 4(n-1)(n+1)p}{n(n-1)^2}$$

وبمساواة هذه المعادلة وحلها يكون:

$$q = \frac{2(n^2 - 1)p}{n - 2} \dots \dots (9)$$

وتبين هذه المعادلة أن قيمة q تتحدد بالمتغير P (بعد الصورة وبعد الجسم) والمتغير n معامل الانكسار وحيث أن n يمكن أن يثبت فإن قيمة q سترتبط بـ s و s' فقط واللذان يرتبطان بنورهما بـ r₁, r₂.

$$q = \frac{r_2 - r_1}{r_2 - r_1}$$

$$\therefore (r_2 - r_1)q = r_2 - r_1$$

$$\therefore qr_2 - qr_1 = r_2 - r_1$$

$$qr_2 - r_2 = r_1 - qr_1$$

$$(q - 1)r_2 = (q - 1)r_1$$

$$\therefore \frac{r_1}{r_2} = \frac{(q - 1)}{(q - 1)} \dots \dots (10)$$

لذا فموقع معين للصورة وموقع معين للجسم في منظومة بصرية يمكن استحصاها قيمة q لتحديد أدنى زيغ كروي في المنظومة أي نصنع عدسة بالخواص المطلوبة لتعطي أقل q وليذا التصميم الخاص تعود إلى قيم q و p (معادلة (١٠)) المستخلصة من صيغة

ماكرا Maker's formula:

$$p = \frac{s' - s}{s' + s}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{s' + s}{s' * s} \Rightarrow s' + s = \frac{s' * s}{f}$$

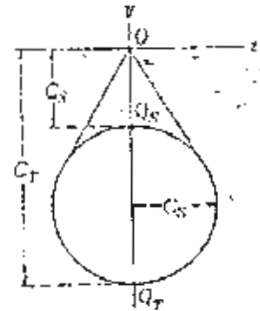
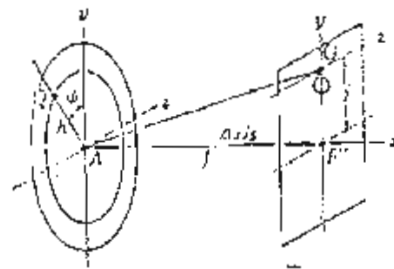
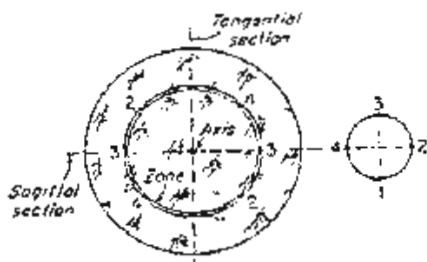
$$\therefore p = \frac{(s' - s)f}{s' * s} = \left(\frac{1}{s} - \frac{1}{s'} \right) f$$

$$\text{but } \frac{1}{s} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s'} \& \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s}$$

$$\therefore p = \frac{2f}{s} - 1 \& p = 1 - \frac{2f}{s'} \dots \dots (11)$$

$$\therefore \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{1}{f} \dots \dots (\text{Makers formula}) \dots (12)$$

لقد سبق أن تحدثنا عن المخاريط التي تكونها الأشعة الموازية لمحور العدسة والساقطة على ارتفاعات h مختلفة وقلنا أن كل نقطة تمثل صورة للجسم وحيث أن لكل نقطة موقع مختلف عن بقية النقاط تتكون مجموعة صور مختلفة في وضوحها وأسمينا الظاهرة بالزيج الكروي. ما في حالة الكوما فإن كل مخروط يكون مجموعة نقاط تشكل مع بعضها دائرة تقاطع مع الدوائر التي تشكلها المخاريط الأخرى وكما في الشكل (٢) والموضحة في الشكل (٣) حيث تمثل النقطة (١) الأشعة الطرفية المماثلة عند B بينما تمثل النقطة (٣) الأشعة الطرفية عند مستوى الأفق الذي يدعى الأشعة السيمية ومسقطها كما في الشكل (٣).



وبصورة عامة فإن كل زوج متقابل من النقاط من محيط قاعدة المخروط يكون صورة نقطية وتعطي نظرية الرتبة الثالثة نصف قطر دائرة المذنب بالعلاقة:-

$$C_s = \frac{j * h^2}{f^3} (Gp + Wq) \dots \dots (15)$$

حيث يوضح الشكل (٤) معنى الرموز j, h, f, p, q معاملتي المكان والشكل على التوالي أما G, W فيما:

$$G = \frac{3(2n+1)}{4n} \rightarrow W = \frac{3(n+1)}{4n(n-1)}$$

وهوذا الشكل (٢) نلاحظ أن التكبير يختلف باختلاف موقع الأشعة عن المحور الأساس والتكبير للأشعة الطرفية أصغر منه للأشعة المحورية ويدعى هذا بالمذنب السالب أما في حالة العكس فيدعى بالمذنب الموجب.

