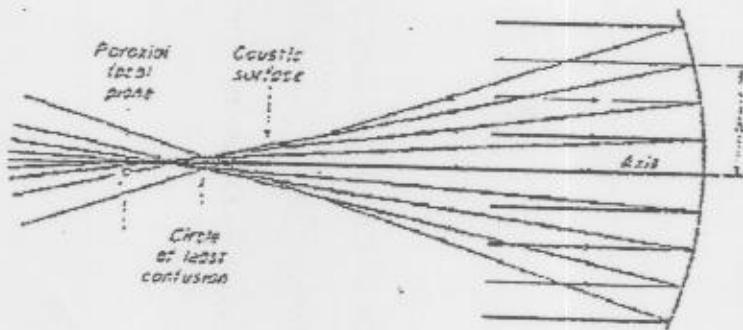


د. اكر

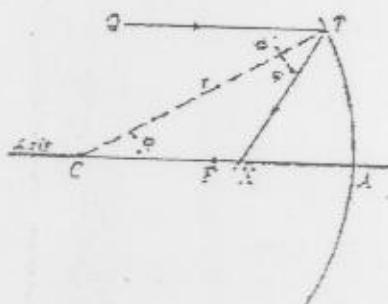
### spherical aberration

لقد كانت احاديث السابقة عن المرأة الكروية على نسبي ان الضوء ينقطع عبارة عن اشعة محورية وتحت هذا الشرط تكون صورة حادة وواضحة للوجه على الشاشة حيثما كان الجسم.

اذا كانت الاشعة النابعة من الجسم والمنعكسة هذه اشعة غير محورية تكونت لكل نقطة من نقاط الجسم اكثراً من صورة، وتدفع هذه الظاهرة بالزخم الكروي.  
ويوضح الشكل (١) ان هذه الظاهرة حيث تسقط اشعة متوازية تتغلب حيزاً كبيراً بارتفاع (h) عن المحور الامامي.



ويسمى السطح المخروطي الذي يحرى جميع الاشعة المنعكسة caustic surface ويتحققنا شاشة صغيرة عند تمسقها بالبصري focal surface وحركتها نحو المرأة يبيط لاحظنا مررتنا بشاشة تكون فيها دائرة الضوء المنكوبة اصغر ممكناً وتدفع هذه الدائرة بدائره التشوش الاخرى circal of least confusion ولبرهنة على ان الاشعة المنعكسة الاشعة المتوازية للمحور وانبعدها هذه تجتمع في مكان خير البيرة نلاحظ الشكل (٢)



في هذا الشكل سقط الشعاع رقم (١) على المرأة في النقطة (٢) وانعكس عنها حسب قوانين الانعكاس بزاوية ( $Z$ ) حيث ( $Z'' = \emptyset$ ) وذاتك فإن الزاوية  $TCA = \emptyset$  (قاطع لم يتمين متوازى)

$$\therefore \angle TCA = 0^\circ$$

$$\therefore CX = TX$$

وبحسب التأكيد فالخط تم تشكيله هو أقصر مسافة بين نقطتين.

$\therefore \angle C\bar{A}(CX \div TX)$

$$\therefore \frac{1}{2} CT \leq CX$$

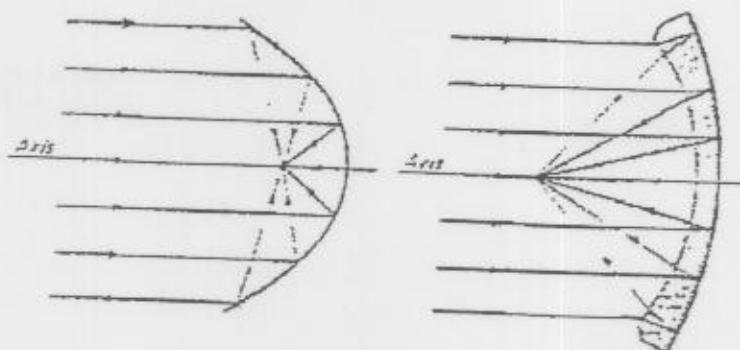
ولكن  $CA=CT$  لأنها نصف قطر لكرة

$$\therefore \frac{1}{2} CA < CX$$

أي إن  $X$  لاتقع على البذرة  $F$  ، وكلما اقتربت النقطة  $T$  من القطب  $A$  كلما اقتربت النقطة  $X$  من البذرة  $F$  حتى تتحقق حبيبا بزايا سقوط صغيرة (أشعة محورية).

## معالجة التزيف الكروي:

قدمت خلال السينما سلسلة مجموعة تصاميم تتخلص من هذه الظاهرة: فنوا استبدالها سطح امرأة تكريزي بسطح بيضوي PARABOLIC حوز المحرر فإن الأشعة الماوجية للسحور ستتجتمع جميعها في البذرة لاحظ الشكل (٤-٣)



وهناك ما يدعى بـمرأة متجمذرة ترى نسخة مقلدة لذاتها في المIRROR، حيث تستخدم عدسة هلامية كروية الوجيني ويصل إلى الرجال الغائبيين تحتسته بالفضة لتكون مرآة متجمذرة حيث تجتمع الأشعة المترابطة في نقطة البؤرة.

### الاستكماترM ASTIGMATISM

تحصل هذه الظاهرة عند وقوع صورة نقطة في الجسم على مسافة عن المحور الاساسي لمرآة مقعرة او مرآة محدبة ، ان الاشعة الساقطة على المرآة سواء كانت متوازية او غير متوازية تكون زاوية صغيرة مع المحور مثل  $\theta$  ونتيجة لذلك تكون صورتين خطيتين متلاقيتين بذلك من تكرين صورة نقطية لنقطة جسمية وتعرف هذه الظاهرة بالاستكماترM وهي مرضية في الشكل (٤) حيث ان الاشعة الناقطة اشعة متوازية الا ان الاشعة المتعاكسة النابعة متلاقة تكون خطين T & S وتتجمع الاشعة الساقطة عموديا على الافق في المستوى (RASE) عند T بينما تتجمع الاشعة المتوازية للافق في المستوى (JAKC) عند S ، اذا وضعت شاشة عند عوრكت نحو المرآة فان الصورة الناتجة هي صورة خط عمودي عند S ودائرة عند T وخط افقي عند T.

اذا ما اخذنا جميع موقع T & S لواقع مختلفة لجسم وزوايا سقوط مختلفة فإن النقاط تكون (نقاط الصورة) سطح بيضاوي وسطح مستوي على التوالي كما في الشكل (٤) وكلما اقتربت الاشعة من المحور وقلت زاوية العين على المحور اقتربت الخطوط من بعضها وأصبحت وثيرة أيضاً . إن مدار الاستكماتر يعتمد على المسافة بين سطح S و T المقسوم على امتداد الشعاع الرئيسي ، وستخدم العلاقة التالية لتحديد موقع صورتي الاستكماتر :

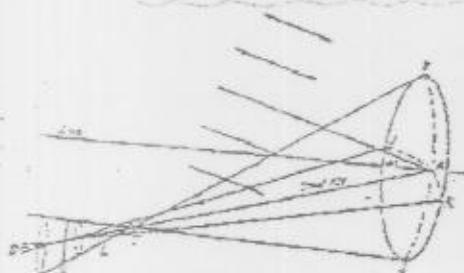
$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = -\frac{2}{r \cos \phi} \rightarrow (1)$$

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

ولقد قيست S و S' على امتداد الشعاع الرئيسي Chief ray وتحت  $\theta$  زاويةميل الشعاع الرئيسي بينما تحت  $\pi$  نصف قطر تكور المرآة.

