

البَابُ الْإِسْبَاج

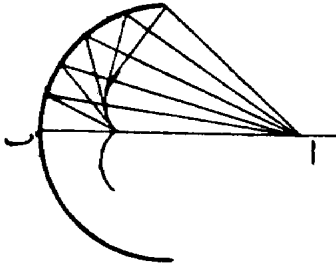
الزئغ الكرى والزئغ اللونى وقوس قزح والعدسات السمكة

الزئغ الكرى

١٤٥ - الزئغ الكرى الحادث عند الانعكاس عن السطوح الكرية

القوانين التى سبق ذكرها فى الباب الثانى فيما يتعاق بالانعكاس عن السطوح الكرية مبنية جميعها على فرض أن السطح العاكس اتساعه صغير وان الأشعة تكاد تقع عمودية على السطح وعلى حسب هذا الفرض يصح اعتبار الأشعة المتوازية الواقعة على السطح مارة بعد الانعكاس (هى أو امتداداتها) بنقطة هى البؤرة ويصح أن يتكون لنقطة مضيئة على المحور نعتبرها جسماً صورة حقيقية أو تقديرية تمر الاشعة المنعكسة أو تمر امتداداتها بها

أما اذا كان السطح العاكس كبيراً فقد تبين فى بند (٣٩) أن الاشعة المنعكسة تمس سطحاً



(شكل ١٢٠)

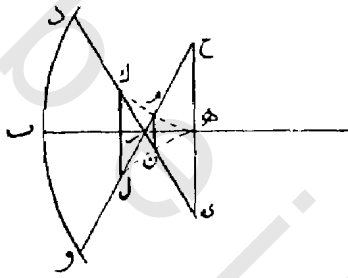
منحنياً يسمى السطح الغلافى . و شكل (١٢٠) يوضح المنحنى الغلافى للأشعة المنعكسة فى مستوى الورقة عند صدورهما من نقطة ا على المحور اب ويتكون السطح الغلافى من دوران المنحنى الغلافى حول هذا المحور واذا فرضنا فى شكل (١٢١)

أن د ب و يمثل مقطع السطح العاكس بمستوى الورقة وان

ك ه ن ل يمثل مقطع السطح الغلافى وان الشعاعين عند د ه و يتقابلان فى نقطة ر (وكذلك الاشعة المنعكسة عند حافة السطح) فى حين أن رأس الغلاف (أى موضع تقابل الاشعة المنعكسة من مساحة صغيرة جدا من السطح عند القطب ب) هو نقطة ه فالبعد ر ه أى البعد بين موضع تجمع الأشعة المنعكسة عند الحافة وموضع تجمع الاشعة المنعكسة عند القطب يسمى

« الريغ الكرى الطولى » (١). وإذا أقيم عند ه العمود ح ه على المحور بحيث يتقابل الشعاعين المنعكسين عند طرفي السطح في نقطتي ح ٦ ه ٦، فإن كلا من البعدين ه ح ٦ ه ٦ يسمى « الزيغ الكرى العرضى » (٢).

وإذا وضع حاجز أبيض عمودياً على المحور بحيث يستقبل الضوء المنعكس عن السطح الكرى



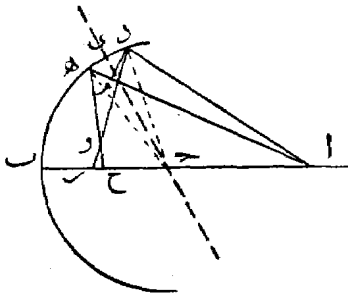
(شكل ١٢١)

د ب و فإن موضع وقوع الضوء عليه وهو عند ح ه ٦ يكون مستديراً وقطر الدائرة ح ٦ فإذا دنا الحاجز من السطح تأخذ الدائرة فى الصغر حتى يكون قطرها م ن ثم تأخذ فى الاتساع بعد ذلك وتكون الدائرة التى قطرها م ن هى أصغر مساحة تلم عندها الأشعة المنعكسة وهى تمثل صورة النقطة ا وتسمى « دائرة الغمة

الصغرى » (٣). ويلاحظ أنها أقرب الى السطح العاكس من النقطة ه التى تكون موضع الصورة اذا كان السطح العاكس صغيراً جداً

١٤٦ — الخطان البؤريان الحادثان بالانعكاس عند السطح الكرى

لنفرض أن ا (شكل ١٢٢) نقطة مضيئة على المحور ا ب ٦ ح مركز تكور السطح المقعر



(شكل ١٢٢)

العاكس الذى مقطعه بمستوى الورقة هو القوس د ه ب ولنفرض أن د ٦ ه نقطتان متقاربتان على هذا القوس. نرسم من ا الشعاعين الساقطين ا د ٦ ا ه وليكن د ر مسير الاول بعد الانعكاس وليكن ه ح مسير الثانى بعد الانعكاس. فالشعاعان المنعكسان يتقابلان عند و ثم ينفرجان مار أحدهما بنقطة ر على المحور والآخر بنقطة

ح عليه. وإذا كانت نقطتا د ٦ ه متقاربتين جداً فإن جميع الأشعة الواقعة فى مستوى الورقة

(١) Longitudinal Spherical Aberration

(٢) Lateral Spherical Aberration

(٣) Circle of least confusion

والمنعكسة عن الجزء الصغير د ه تمر بعد انعكاسها بنقطة و ويمثل د و ر ه و ح حدى الحزمة الضوئية المنعكسة

ولكى يسهل تصور هيئة انعكاس الأشعة الساقطة على المساحة الصغيرة من السطح المقعر وهى المساحة التى تمثل فى الشكل بالقوس د ه نفرض أن الشكل قد أدير بزاوية صغيرة حول المحور ا ب فيتكون من دوران د ه مساحة صغيرة من السطح العاكس ومن دوران ا د ه ا حزمة مجسمة من الأشعة تصدر من ا وتقع على هذه المساحة الصغيرة ومن دوران د و ر ح و ه الحزمة المجسمة من الأشعة المنعكسة . ويلاحظ أن نقطة و فى أثناء الدوران ترسم فى الفضاء خطاً قصيراً عمودياً على مستوى الورقة ، وأن الأشعة المنعكسة لا تمر بعد الانعكاس بنقطة واحدة وإنما يمر كل شعاع منها بهذا الخط القصير العمودى على مستوى الورقة ثم يمر بعد ذلك بالمستقيم ر ح فى مستوى الورقة ولذلك تسمى الحزمة الضوئية المنعكسة « بالحزمة اللانقطية »^(١)

ويسمى الخط الأول الذى ترسمه نقطة و عمودياً على مستوى الورقة « الخط البؤرى الأول »^(٢) وسنطابق على الخط الثانى ر ح الموجود فى مستوى الورقة « الخط البؤرى الثانى »^(٣) وإذا سرنا من موضع و نحو ر ح فإن الحزمة الضوئية اللانقطية تضيق فى الاتجاه العمودى على مستوى الورقة وتوسع فى مستوى الورقة حتى إذا بلغنا المحور مرت جميعها بالمستقيم ر ح فى مستوى الورقة بعد أن كانت عند و تمر بخط عمودى على مستوى الورقة . ويتضح من هذا أنه ما بين و ر ح توجد منطقة يكون فيها امتداد الحزمة فى الاتجاه العمودى على مستوى الورقة مساوياً لامتدادها فى مستوى الورقة وعندها تكون الأشعة قد دنت غاية ما يمكن بعضها الى الآخر وتكون هى اذن بمثابة الصورة التى تتكون بالانعكاس عند المساحة الصغيرة د ه للنقطة ا وتسمى هذه المنطقة أيضاً « دائرة الغمة الصغرى »

والجزء د ه من السطح الكرى اذا روعى على حدته كان بمثابة سطح كرى عاكس صغير مركز تكوره > ومحوره اذن المستقيم > حى وقطبه نقطة حى وتكون نقطة ا بالنسبة اليه

نقطة مضيئة ليست على المحور . فالاشعة الصادرة من نقطة مضيئة ليست على المحور تنعكس عن السطح المقعر الصغير (بالرغم من صغره) على هيئة حزمة لانقضية وتتجمع في خطين بؤريين متعامدين يتكون بينهما دائرة الغمة الصغرى وهى التى تكون بمثابة الصورة لتلك النقطة

١٤٧ - تعيين موضعى الخطين البؤريين للسطح الكرى العاكس

لنرمز للبعد ah بالحرف s ولنصف قطر تكور السطح بالرمز s واللبعد $هو$ وهو بعد الخط البؤرى الأول عن السطح العاكس $ده$ بالرمز s_1 واللبعد $هـ ج$ وهو بعد الخط البؤرى الثانى عن السطح العاكس بالرمز s_2 فلايجاد بعد الخط البؤرى الأول نرى أن

$$(١) \quad \angle در \angle = \angle در \angle + \angle ددر \angle$$

$$(٢) \quad \angle ددر \angle = \angle دادر \angle + \angle دادر \angle$$

$$\text{وبما أن } \angle دادر \angle = \angle ددر \angle$$

ينتج من طرح المعادلة (٢) من المعادلة (١) أن

$$(٣) \quad \angle در \angle + \angle دادر \angle = \angle ددر \angle + \angle دادر \angle$$

وبالمثل يمكن اثبات أن

$$(٤) \quad \angle دهر \angle + \angle داهر \angle = \angle ددر \angle + \angle داهر \angle$$

$$\text{وبما أن } \angle در \angle = \angle ددر \angle$$

$$\angle دهر \angle + \angle داهر \angle =$$

$$\angle ددر \angle + \angle داهر \angle = \angle ددر \angle + \angle داهر \angle$$

$$\angle دادر \angle + \angle داهر \angle = \angle دادر \angle + \angle داهر \angle$$

ينتج بالتعويض فى المعادلة (٣) ثم طرح المعادلة (٤) من ذلك أن

$$(٥) \quad \angle ددر \angle + \angle داهر \angle = \angle ددر \angle + \angle داهر \angle$$

واذا أسقطنا من $د$ العمود $دم$ على $اه$ فإن

$$د م = د ه ح تا د ه د م$$

$$\therefore د م = د ه ح تا د ا ه ح$$

$$\text{واذن} \quad \frac{د ه ح تا د ا ه ح}{س} = د ا ه ح$$

وبالمثل اذا أسقطنا من ه العمود ه ن على د و يكون

$$ه ن = د ه ح تا د ه ن = د ه ح تا د ح د ر = د ه ح تا د ا د ح$$

$$\text{واذن} \quad \frac{د ه ح تا د ا د ح}{س} = د و ه ح$$

$$\text{كما أن} \quad \frac{د ه}{س} = د ح ه$$

ونظراً لأن د ه نقطتان متقاربتان جداً فإن زاوية السقوط عند د وزاوية السقوط عند ه

تكادان تكونان متساويتين فاذا رمزنا لكل منهما بالحرف ن يكون

$$د ا ه ح = د ا د ح = ن$$

وبالتعويض في المعادلة (٥) ينتج أن

$$\frac{د ه}{س} \cdot ٢ = \frac{د ه ح تا ن}{س} + \frac{د ه ح تا ن}{س}$$

$$\therefore \frac{٢}{س ح تا ن} = \frac{١}{س} + \frac{١}{س} \quad (٦)$$

وهذه هي المعادلة الدالة على العلاقة بين بعد النقطة المضيئة عن السطح وبعد الخط البؤري