وتعطي العلاقة التالية شكل المذنب:

$$y = C_s (2 + \cos 2\psi) \rightarrow Z = C_s * \sin 2\psi$$

ونلاحظ من الشكل (٤) أن التكبير:

$$C_T = 3C_s$$

$$q = \frac{r_2 + r_1}{r_2 - r_1} = \frac{r_2 + \infty}{r_2 - \infty} = -\frac{\infty}{\infty} = -1$$

$$q = \frac{\infty + r_1}{\infty - r_1} = \frac{\infty}{\infty} = +1$$

لا يمكن إلغاء ظاهرة الزيغ الكروي في منظومة بصرية تستخدم عدسة واحدة ولكن يمكن ذلك باستخدام أكثر من عدسة حيث أن الزيغ الذي تسببه الأولى تلغيه العدسة الثانية شرط أن تكون إحدى العدستين موجبة والثانية سالبة (عدسة محدبة وعدسة مقعرة) مثلاً استخدام عدستين محدبة ومقعرة لإلغاء الزيغ الكروي يجب أن تكون العدسة اللامة ذات قدرة عالية highpower وحاد أنقى من الزيغ بينما تكون العدسة المستخدمة ذات قدرة جدا عالية نوعاً من الزيغ، وذلك لأن الزيغ يتناسب طردياً مع مكعب تبعد البؤري وهذا يعني إلغاء أحدهما لتأثير الأخرى.

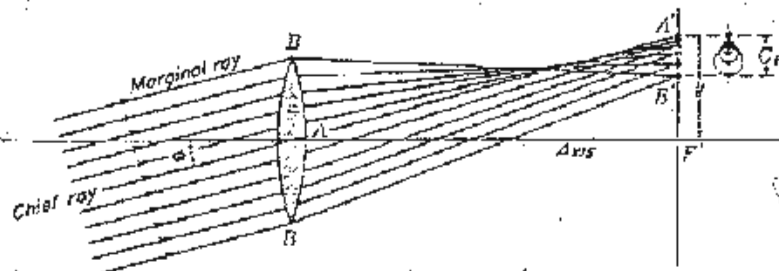
$$p = \frac{1}{f} \Rightarrow p = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \dots \dots (14)$$

أما في حالة تماس سطحي عدستين فيجب أن يكون نصف قطري وجبي التماس متساويين بينما يمكن أن يختلف نصف القطرين الآخرين غير المتماسيين ليحدثا أدنى زيغ كروي.

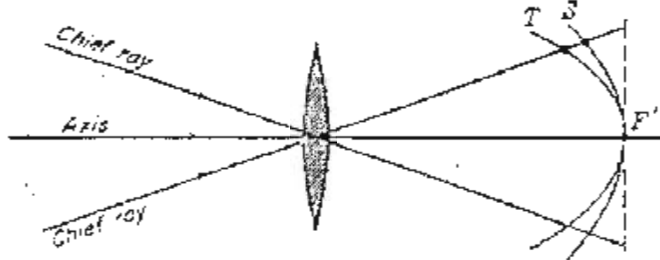
زيغ الكوما coma aberration

الزيغ الثاني لنظرية المرتبة الثالثة يدعى بزيغ الكوما (المذنب) وذلك لأن الصورة المتكونة لجسم نقطي خارج محور العدسة تشبه المذنبات. لقد تبين لنا سابقاً أن صورة جسم يقع على المحور يمكن تركيزها على شاشة وبوضوح كبير أي إقلال قيمة الزيغ الكروي أما إذا كان الجسم واقعاً خارج المحور الأساس فإن الصورة المتكونة لا تكون واضحة إلا بالتخلص من زيغ المذنب.

يرينا الشكل (٢) زيغ الكوما لجسم نقطي يقع خارج محور العدسة. ونلاحظ أن الأشعة المركزية (المارة بمركز العدسة) أي بمنطقة القطب لو بالتقرب منها هي التي تلتقي عند النقطة A بينما تلتقي الأشعة الطرفية المارة بالنقطة B عند النقطة B'.



إن جميع الأشعة الواقعة في المستوي المماسي Rs سوف تتقاطع عند T بينما جميع الأشعة الواقعة في المستوي السهمي سوف تتقاطع عند S ولقد تم اختيار هذين المستويين لأن جميع الأشعة المنارة بالعدسة سوف تقع في خطين بؤريين أما T أو S ويكون شكل الصور قريبا إلى شكل قرصي تقريبا وهو موقع أدنى تشويه في الصور المتكونة. وإذا أخذنا أبعاد مختلفة لنقطة Q عن محور العدسة ورسمنا T,S لكل منها تكون عندنا شكلا بيضويا عند توصيل نقاط S وكذلك T كما في الشكل (٦-ب) بؤرته عند f.



الأدنى للزيغ الكروي $q=0.714$ وهذا يعني أن العدسة المصنفة بانتخاب r_1, r_2 تكون q ضمن هذين الحدين تخلو من الزيغ الكروي وتعطي أدنى زيغ كروي لإيجاد قيمة q التي تجعل $C_3=0$ تعود للمعادلة (١٥).

$$C_3 = 0 = \frac{j * h^2}{f^3} * (G_p + W'_1)$$

$$\therefore q = -\frac{G}{W} P \dots \dots (16)$$

إن العدسة التي تحقق قيم q, p فهيا هذه المعادلة تخلو من زيغ الكوما كما إن انتخاب عدستين لإلغاء الزيغ الكروي كما سبق يمكن أن تتضمن إلغاء تأثير زيغ الكوما أيضاً.