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

وملاحظة ابن المرايا البيضاوية خالية من الزيء الكروي لكنها تعاني من استكماتر كبير حيث تبعد S عن T لذا يقل استخدامها في المنظومات البصرية .



### مكتبة الفرقان للاستنساخ

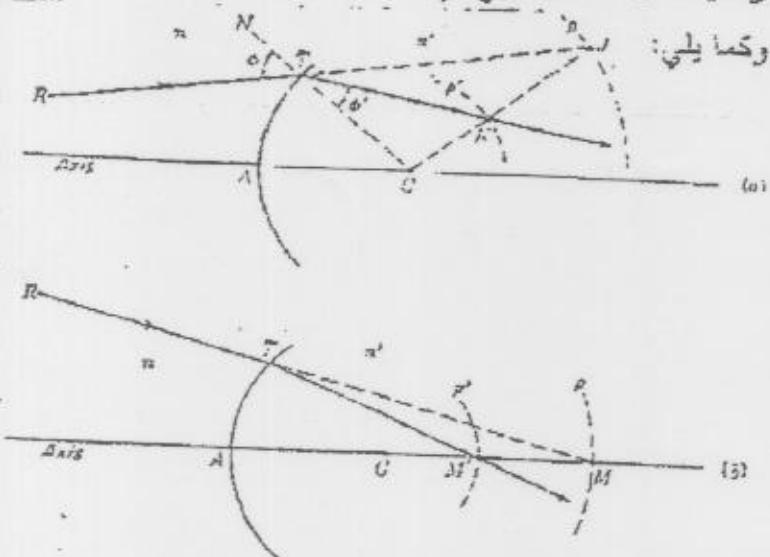
### الفصل التاسع

#### الزبعة في العدسات

إن مفهوم حزمة ضوئية عرضية موازية لمحور العدسة يؤدي إلى اجتماع جميع أشعائياً في نقطة واحدة (البورة) إن العبر عن موقع الصورة المنقوعة رياضياً يدعى بـ الزبوع. إن القيم التي تعطينا معادلة كاوس المذكورة آنفاً هي قيم مثالية لعدسات ذات فتحات ضوئية صغيرة وكلما قمنا بتبعي مسار شعاع بعيد وأبعد عن المحور الأسمى للعدسة زاد الزبوع أكثر وأكثر. إن طرق الإقلال من هذا الزبوع بـ أطواله المختلفة تعتبر من أعظم معضلات الجودة البصرية. إن حدود دراستها الحالية لا يسع لها بالتفصيل إلى كافية النظريات الرياضية لحل هذه المعضلات ولكن سنقتصر هنا على بعض الطرق المستخدمة والتي تعطي نتائج عملية ممتازة للتخلص من ظاهرة الزبوع في العدسات.

#### نظرية الرؤبة الأولى (مفهوم الحس)

لقد وجد أن أفضل طريقة لتحقيق نظرية مرضية لحل مشكلة الزبوع في العدسات هو أن نبدأ بـ تصحيح المسار الشعاعي للعدسات وكما يلي:



نلاحظ في الشكل شعاع مائل مع المحور بزاوية  $\theta$  يسقط على سطح كروي أحادي التحدب عند النقطة T وينكسر متقياً بالمحور عند M حيث تكون صورة النقطة'  $M'$  ونستخدم العلاقات التالية لازدواجاً:

١- زوايا الانحراف عندما يجب دوران المحور عكس عقارب الساعة حلاً زاوية أقل من

$$\frac{\pi}{2} \text{ لينطبق على الشعاع.}$$

٢- زاوية السقوط والانكسار تعتبر موجبة عند دوران المستقيم بزاوية  $\frac{\pi}{2}$  لينطبق

المستقيم على الشعاع.

٣- إذا تكون الزوايا  $\theta'$ ,  $\phi'$ ,  $\theta$  موجبة بينما تكون  $\theta'$  سالبة باستخدام قوانين

الجبر والمعndات MTC نحصل على:

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

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

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

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

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

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

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

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

وتحصل المعادلة (3) على المقادير حساب المسافة التي تقع بين تقاطع الشعاع مع المحور وبين

القطب A ، أي حساب المسافة  $s'$

ويتحقق قانون الجيب 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 المهمة عندما يقطع الشعاع المواري للمحور على السطح الكروي عندها:

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

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

وتحصل المعادلات من ١-٥ على قيمة زوايا السقوط والميل وبدلالة جيب الزوايا وقد لاحظنا هنا اشتراك صيغة كاوس التقارب المستخدم في جيب الزوايا وجعلها متساوية لقيم الزوايا بذلك باعتبار أن الأشعة الساقطة أشعة محورية إلا أنه عند سقوط الأشعة مثكلة زوايا كبيرة مع

المحور وعلى ارتفاعات كبيرة وعند لا تصح صيغة كاوس لتحديد موقع الصور المنشورة  
ويجب استخدام جيوب الزويايا المبنية في المعادلات أعلاه  
وستخدم نظرية منكروين لذا قيم الجيوب وهي:

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

ونلاحظ من المعادلة أعلاه أنه عندما تكون قيمة الزاوية صغيرة يكون الحد الثاني من المعادلة  
بها قيمة من حدود صغير أو يمكن إهماله لذا نستخدم الحد الأول فقط أي صيغة كاوس وعندما

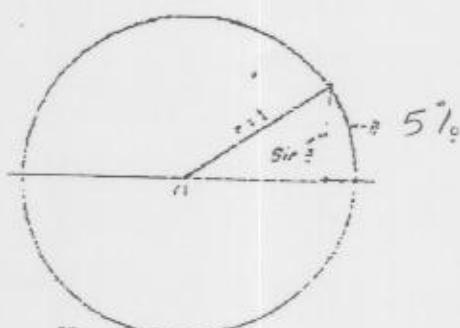
$\sin \theta = \theta$  تكون قيمة  $\phi', \theta'$  صغيرة أيضاً:

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

بتعمير (1) في (2) والناتج في (3) والناتج في (4) نحصل على معادلة كاوس:

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

إن هذه المعادلة وما ينتهي منها تدعى بنظرية المرتبة الأولى The first order Theory  
لأن التحقق من مساواة  $\sin \theta = \theta$  يلاحظ من الشكل المجاور حيث نلاحظ أن طول  
القوس أكبر من طول المستقيم  $\sin \theta$  بمقدار 5% عندما تكون الزاوية = 10° بينما يصفر  
الفرق بينما تكاد الزاوية = 40° وتمثل هذه الفروقات مقياساً لتزايد الكروبي  
للعنبة.



الفرق قابل الاستئصال

### نظرية المرتبة الثالثة

اذ استخدم العدان الأولين في المعادلة (٦) لجميع الزوائد المذكورة في المعادلات من (١-٥)

$$\text{SIN}\theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} = \theta - \frac{\theta^3}{3 \cdot 2 \cdot 1} \rightarrow \text{SIN}\theta' = \theta' - \frac{\theta'^3}{3!}$$

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

وتحتوى هذه المعادلات بنظرية المرتبة الثالثة ويعبر في هذه النظرية عن زبغ أي شعاع (بزغوده عن مسارة الموصوف بصيغة كاووس) بخمسة مجاميع وتعنى Seidel Sum مجاميع بين العدسة الداخلية من جميع أنواع العيوب (جميع أنواع الزبغ) تكون قيم هذه المجاميع الخمسة فيها ملائمة لنصف ولا توجد حقيقة أي منظومة بصرية خالية من جميع العيوب.

تعبر  $S_1$  عن وجود الزبغ الكروي وإذا كان  $S_1=0$  فلا وجود للزبغ الكروي.  
 بينما يعبر  $S_2$  عن الزبغ coma وعندما  $S_2=0$  فلا توجد كرما.