الاول عنه ولتعيين بعد الخط البؤري الثاني وهو البعد ه ح المرموز له بالرمز م نرى أن

$$\text{مساحة } \triangle ه ا ح = \text{مساحة } \triangle ه ح ح + \text{مساحة } \triangle ه ا ه > \dots (٧)$$

$$\text{ولكن مساحة } \triangle ه ا ح = \frac{١}{٢} \cdot ه ا \cdot ح = ح \cdot ح \cdot ن$$

$$= \frac{١}{٢} \cdot س \cdot ح \cdot ن$$

ومساحة $\triangle ه ح = \frac{1}{2} ه . ه . ح . ح$

$$= \frac{1}{2} س س ح ح$$

ومساحة $\triangle ه ا = \frac{1}{2} ه . ه . ح . ح$

$$= \frac{1}{2} س س ح ح$$

فبالتعويض في المعادلة (٧) ينتج أن

$$س س ح ح + س س ح ح = س س ح ح + س س ح ح \dots\dots (٨)$$

وبما أن $س س ح ح = س س ح ح$. حتا $س$ ينتج باختصار $س$ وقسمة المعادلة (٨) على $س س$ أن

$$\frac{٢}{س} = \frac{١}{س} + \frac{١}{س} \dots\dots (٩)$$

وهذه هي المعادلة الدالة على العلاقة بين بعد النقطة المضيئة عن السطح وبعد الخط البؤرى الثانى عنه ويلاحظ من معادلتى (٦) و (٩) انه اذا كانت $س$ صغيرة جداً أى عند ما تكاد تكون الأشعة ساقطة عمودية على السطح فان المعادلتين تتحولان الى الصورة

$$\frac{٢}{س} = \frac{١}{س} + \frac{١}{س}$$

أى تكون العلاقة بين بعد النقطة عن السطح وبعد موضع تجمع الأشعة المنعكسة طبقاً للمعادلة المألوفة

$$\frac{٢}{س} = \frac{١}{س} + \frac{١}{س}$$

١٤٨ - تقوس الصور المتكونة بالانعكاس عن المرايا الكرية

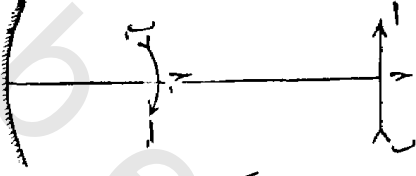
اذا فرضنا أن جسماً مثل $ا$ $ح$ ب شكل (١٢٣) وضع أمام مرآة مقعرة مثلاً سطحها صغير فان نقطة $ح$ الموجودة على المحور تتكون لها صورة عند $ح$ مثلاً تكون على المحور أيضاً بحيث

تكون علاقة بعد الاولى عن المرآة ببعد الثانية عنها طبقاً للمعادلة المعروفة

$$\frac{1}{u} = \frac{2}{v} = \frac{1}{e} + \frac{1}{e}$$

أما الأشعة الصادرة من الطرف الجسم فانها تسقط على المرآة بزاوية فاذا كان ارتفاع الجسم

كبيراً (نسبياً) كانت هذه الزاوية كبيرة ولذلك تنعكس الأشعة كحزمة لا نقطية ويكون هناك خطان بؤريان (كما سبق ذكره) تقع بينهما دائرة الغمة الصغرى التي تعد



(شكل ١٢٣)

صورة النقطة ا ويمكن الاستدلال (بالقياس مثلاً) على أن بعد هذه الصورة عن القطب أصغر من بعد الصورة اذا كانت نقطة ا على المحور وعلى البعد نفسه من المرآة أى أن المرآة بالنسبة الى الأشعة التي تقع عليها من نقطة ا تعمل عمل مرآة ذات بعد بؤري أقصر واذن تكون أطراف هذه الصورة أقرب الى المرآة من صور أجزاء الجسم الواقعة على المحور فتكون الصورة مقوسة كما هو مبين بشكل (١٢٣) ونظراً لأن الأشعة الساقطة من أطراف الجسم تنعكس على هيئة حزم لا نقطية فان أطراف الصورة تلك الأطراف البعيدة عن المحور لا تكون واضحة دقيقة



(شكل ١٢٤)

واذا فرضنا أن السطح المقعر العاكس ذو اتساع كبير ووضع عند مركز التكور ه حاجز به فتحة صغيرة كالبيان بشكل (١٢٤) فان الأشعة التي تقع من الأجزاء المختلفة من الجسم على سطح المرآة تنفذ خلال الفتحة واذن تقع على امتداد نصف القطر فمثلاً الأشعة الواقعة من ا تكون بمثابة حزمة محورها ه وتقع على مساحة صغيرة من سطح المرآة وقوعاً يكاد يكون عمودياً واذن تكون صورة النقطة ا على المستقيم ه وموضعها ا مثلاً يمكن تعيينه من المعادلة المألوفة

$$\frac{2}{v} = \frac{1}{e} + \frac{1}{e}$$

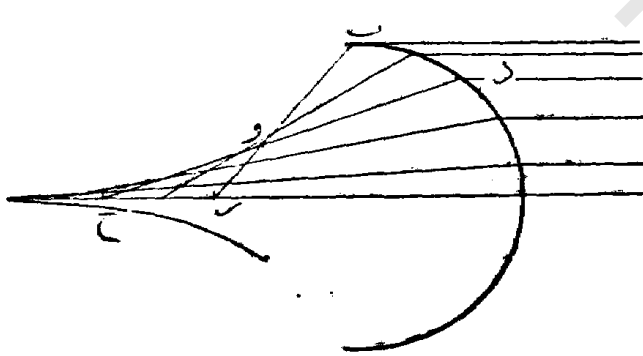
وكذلك بالنسبة الى أية نقطة أخرى من الجسم

وبتعيين مواضع صور النقط المختلفة من الجسم بهذه الكيفية يرى أن الصورة الحادثة بالانعكاس في هذه الحالة تكون مقوسة بالكيفية المبينة بشكل (١٢٤) ولكنها تكون واضحة دقيقة بالرغم من تقوسها . فهي تتحسن من هذه الوجهة من جراء وجود الحاجز ذى الفتحة عند المركز ولكنها تكون ضئيلة نظراً لأن كمية الضوء الواقعة على المرآة من كل نقطة من الجسم صغيرة

وللتمييز بين الحالة الأخيرة هذه وبين سابقتها فإن الصورة في الحالة الأخيرة يقال عنها انها حادثة عن انعكاس حزم مركزية (مارة بالمركز) والتي في الحالة الاولى حادثة عن انعكاس حزم غير مركزية

١٤٩ - الخططان البؤريان للسطح الكرى الكامر

إذا رسمت حزمة من الأشعة المتوازية الواقعة على سطح كرى أمكن بالرسم إيجالو الشعاع المنكسر لكل واحد من الأشعة الساقطة ويتبين من الرسم (شكل ١٢٥) أن الأشعة المنكسرة لا تمر جميعها بنقطة واحدة ولكنها تمس منحنيًا يسمى غلاف الأشعة المنكسرة وإذا أدير الشكل



(شكل ١٢٥)

حول المحور تكون من دوران المنحني الغلافى سطحاً غلافياً يكون هو السطح الذى تمسه الأشعة المنكسرة فإذا راعينا الحزمة الضيقة AB فإن الأشعة الموجودة منها فى مستوى الورقة تمر أو تكاد تمر بنقطة O ثم تتفرق بعد ذلك

وتمر بالمستقيم RC على المحور فإذا أدير الشكل حول المحور بزواوية صغيرة فإن نقطة O ترسم خطاً قصيراً عمودياً على مستوى الورقة تمر به بعد الانكسار الحزمة الضيقة الواقعة على المساحة الصغيرة الحادثة من دوران الخط B D ويسمى كما فى حالة الانعكاس الخط البؤرى الاول . والأشعة المنكسرة تمر بعد ذلك بالمستقيم RC على المحور وفى مستوى الورقة ونسميه هنا الخط البؤرى الثانى ويتبين أن الأشعة المنكسرة بعد تجمعها عند الخط البؤرى الأول العمودى على مستوى الورقة

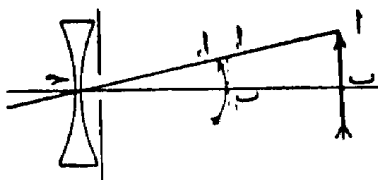
تتجمع بعد ذلك عند الخط البؤري الثاني في مستوى الورقة فاذا سرنا من و نحو رح فان الحزمة الضوئية تضيق في الاتجاه العمودي على مستوى الورقة وتتسع في مستوى الورقة ويكون هناك موضع بين و ٦ رح تدنو الأشعة عنده غاية ما يمكن بعضها من الآخر وعنده يكون الامتداد في الاتجاه العمودي على مستوى الورقة والامتداد في مستوى الورقة متساويين ويتكون ما يسمى هنا أيضاً « دائرة الغمة الصغرى » كما أن الحزمة المنكسرة تسمى حزمة لانقضية

ويلاحظ من الشكل أن رأس الغلاف حيث يتقابل فرعاه على المحور هو النقطة التي تتقابل عندها بعد الانكسار الحزمة المتوازية الواقعة على امتداد المحور فهي بمثابة البؤرة بالنسبة الى الاشعة المتوازية التي تكاد تقع عمودياً على السطح. أما الحزمة المتوازية ا ب ح د فلو أنها تقع على مساحة صغيرة من السطح فان زاوية سقوطها ليست صغيرة فتكون منها بعد الانكسار حزمة لانقضية ولا تكون هناك بالنسبة اليها نقطة بمثابة البؤرة بل مساحة صغيرة تكون هي التي تقوم فعلاً مقام البؤرة ويلاحظ أن موضعها أقرب الى السطح الحادث عنده الانكسار وانه كلما زادت زاوية سقوط الحزمة المتوازية زادت هذه الدائرة التي تقوم مقام البؤرة قرباً الى السطح ويتضح أيضاً من الشكل انه اذا كانت زاوية السقوط صغيرة فان تأثير اللانقضية واختلاف موضع دائرة الغمة عن موضع البؤرة يكون صغيراً قد يصح اغفاله

١٥٠ - تقوس الصور الحادثة بوساطة العدسات وتشوها

(أولاً) الانكسار عند الجزء الأوسط أو المركزى من العدسة

نعين لسهولة الشرح نوع العدسة ولتكن عدسة مفرقة ولنفرض أن العدسة قد حجبنا



وعرض منها الجزء الأوسط على حدته ولنفرض أن ا ب (شكل ١٢٦) جسم على محور العدسة ونرسم من رأس هذا

الجسم المستقيم ا ح ماراً بالمركز البصرى فصورة النقطة ا

تقع على المستقيم ا ح كما أن صورة النقطة ب تقع على المحور ب ح . فاذا رمز للبعد ب ح بالحرف ع فان موضع ب , التي هي صورة ب يقدر من المعادلة

$$\frac{1}{e} - \frac{1}{p} = \frac{1}{r}$$

$$\frac{p}{p+e} = \frac{1}{p} \therefore$$

فإذا عيّنت نقطة p بهذه الكيفية وأقيم عند p العمود p, a على المحور بحيث يقطع a في نقطة a فإن a, p يعتبر في العادة الصورة ويكون

$$(1) \quad \frac{p}{p+e} = \frac{1}{p} \therefore \frac{p}{p+e} = \frac{1}{p} = \frac{1}{a}$$

ولكن الأشعة الصادرة من a منكسرة خلال العدسة تقع على الجزء الأوسط منها بزاوية ليست صفراً ولكنها أصغر مما لو كانت الأشعة واقعة على الجزء الباقي من العدسة فإذا أغفلنا اللانقطية وما إليها فإن صورة a تقع على المستقيم a في نقطة مثل a يقدر بعدها عن العدسة من المعادلة