نقاط اللازيغ في الأسطح الكروية: Aplanatic points in spherical surfaces:

المنظومة البصرية الخالية من الزيغ الكروي والكوما تدعى باللازيغية وبصورة عامة عدا حالات خاصة لا توجد عدسة خالية تماماً من كلا الزيغين:

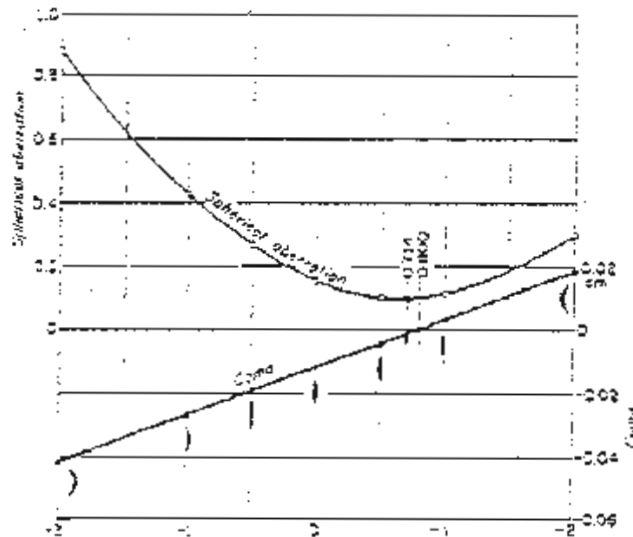
زيغ الاستجماتزم: (Astigmatic)

إذا كان كلا الحدين الأوليين في مجاميع سيدل مساوياً للصفر فإن جميع الأشعة من أجسام نقطية على المحور الأساس أو من أجسام قريبة للغاية من المحور الأساس للعدسة ستكون صوراً نقطية بعد الإنكسار ولن يكون هناك أي أثر للزيغين الكروي والمدنب أما إذا كان الجسم النقطي واقفاً على بعد ما من المحور الأساس فإن الصورة النقطية له تتحقق فقط عندما يكون الحد الثالث في مجاميع سيدل = صفر = S_3 .

وإذا فشلت العدسة في تحقيق ذلك قيل أن العدسة تعاني من الاستجماتزم. وإن التشويه في الصورة المتكونة يدعى astigmatic لتوضيح هذه الظاهرة نستعين بالشكل (٦).

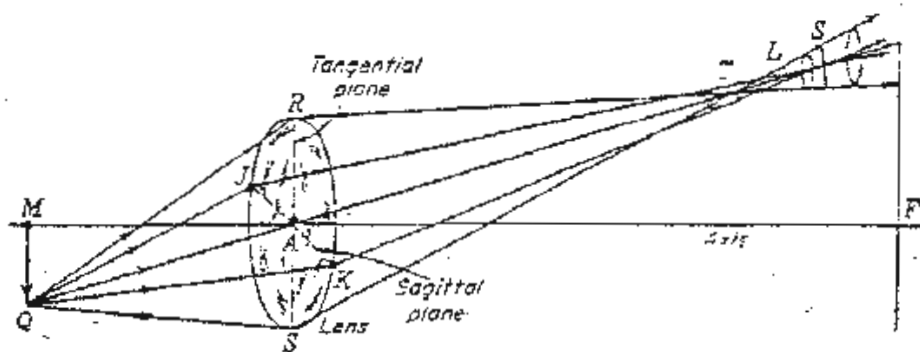
Shape of lens	Shape factor	Coma	Spherical aberration
1. Concavo-convex	-2.0	-0.0129 cm	+0.88 cm
2. Plano-convex	-1.0	-0.0270	+0.43
3. Double convex	-0.5	-0.0165	+0.26
4. Equiconvex	0	-0.0120	+0.15
5. Double concave	+0.5	-0.0065	+0.10
6. Plano-concave	+1.0	+0.0030	+0.11
7. Concavo-concave	+2.0	+0.0160	+0.29

ولدراسة تأثير شكل العدسة على زرع المذهب تمت دراسة على الأنواع الستة من العدسات المار نكرها والتي أعطت النتائج التالية وتمثلها بيانياً في الشكل (د)



القيم في الجدول أعلاه المستخدمة في الشكل (د) مستخلصة من المعادلة (١٥) ولقد استخرجت الأشعة متوازية تحمل مع المحور بزواوية قدرها 1° .

نلاحظ من الشكل (د) أن قيم الزرع الكروي دائماً موجبة بينما تكون قيم زرع الكوما مستقيماً ماراً بنقاط سالبة وموجبة وقاطعاً لخط الصفر عند القيمة $q=0.8$ وهذا يعني إمكانية وضع عدسة خالية من زرع الكوما $C_r = 0$ وهذه القيمة قريبة من قيمة q للزرع الكروي نستعين بالشكل التالي (الشكل ٦-أ) نلاحظ في الشكل اشعة منبعثة من النقطة Q لجسم أسفل المحور الأساس.