بينما يعبر  $S_3$  عن الاستكشاف

ويعبر  $S_4$  عن انحناء البعد

ويعبر  $S_5$  عن تشوه الصورة

وتحتوى أنواع الزبغ الخمسة بالزيغ الثنوي Chromatic Abraction لأنها تتراوح في كل لون مستخدمة ولأى معامل انكسار للعدسات.

وهذاك زبغ آخر ينبع عن استخدام ضوء متعدد الألوان سيتى الحديث عنه لاحقاً.

### الزبغ الكروي في السطح - أح惋ية التكرو

لقد سبق الحديث عن الزبغ الكروي في انفرايا وتقينا أن الزبغ الكروي تعبر عن التشوه الذي الحصول في صورة جسم تنتج عن تكون صور متعددة على امتداد المحور الأفقي تدرج في الوضوح لتكون أوضح صورة للجسم في وسط المسافة التي تكون فيها جميع الصور.

وتكون هذه الصور المتدرجة في الوضوح من أعلى وضوح إلى أعلى وضوح عبارة عن مجموع نقاط على المحور الأفقي للأشعة المترادفة القادمة من اللانفيلا ومجوحة صور متعددة للجسم الموضوع أمام الضبع الكروي.

إن حالة معاالة لما سبق ذكره تحدث في السطح ثانية التكرو أو ما نسميه بالعدسات حيث يلاحظ في الشكل التالي إيضاح ذلك الظاهرة في سطح أح惋ي التكرو :

حيث تمثل  $M$  نقطة على المحور الأسماء تبعث أشعة متفرقة تسلط أعلاها على لون  $NM$  عن المحور البصري الأسماء وتجمع هذه الأشعة على المحور الأسماء في مواقع متحركة تكون صور مبنية الوضوح القريبة إلى القطب أعلاها عن سور شكله مخروطياً تحيط به السطح الكروي نصف قطره  $h$  ورأسه على بعد  $S'$  عن القطب  $A$ . إن المسافة مقاساً لقيمة الزواغ الكروي في هذه السطوح والذي يحصل على قيمة من معادلة قريبة الثالثة:

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

وحيث أن الأشعة المحورية (صيغة كارلس) هي:

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

فمن الحد بين القوسين يمثل مقدار الحيود في ناتج المعادلة (1) عن معدلة المركبة الأولى وإن الذي يتقارب قيمته طردياً مع  $h^2$  ومحكمها مع  $s$ .

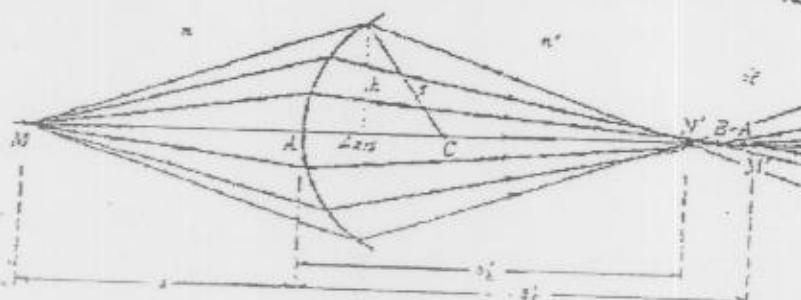
وإذا كان الجسم في الالوانية أي  $s = \infty$  تصبح العلاقة (1) كما يلي :

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

وبالقسمة على  $n'$  تصبح:-

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

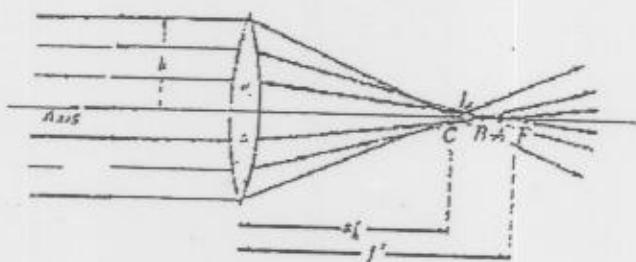
ونلاحظ هنا أيضاً أن الزواغ الكروي يتقارب طردياً مع  $h^2$  (ارتفاع الأشعة الساقطة عن المحور البصري للسطح).



الزينة الكروي في العدسات الرقيقة:

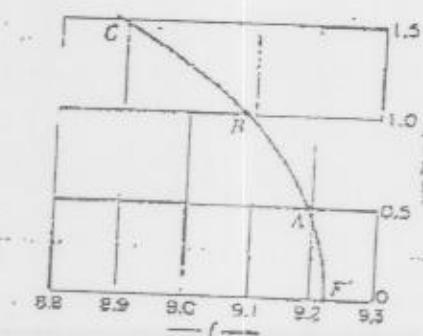
دراسة ظاهرة الزينة الكروي في العدسات بأحد حالة عينية لعدسة كما في الجدول أدناه.

$r_1 = 15 \text{ cm}$	$r_2 = -15 \text{ cm}$	$d = 3.0 \text{ cm}$	$n = n' = 1.0$	$n' = 1.625$
$h$	6.0 cm	$h = 4.0 \text{ cm}$	2.0 cm	0 cm
$\sin \phi_i \frac{h}{r_1}$	+0.40000°	0.26666°	0.13333°	0.40000°
$\sin \phi'_i \frac{n}{n'} \sin \phi_i$	+0.246153°	0.1641025°	0.08205128°	0.24615385°
$q_1$		+23.578178°	15.4660119°	7.6622555°
$q'_i$		-14.2500327°	9.4451058°	4.7064843°
$\theta' = \phi'_i = \phi_i$		-9.3281458°	6.020906°	2.95577°
$\sin \theta'$		-0.16208858°	0.10489134°	0.05156506°



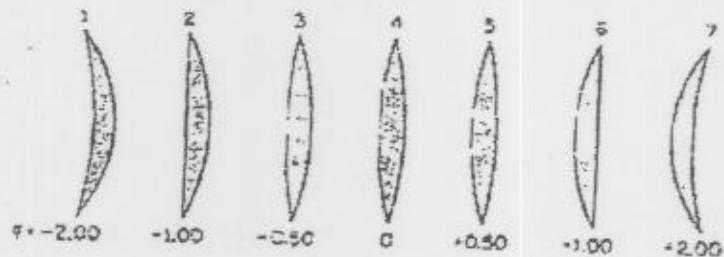
ويعطي هذا زينةً كروياً مقداره 1.79214 سم لارتفاع 4 سم أي نسبة 15.6% من البعد البؤري للأشعة العمودية وتلاحظ في المخطط البياني توضيحاً لهذا التغير في الزينة من أعلى ارتفاع إلى أعلى ارتفاع.

نلاحظ من الشكل أن الارتفاعات الونظمة يكاد يكون كلها يصوّر Parabola ويعتبر الزينة الكروي موجباً إذا كانت الأشعة المنكسرة تقطع المحور الأفقي إلى البؤرة الصورية وسالبة إذا قطعته يميناً.



ـ د. المطرى

ويدعى الأول بالزريع الكروي الموجب Positive و الثاني - الزريع الكروي السلب Negative . ونلاحظ في الشكل الثاني عدّات مختلفة الأشكال وكلها ذات بعد بؤري واحد وقطر واحد .