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{a} - \frac{1}{r}$$

$$(2) \quad \frac{p}{p+e} = \frac{1}{a} \therefore$$

وبما أن $e = a$. حنا باعتبار أن e زاوية السقوط

يتضح بالمقابلة بين المقدارين (١) و (٢) أن نقطة a أقرب إلى a من نقطة a واذن

تكون الصورة مقوسة بالكيفية المبينة بالشكل

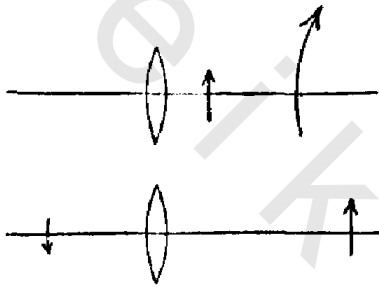
أما إذا كانت العدسة لامة فالبعد البؤري r يكون سالماً ويمكن كما سبق بيان أن

$$\frac{p}{e-r} = \frac{1}{a}$$

$$\frac{u}{v} = \frac{a}{b}$$

فاذا كان الجسم بين البؤرة وبين العدسة أى فى حالة ما تكون الصورة تقديرية وتكون u أكبر من a فان a يكون أكبر من a فتكون الصورة التقديرية مقوسة بالكيفية المبينة بالرسم الأعلى من شكل (١٢٧)

واذا كان الجسم أبعد عن العدسة من البؤرة أى فى حالة الصور الحقيقية فان a يكون أصغر من a وتكون الصورة مقوسة بالكيفية المبينة فى الرسم الأسفل من الشكل



(ثانياً) الانكسار عند الجزء الحافى من العدسة

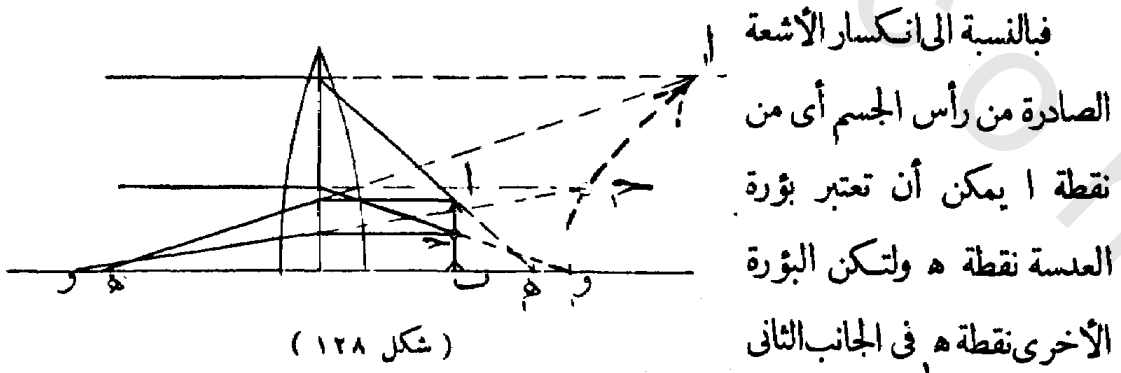
نفرض فى هذه الحالة أن الجزء الأوسط من العدسة

محجوب وأن الانكسار يحدث عند حافة العدسة حيث

(شكل ١٢٧)

تكون زوايا السقوط كبيرة وتكون الأشعة المنكسرة عند كل من سطحى العدسة أشعة لانقطة ويكون البعد البؤرى لكل من السطحين بالنسبة الى هذه الأشعة أقصر من البعد البؤرى فى حالة الأشعة التى تكاد تقع عمودياً على السطح فيكون البعد البؤرى للعدسة بالنسبة الى تلك الأشعة أقصر من البعد البؤرى لها بالنسبة الى هذه

ولسهولة الشرح نفرض أن العدسة لامة وأن الجسم ab على بعد منها أقل من بعدها البؤرى



(شكل ١٢٨)

من العدسة وبالنسبة الى انكسار الأشعة الصادرة من منتصف الجسم أى من نقطة h فان البؤرة تكون نقطة مثل $و$ أبعد قليلاً عن h وتكون البؤرة الأخرى نقطة $و$ فى الجانب الثانى

من العدسة وباعتبار أن هـ هي البؤرة يمكن إيجاد صورة نقطة ا وذلك بأن نرسم شعاعاً من ا موازياً للمحور فينفذ ماراً بنقطة هـ وآخر من ا امتداده ماراً بنقطة هـ فهذا ينفذ خارجاً من العدسة موازياً للمحور فحيث يتقابل امتداداهما تكون نقطة ا وهي صورة ا وبالمثل يمكن إيجاد هـ وهي صورة هـ باعتبار أن نقطة و هي البؤرة ويتبين من الرسم أن صورة النصف الأعلى من الجسم تضخمت وأن الصورة فضلاً عن تقوسها مشوهة واطرافها من جراء اللانقطية غير واضحة

١٥١ - تقليل أثر الزيغ الكرى في الصور التي تتكون بوساطة العدسة

ويمكن العمل على تقليل أثر الزيغ الكرى في الصور التي تتكون بوساطة العدسة اذا تذكرنا أن الحزمة الضيقة التي تسقط على العدسة سقوطاً يكاد يكون عمودياً على سطحها يكون أثر الزيغ الكرى فيها ضعيفاً ومثل هذه الحزمة يكون انحرافها عند الانكسار صغيراً . أى اذا عملنا بالعادة أن الحزمة التي يكون انحرافها صغيراً يكون تأثير الزيغ الكرى فيها صغيراً . وجعلنا انحراف الأشعة عند الانكسار صغيراً ما أمكن .

فمثلاً اذا أردنا اختيار عدسة لامة ذات بعد بؤرى معين تصلح لاستقبال الأشعة المتوازية يستحسن أن يوزع الانحراف الكلى الذى يحدث بين سطحها بالتساوى فلو كان الانحراف عند أحدهما صغيراً وأغفل تأثير الزيغ الكرى بالنسبة اليه يكون عند الآخر كبيراً فيكون تأثيره عظيماً . ولذلك تفضل في مثل هذه الحالة العدسة المحدبة المستوية على العدسة المحدبة الوجهين على شرط أن يوجه السطح المحدب للأولى لاستقبال الأشعة المتوازية الواقعة عليها لا السطح المستوى . والا كان الانحراف عند الانكسار الأول معدوماً وكان الانحراف كله عند الانكسار الثانى . ولهذا السبب تستعمل العدسة المحدبة المستوية في النظارات عند اصلاح طول النظر وتستعمل كعدسة شبيثة في التلسكوبات

١٥٢ - تقليل أثر الزيغ الكرى في عينية الميكروسكوب والتلسكوب

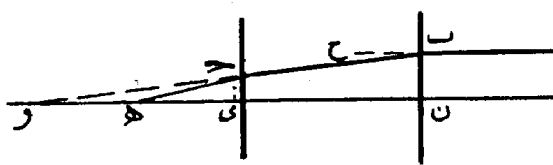
ولم نتعرض في الباب الرابع عند وصف آلات الابصار كالتلسكوب والميكروسكوب وشرح عملها الى تأثير الزيغ الكرى في الصور التي ترى بوساطتها وكيفية العمل على تقليله وهذه مسألة

جديرة بالعناية . وقد ذكرنا آنفاً أن الزيغ الكرى في شيئية التلسكوب يقل كثيراً إذا جعلت الشيئية محدبة مستوية مع توجيه سطحها المحدب نحو الجسم البعيد . غير أنه لا يمكن بمثل هذه السهولة تقليل تأثير الزيغ الكرى في العينية لأنه من اللازم أن تكون ذات بعد بؤرى قصير وأن تكون قريبة من الصورة التي تعمل هي في تكبيرها . لذلك تستبدل بالعدسة العينية المفردة قطعة مربعة تصنع من عدستين لامتين منفصلتين موضوعتين بكيفية خاصة وتسمى « القطعة العينية » وتسمى العدسة المتجهة نحو الشيئية فيها « عدسة المجال » ^(١) والعدسة الأخرى التي توضع العين بقربها وينظر فيها رأساً « عدسة العين » ^(٢) . وسنذكر فيما يلي طريقتين لتركيب القطعة العينية

١٥٣ — القطعة العينية لهيجنز

القطعة العينية المنسوبة الى هيجنز ^(٣) يتوخى في تركيبها أن يكون الانحراف الحادث في الشعاع الذي يسقط موازياً للمحور من جراء مروره في عدسة المجال مساوياً للانحراف الذي يحدث فيه بعد ذلك من جراء مروره في عدسة العين فيتوزع الانحراف الحادث بفعل القطعة المركبة بين عدستها بالتساوى

فاذا فرضنا أن ب ن (شكل ١٢٩) عدسة المجال ، ح ي عدسة العين وكان ا ب شعاعاً



(شكل ١٢٩)

ساقطاً على الاولى موازياً للمحور فانحرف

عند نفوذه فيها في استقامة ب ح ثم انحرف

عند نفوذه في الثانية في استقامة ح ه وتقابل

والمحور في نقطة ه فان

$$\angle ح ب = \angle و ح = \angle ح ي = \angle و ه$$

$$\therefore \angle ه = \angle و$$

فاذا كانت زوايا الانحراف صغيرة أمكن اعتبار ه ي مساوياً ه ح واذن تكون نقطة ه

منتصف و ي

Huygens (٣)

Eye lens (٢)

Field lens (١)

ولما كان امتداد ب > يقطع المحور في نقطة و ولما كان الشعاع ب > الواقع على العدسة > ح يمر بعد نفوذه فيها بنقطة ه فان نقطة و تكون بالنسبة الى هذه العدسة جسماً تقديرياً ونقطة ه تكون بالنسبة اليها الصورة الحقيقية . فاذا رمزنا للبعد البؤرى لهذه العدسة (وهى لامة) بالرمز u يكون

$$\frac{1}{u} - \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

حيث يلاحظ وضع الاشارات السالبة طبقاً للقاعدة
فاذا رمزنا للبعد البؤرى لعدسة المجال وهى ب ن بالرمز u وللبعد بين العدستين بالحرف و يكون

$$u - v = w$$

$$v = w + u$$

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{w} = \frac{1}{f}$$

$$u = w + f$$

$$w = u - f$$

وتكون هذه المعادلة هى المدالة على العلاقة بين البعدين البؤريين للعدستين والبعد بينهما فى قطعة هيجنز

وتجعل عادة العدستان فى قطعة هيجنز بحيث يكون البعد البؤرى u لعدسة المجال ثلاثة أمثال البعد البؤرى u لعدسة العين فيكون

$$u = 3u$$

$$w = 2u$$

فاذا رمزنا للبعد البؤرى للعدسة المكافئة للقطعة المركبة بالحرف u يكون

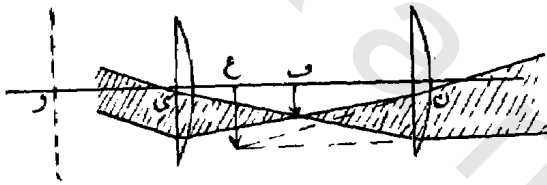
$$(\text{بند ٨٤}) \dots\dots\dots \frac{p_2}{p_3} + \frac{1}{p_2 -} + \frac{1}{p_3 -} = \frac{1}{p_2 -}$$

$$\therefore p_3 - = p_2 -$$

والإشارة السالبة تدل على أن المكافئة لامة
ويكون بعد المكافئة عن عدسة المجال هو

$$(\text{بند ٨٤}) \dots\dots\dots p_3 - = \frac{(p_2 -) \times p_3 -}{p_2 -}$$

فيكون موضع المكافئة على يسار عدسة المجال وعلى بعد $p_3 -$ منها وشكل (١٣٠) يوضح



(شكل ١٣٠)

موضع العدسة المكافئة بالنسبة الى العدستين

اللتين تتركب منهما قطعة هيجنز حيث يكون

البعد البؤرى لعدسة المجال (ن) ثلاثة أمثال

البعد البؤرى لعدسة العين (ي) والبعديينهما

ضعفه ويكون موضع المكافئة عند و (بؤرة عدسة المجال) وتكون نقطة ع وهي منتصف ن و
هي البؤرة الرئيسية الاولى بالنسبة الى العدسة المكافئة أى تبعد عنها بمقدار البعد البؤرى لها من
الجانب الواقع منه الضوء