إن المعادلة التي تعطي بعد صورة الاستجماتزم لسطح كاسر أحادي التكور هي:

$$\frac{n \cos^2 \phi}{S} + \frac{n' \cos^2 \phi'}{S_T'} = \frac{n' \cos \phi' - n \cos \phi}{r}$$

حيث ϕ زاوية السقوط و ϕ' زاوية الانكسار على السطح الكروي للشعاع الرئيسي، r نصف قطر تكور السطح، S بعد الجسم عنه S_T' بعد صورة S و T عنه مقياسان على امتداد الشعاع الرئيسي.

ولقد وجد أنه باستخدام حاجز ذات فتحة عدسة رقيقة فإن بعدي الصورتين S, T يمكن استحصلته من العلاقتين:

$$\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = \frac{n' \cos \phi' - n \cos \phi}{r} \dots (17)$$

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S_T'} = \frac{1}{\cos \phi} \left(\frac{n' \cos \phi'}{\cos \phi} - 1 \right) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

وتمثل ϕ هنا زاوية ميل الشعاع الرئيسي مع المحور الأساس بينما تمثل ϕ' زاوية إنكسار الشعاع الرئيسي داخل العدسة وحيث أن:

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S_T'} = \cos \phi \left(\frac{n' \cos \phi'}{\cos \phi} - 1 \right) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \dots (18)$$

وبتطبيق المعادلات أعلاه نصل على أن زيج الاستجماتزم يعتمد تقريباً على البعد البؤري f ولا يتأثر إلا قليلاً بشكل العدسة.

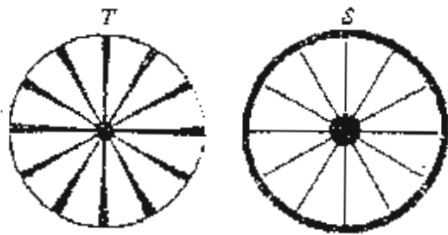
لقد تم استخدام عدستين مختلفتين بالإشارة لتقليل الزيج الكروي إلا أننا تزيد من زيج الاستجماتزم لذا نلجأ إلى استخدام حاجز ذا فتحة أو عدسة ثالثة لتقليل هذا الزيج إلى حد كبير.

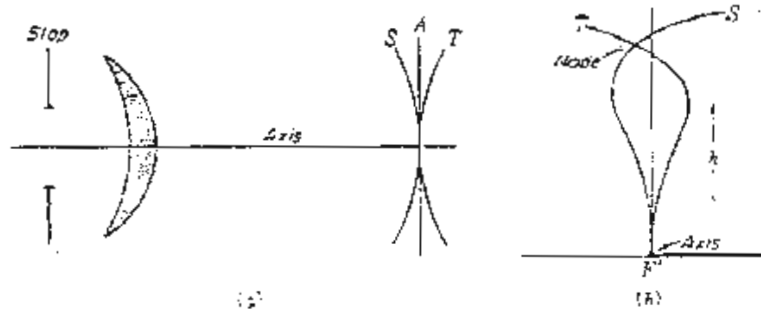
إن إنعدام ظاهرة زيج الاستجماتزم تعني إلغاء الانحاء الناتج عن الصورة المتكونة باندماج صورتين S, T ويمكن تقليل زيج الاستجماتزم كما سبق ذكره باستخدام عدستين متعاكستين بالقدرة والأشارة كذلك يمكن يقلل الزيج أكثر باستخدام ما يدعى بالحاجز (فتحة في حاجز منتخبة جداً) ويتم ذلك بترتيب عدستين أو عدسات المنظومة البصرية من حيث المسافة الفاصلة بينهما وكذلك موقع الحاجز بالنسبة للمنظومة جيداً.

ونلاحظ في الشكل (8) أربع حالات لانحاء سطح صورة الاستجماتزم ناتجة عن تغيير المسافات الفاصلة بين العدسات أو شكل العدسات في الشكل (8-أ) الشكل البيضاوي الاعتيادي S, T الاستجماتزم إذا كانت المنظومة تحوي عدسة واحدة فقط أو عدستين متماسكتين أما الشكل (8-ب) فيمثل استخدام عدستين متصل بينهما مسافة منتخبة لتحقيق حالة التطابق بين S, T فإذا

إن قيمة الاستكمامتزم لأي قدم شعاعي هو البعد بين هذه السطحين مقاساً على امتداد الشعاع
 الرئيسي كما في الشكل للنقطتين T, S ويلاحظ أنه عند المحور الأساس يلتقي كلا السطحين
 عند F لذا يكون فرق المسافة فيما يساري صفر أي لا يوجد زيغ استكمامتزم للأشعة المحورية
 وبتبدأ بالزيادة مع ابتعادنا عن المحور طردياً مع مربع بعد نقطة الصورة عن المحور تقريباً
 ونقول عن الزيغ (الاستكمامتزم) أنه موجب عند وقوع سطح T على يسار سطح S كما في
 الشكل (٦) وسالبا في حالة وقوع سطح S الى يسار سطح T . ويجب ان نلاحظ الفرق في
 شكل سطح S' بين العدسة والمرآة حيث يكون سطحاً مستويماً منطبقاً على المستوي البؤري
 للمرآة المقعرة.