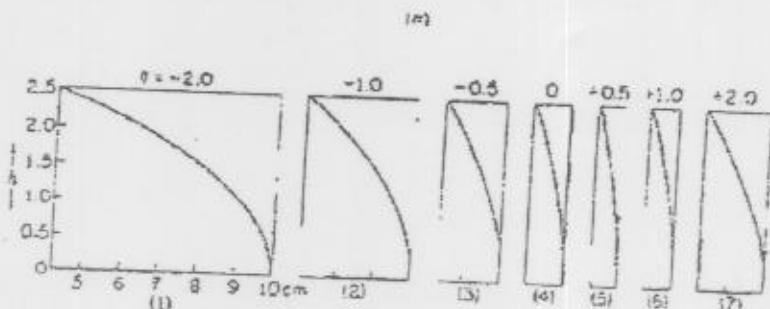
وتحتاج قيم الزريع الكروي قليلاً ما بين  $q=4.0$  و  $q=-1.0$  لكونها قريبة من القيمة الدنيا ولا يمكن أن تكون قيمة الزريع الكروي صفرًا إطلاقاً لأن ما نستخلصه الآن أن الزريع الكروي يمكن تحويله إلى أدنى حد بانتخاب أقصى اقصار  $R_1$  و  $R_2$  مناسبة ونذكر لا يمكن إلغاءها تماماً . إن التغير في شكل العدسات يدعى بالحناء العدسة Bending of lens ويتميز بمتغير ترمز له بالرمز  $q$  حيث :

ويعنى  $q$  بمعامل الشكل Shape Factor

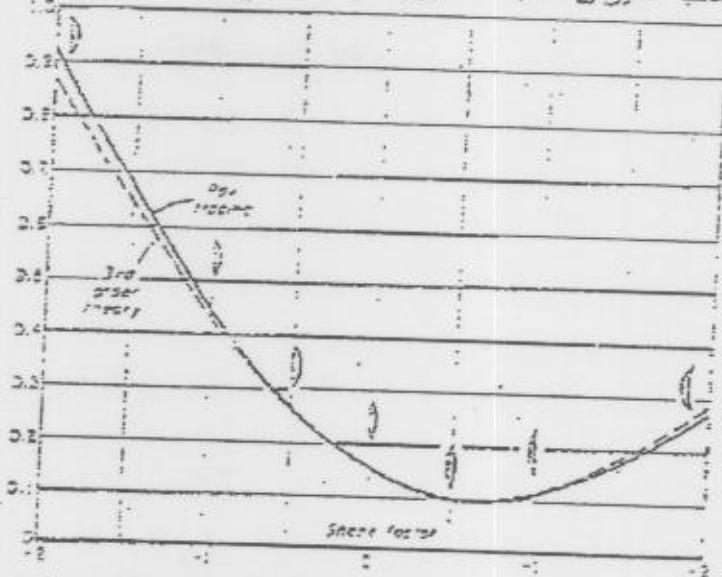
$$q = \frac{r_1 + r_2}{r_2 - r_1}$$

$$q = \frac{-5 - 15}{-5 + 15} = -2 \quad \text{العدسة البلاستيك الأولى رقم (1)}$$

ويستخدم هذا المتغير لتمثيل أي عدسة ذات زريع كروي أقل وكما سنوضح لاحقاً .



ويمكن ملاحظة العدسة ذات  $q=0.5$  هي العدسة ذات الزريع الكروي الأدنى . الزريع الكروي لهذه العدسة لا يتجاوز شعاع  $h=1$  cm يمكن حسابه من الشكل التالي :



-النتائج المختصة من نظرية الدرجة الثانية (معنجة الزينة الكروي):-

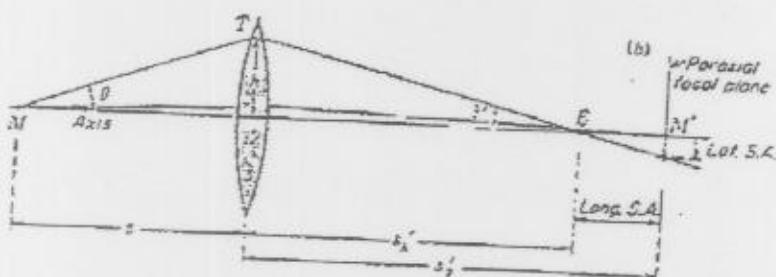
حيث أن التناقض معاندة الزيغ الكروي من نظرية انتربة الثالثة حقيقة فإننا نستخلص بعض  
نتائجها والتي تعمّلنا في بحثنا فقط.

العنزة الدقيقة هناك معنالة بسيطة كما يأتي:

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

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

ولنحد الى السوراء قليلاً ونأخذ حالة تكون صورة لجسم نقطي موضوع على محور العدسة الآلين كما في الشكل أدناه.



إن الشعاع المنطلق من الجسم ويسقط على سطح العدسة على ارتفاع  $\frac{1}{f}$  من المحور الأساس ينكسر في العدسة مرتين مرة على كن وجه ليخرج مكوناً صورة للجسم عند تقاطعه مع المحور الأساس وصورة ثانية عند تقاطعه مع المستوي البؤري المحوري (وهو المستوى الذي يتكون من إيكار الأشعة المحورية).

ويدعى بعد بين المستوي الأساس (موقع الصورة الثانية) وبين التفاضع الأول بالزبغ الكروي الطولي  $Longitudinal$  بينما تدعى المسافة بين المحور الأساس وبين موقع التفاضع الثاني ضمن المستوى البؤري المحوري بالزبغ الكروي العرضي ويزمر له بالرمز  $Lat.S.A.$

تمثّل المسافة  $S'$  بعد الصورة المكونة نجم على بعد  $S$  من القطب الشعاع مثلّ عن الانقاضاوية كبيرة وتسقط على وجه العدسة بترنّق عن المحور الأساس بينما تمثّل  $S'$  الصورة المكونة لنفس الجسم ولكن لأشعة محورية يبعدها باتجاه العدسة، بينما تمثّل  $\theta'$  بعد البؤري للعدسة وهي بعد صورة نجم واقع في اللامركزية عن العدسة وببعد بأشعة قريبة من المحور الأساس.

يسنّت مما سبق أن الزبغ انضولي  $Long.S.A$  يساوي:

$$Long.S.A = S'_p - S'_s \dots\dots (4)$$

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

$$\therefore Lat.S.A = (S'_p - S'_s) \tan \theta' \dots\dots (5)$$

إن حل المعادلة (١) بدلالة  $Long.S.A$  تتحصّل على :

$$Long.S.A = S'_p * S'_s * L_s \dots\dots (6)$$

$$Lat.S.A = S'_p * h * L_s$$

وبعد الصورة المكونة لشعاع مثلّ عن الانقاض (لا يخوض) هو:

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

وهي الطريق الأدق والأصح في تتبع مسار الشعاع على ارتفاعات وتغيير ابتعاداً لمعنى النظرية عن منحني طريق رسم المسار عند التقييم العللي في الموجة.