فاذا استعملت قطعة هيجنز كقطعة عينية عملت المكافئة عملها من حيث تكبير الصورة

فاذا استبدلنا بها المكافئة وجب أن يكون موضع تكون الصورة الحادثة بفعل الشيئية في

التلسكوب أو الميكروسكوب عند نقطة ع بالنسبة الى المكافئة الموضوعة عند و . وكذلك وجب

أن يكون موضعها عند ع أيضاً بالنسبة الى العدستين ن و ي اللتين تتركب منهما قطعة هيجنز

أى أن هذه القطعة يجب أن توضع بحيث تقع الصورة التى تتكون بفعل الشيئية في الموضع

المذكور . واذن تكون هذه الصورة بمثابة جسم تقديرى لعدسة المجال واذن تحدث عدسة

المجال له صورة على بعد $p_3 -$ منها طبقاً للمعادلة

$$\frac{1}{\frac{1}{2.4} - \frac{1}{1.4}} = \frac{1}{\frac{1}{2.3}}$$

واذن $\frac{1}{2.4} = \frac{1}{2.3}$

أى أن الصورة التى تحدثها عدسة المجال تكون عند ف منتصف البعد بين العدستين واذن تكون على بعد من عدسة العين يساوى بعدها البؤرى فهذه الصورة اذا نظر اليها خلال عدسة العين فان هذه العدسة تكبرها وتتكون الصورة النهائية التى ترى بواسطة القطعة العينية المركبة وما سبق يتبين أن الصورة التى تحدثها الشيئية يكون بعدها عن عدسة المجال سالباً ولذلك تسمى قطعة هيجنز «القطعة السالبة»

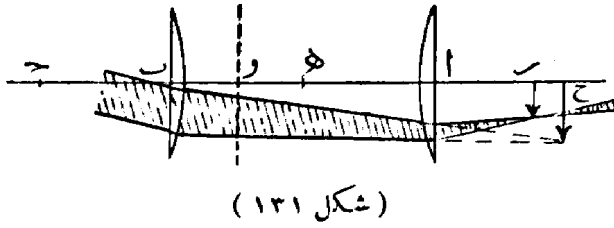
واذا أريد وضع خططين متقاطعين فى القطعة العينية كما هو المتبع عادة فى الأجهزة التى تستعمل للقياس لزم أن يوضعا عند منتصف البعد بين العدستين حتى تظهر صورتاهما منطبقة على الصورة النهائية التى ترى بواسطة الجهاز كذلك اذا أريد وضع مقياس دقيق لقياس الأبعاد كما هو الحال فى بعض الاجهزة وجب أن يوضع هو أيضاً عند منتصف البعد بين العدستين ولكن فى هذه الحالة يرى المقياس خلال عدسة العين على حداثها ويكون موضعه بالقرب منها فلا تخلو صورته من التشوه ولا يكون اذن صالحاً معتمداً عليه

وتصنع كل من عدستى قطعة هيجنز من عدسة محدبة مستوية يوجه سطحها المحدب نحو الشيئية كما هو مبين بشكل (١٣٠) بحيث يقع الضوء على السطح المحدب فى كل وذلك عملاً فى تقليل أثر الزيغ الكرى فى كل واحدة منهما على حداثها ومبين بشكل (١٣٠) مسير حزمة خلال العدستين ومنه يتضح أن الوضع المذكور ادعى الى جعل انحراف الأشعة عند نفوذها فى كل عدسة موزعاً بالتساوى بين الانكسار الحادث عند أحد سطحيها وبين الانكسار الحادث عند الآخر

١٥٤ — القطعة العينية لرمزدن

وتتركب قطعة رمزدن^(١) من عدستين لامتئين البعد البؤرى لهما واحد والبعد بينهما مساو

ثلاثي البعد البؤري لاحدهما . فاذا رمزنا للبعد البؤري للواحدة بالرمز u , وللبعد البؤري للمكافئة بالحرف v فان



$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

$$v = f - u$$

والإشارة السالبة تدل على أن المكافئة لامة . وبعد المكافئة عن عدسة المجال يكون

$$v = \frac{(f - u) \times f}{u}$$

فاذا فرضنا أن عدسة المجال هي a (شكل ١٣١) وعدسة العين هي b ونقطة c بؤرة الأولى ونقطة h منتصف ما بين العدستين فان موضع المكافئة يكون عند h منتصف h وبؤرتها الرئيسية الاولى تكون نقطة r بحيث يكون البعد or مساوياً $\frac{1}{2} a$ أو يكون a مساوياً $\frac{1}{2} r$

ويتضح كما سبق في الحالة الاولى أن نقطة r هي موضع تكون الصورة التي تحدثها الشيئية وهذه الصورة تعد جسماً حقيقياً بالنسبة الى عدسة المجال وبعده عنها مقدار موجب لذلك تسمى قطعة رمزاً أحياناً « قطعة موجبة » وتكون نقطة r هي موضع الخيطين المتقاطعين أو المقياس وهذا يرى اذن خلال العدستين فلا يكون مشوهاً كما في قطعة هيجنز

وبما أن الصورة الحقيقية التي تتكون بفعل الشيئية ويكون موضعها عند r تعتبر جسماً حقيقياً بالنسبة الى عدسة المجال فان هذه العدسة تحدث لهذا الجسم صورة يقدر بعدها عنها من المعادلة

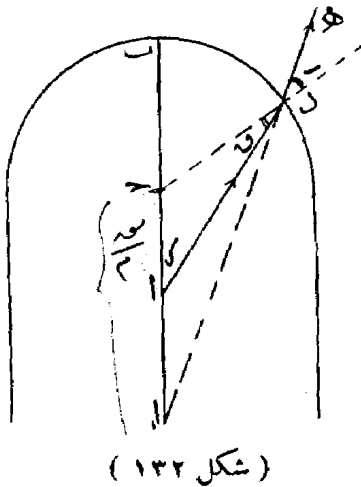
$$\frac{1}{u} - \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

واذن يكون بعدها v مساوياً $\frac{1}{2} r$ فهي صورة تقديرية تحدث عند h كما هو مبين

بالشكل ولذلك تنفذ الأشعة من عدسة المجال كأنها صادرة من هذه الصورة وبما أن بعد هذه الصورة عن عدسة العين يساوى البعد البؤرى فإن الأشعة تنفذ بعد ذلك من عدسة العين متوازية وموضح بالشكل مسير حزمة خلال العدستين ويتبين منه أن جعل كلا من العدستين محدبة مستوية وجعل السطح المستوى لعدسة المجال متجهاً نحو الشيئية والسطح المحدب لعدسة العين متجهاً نحو عدسة المجال كما هو مبين بالشكل ادعى إلى أن يكون انحراف الأشعة خلال كل عدسة على حدها موزعاً بالتساوى بين الانكسارين عند سطحها . وهذا ادعى إلى تقليل تأثير الزيغ في كل عدسة على انفراد . ولهذا السبب تصنع كل من عدستى قطعة رمز دن محدبة مستوية وتركبان بالكيفية المبينة بالشكل

١٥٥ - السطح الذى لا زيغ له

لنفرض أن كتلة سميكة من الزجاج مثلاً محدودة بـ سطح كرى محدب مركز تكوره نقطة > (شكل ١٣٢) ولنرمز لنصف قطر تكور السطح بالرمز > ولعامل انكسار الضوء من الهواء إلى مادة العدسة بالحرف > ولناخذ نقطة مثل > على امتداد المحور > بحيث يكون بعدها عن المركز وهو > مساوياً >



(شكل ١٣٢)

فاذا رسمنا من > شعاعاً ساقطاً مثل > ورسمنا مسيره بعد الانكسار إلى الخارج وليكن > وتمدنا > على استقامته ليقطع المحور في نقطة > ثم رمزنا لزاوية السقوط بالحرف > ولزاوية الانكسار بالحرف > يكون في المثلث >

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{OA}{OB} = \frac{R}{AB}$$

$$\therefore \sin \alpha = \sin \beta \cdot \frac{R}{AB}$$

$$\text{ولكن } \sin \beta = \sin \alpha + \alpha \cdot \sin \alpha = \sin \alpha + \alpha \cdot \frac{R}{AB}$$

$$\sin \alpha + \alpha \cdot \frac{R}{AB} = \sin \alpha + \alpha \cdot \frac{R}{AB} = \sin \alpha + \alpha \cdot \frac{R}{AB}$$

$$\therefore \sin \alpha = \sin \beta \cdot \frac{R}{AB}$$

واذن في المثلث $\triangle a$ يكون

$$r = \frac{a}{d} = \frac{a}{c}$$

$$\therefore \triangle a = r = d = c$$

ومن هذا يتضح انه اذا كانت a نقطة مضيئة فان الأشعة متى تقع منها على السطح الكرى تنكسر خارجة كأنها صادرة من نقطة ثابتة على المحور تبعد عن المركز بمقدار r فلا يكون الانكسار الحادث مصحوباً بزيغ ما. ويسمى السطح الكرى في هذه الحالة (حيث تكون النقطة المضيئة على المحور وعلى بعد يساوى r من المركز كما هو مبين بالشكل) « سطحاً لا زيغ له » (١) وتسمى نقطتا a و a' « بؤرتين لا زيغ فيهما » (٢)

١٥٦ — العدسة التي لا زيغ لها واستعمالها في شبيثة الميكروسكوب

ويلاحظ في الميكروسكوب أن صورة الجسم الصغير تكبر أضعافاً مضاعفة فلكى يتيسر رؤية الصورة المكبرة بوضوح وجب أن تكون استضاءتها كبيرة ولكى تقع على العدسة الشبيثة كمية كبيرة من الضوء وجب أن يكون الجسم قريباً جداً من العدسة ولكن وضع الجسم قريباً جداً من العدسة يجعل تأثير الزيغ كبيراً. ولملافاة هذا تطبق فكرة السطح الذى لا زيغ له. فتستخدم في شبيثة الميكروسكوب عدسة b (شكل ١٣٣) على هيئة نصف كرة سطحها الاسفل مستوى ويوضع الجسم الصغير عند a ويغطى بالغطاء الزجاجى كالمعتاد. ويوضع فوق الغطاء قطرة من زيت معامل انكسار الضوء فيه كمعامل انكساره في الزجاج، ثم تقرب العدسة حتى يلمس سطحها المستوى قطرة الزيت فتكون طبقة زيتية بين الغطاء و سطح العدسة. ويمكن اذن اعتبار الجسم الصغير a كأنه موضوع في داخل كتلة من الزجاج. فاذا كان على المحور وبعده عن مركز تكور السطح الأعلى للعدسة b يساوى r فان جميع الاشعة المنكسرة عند السطح الكرى تكون كأنها صادرة من a حيث يكون a ،

$$\frac{\frac{1+f}{2}}{\frac{1-f}{2}} = m$$

فاذا كانت زاوية المنشور صغيرة أمكن اعتبار

$$\frac{1+f}{1} = m$$

$$\therefore f = (1-m)(1) \dots\dots (1)$$

ولما كان انحراف الأشعة عند نفوذها من المنشور وكذلك معامل انكسارها يختلفان تبعاً لاختلاف ألوانها نرى بالرمز للنهاية الصغرى لزاوية انحراف الأشعة الحمراء بالرمز f_r ولها لانحراف الأشعة البنفسجية مثلاً بالرمز f_v ولعامل انكسار الأولى بالرمز m_r ولعامل انكسار الثانية بالرمز m_v أن

$$f_r = (1 - m_r)(1)$$

$$f_v = (1 - m_v)(1)$$

$$\therefore f_v - f_r = (m_r - m_v)(1) \dots\dots (2)$$

فاذا جعلنا الحرف f رمزاً للنهاية الصغرى لزاوية انحراف أشعة متوسطة بين الطرفين الأحمر والطرف البنفسجي من الطيف والحرف m رمزاً لمعامل انكسار هذه الأشعة ينتج من التعويض في المعادلة (٢) عن قيمتها من المعادلة (١) أن

$$f_v - f_r = \frac{f}{1-m} (m_r - m_v)$$

$$\therefore \frac{f_v - f_r}{f} = \frac{m_r - m_v}{1-m}$$

ويسمى الطرف الايسر من هذه المعادلة شدة تشتت الضوء في مادة المنشور أو شدة تشتت^(١) مادة المنشور للضوء