لو وضعنا إطاراً (مثل إطار التراجحة اليونانية بشكل مصغر للغاية) على المحور الأساس بحيث
 يقع مركزه عند M فإننا سنجد صورة إطاره على السطح T بينما تتكون صورة أشعته على
 السطح S ونبدأ السبب سمي السطحان بالسطح $Tang$ و السطح $Saget$.
 والصورتان T, S أيضاً وتكون الصور عند السطح T موازية لمحيط الإطار كما في الشكل
 الأيسر للشكل (٧) بينما تكون جميع الصور للسطح S خطوطاً موازية لأشعة كما في يمين
 الصورة.

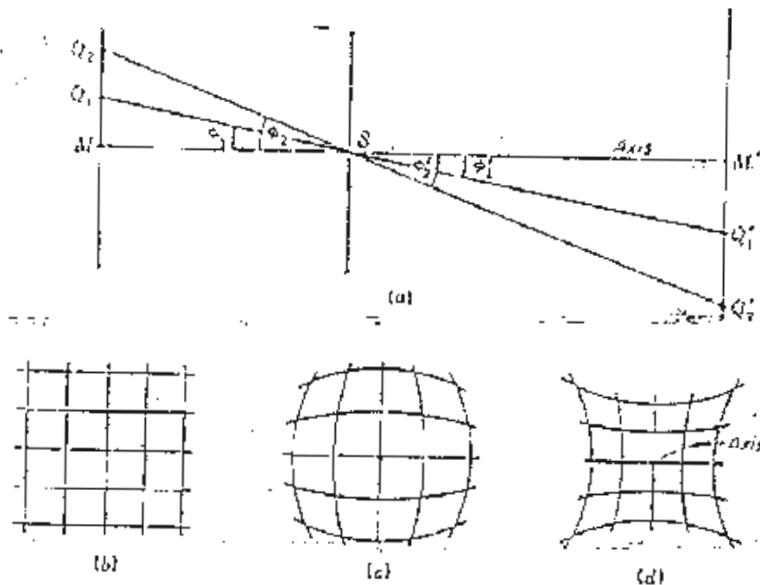




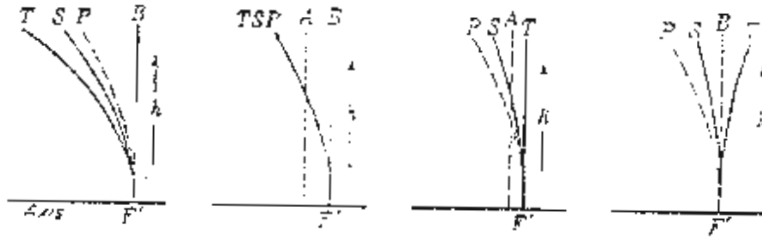
وتستخدم عدد من مصانع الكاميرات الرخيصة عدسة هلاية وحاجز لتكوين صورة جيدة على الأفلام حيث يوضع الحاجز أمام العدسة بحيث يسقط الشعاع النافذ من خلاله على السطح المقعر للعدسة وبالرغم من أن الشدة المستحصلة في مركز الصورة تكون حادة التركيز ومسطحة إلا أنها تتأثر عند الأطراف بظاهرة الاستجماتزم حيث تكون الصورة مشوشة.

التشويه Distortion

لو حصلت على السجاميع الأربعة من مجاميع سبيل مساوية لنصفر هناك زيغ خامس هو S يدعى بالتشويه ولكي تكون المنظومة خالية من تشويه الصورة يجب أن يكون التكبير العرضي لكافة الأجزاء منتظماً وتعتبر الكاميرا ذات ثقب الدبوس مثالية في هذا المجال حيث لا يوجد تشويه، حيث يرتبط كل نقطتين مترافقتين من الجسم والصورة بخط يمر من خلال ثقب الحاجز وينتج عن ذلك تكبير ثابت للكاميرا ذات ثقب الدبوس Pin hole كما في الشكل (١٠-١)



غيرنا المسافة بين العدستين أمكننا الحصول على الحالة الثالثة (الشكل ٨-ج) وهي صورتين لخطين مستقيمين T,S وبتغيير المسافة أكثر نحصل على الحالة (٨-د) حيث يتبادل S,T مواقعهما على جانبي المستوي البؤري الأساسي B إن جميع الأشكال أعلاه هذا الشكل (٨-ب) تعاني من الاستجماتزم بدرجات متفاوتة.