إن العدسة ذات  $q$  قذف تكون ذات زبغ كروي قلب وحيث إن  $q$  تمثل شكل العدسة أي تصفي قطرها  $2r_2$  لا يكون حسن الخطأ  $2r_2$  طريراً لتقليل الزبغ الكروي ولكن بعد انعدامه تماماً وبالعودة إلى الشكل نلاحظ أن التمايز بين المنحني الناتج عن تطبيق نظرية المرتبة الثالثة

ومطريقة الرسم لمسار الشعاع  $: Ray Tracing method$

والحصول على أقل قيمة لـ  $(q)$  نعود إلى المعادلة (١) ونشتقها بالنسبة لـ  $(q)$  ليكون:

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

وبما أن هذه المعادلة وحلها يكون:

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

وتبيّن هذه المعادلة أن قيمة  $q$  تحدّد بالمتغير  $P$  (بعد تحديد  $s$  وبعد تحديد  $f$ ) معامل الإنكسار بحيث أن  $n$  يمكن أن يجتازه فلنقيّم قيمة  $q$  بحسب  $s$  و  $f$  فقط والذنان يرتكبان بدورهما  $r_1, r_2$ .

$$\begin{aligned} q &= \frac{r_2 + r_1}{r_2 - r_1} \\ \therefore (r_2 - r_1)q &= r_2 + r_1 \\ \therefore qr_2 - qr_1 &= r_2 + r_1 \\ qr_2 - r_2 &= r_1 + qr_1 \\ (q-1)r_2 &= (q+1)r_1 \\ \therefore \frac{r_1}{r_2} &= \frac{(q-1)}{(q+1)} \dots\dots (10) \end{aligned}$$

لـ ١ـ فلموقع معين للصورة وموضع معين للجسم في منظومة بصرية يمكن الحصول على قيمة  $q$  لتحديد أدنى زبغ كريو في المنظومة أي نصلح خمسة بالمواصفات المطلوبة لتعطي أدنى  $q$  ولـ ٢ـ التصريح الخاص شعرة إلى قيم  $q$  و  $p$  (معاندة (١٠) مع (١١)) المستحصلة من صيغة

$$P = \frac{s' - s}{s' + s} \quad \text{ساكر's formula}$$

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

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

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

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

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

د. أكرم المشهداني

وبنطبيض قيم  $s$  و  $p$  بعد استخراج قيم  $s'$  و  $r_1$  من المعادلة (١١) يكون:

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

وأن حاصل قسمة المعادلتين الأخيرتين لـ  $r_1, r_2, s, s'$  سمعطنا المعادلة (١٠) أيضاً مثلاً: حصة بعدها البزري المطلوب  $f=10\text{cm}$  ومعامل انبعاثها  $n=1.5$  جـ قيمي  $2.25$  التي تحدث لأنى زبع كروي لأنشعة متبعثة من جسم في المسألة.

الحل:-

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

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

وبنطبيض هذه القيمة في المعادلة (٤) يكون:

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

ويكون مشكلة أن هذه القيمة  $q < 0$  من الشكل (+) تقع قرب النقطة الدنيا ومن هنا تعنى نسبة تصلي التصريح:

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

الإشارة السالبة تدل على أن العدسة عدسة محدبة التوجين وبتطبيق العلاقة (١٣) نجد أن:

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

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

ونلاحظ هنا أن المسار الأكبر ت Habit يقع بموا جهة الأشعة للموازية وهذا يبين سبب التوجه محدب للعدسة المحدبة المستوية (رقم ٦) بموا جهة الأشعة الم موازية في أغلب المنظرات البصرية لتأليل الزبع الكروي حيث تكون  $q=+10$  وموقعها كما في الشكل () غيرية من النقطة الدنيا من المنحنى بينما لو قلناها وضع العدسة لأصبحت  $q=-10$  وهذا يحدث زبعاً قيمه أربع مرات من زبع الحاله الأولى لاحظ الشكل ( )

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

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

لا يمكن إلغاء ظاهرة الزبكي الكروي في منظومة بصرية تستخدم عدسة واحدة ولكن يمكن ذلك باستخدام أكثر من عدسة حيث أن الزبكي الذي تسببه الأولى تغيير العدسة الثانية شرط أن تكون إحدى العدسات موجبة والثانية سالبة (عدسة محدبة وعدهسة مقعرة) مثلاً استخدام عدستين محدبة ومقعرة لإلغاء الزبكي الكروي يجب أن تكون العدسة اللاحمة ذات قدرة عالية high power وحتى أنني من الزبكي بينما تكون العدسة المستخدمة ذات قدرة جداً عالية لوعاً من الزبكي، وذلك لأن الزبكي يتطلب طردياً مع مكعب تبعد البؤري وهذا يعني إلغاء أحدهما لتشير الأخرى.

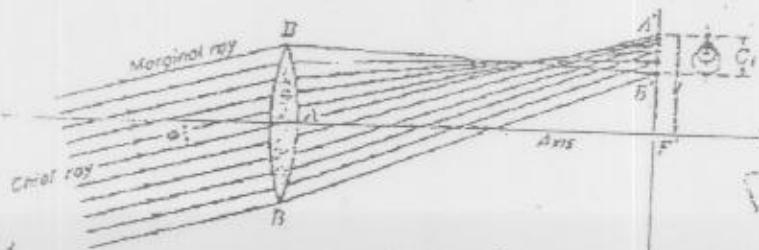
$$P = \frac{1}{f} \Rightarrow P = (n-1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \dots \quad (14)$$

أما في حالة تماش سطхи عدستين فيجب أن يكون نصف قطرها وجبي التماش متوازيين بينما يمكن أن يختلف نصفاً القطرتين الآخرين غير المتماشيين ليحدثا أنني زبكي كروي.

### زبكي-إنكه ما coma aberration

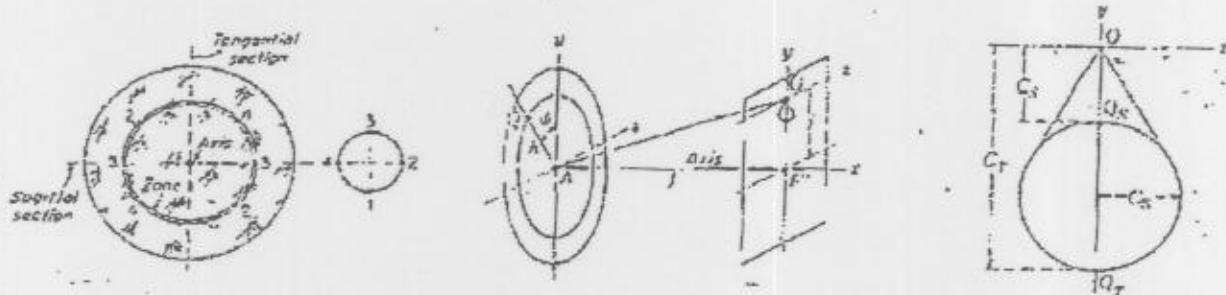
الزبكي الثاني لنظرية المرئية الثالثة يدعى زبكي الكوما (الذنب) وذلك لأن الصورة المكونة لجسم نقطي خارج محور العدسة تتبه العينات. لقد تبين لنا سابقاً أن صورة جسم يقع على المحور يمكن تركيزها على شاشة وبوضوح كبير أي بقليل قيمة الزبكي الكروي أما إذا كان الجسم ولقعاً خارج المحور الأساسي فإن الصورة المكونة لا تكون واضحة إلا بالخلص من زبكي المثلث.

يرى الشكل (٢) زبكي الكوما لجسم نقطي يقع خارج محور العدسة. ونلاحظ أن الأشعة المركزية (العارضة بمركز العدسة) أي بمنطقة القطب أو بالقرب منها هي التي تلقي عند النقطة A بينما تلقي الأشعة الضرفية العارضة بالنقطة B عند النقطة C.



د. أكرم المثيراني

لقد سبق أن تحدثنا عن المخاريط التي تكونها الأشعة الموزعية لمحور العدمة والساقة على ارتفاعات مختلفة وقمنا أن كنّ نقطة تُمثّل صورة للجسم وحيث أن لكل نقطة موقع مختلف عن بقية النقاط تكون مجموعة صور مختلفة في وضوحيها وأسمينا الظاهرة بالزينة الكروي، ما في حالة الكومة فحين كل مخروط يكون مجموعة نقاط تتشكل مع بعضها دائرة تتضاعف مع الدوائر التي تشکلها المخاريط الأخرى وكما في الشكل (٢) والموضحة في الشكل (٣) حيث تمثل النقطة (١) الأشعة الضرفية الصافية عند B بينما تمثل النقطة (٣) الأشعة الطرفية عند مستوى الأفق الذي يندعى الأشعة السببية ومساقطها كما في الشكل (٣).