١٥٨ - المنشور الحارف غير المشتت والمنشور المشتت غير الحارف

إذا أخذ منشوران زاويتاهما صغيرتان ومصنوعان من نوعين مختلفين من الزجاج كالزجاج الصخري^(٢) والزجاج التاجي^(٣) مثلاً حيث يكون الانحراف ومعامل الانكسار فيهما مختلفين نرى باستعمال الرموز السابقة لاحدهما والرموز نفسها مشرطة للآخر أن

$$f - f_e = (m - m_e) i$$

$$f_e - f = (m_e - m) i$$

فاذا وضع المنشوران متلاصقين بحيث يكون الحرف الحارف لاحدهما متجهاً في عكس اتجاه الحرف الحارف للآخر (كما هو مبين بشكل ١٣٤) وعدلت زاويتي المنشورين بحيث يصير

$$(m - m_e) i = (m_e - m) i \dots \dots (١)$$

فان النشئت الحادث بفعل أحد المنشورين يبطله فعل الآخر واذن ينفذ الشعاع من الضوء



الأيض في المنشورين ويكاد لا يتشتت ويسمى المنشور المركب من المنشورين منشوراً غير مشتت أو منشوراً لالوياً^(٤)

أما اذا عدلت زاويتي المنشور بحيث يكون

$$(m - m_e) i = (m_e - m) i \dots \dots (٢)$$

ووضع المنشوران بالكيفية المذكورة فان شعاع الضوء الايض ينفذ خلالها ويكاد لا

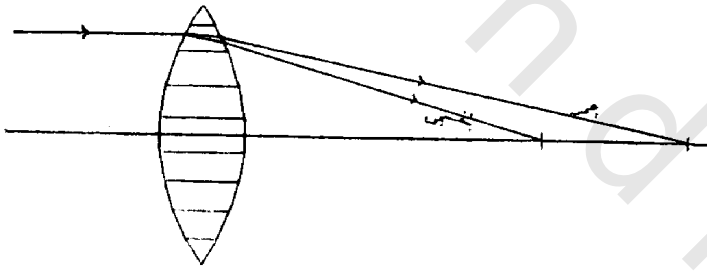
ينحرف ويسمى المنشور المركب في هذه الحالة منشوراً غير حارف . ولكن نظراً لأن شرط عدم التشتت لا يستلزم شرط عدم الحرف وشرط عدم الحرف لا يستلزم شرط عدم التشتت فان المنشور المركب عند توافر شرط المعادلة (١) يسمى منشوراً حارفاً غير مشتت والمنشور المركب عند توافر شرط المعادلة (٢) يسمى منشوراً مشتتاً غير حارف . واذا استعمل الأخير وأنفذ فيه شعاع من

الضوء الأبيض يتكون طيف ولكنه أوبالأحرى الجزء المتوسط فيه يكون على امتداد الشعاع الأبيض الساقط على المنشور

وكثيراً ما تستخدم منشورات مرآة تحدث تشتتاً من غير انحراف في نوع من السبكتروسكوب يسمى السبكتروسكوب ذا الرؤية المستقيمة^(١) يكون على هيئة أنبوبة مستقيمة ويوجه رأساً الى اللهب أو مصدر الضوء الذي يراد اختبار طيفه ويمتاز في ذلك عن السبكتروسكوب المعتاد وكثيراً ما يستعمل في الكشف الكيميائي

١٥٩ - الزيغ اللوني في العدسات

العدسة يمكن اعتبارها مركبة من أجزاء كما هو موضح بشكل (١٣٥) يعتبر كل جزء منها بمثابة منشور أو جزء من منشور اذا سقط عليه شعاع من الضوء الأبيض عانى انحرافاً وتشتتاً فاذا وقعت على العدسة حزمة من الأشعة البيضاء المتوازية فانها عند نفوذها من العدسة



(شكل ١٣٥)

لا تمر هي (في العدسة اللامعة) أو امتداداتها (في العدسة المفرقة) بنقطة واحدة تعتبر البؤرة بل تكون هناك بؤرة لكل لون من الأشعة ويكون

موضع تقابل الأشعة الحمراء أبعد عن العدسة من موضع تقابل البنفسجية ويسمى البعد بين موضع البؤرة الحمراء وموضع البؤرة البنفسجية « الزيغ اللوني »^(٢)

وحدوث هذا في العدسة يترتب عليه أن صورة الجسم الأبيض التي تتكون بفعل العدسة لا تكون واضحة اذ تكون حدودها عادة ملونة بالوان الطيف

وقد سبق في بند (٧٤) أن المعادلة الدالة على علاقة البعد البؤري للعدسة بنصف قطري

تكرر سطحها ومعامل انكسار الضوء فيها هي

$$(1) \dots \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\sigma} \right) (1 - m) = \frac{1}{l}$$

فهذه المعادلة لا تنطبق الا على نوع معين من الأشعة ذى لون خاص فاذا رمزنا للبعد البؤرى بالنسبة الى الأشعة البنفسجية بالرمز l وله بالنسبة الى الحمراء بالرمز l' ولعامل انكسار الاولى بالرمز m ولعامل انكسار الثانية بالرمز m' يكون

$$\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\sigma} \right) (1 - m) = \frac{1}{l}$$

$$\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\sigma} \right) (1 - m') = \frac{1}{l'} \quad 6$$

$$(2) \dots \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\sigma} \right) (m - m') = \frac{1}{l} - \frac{1}{l'} \quad \therefore$$

واذا جعلنا حرف l رمزاً للبعد البؤرى بالنسبة الى أشعة متوسطة بين الاحمر والبنفسجى وحرف m رمزاً لمعامل انكسارها وعوضنا عن $\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\sigma} \right)$ فى المعادلة (٢) قيمتها من المعادلة (١) ينتج أن

$$\frac{1}{l} \cdot \frac{m - m'}{1 - m} = \frac{l' - l}{l \cdot l'}$$

وبما أن l مقدار وسط بين l و l' أمكن بالتقريب اعتبار

$$l = l'$$

واذن يكون

$$\frac{m - m'}{1 - m} = \frac{l' - l}{l}$$

ويساوى هذا شدة تشتت الضوء فى مادة العدسة

١٦٠ - العدسة اللالونية

وإذا كانت هناك عدستان من نوعين مختلفين من الزجاج ورمزنا للبعاير الخاصة بأحدهما بالرموز السابقة • للآخرى بالرموز نفسها مشرطة . وجعلنا من العدستين وهما متلامستان عدسة مفردة مركبة ورمزنا للبعد البؤرى للمركبة بالنسبة الى الأشعة البنفسجية بالرمز $ل$ وله للحمراء بالرمز $ل$ يكون

$$\left(\frac{1}{ل} - \frac{1}{ل}\right)(1 - م) + \left(\frac{1}{ل} - \frac{1}{ل}\right)(1 - م) = \frac{1}{ل} + \frac{1}{ل} = \frac{1}{ل}$$

$$\left(\frac{1}{ل} - \frac{1}{ل}\right)(1 - م) + \left(\frac{1}{ل} - \frac{1}{ل}\right)(1 - م) = \frac{1}{ل} + \frac{1}{ل} = \frac{1}{ل} \quad ٦$$

فاذا أريد تلافى الزيغ اللوني في العدسة المركبة كان حتماً أن يكون

$$\frac{1}{ل} = \frac{1}{ل} \quad \text{أو} \quad \frac{1}{ل} - \frac{1}{ل} = \text{صفرًا}$$

$$\text{واذن} \quad (1 - م) \left(\frac{1}{ل} - \frac{1}{ل}\right) + (1 - م) \left(\frac{1}{ل} - \frac{1}{ل}\right) = \text{صفرًا}$$

وإذا جعلنا الحرف $ل$ رمزاً للبعد البؤرى للعدسة الاولى بالنسبة الى أشعة متوسطة بين الأحمر والبنفسجي والرمز $ل$ رمزاً للبعد البؤرى للثانية بالنسبة الى مثلها من الأشعة وكذلك جعلنا الحرف $م$ رمزاً لمعامل انكسار هذه الأشعة في الأولى والرمز $م$ له في الثانية يكون

$$\text{صفرًا} \dots (1) = \frac{1}{ل} \cdot \frac{م - م}{1 - م} + \frac{1}{ل} \cdot \frac{م - م}{1 - م}$$

أى أنه يجب لتلافى الزيغ اللوني في العدسة المركبة أن يكون خارج قسمة شدة تشتت الضوء

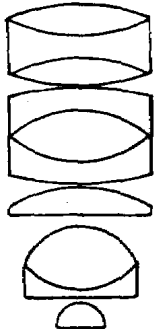
فى احدى العدستين على بعدها البؤرى مضافاً الى خارج قسمة شدة تشتته فى الثانية على بعدها البؤرى مساوياً صفرأ

ولما كانت شدة تشتت الضوء فى أى العدستين مقداراً موجباً يتضح من هذا أن احدهما تكون لامة والاخرى تكون مفرقة

والمعادلة (١) تنص على الشرط الذى يجب توافره لى تكون العدسة المركبة لالونية فاذا أريد أن يكون للعدسة المركبة اللالونية بعد بؤرى معين ورمزنا له بالحرف l وجب أن يتحقق أيضاً شرط المعادلة

$$\frac{1}{l} + \frac{1}{l} = \frac{1}{l} \dots\dots (٢)$$

وتطبق الفكرة السابقة لتتلافى الزيغ اللوى فى شبيئة التلسكوب فتصنع الشبيئة قطعة مركبة



(شكل ١٣٦)

من عدسة لامة من الزجاج التاجى وأخرى مفرقة من الزجاج الصخرى . وكذلك يتلافى أيضاً الزيغ اللوى فى عدسة آلة التصوير الفتوغرافى . أما شبيئة الميكروسكوب فتضع عادة من قطعة مركبة من عدة عدسات . وشكل (١٣٦) يوضح نقلاً عن كتاب « ادسر » ^(١) شبيئة ميكروسكوب صنعت فيها العدسات اللامة من أنواع مختلفة من الزجاج التاجى والعدسات المفرقة من أنواع مختلفة من الزجاج الصخرى

١٦١ - الزيغ اللوى فى القطعة العينية

أوضحنا فيما سبق كيف يتلافى الزيغ اللوى فى القطعة المركبة من عدستين متلاصقتين غير أن القطعة العينية سواء أ كانت قطعة هيجنز أم قطعة رمزدن تتركب من عدستين من نوع واحد من الزجاج بينهما مسافة معينة . وسنبحث هنا فى كيفية ملافاة الزيغ اللوى الى حد ما فى هذه القطعة