إن السطح البيضوي p الذي تتكون عليه الصورة النقطية للجسم النقطي يدعى بـ سطح بتزفال Petzval surface

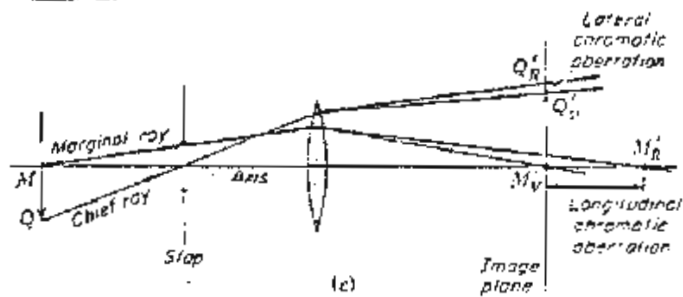
انحناء المجال field curvature

إذا كانت المجاميع الثلاث S_1, S_2, S_3 مجاميع سيدل جفرا فإن الصورة خالية من أنواع الزيغ الثلاث وتكون بالذاتي للجسم النقطي الواقع على المحور الأساس للعدسة أو خارجه صورة نقطية وتحت الشرط أعلاه تقع الصورة على سطح بتزفال المنحني كما في الشكل (٨-ب) أعلاه ولكن بالرغم من أن زيغ الاستجماتزم قد عدل إلا أن سطح المستوي البؤري للصورة منحنى الشكل.

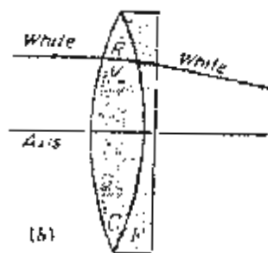
فنلاحظ أن الصورة المستكونة في الشكل (٨-ب) تكون شديدة الوضوح في المركز (التقاء سطح (S,T) مع المستوي البؤري B) ومشوشة عند الأطراف نظير لدينا هنا الطرف العلوي فقط للشكل البيضوي) أما في الشكل (٨-ج) تتكون الصورة شديدة الوضوح عند المنتصف وباهتة عند المركز والطرف العلوي.

لكل منظومة بصرية من وجية النظر الحسائية سطح بتزفال، فإذا ثبتت قيمة قوة العدسات p ومعاملات انكسارها n في المنظومة فإن شكل سطح بتزفال p لا يتغير بتغيير q أو المسافات d بين عدسات المنظومة تلك التغيرات لـ (q,d) التي تتحكم بشكل سطحي T,S ولكن بحيث تبقى النسبة بين البعدين PT و PS ثابتة وهي $1/3$

ويمكن معالجة انحناء المجال لمنظومة بصرية تحتوي عدسة واحدة باستخدام الحاجب stop والذي يعمل عمل عنصر ثاني في المنظومة. ويقوم الحاجز بتحديد مقدار الأشعة الساقطة على العدسة من أي جسم نقطي بحيث أن الأشعة الرئيسية لأي نقطة من نقاط الجسم تذهب إلى مواقع مختلفة من العدسة الشكل (٩).



ونلاحظ في الصورة أننا استخدمنا اللونين الطرفيين فقط الأحمر والبنفسجي لنقطتين من الجسم نقطة محورية M و نقطة خارج المحور Q وتدعى المسافة بين صورتني المحور بالزيف اللوني الطولي بينما يدعى الاختلاف في الارتفاع بالزيف اللوني العرضي وحيث أن قيم هذين الزيفين اللونيين مقاربة نقيض الزيف الخمسة السابقة ذكرها لذا كان نتخلص منها في تقنيات المنظومة البصرية أمراً أساسياً. وبالرغم من وجود طرق عديدة للتخلص من الزيف اللوني إلا أننا سندرس طريقتين أولاً طريقة استخدام عدستين رفقتين أحدهما من زجاج الكروان والثانية من الفلنت وكما في الشكل (١٣)



حيث تمتلك عدسة زجاج الكروان ذات p الموجبة العالية نفس القدرة التشتيتية للعدسة المقعرة ذات القدرة p الواطئة لزجاج الفلنت لذا فإن المحصلة النيتية للقدرة موجبة بينما تكون القدرة التشتيتية متعادلة لذا يحصل تركيز لجميع الألوان تقريباً في نفس النقطة وهذا حاك لحقيقة أن الانحرافات الحاصلة في مسار شعاع في أنواع الزجاج لا يتناسب مع القدرة التشتيتية له، أو بالأصح فإن $\frac{1}{v}$ تختلف باختلاف المواد المنفذة وإن البعد البؤري للون الأصفر f_D لعدستين رفقتين متماثلتين أو القدرة P_D للمنظومة هي:

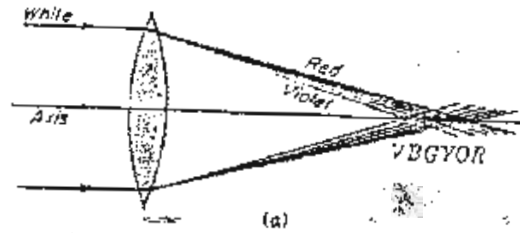
ونلاحظ في الشكل (١٠، ب-ج-) الصور المتكونة لشبك مربع بمنظومات بصرية مختلفة تتضمن تشويها للصورة، فالشكل (ب) صورة خالية من زيغ التشويه، بينما الصورة (ج) تتضمن تشويهاً للصورة بسببه تنقص التكبير العرضي في اتجاه الخارج (الحواف) ويدعى بـ barrel dis، أما في الشكل (د) فنلاحظ تشوهاً يدعى بتشويه pincushion dis وسببه زيادة التكبير العرضي عند الحواف (نحو الخارج).