وبصورة عامة فإن كل زوج متقابلين من النقاط من محيط قاعدة المخروط يكون صورة نقطية  
وتعطى نظرية الرياح الشائعة نصف قصر دائرة المذنب بالعلقة:-

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

٢٠) معنى الموزع في الإيمان  $p$ , معنـى المكان والمكان على التوالي  $q$

أنا G.W فهـما:

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

وتصودة الشك (٢) نلاحظ أن التكبير يختلف باختلاف موقع الأشعة عن المحور الأساس والتل الكبير للأشعة الظرفية أصغر منه للأشعة المحورية ويدعى هذا بالعنكب الشالب أما في حالة العنكبوت فالعنكب المرجبي.

وَتُعْطَى الْعِلْمَةُ الْأَلْيَةُ شَكْلَ الْمُذَكَّرِ:

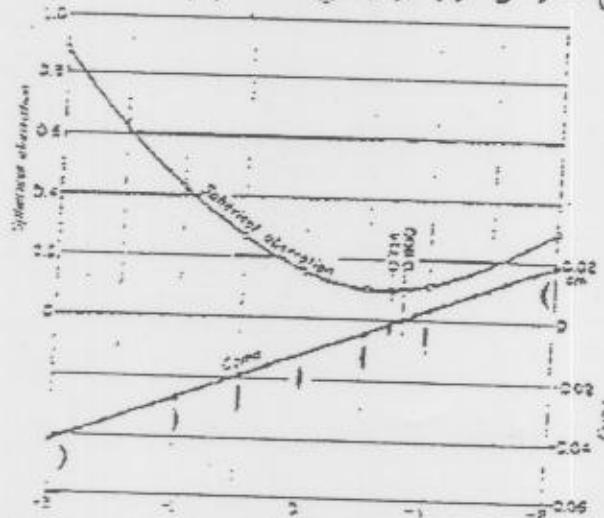
$$y = C_s(2 + \cos 2\psi) \rightarrow Z = C_s * \sin 2\psi$$

••• قل لاحظ عن الشكل (٤) ان التكبير:

$$C_T = 3C_{\mu}$$

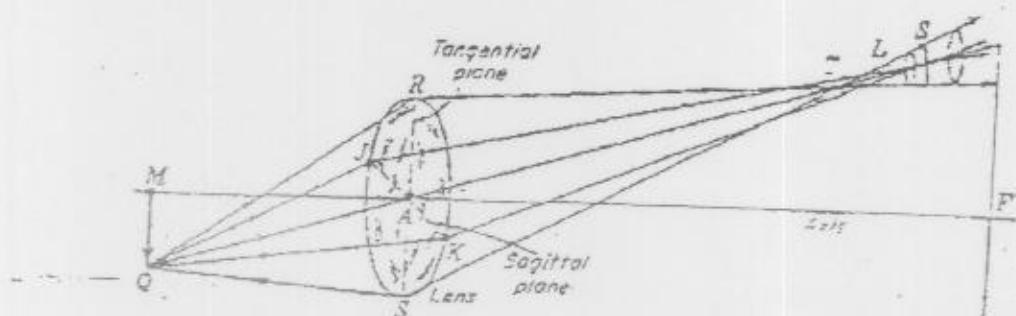
Shape of lens	Shape factor	Croma	Spherical aberration
1. Convex-concave.	-2.0	-0.0129 cm	+0.89 cm
2. Plane-convex...	-1.0	-0.0270	+0.43
3. Double convex...	-0.5	-0.0195	+0.26
4. Biconvex...	0	-0.0120	+0.15
5. Double concave...	+0.5	-0.0045	+0.10
6. Plano-concave...	+1.0	+0.0030	+0.11
7. Concave-convex...	+2.0	+0.0150	+0.29

ولدراسة تأثير شكل العدسة على زبغ العصب قمت دراسة على الأنواع السبعة من العدسات المأبى ذكرها والتي أعددت النتائج التالية وتمثلها بيانياً في الشكل (د)

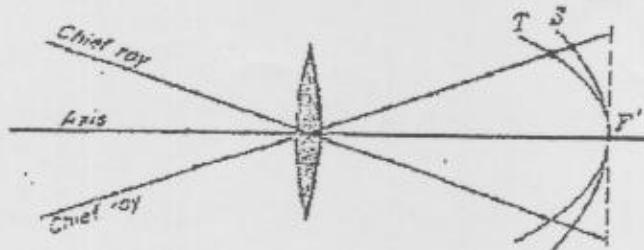


القيم في الجدول أعلاه المستخدمة في الشكل (د) مستخلصة من المعادلة (١٥) وقد استخرجت الأشعة متوازية تتعطف مع المحور بزاوية قدرها  $10^\circ$ .

نلاحظ من الشكل (د) أن قيمة الزبغ الكروي دائمة موجبة بينما تكون قيمة زبغ الكروما مترقبة مارأينا نقاط سالبة وموجبة وقاطعا خط الصفر عند القيمة  $q=0.8$  وهذا يعني إمكانية وضع عدسة خالية من زبغ الكروما  $C_R = 0$  وهذه التيسة قريبة من قيمة  $q$  للزبغ الكروي تستعين بالشكل التالي (الشكل ٦-١) نلاحظ في الشكل أشعة متبعثة من النقطة  $Q$  لجسم أسفل المحور الأسماء.



إن جميع الأشعة الواقعه في المستوى المماس  $R$  سوف تقاطع عند  $T$  بينما جميع الأشعة الواقعه في المستوى اسفله سوف تقاطع عند  $S$  ولقد تم اختبار هذين المستويين لأن جميع الأشعة العاره بالعدسه سوف تقع في خطين بؤريين أعلاه  $T$  أو  $S$  ويكون شكل الصور قريباً إلى شكل قرصي تقريباً وهو موقع أدنى تشوه في التصور المنكوبه. وذا أخذنا أبعاد مختلفة لنقطة  $Q$  عن محور العدسه ورسنا  $T, S$  لكل منها تكون عندها شكلاً بيضاوياً عند توصيل نقاط  $S$  وكذلك  $T$  كما في الشكل (٦-ب) يؤرته عند  $A$ .



الأدنى لزيع الكروي  $q=0.714$  وهذا يعني أن العدسه المنكوبة باختيار  $21.52$  تكون ضمن هذين الحدين تخلو من الزيع الكروي وتعطي أدنى زيع كروي لإيجاد قيمة  $q$  التي تجعل  $C_s=0$  تعود للمعانة (١٥).

$$C_s = 0 = \frac{j * h^2}{f^2} * (G_p + H_q)$$

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

إن العدسه التي تحقق فيه  $q, p$  فيها هذه المعادله تخلو من زيع الكروما كما إن اختيار عدستين لإلقاء الزيع الكروي كما سبق يمكن أن تتضمن إلغاء تأثير زيع الكروما أيضاً.