فاذا رمزنا للبعد البؤرى لاحدى العدستين بالحرف ل وللآخرى بالرمز ل' وللبعد بينهما بالحرف س وللبعد البؤرى للكافئة بالحرف ل فان

$$\frac{s}{l} + \frac{1}{l} + \frac{1}{l'} = \frac{1}{l}$$

ولما كان البعد البؤرى بالنسبة الى الأشعة الحمراء غيره بالنسبة الى البنفسجية مثلاً فلنجعل المقادير المذكورة منسوبة الى نوع من الاشعة متوسط بين الاحمر والبنفسجى ولنرمز لمعامل انكساره بالحرف م ولنرمز للبعد البؤرى للعدسة الاولى بالنسبة الى الأشعة البنفسجية بالرمز ل' وللثانية بالنسبة الى البنفسجية أيضاً بالرمز ل' ولمعامل انكسار هذه الأشعة بالرمز م' ولنصنف قطرى سطحى العدسة الاولى بالرمزين س_١ و س_٢ وبهما مشرطين لنصنف قطرى سطحى الثانية فيكون

$$\left[\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2} \right] (1 - m) = \frac{1}{l}$$

$$\left[\frac{1}{s_1'} - \frac{1}{s_2'} \right] (1 - m') = \frac{1}{l'}$$

فاذا رمزنا للبعد البؤرى للكافئة بالنسبة الى الاشعة البنفسجية بالرمز ل' فان

$$\frac{s}{l} + \frac{1}{l} + \frac{1}{l'} = \frac{1}{l}$$

$$\left[\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2} \right] (1 - m) + \left[\frac{1}{s_1'} - \frac{1}{s_2'} \right] (1 - m') = \frac{1}{l} \quad \text{واذن}$$

$$+ s(1 - m) \left[\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2} \right] \left[\frac{1}{s_1'} - \frac{1}{s_2'} \right] \dots \dots (١)$$

$$\left[\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2} \right] (1 - m) = \frac{1}{l} \quad \text{وبما أن}$$

$$6 \quad \left[\frac{1}{s} - \frac{1}{s} \right] (1 - m) = \frac{1}{L}$$

ينتج بالتعويض في المعادلة (١) أن

$$\frac{s}{L} \left[\frac{1-m}{1-m} \right] + \frac{1}{L} \frac{1-m}{1-m} + \frac{1}{L} \frac{1-m}{1-m} = \frac{1}{L}$$

وبالمثل إذا رمزنا للبعد البؤرى المكافئة بالنسبة الى الاشعة الحمراء بالرمز L_e ولمعامل انكسار هذه الاشعة بالرمز m_e يمكن لثبات أن

$$\frac{s}{L_e} \left[\frac{1-m_e}{1-m_e} \right] + \frac{1}{L_e} \frac{1-m_e}{1-m_e} + \frac{1}{L_e} \frac{1-m_e}{1-m_e} = \frac{1}{L_e}$$

فاذا أريد أن يكون البعد البؤرى للمكافئة بالنسبة الى الاشعة الحمراء مثله بالنسبة الى الاشعة البنفسجية وجب أن يكون

$$\frac{1}{L_e} = \frac{1}{L} \quad \text{أو} \quad \frac{1}{L_e} = \frac{1}{L} \quad \text{صفرأ}$$

$$\text{واذن} \quad \text{صفرأ} = \frac{s}{L} \frac{(1-m_e) - (1-m)}{(1-m)} + \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{L} \right] \frac{m-m_e}{1-m}$$

$$\text{أى أن} \quad \text{صفرأ} = \frac{s}{L} \frac{(2-m_e+m)(m-m_e)}{(1-m)} + \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{L} \right] \frac{m-m_e}{1-m}$$

$$\text{أى أن} \quad \text{صفرأ} = \frac{s}{L} \cdot \frac{2-m_e+m}{1-m} + \frac{1}{L} + \frac{1}{L}$$

فاذا اعتبرنا $m_e + m = 2$ وهو اعتبار لا يختلف كثيراً عن الواقع تأخذ المعادلة السابقة الصورة الآتية

$$\text{صفراً} = \frac{١}{ل} + \frac{١}{ل} + \frac{١}{ل}$$

$$\text{أو } ل + ل + ل = ١ \text{ صفراً}$$

وشرط المعادلة الأخيرة ينطبق في قطعة هيجنز لأن فيها عدسة المجال بعدها البؤرى ثلاثة أمثال البعد البؤرى لعدسة العين والبعد بين العدستين يساوى ضعف البعد البؤرى لعدسة العين ولكن هذا الشرط لا ينطبق في قطعة رمزدن

ومن اللازم الاشارة هنا الى أن القول بأن توافر الشرط المذكور يجعل القطعة لالونية ليس صحيحاً على الاطلاق فان كان البعد البؤرى للمكافئة واحداً بالنسبة الى الأشعة الحمراء أو البنفسجية مثلاً ورمزنا للبعد البؤرى هذا بالحرف ل فان بعد موضع المكافئة عن العدسة الاولى يكون كما اتضح في بند (٨٤)

$$\frac{ل}{ل}$$

باعتبار أن ل البعد البؤرى للعدسة الثانية

فبالنسبة الى الأشعة الحمراء يلزم أن يكون بعدها هذا مساوياً $\frac{ل}{ل}$

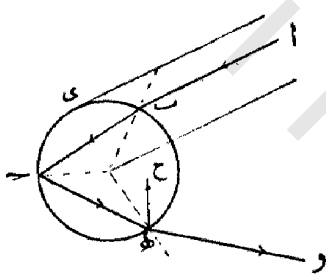
وبالنسبة الى البنفسجية يلزم أن يكون $\frac{ل}{ل}$

وبما أن العدسة الثانية على حدها ليست لالونية فان موضع المكافئة يختلف تبعاً لاختلاف لون الأشعة . فاذا كان الجسم الذى يرى بوساطة القطعة أبيض أو لالونياً فلكى تقوم المكافئة بعملها وجب أن توضع فى موضع بالنسبة الى الأشعة الحمراء وفى موضع آخر بالنسبة الى البنفسجية وهكذا وثبت موضعها يترتب عليه أن التكبير لا يكون واحداً فى الصور ذات الالوان المختلفة فلا تتطابق بالتمام

قوس قزح

١٦٢ - القوس الابتدائية

قوس قزح ظاهرة تحدث عند وقوع أشعة الشمس على قطرات الماء الصغيرة التي تكون موجودة في الجو عند سقوط الأمطار ثم خروج الأشعة منها إلى عين الرائي بعد أن تكون قد عانت انعكاساً داخلياً واحداً أو أكثر. وسنذكر هنا في شرح هذه الظاهرة بيان السبب في ظهور القوس وفي ظهور الألوان وفي تكون القوسين اللتين يمكن في بعض الأحيان رؤيتهما بوضوح



(شكل ١٦٧)

لنفرض أن ا ب شكل (١٦٧) شعاع من ضوء الشمس يقع على قطيرة كرية صغيرة من الماء ولنفرض أن مسيره عند الانكسار داخل القطيرة هو ب ح وأنه ينعكس جزء من الضوء عند ح في اتجاه ح هـ ثم ينفذ جزء خارجاً من القطيرة في استقامة هـ و وينعكس جزء في استقامة هـ ح وهكذا

فاذا رمزنا لزواوية السقوط عند ب بالحرف θ ولزواوية الانكسار بالحرف ν تكون زاوية الانحراف الذي يعانيه الشعاع المنكسر ب ح بالنسبة إلى ا ب هي $\theta - \nu$ في عكس اتجاه حركة عقرب الساعة ثم يعاني الشعاع ح هـ بالنسبة إلى ب ح انحرافاً في الاتجاه نفسه قدره $\theta - \nu$ ويحدث مثل هذا الانحراف في كل مرة ينعكس فيها الشعاع انعكاساً داخلياً فاذا راعينا حالة الانعكاس الداخلي الواحد فإن الشعاع هـ وعند خروجه من القطيرة ينحرف عن مسيره ح هـ بمقدار $\theta - \nu$ وفي عكس اتجاه حركة عقرب الساعة فيكون انحراف الشعاع الذي يخرج من القطيرة بعد انعكاس داخلي واحد هو

$$\theta - \nu + \theta - \nu + \theta - \nu + \theta - \nu$$

واذا رمزنا بالحرف ϵ لزواوية انحراف الشعاع الذي يخرج من القطيرة بعد أن يعاني عدداً من الانعكاسات الداخلية نرمز له بالحرف ϵ يكون

$$\theta - \nu + (\theta - \nu) \epsilon + \theta - \nu = \theta$$

$$\therefore 0 = 2(u - v) + \epsilon(2 - u)$$

وقيمة زاوية الانحراف u مرتبطة بقيمة زاوية السقوط v فهي تتغير تبعاً لها . فإذا قدرنا

تفاضل u بالنسبة الى v يكون

$$\frac{du}{dv} = \frac{2}{2 - u} - \frac{2}{2 - v} = \frac{2}{2 - u} - \frac{2}{2 - v}$$

وهذا المقدار يساوى صفرأ اذا بلغ الانحراف u نهايته الصغرى (أو العظمى) واذن عند هذه

النهاية يكون

$$1 - \frac{2}{2 - u} = 0 \quad \text{صفرأ}$$

$$\therefore u = 2(1 + \epsilon) \quad (1) \dots\dots\dots$$

ولايجاد قيمة زاوية السقوط في هذه الحالة فأن

$$(2) \dots\dots\dots \text{حان} = m \text{ حان}$$

$$(3) \dots\dots\dots \text{حتان} = u \text{ و } m \text{ حتان و } v \dots\dots\dots$$

وبالتعويض من (١) ينتج أن

$$(4) \dots\dots\dots (1 + \epsilon) \text{ حتان} = m \text{ حتان} \dots\dots\dots$$

$$\therefore (1 + \epsilon) \text{ حتان} = m \text{ حتان} = \sqrt{m^2 - 1} \dots\dots\dots$$

$$\sqrt{m^2 - 1} = \sqrt{m^2 - 2m + 1} = \sqrt{m^2 - 2m + 1}$$

$$\therefore (1 + \epsilon)^2 \text{ حتان}^2 = m^2 - 2m + 1 \dots\dots\dots$$

$$\therefore \epsilon^2 \text{ حتان}^2 + 2\epsilon \text{ حتان} + 1 = m^2 - 2m + 1 \dots\dots\dots$$

$$\therefore \dots\dots\dots \sqrt{\frac{1 - m^2}{\epsilon^2 + 2\epsilon}} = \text{حتان} \quad (5) \dots\dots\dots$$

ويمكن تعيين ما اذا كانت النهاية نهاية صغرى أو عظمى بالطريقة المعتادة . فالتفاضل الثانى

لزاوية الانحراف هو

$$(6) \dots\dots\dots \frac{d^2 u}{dv^2} = \frac{2}{2 - u} - \frac{2}{2 - v} \dots\dots\dots$$

ومن المعادلة (٣) يتضح أن

$$\frac{\text{حتا}}{\text{م حتا}} = \frac{\text{و}}{\text{و}}$$

$$\frac{\text{حتا حار} - \text{حا حتا}}{\text{م حتا}^2} = \frac{\text{و}^2}{\text{و}}$$

$$\frac{\text{حتا حار} - \text{حا حتا}}{\text{م حتا}^2} (1 + \epsilon) = \frac{\text{و}^2}{\text{و}}$$

فاذا عوضنا في هذه المعادلة بدلا من زاوية ϵ قيمتها بالنسبة الى ϵ من المعادلتين (٢) و (٤) يتضح أن التفاضل الثاني هذا موجب واذن تكون النهاية نهاية صغرى فتكون قيمة ϵ في المعادلة (٥) هي قيمة زاوية السقوط عند ما تكون زاوية الانحراف عند نهايتها الصغرى ومن هذه المعادلة يمكن استخراج القيمة العددية لزاوية السقوط وشم القيمة العددية لزاويتي الانكسار والانحراف وذلك بالتعويض عن ϵ و ϵ قيمتهما