وتكون العدسة الرقيقة خالية من زيغ التشويه فيما كان بعد الجسم حنيا ولكننا ليست خالية من أنواع الزيغ الأخرى في نفس الوقت. فإذا وضع حاجز أماميا أو بجانبيا تولد في الصورة التي تكونها تشويهاً أما إذا وضع الحاجز بتماس مع العدسة فلا وجود للتشويه. ويمكننا تلخيص طرق التخلص من أنواع الزيغ كما يلي:

- ١- الزيغ الكروي وزيغ الكوما (المنزب) باستخدام عدستين متماسكتين بأشكال مناسبة.
- ٢- زيغ الاستجماتزم وانحاء المجال باستخدام عناصر بصرية متعددة وبأبعاد مناسبة.
- ٣- زيغ التشويه يقلل باستخدام الحواجز stops.

الزيغ اللوني، Chromatic aberration

لم نراعي في دراستنا لأنواع الزيغ تغير معامل انكسار العدسات مع اللون حيث كنا نتعامل مع طول أحادي اللون. إن جميع المواد المنفذة للضوء تتغير معاملات انكسارها مع لون الضوء الساقط لذا نتوقع تكون صور متعددة للجسم المضاء بضوء متعدد الألوان أما بالنسبة للضوء متعدد الألوان البعيد جداً عن العدسة فإن الصورة المتكونة له عبارة عن عدة نقاط ملونة مضيئة على امتداد المحور البصري للعدسة أقربها إلى العدسة صورة باللون البنفسجي.



وحيث أن البعد البؤري للعدسة يتغير مع تغير اللون فإن التكبير العرضي يجب أن يغير كذلك مع تغير اللون وكما موضح بالشكل (١٢).

$$v' = \frac{(n'_D - 1)}{(n'_F - n'_C)} \Rightarrow v'' = \frac{(n''_D - 1)}{(n''_F - n''_C)} \dots \dots (28)$$

وحيث ان القدرة التفريقية (التشتيتية) موجبة دائما فان الاشارة السالبة تعني ان قدرتي العدستين يجب ان تكون متعاكستين في الاشارة أي ان احدى العدستين لامة والاخرى مفرقة :

$$\frac{p''_D}{p'_D} = - \frac{v''}{v'}$$

$$\therefore \frac{p''_D}{v''} = - \frac{p'_D}{v'}$$

$$\therefore \frac{p''_D}{v''} + \frac{p'_D}{v'} = 0 \Rightarrow v' * f' + v'' * f'' = 0 \dots \dots (29)$$

$$- p'_D = \frac{p''_D * v'}{v''} \rightarrow \text{but} \rightarrow p''_D = p_D - p'_D$$

$$\therefore - p'_D = \frac{p_D * v' - p'_D * v'}{v''}$$

$$- p'_D * v'' - p'_D * v' = p_D * v'$$

$$p'_D (v' - v'') = p_D * v'$$

$$\therefore p'_D = \frac{p_D * v'}{(v' - v'')} \dots \dots (30)$$

and

$$\therefore p''_D = \frac{p_D * v''}{(v' - v'')} \dots \dots (31)$$

$$\frac{1}{f_D} = \frac{1}{f'_D} + \frac{1}{f''_D} \rightarrow \text{or} \rightarrow p_D = p'_D + p''_D$$

وتسمى f_D, p_D متغيرات زجاج الكروان بينما تمثل p_D, f_D متغيرات زجاج الفت التي تعتمد على الطول الموجي لنسوء الأصفر أو معادن الانكسار n_D .

$$p_D = (n'_D - 1) \left(\frac{1}{r'_1} - \frac{1}{r'_2} \right) + (n''_D - 1) \left(\frac{1}{r''_1} - \frac{1}{r''_2} \right) \dots \dots (21)$$

$$K' = \left(\frac{1}{r'_1} - \frac{1}{r'_2} \right) \rightarrow K'' = \left(\frac{1}{r''_1} - \frac{1}{r''_2} \right) \dots \dots (22)$$

$$p_D = (n'_D - 1)K' + (n''_D - 1)K'' \dots \dots (23)$$

$$\left. \begin{aligned} p_F &= (n'_F - 1)K' + (n''_F - 1)K'' \\ p_C &= (n'_C - 1)K' + (n''_C - 1)K'' \end{aligned} \right\} \dots \dots (24)$$

\therefore when $\rightarrow p_f = p_c$

$$\therefore \frac{k'}{k''} = \frac{(n''_F - n''_C)}{(n'_F - n'_C)} \dots \dots (25)$$

وحيث ان البسط والمقام في الطرف الايمن من المعادلة اعلاه قيم موجبة اذ يجب ان تكون احد k سالبة والثانية موجبة وهذا يعني ان احد العدستين يجب ان تكون سالبة :

$$p'_D = (n'_D - 1)K' \rightarrow p''_D = (n''_D - 1)K''$$

division

$$\frac{K'}{K''} = \frac{p'_D (n''_D - 1)}{p''_D (n'_D - 1)} \dots \dots (26)$$

division

$$\frac{p''_D}{p'_D} = \frac{(n''_D - 1) (n''_F - n''_C)}{(n'_D - 1) (n'_F - n'_C)} = -\frac{v''}{v'} \dots \dots (27)$$

حيث ان v'', v' تمثل ثابت الفصل لكلا نوعي الزجاج .