#### نقاط الالزيع في السطوح الکروية:

المنقومة البصرية الخالية من الالزيع الكروي والكرما تدعى باللزيعية وبصورة عامة هذا حالات خاصة لا توجد عدسه خالية تماماً من كل الالزيعين:

#### الالزيع الاستكماتي (Astigmatic):

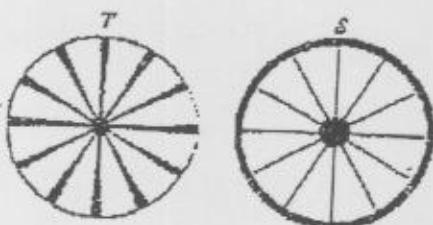
إذا كان كلاً الحدين الأوليين في مجاميع سيدل مساوياً للصفر فإن جميع الأشعة من أجسام نقطية على المحور الأساس او من أجسام قريبة للغاية من المحور الأساس للعدسه ستكون صوراً نقطية بعد الإكسار ولن يكون هناك أي أثر للزيغين الكروي والمذنب أما إذا كان الجسم النقطي واقفاً على بعد ما من المحور الأساس فإن الصور النقطية له تتحقق فقط عندما يكون الحد الثالث في مجامع سيدل « صفر »  $S$ .

ولذا ثالت العدسه في تحقيق ذلك تدل أن العدسه تعاني من الاستكماتزم. وإن التشوه في الصورة المنكوبة يدعى astigmatic لتوضيح هذه الظاهرة نستعين بالشكل (٦):

إن قيمة الاستكمال لأي قيم شعاعي هو البعد بين هذه المطحين مقاساً على امتداد الشعاع  
الرئيسي كما في الشكل التقطتين  $T, S$  ويلاحظ أنه عند المحور الأساس يلتقي كلا المطحين  
بـ  $F$  لذا يكون فرق المسافة فيها يساوي صفر أي لا يوجد زيج استكمال لأشعة المحورية  
ويبدأ بالزيادة مع ابتعادنا عن المحور ضرباً مع مربع بعد نقطة الصورة عن المحور تزينا  
ونقول عن الزيج (الاستكمال) أنه موجب عند وقوع سطح  $T$  على يسار سطح  $S$  كما في  
الشكل (٦) وسالباً في حالة وقوع سطح  $S$  إلى يسار سطح  $T$ . ويجب أن نلاحظ الفرق في  
شكل سطح  $S$  بين العدة والمرآة حيث يكون سفح مترياً منطبقاً على المستوى البصري  
للمرأة المفترضة.

نحو  $\Delta S$  وهذا النسب سمي السطخن بالسطح Tang و السطح Sager.

السطح  $S$  ونبدا السبب في السطح  $T$  بالسطح  $Tang$  و السطح  $Saget$ .  
والتصورتان  $T, S$  أيضاً وتكون الصور عن السطح  $T$  موازية لمحيط الإذار كما في الشكل الآيسر للشكل (٧) بينما تكون جميع الصور للسطح  $S$  خطوطاً موازية لأشعة كما في يمين الصورة.



إن المعادلة التي تعطي بعد صورة الاستكماترم لطبع كادر أحادي التكروز هي:

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

حيث  $\phi$  زاوية السقوط و  $\phi'$  زاوية الانكسار على السطح الكروي للشعاع الرئيسي،  $r$  نصف قطر تكروز السطع،  $S$  بعد الجسم عنه  $S'_T$  بعد صورة  $T$  عنه مقتضان على امتداد الشعاع الرئيسي.

ولقد وجد أنه باستخدام حاجز ذات فتحة لعدسة رقمية فإن بعد الصورتين  $S, T$  يمكن استحسنه من العلاقة:

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

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

وتعتبر  $\phi$  هنا زاوية بين الشعاع الرئيسي مع المحور الأفقي بينما تعترض  $\phi'$  زاوية انكسار الشعاع الرئيسي داخل العدسة وحيث أن:

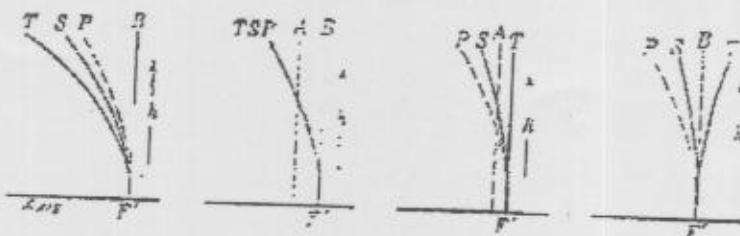
$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \cos \phi \left( \frac{n' \cos \phi'}{\cos \phi} - 1 \right) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (18)$$

وبتطبيق المعادلات أعلاه تدل على أن زبغ الاستكماترم يعتمد تدريجياً على البعد البؤري  $f$  ولا يتغير إلا قليلاً بشكل العدسة.

لقد تم استخدام عدستين مختلفتين بالإشارة لنقل زبغ الكروي إلا أنها تزيد من زبغ الاستكماترم لذا نتج أن استخدام حاجز ذات فتحة أو عدسة ذات ثلاثة نقاط هذا الزبغ إلى حد كبير. إن إبعاد ظاهرة زبغ الاستكماترم تعيق إلغاء الانحناء الناتج عن الصورة المكونة باتساع صورتين  $S, T$  ويمكن نقل زبغ الاستكماترم كما سبق ذكره باستخدام عدستين متعاكستان بالقدرة والأشارة كذلك يمكن بقليل الزبغ أكثر باستخدام ما يدهى بالحاجز (فتحة في حاجز متعددة جـا) ويسمى ذلك بترتيب عدستين أو عدسات المنظومة البصرية من حيث المسافة الفاصلة بينما وكذلك موقع الحاجز بالنسبة للمنظومة جيداً.

ونلاحظ في الشكل (8) أربع حالات لأنحناء سطح صورة الاستكماترم ناتجة عن تغيير المسافات الفاصلة بين العدستين أو شكل العدستين في الشكل (أ-ب) الشكل البيضاوي الاعتيادي الاستكماترم إذا كانت المنظومة تحوي عدسة واحدة فقط أو عدستين متتماستين أما الشكل (ب) فيمثل استخدام عدستين تفصل بينهما مسافة مناسبة لتحقيق حالة التطابق بين  $S, T$  فإذا

شيرنا المسافة بين العدسات لكي الحصول على الحالة الثالثة (الشكل ٨-ج) وهي صورتين خطرين مستقيمين  $T, S$  ويتغير المسافة أكثر نحو  $S$  على الحالة (٨-ه) حيث يتبدل  $T$  مراجعيهما على جنبي المستوى البؤري الأساسي  $B$  إن جميع الأشكال أعلاه هذا الشكل (٨-ب) تعلق من الاستثناء بدرجات متزايدة.



إن السطح البيضاوي  $P$  الذي تكون عليه الصورة الناتجة للجسم المنقط يدعى سطح بترفال  
Petzval surface

#### إ奸اء المجال curvature of the field

إذا كانت المجموع ثلاث  $S_1, S_2, S_3$  مجتمعاً سيدل صوراً فإن الصورة خالية من أنواع الزreyf  
الثلاث وتكون بالذاتي للجسد النقفي الواقع على المحور الأساس للعدسة أو خارجه صورة  
نقفيه وتحت الشرط أعلاه تقع الصورة على سطح بترفال المنحني كما في الشكل (٨-ب)  
أعلاه ولكن بالرغم من أن زيج الاستكمال قد عد إلا أن سطح المستوى البؤري للصورة  
منحني الشكل.

فبالناظر أن الصورة المستكونة في الشكل (٨-ب) تكون شديدة الوضوح في المركز (النقاء  
سطح  $S, T$ ) مع المستوى البؤري  $B$  (ومشوّهة عند الأطراف تظير لدينا هنا الطرف العلوي  
فقط للشكل البيضاوي) أما في الشكل (٨-ج) تكون الصورة شديدة الوضوح عند المنتصف  
وباهنة عند المركز والطرف العلوي.