فاذا راعينا الحالة التي يعاني فيها الشعاع الخارج من القطرة انعكاساً داخلياً واحداً حيث يكون $\epsilon = 1$ واعتبرنا ϵ مساوية $\frac{1}{3}$ فإن

$$\text{و} = 59,4^\circ \text{ بالتقريب}$$

$$\text{و} = 40,2^\circ$$

$$\text{و} = 138^\circ$$

أى أن زاوية الانحراف الصغرى للشعاع الذى يخرج من القطرة بعد أن ينعكس انعكاساً داخلياً واحداً هي 138° . فاذا وقعت على القطرة حزمة من الاشعة المتوازية كالحزمة المحدودة بالمماس المرسوم عند γ (شكل ١٣٧) والمستقيم الموازى له المار بمركز القطيرة فان كل شعاع منها يقع على سطح القطيرة بزاوية سقوط تختلف عن زاوية سقوط الآخر . واذن تكون لكل شعاع منها يخرج من القطيرة بعد انعكاس واحد زاوية انحراف معينة تختلف عن

فاذا فرضنا أن أشعة الشمس تسقط كما هو مبين بشكل (١٣٨) وفرضنا أن اقطيرة ينحرف الشعاع النافذ منها بعد أن يعاني انعكاساً داخلياً واحداً الى العين عند بحيث يكون انحرافه مساوياً

(شکل ۱۳۸)

ولكن القطيرات التي تكون مثل a وينطبق عليها ما قيل بشأن هذه، تقع في الفراغ على سطح مخروط محوره b مواز لأشعة الشمس والزاوية بين محوره وحرفه b أي نصف زاوية رأسه تساوي 42° ومن جراء هذا يرى الرائي في السماء قوساً دائرية مضيئة بشدة خارجها ظلام وداخلها فيه ضياء ضعيف

(١) من المعلوم أن المقادير الجبرية عند النهايتين الصغرى أو الكبرى أو حواليهما تكون ثابتة

وقد تغاضينا في كل ما ذكر عن أن نفوذ الضوء من القطيرات مصحوب بتشتته فإن معامل انكسار الضوء في الماء يختلف تبعاً لاختلاف لون الأشعة فهو للأشعة الحمراء $1,329$ وللبنفسجية $1,343$ وأذن تكون النهاية الصغرى لانحراف الأشعة الحمراء غيرها لانحراف البنفسجية أو غيرها من الأشعة. ويمكن بالتعويض في معادلة (٥) عن م قيمتها للحمراء ثم قيمتها للبنفسجية مع اعتبار $\epsilon = 1$ بيان أن النهاية الصغرى لزاوية انحراف الأشعة الحمراء تساوي $137,2^\circ$ وهي للبنفسجية $139,2^\circ$. وأذن يكون نصف زاوية رأس مخروط الأشعة الحمراء $42,8^\circ$ ونصف زاوية مخروط البنفسجية $40,8^\circ$ ومن جراء هذا لا ترى القوس بيضاء بل ترى أقواس متحدة المركز ملونة بألوان الطيف بترتيبها المعتاد وتكون الخارجية منها حمراء والداخلية بنفسجية

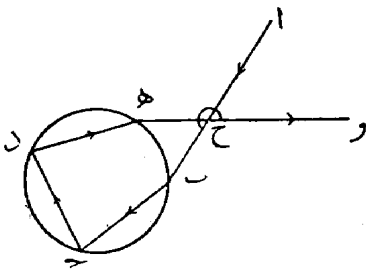
١٦٣ - القوس الثانوية

راعينا في الشرح السابق الأشعة التي تنفذ من القطيرة الواحدة بعد أن تعاني انعكاساً داخلياً واحداً ويمكن من المعادلة (٥) باعتبار أن $\epsilon = 2$ و $\delta = 2$ تقدير قيمة كل من زاوية السقوط والانكسار والانحراف حيث تكون قيمة الزاوية الأخيرة هي النهاية الصغرى لزاوية الانحراف عند ما يعاني الشعاع انعكاسين داخليين قبل خروجه من القطيرة وتكون زاوية السقوط في هذه الحالة 72° بالتقريب

وزاوية الانكسار $50,5^\circ$

والنهاية الصغرى لزاوية الانحراف 231°

وموضح بشكل (١٣٩) مسير شعاع يعاني قبل خروجه من القطيرة انعكاسين داخليين فإذا مثل الشكل حالة ما يكون الانحراف أصغره فإن زاوية 231° هي الواقعة بين الشعاع ا ب والشعاع ه و مقيسة في اتجاه حركة عقرب الساعة فتكون الزاوية ب ح و مساوية $360 - 231 = 129^\circ$ وأذن تكون نصف زاوية رأس المخروط $180 - 129 = 51^\circ$ فتكون قوس ثانية تسمى



(شكل ١٣٩)

للتمييز بينها وبين الاولى القوس الثانوية وتسمى الاولى القوس الابتدائية وبما أن نصف زاوية رأس المخروط في حالة الثانوية ٥١° وفي حالة الابتدائية ٤٢° فإن الثانوية تكون خارج الابتدائية ويتضح من شكل (١٣٩) على فرض أن هـ و هو مسير الشعاع الذى يعانى أقل انحراف أن الأشعة الأخرى التى تنفذ من القطيرة بعد انعكاسين داخليين تكون فيها زاوية ب ح و أقل من ١٢٩° فإذا فرضنا أن القطيرة د (شكل ١٣٨) هى التى ترسل الى العين عند ب شعاعاً يعانى أقل انحراف فى حالة الانعكاسين الداخليين فإن القطيرات التى تحت د رأسياً لا يمكن أن ترسل الى العين أشعة تعانى انعكاسين داخليين ولذلك يكون ما بين القوسين الابتدائية والثانوية مظلاً

ويمكن تقدير النهاية الصغرى لانحراف الأشعة الحمراء والنهاية الصغرى لانحراف الأشعة البنفسجية واستخراج نصف زاوية رأس مخروط لكل منهما حيث يوجد أن القوس الثانوية تكون حمراء من الداخل وبنفسجية من الخارج . ويمكن الوصول الى هذه النتيجة بالاستعانة بشكل (١٣٩) فإذا فرضنا أن انحراف هـ و (فى اتجاه حركة عقرب الساعة) بالنسبة الى ا ب يمثل النهاية الصغرى لانحراف الأشعة الحمراء فإن النهاية الصغرى لانحراف البنفسجية (فى الاتجاه نفسه) تكون اكبر واذن زاوية ب ح و للأشعة الحمراء تكون اكبر منها للبنفسجية واذن زاوية رأس مخروط الأولى تكون أصغر أى أن القوس الثانوية تكون حمراء من الداخل وبنفسجية من الخارج

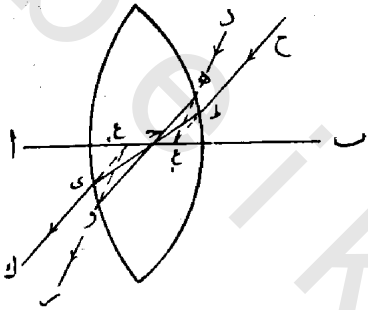
وتكون القوس الثانوية أقل وضوحاً من الابتدائية نظراً لأن الضوء النافذ بعد انعكاسين داخليين يكون أقل كثيراً من النافذ بعد انعكاس واحد كما أنه يكون اكبر من النافذ بعد ثلاثة انعكاسات وهكذا

ويمكن نظرياً حدوث قوس ثلاثة حيث تنفذ الأشعة بعد ثلاثة انعكاسات داخلية ولكنها تكون ضئيلة تحول ضالتها دون رؤيتها عادة ومكان هذه القوس (كما يتضح اذا رسم مسير شعاع يعانى ثلاثة انعكاسات داخلية) فى الجهة التى تكون فيها الشمس من عين الرائي لا فى الجهة المقابلة لها كما فى حالتى القوس الابتدائية والقوس الثانوية

العدسات السمكية

١٦٤ - النقطتان العقديتان

لنفرض أن نقطة a شكل (١٤٠) مركز تكور أحد وجهى عدسة سمكية محدبة الوجهين ونقطة b مركز تكور الوجه الآخر ولنفرض أن الوسط المحيط بالعدسة من الجانبين



(شكل ١٤٠)

واحد ومعامل انكسار الضوء منه الى مادة العدسة m ولنفرض أن نقطة c المركز البصرى للعدسة . فاذا رسم شعاع مثل de يمر عند نفوذه من العدسة بالمركز البصرى c وكان مسيره فى مادة العدسة h و فانه يخرج فى استقامة و ر بحيث يكون و ر موازياً للمستقيم de . فاذا كانت

نقطة السقوط أى نقطة h قريبة من المحور ab ومد الشعاع de على استقامة ليقطع المحور فى نقطة e ومد ro على استقامة ليقطع المحور فى نقطة e فان النقطتين e و e تسميان النقطتين العقديتين^(١) وهما نقطتان ثابتتان ما دامت نقطة سقوط الشعاع المار بالمركز البصرى قريبة من المحور . والسبب فى ثبوت هاتين النقطتين اذا توافر الشرط المذكور أن الاشعة بعد انكسارها عند السطح الأول للعدسة تنفذ مارة بالمركز البصرى فاذا كانت مواضع سقوطها قريبة من قطب السطح الأول أمكن اعتبار المركز البصرى صورة حقيقية تحدث بالانكسار عند السطح الأول لجسم تقديرى يكون هو الموضع الذى تتجمع عنده الأشعة الساقطة لولا الانكسار كما هو مبين بالشكل وطبقاً لما تبين فى الانكسار عند السطح الكرى فان مثل هذه الصورة لا تكون الا اذا وقعت الاشعة وتكاد مسيراتها تكون عمودية على السطح . ففى هذه الحالة تكون نقطة c صورة حقيقية للنقطة العقدية e والاشعة الواقعة على السطح الثانى تصدر عن نقطة c واذا اعتبر c جسماً حقيقياً فيتكون له بالانكسار عند السطح الثانى صورة تقديرية تكون امتدادات الاشعة النافذة من هذا السطح مارة بها كما هو مبين أيضاً بالشكل فالنقطة

$$6 \Rightarrow 1 - \frac{1}{s} = \frac{r}{s}$$

$$\therefore \frac{\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2}}{\frac{1}{s_1}} = \frac{r - \frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1}}{1}$$

$$\therefore \frac{\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2}}{\frac{1}{s_1}} = \frac{r - \frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1}}{1}$$

$$\therefore \frac{r \cdot \frac{1}{s_1} - (\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2})}{\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2}} = 1$$

والمقدار r هو سمك العدسة عند القطبين فاذا رمزنا لمعامل انكسار الضوء من الوسط الخارجى الى مادة العدسة بالحرف m واعتبرنا $r = 1$ m حيث يكون 1 مقداراً ثابتاً يكون

$$\frac{\frac{1}{s_1} m - (\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2})}{\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2}} = 1$$

$$\text{وبما أن } 1 - \frac{1}{s} = \frac{r}{s}$$

$$\therefore \frac{r}{s_1} = \frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2} \Rightarrow \frac{r}{s_1} = \frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2}$$

$$\therefore \frac{r}{s_1} = \frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2} \dots\dots\dots (1)$$

ويساوى هذا بعد المركز البصرى عن السطح الاول للعدسة
وبالمثل يمكن بيان أن

$$\frac{r}{s_2} = \frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1} \dots\dots\dots (2)$$

ويساوى هذا بعد المركز البصرى عن السطح الثانى للعدسة

١٦٦ — إيجاد بعد كل من النقطتين العقديتين عن سطحى العدسة

بيننا فى بند (١٦٤) أن النقطة العقدية الاولى تعتبر جسماً حيث يكون المركز البصرى صورته الحادثة بالانكسار عند السطح الاول وهو وان كان جسماً تقديرياً بالنسبة الى العدسة المحدبة الوجهين فى شكل (١٤٠) فانه يكون جسماً حقيقياً فى حالة العدسة المبينة بشكل (١٤١) فاذا رمزنا لبعده هذا الجسم عن السطح الاول بالحرف s وطبقنا معادلة الانكسار عند السطح الكرى واعتبرنا المركز البصرى هو الصورة يكون

$$\frac{1-m}{s} = \frac{1}{s} - \frac{m}{\frac{s}{1-m}}$$

حيث يكون مقام الحد الاول من الطرف الايمن هو بعد المركز البصرى عن السطح

$$\begin{aligned} \frac{1-m}{s} - \frac{1-m}{s} &= \frac{1}{s} \\ \frac{(1-m)1 - 1}{s} &= \frac{1}{s} \\ \therefore \frac{(1-m)1 - 1}{s} &= \frac{1}{s} \end{aligned}$$