إن استخدام العلاقات أعلاه لاستحصل قيم n_1, n_2 اللانونية يرجى اتباع الخطوات التالية:

- ١- حسن انتخاب البعد البؤري f_D والفتحة P_D .
- ٢- حسن انتخاب نوعي زجاج الفلنت والكروان.
- ٣- إذا لم تكن P_D, f_D معلومتان تستخدم العلاقة (٢٨) لاستحصلهما.
- ٤- P_d, P_c تستخرج من العلاقات الأخيرتين.
- ٥- تستحصل قيم " K', K " من العلاقات أعلاه وفيهما نستحصل قيم n_1, n_2 .

طريقة العدستين المتباعدتين

الطريقة الثانية للتخصص عن الزجاج اللوني باستخدام عدستين رقيقتين من نفس نوع الزجاج تفصل بينهما مسافة مساوية لنصفي مجموع بعديهما أي $(f_1 - f_2)/2$ ونمعرفة السبب نستخدم أولاً معادلة العنسة السمكة المستخدمة لعدستين رقيقتين تفصل بينهما مسافة d :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 * f_2} \text{ or } \rightarrow p = p_1 + p_2 - d * p_1 * p_2 \dots \dots (32)$$

ويمكن إعادة كتابتهما بالاستعانة بالمعادلات السابقة:

$$p_F = (n_1 - 1)K_1 + (n_2 - 1)K_2 - d * (n_1 - 1)(n_2 - 1)K_1K_2$$

وقد استخدمنا هنا ١، ٢ بدلاً من الإشارة (ي) وحيث أن العدستين لهما نفس معامل الانكسار وإذا كانت هذه القدرة لا تعتمد مع اللون (أي لا تتغير قيمتها مع اللون):

$$\frac{d_p}{d_n} = K_1 + K_2 - 2 * (n - 1)dK_1K_2 = 0$$

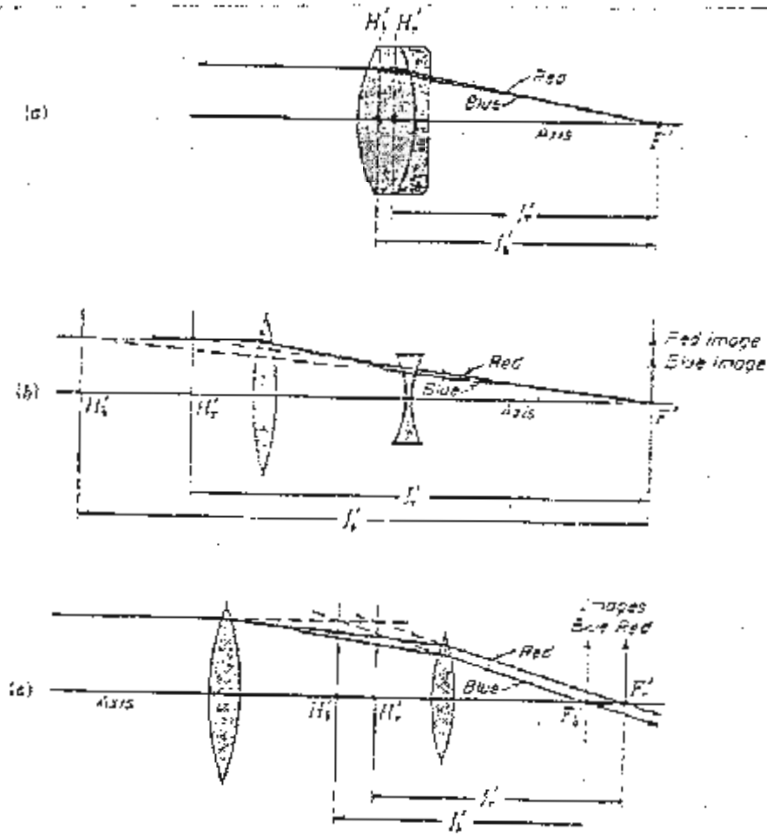
$$\therefore K_1 + K_2 = 2 * (n - 1)dK_1K_2$$

by * (n - 1) for

$$(n - 1)K_1 + (n - 1)K_2 = 2 * (n - 1)^2 dK_1K_2$$

$$\therefore p_1 + p_2 = 2d * p_1p_2$$

$$\therefore d = \frac{p_1 + p_2}{2 * p_1p_2} = \frac{f_1 + f_2}{2} \dots \dots (33)$$



الميزان

للخدمات الطباعة والحاسبات

مكتب الميزان للطباعة بالكمبيوتر والاستتساخ
بغداد - ساحة عنترة - مجاور بدالة الاعظمية

هـ (٤٢٢ ٤٤٥)