لكل منظومة بصرية من وجية النظر الحسابية سطح بترفال، فإذا ثبتت قيمة قمة العدست  $P$   
ومعاملات انكسارها  $n$  في المنظومة فإن مثل سطح بترفال  $d$  لا يتغير بتغيير  $q$  أو المسافات  
 $d$  بين عدست المنظومة تلك التغيرات لـ  $(q, d)$  التي تحكم بشكل سطحي  $S, T$  ولكن بحيث  
تبقي النسبة بين البعدين  $PT$  و  $PS$  ثابتة وهي  $1/3$ .

ويمكن معالجة إ奸اء المجال المنظومة بصرية تحتوي حسنة واحدة باستخدام الحاجب stop  
والذي يعمل عمل حنصر ثان في المنظومة. ويقوم الحاجب بتحديد مقدار الأشعة الماقضة على  
العدسة من أي جسم نقفي بحيث أن الأشعة الرئيسية لأي نقطة من نقاط الجسم تذهب إلى  
موقع مختلفة من العدسة الشكل (٩).

ونلاحظ في الشكل (١٠، بـ جـ) الصور المكونة شبك مربع بمنظومات بصرية مختلفة تتضمن تشويهاً للصورة ، فشكل (ب) صورة خالية من زبغ التشويه، بينما الصورة (ج) تتضمن تشويهاً للصورة سببه تقصّص التكبير العرضي في اتجاه الخارج (الحواف) يدعى بـ barrel dis ، أما في الشكل (د) فنلاحظ تشوهها يدعى بتشويه pincushion dis وسببه زيادة التكبير العرضي عند الحواف ( نحو الخارج).

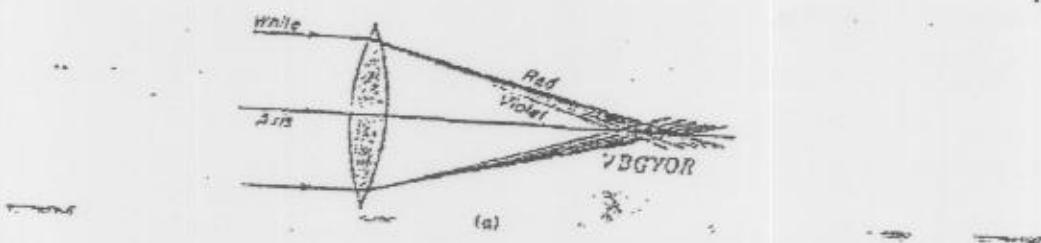
ونكون العدسة الرقيقة خالبة خالية من زبغ التشويه بينما كان بعد الجسم هناها ولكنها ليست خالية من نوع الزبغ الأخرى في نفس الوقت. فإذا وضع حاجز أمامها أو بجانبها تولد في الصورة التي تكونها تشويهاً أما إذا وضع الحاجز بعدها فلا رحود للتشويه.

ويمكننا تلخيص طرق التخلص من أنواع الزبغ كما يلي:

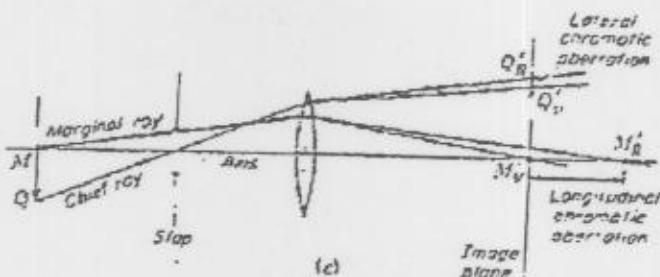
- ١- الزبغ الكروي وزبغ الكواما (المثبت) باستخدام عدسات متassites بأشكال مناسبة.
- ٢- زبغ الاستكمال والخطاء التحال باستخدام خاصر بصرية متعددة وبأبعاد مناسبة.
- ٣- زبغ التشويه يقال باستخدام الحواجز stops.

### الزبغ التنجي Chromatic aberration

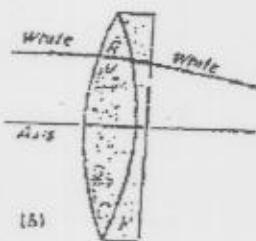
لم نراعي في دراستنا لأنواع الزبغ تغير معامل انكسار العدسات مع اللون حيث كانت تعامل مع طول أحادي اللون. إن جميع المواد المختلفة للضوء تغير معاملات انكسارها مع لون الضوء الساقط هذا لتوقع تكون صور متعددة ل同じ المضاء بضوء متعدد الألوان أما بالنسبة للضوء متعدد الألوان البعيد جداً عن العدسة فإن الصورة المكونة له عبارة عن هذه نقاط ملونة مضيئة على امتداد المحور البصري للعنة أقربها إلى العدسة صورة باللون البنفسجي.



وحيث أن بعد البؤري للعناء يتغير مع تغير اللون فإن التكبير العرضي يجب أن يغير كذلك مع تغير اللون كما موضح بالشكل (١٢)



وللاحظ في الصورة أننا استخدمنا اثنين من الطرفيين نقط الأحمر والبنجي لقطتين من الجسم نقطة محورية  $M$  ونقطة خارج المحور  $Q$  وندعى المسافة بين صورتي المحور بالزبغ الورني المطلوب بينما يدعى الاختلاف في الارتفاع بالزبغ الورني العرضي وحيث أن فيه هذين الزبغين اللذين معاً يقربان نقيه الزبغ الخمسة السابقة ذكرها لذا كان انتظاماً منها في تشكيل الماظومة البصرية أمراً انتسياً. وبترشح من وجود طرق حديدة للتخلص من الزبغ العرضي إلا أننا سندرس طريقتين أولاً ضرورة استخدام حدفين رقيقين أحدهما من زجاج الكروان والثانية من الفانك وكما في الشكل (١٣)



## مكتبة الفرقان الاستساخ

حيث تمتلك عدسة زجاج الكروان ذات  $p$  المرجحة العالية نفس القدرة الشبيهة للعدسة المغيرة ذات القدرة  $p$  الواطنة لزجاج الشكل لذا فإن المحصلة النباتية لقدرة مرجحة بينما تكون القدرة الشبيهة متعلقة لذا يحصل تركيز لجميع الألوان تدريجياً في نفس النقطة وهذا حاد لحقيقة أن الانحرافات الحاصلة في مسار شعاع في أنواع الزجاج لا يتاسب مع القدرة الشبيهة له، أو بالأصح ثالث  $1/7$  تماً باختلاف المواد المبتدة وإن بعد الباري للون الأصفر  $f_D$  لعدفين رقيقين متامسين أو القدرة  $P_D$  المنظومة هي:

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

وتتناسب  $f_D, p_D$  متغيرات زجاج الكروان بينما تتمثل  $p_D, f_D$  متغيرات زجاج الماء التي تعتمد على الطول الموجي تضيؤه الأصفر أو معلم الانكسار C.

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

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

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

$$p_F = (n'_F - 1)K' + (n''_F - 1)K'' \dots \dots (24)$$

$$\therefore \text{when } \rightarrow P_f = P_c$$

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

وحيث ان البسط والمقام في اطرف الایمن من المعادلة اعلاه ثقى موجبة اذ يجب ان تكون احد k سالبة والثانية موجبة وهذا يعني ان احد العددين 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*

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

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

$$v' = \frac{(n_D' - 1)}{(n_F' - n_C')} \Rightarrow v'' = \frac{(n_D'' - 1)}{(n_F'' - n_C'')} \dots\dots (28)$$

وحيث ان القراءة التكعيبية (الستينية) موجهة دائياً فإن الاشارة المعاكسة تعني أن قدرتي العدسات يجب ان تكون متعاكستان في الاشارة أي ان احدى العدسات لامة والآخر 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

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