ويساوى هذا بعد النقطة العقدية الاولى عن السطح الاول
واذا راعينا الانكسار عند السطح الاول للعدسة وعرفنا البعد البؤرى الاول لهذا السطح
ببعده الجسم عنه عند ما تكون صورته الحادثة بالانكسار فى ما لانهاية أى عند ما تكون الاشعة
المنكسرة متوازية فبتطبيق المعادلة العامة للانكسار وهى

$$\frac{1-m}{s} = \frac{1}{s} - \frac{m}{e}$$

يتضح أن قيمة ϵ عند ما تكون ϵ_1 لا نهاية لها هي $-\frac{1}{1-m}$ ويكون هذا المقدار مساوياً البعد البؤري الأول طبقاً للتعريف المذكور فإذا رمزنا له بالرمز ν كان

$$(٢) \dots \dots \frac{1-m}{1} = \frac{1}{\nu}$$

وبالمثل إذا راعينا الانكسار عند السطح الثاني للعدسة وعرفنا البعد البؤري الثاني لهذا السطح ببعد الصورة عنه عند ما يكون الجسم في ما لا نهاية أى عند ما تسقط الأشعة على هذا السطح متوازية وبتطبيق المعادلة العامة للانكسار مع ملاحظة أن الضوء ينكسر في هذه الحالة من مادة العدسة الى الوسط الخارجى يكون

$$\frac{1-m}{1} = \frac{1}{\epsilon} - \frac{1}{\epsilon_2}$$

واذن قيمة ϵ عند ما تكون قيمة ϵ_2 لا نهاية لها تكون $-\frac{1}{1-m}$ ويكون هذا المقدار مساوياً البعد البؤري الثاني للسطح الثاني طبقاً للتعريف فإذا رمزنا له بالرمز ν_2 يكون

$$(٣) \dots \dots \frac{1-m}{1} = \frac{1}{\nu_2}$$

وبالتعويض في المعادلة (١) عن ν_1 قيمتها من المعادلة (٢) وعن ν_2 قيمتها من المعادلة (٣) يكون

$$(٤) \dots \dots \frac{1}{1 + \frac{1}{\nu} - \frac{1}{\nu_2}} = s$$

ويكون هذا هو بعد النقطة العقدية الاولى عن السطح الاول مقدراً بالنسبة الى البعدين البؤريين للسطحين

ولتعيين بعد النقطة العقدية الثانية عن السطح الثاني نعتبر المركز البصرى جسماً والنقطة

العقدية الثانية صورته الحادثة بالانكسار عند السطح الثاني فاذا رمزنا لبعدها عن هذا السطح بالحرف m ومع ملاحظة أن الانكسار يحدث في هذه الحالة من مادة العدسة الى الوسط الخارجى يكون

$$\frac{1 - \frac{1}{m}}{p^3} = \frac{1}{\frac{p^3 m}{1 - \frac{1}{m}}} - \frac{1}{m}$$

حيث يكون مقام الحد الثاني من الطرف الأيمن هو بعد المركز البصرى عن السطح الثاني

$$\frac{1 - \frac{1}{m}}{p^3} - \frac{1 - \frac{1}{m}}{p^3 m} = m$$

$$\frac{(1 - \frac{1}{m}) - (1 - \frac{1}{m})}{p^3 m} =$$

$$\therefore \frac{1}{p^3 m} = m \quad (5)$$

وبالتعويض عن m قيمتها من المعادلة (٢) وعن p قيمتها من المعادلة (٣) يكون

$$(6) \quad \frac{1}{p^3 m} = m$$

ويكون هذا هو بعد النقطة العقدية الثانية عن السطح الثاني مقدراً بالنسبة الى البعد

البؤريين

١٦٧ - إيجاد البعد البؤرى للعدسة السمكة

بؤرة العدسة هي موضع الصورة التى تتكون بواسطة العدسة عند ما يكون الجسم فى ما لا

نهاية . فاذا راعينا الانكسار الحادث عند السطح الاول يتبين من المعادلة

$$\frac{1 - \frac{1}{m}}{p^3} = \frac{1}{p} - \frac{1}{m}$$

أن بعد الصورة عن هذا السطح عند ما يكون الجسم في ما لانهاية هو $\frac{1}{1-m}$ فإذا كانت قيمة m موجبة أى كان السطح الاول مقعراً وكان الانكسار من وسط كالهواء الى آخر كالزجاج أى كان $m < 1$ فإن بعد الصورة عن السطح الاول يكون موجباً واذن يقاس بعد الصورة عن السطح الاول فى عكس اتجاه الضوء واذن يكون بعد هذه الصورة عن السطح الثانى مساوياً المقدار المذكور مضافاً اليه سمك العدسة (وهذا يساوى 1 m) ويساوى اذن

$$\frac{(1-m)m + 1}{1-m} = m + \frac{1}{1-m}$$

وتعتبر هذه الصورة جسماً بالنسبة الى السطح الثانى يكون بعده عنه هو المقدار المذكور فاذا رمزنا لبعد صورته التى تتكون بالانكسار عن هذا السطح بالرمز e ومع ملاحظة أن الانكسار فى هذه الحالة من مادة العدسة الى الوسط الخارجى وان السطح الحادث عنده الانكسار مقعر (شكل ١٤١) يكون

$$\frac{1}{e} = \frac{1-m}{(1-m)m + 1} - \frac{1}{1}$$

ومنه يتبين أن

$$\frac{[(1-m)m + 1]}{2(1-m)m - 1 - (1-m)} = \frac{1}{e}$$

ويساوى هذا المقدار بعد البؤرة عن السطح الثانى للعدسة وبما أن بعد النقطة العقدية الثانية عن هذا السطح هو

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{1-m}$$

وبما أن كلا من البعدين فى الاتجاه الموجب

اذن يكون بعد البؤرة عن النقطة العقدية الثانية هو

$$(1) \dots\dots\dots \frac{p_1 p_2}{[(1-m)1-p_1-p_2]} \dots\dots\dots$$

وبالتعويض عن p_1 و p_2 قيمة كل منهما بالنسبة الى u و v يكون المقدار المذكور وهو البعد البؤرى للعدسة السميكة مقيساً عن النقطة العقدية الثانية هو

$$(2) \dots\dots\dots \frac{p_1 p_2}{(1+p_1-p_2)} = L$$

والبعد البؤرى المذكور هو الذى يسمى أحياناً البعد البؤرى الرئيسى الثانى وبالمثل يمكن إيجاد البعد البؤرى الرئيسى الأول أى موضع النقطة المضئية عندما تنفذ الأشعة خارجة من العدسة متوازية وفى هذه الحالة نعتبر أولاً الانكسار عند السطح الثانى حيث تخرج الأشعة منه متوازية وتكون صورة فى مالا نهاية فمن المعادلة

$$\frac{1-\frac{1}{m}}{p_2} = \frac{1}{f} - \frac{1}{f_2}$$

يتضح أن بعد الجسم عن السطح الثانى عندما تكون صورته فى مالا نهاية هو $\frac{p_2}{1-m}$ وهذا الجسم يكون بمثابة الصورة التى تتكون بالانكسار عند السطح الاول فيكون بعده عن السطح الاول مساوياً

$$\frac{(1-m)m1-p_1-p_2}{1-m} = m1 - \frac{p_1 p_2}{1-m}$$

وبعد الجسم الذى تعتبر هذه صورته المتكونة بالانكسار عند السطح الاول يستخرج من المعادلة

$$\frac{1-m}{p_1} = \frac{1}{f} - \frac{(1-m)m1-p_1-p_2}{(1-m)m1-p_1-p_2}$$

∴ بعد الجسم عن السطح الاول هو

$$\frac{(1-m) \cdot 1 - 2 \cdot 1}{[(1-m) + 2 - 1]} = 2$$

ويساوى هذا المقدار البعد البؤرى الأول مقيساً من السطح الاول و بما أن بعد النقطة العقديّة الاولى عن السطح الاول هو

$$\frac{1}{(1-m) + 2 - 1}$$

يكون البعد البؤرى الاول مقيساً من النقطة العقديّة الاولى هو

$$\begin{aligned} & \frac{1}{(1-m) + 2 - 1} - \frac{(1-m) \cdot 1 - 2 \cdot 1}{[(1-m) + 2 - 1]} \\ &= \frac{2 \cdot 1}{[(1-m) + 2 - 1]} = \\ &= \frac{1}{[(1-m) + 2 - 1]} = \end{aligned}$$

وبالمقابلة بين المقدارين (١) و (٣) يتضح أن بعد البؤرة الرئيسية الثانية عن النقطة العقديّة الثانية يساوى بعد البؤرة الرئيسية الاولى عن النقطة العقديّة الاولى وفى الجانب الآخر من العدسة

١٦٨ - قانون العدسة السمكة

نفرض نقطة مضيئة موجودة على محور العدسة ونرمز لبعدها عن السطح الاول للعدسة بالحرف e فبالرمز لبعدها صورتها الحادثة بالانكسار الاول عن السطح الاول بالحرف n يكون

$$\frac{1}{n} = \frac{1-m}{1} = \frac{1}{e} - \frac{m}{1}$$

باعتبار أن n البعد البؤرى الاول للسطح الاول ومنه يتضح أن

$$\frac{m \cdot e \cdot n}{e - n} = m$$

وبالرمز لسمك العدسة بالمقدار m يكون بعد هذه الصورة عن السطح الثاني هو

$$\frac{e \cdot m \cdot 1 - n \cdot m \cdot 1 + n \cdot e \cdot m}{e - n} = m \cdot 1 + \frac{n \cdot e \cdot m}{e - n}$$

فاذا اعتبرنا هذه الصورة جسماً بالنسبة الى السطح الثاني ورمزنا لبعده صورته التي تتكون بالانكسار عند هذا السطح بالرمز e مقيساً عن السطح نفسه يكون

$$\frac{1}{e} = \frac{1 - \frac{1}{m}}{\frac{n}{e}} = \frac{e - n}{e \cdot m \cdot 1 - n \cdot m \cdot 1 + n \cdot e \cdot m} - \frac{\frac{1}{m}}{e}$$

باعتبار أن n البعد البؤري الثاني للسطح الثاني

$$\frac{1}{e} = \frac{e - n}{e \cdot m \cdot 1 - n \cdot m \cdot 1 + n \cdot e \cdot m} - \frac{1}{e}$$

وبضرب طرفي المعادلة في حاصل ضرب مقامات الحدود الثلاثة ثم ترتيب المقادير ينتج أن

$$e \cdot m \cdot 1 + n \cdot m \cdot 1 - n \cdot e \cdot m - (e \cdot m \cdot 1 - n \cdot m \cdot 1 + n \cdot e \cdot m) = 0$$

وبقسمة المعادلة كلها على $1 + n - n$ ينتج أن

$$0 = \frac{n \cdot m \cdot 1}{1 + n - n} + \frac{n \cdot m \cdot 1 + n \cdot e \cdot m}{1 + n - n} - \frac{n \cdot m \cdot 1 - n \cdot m \cdot 1 + n \cdot e \cdot m}{1 + n - n} + e \cdot m$$

وتكون المعادلة (١) هي الدالة على العلاقة بين بعد الجسم عن السطح الاول وبعد صورته عن السطح الثاني ولكن يمكن تحويل العلاقة بين بعد الجسم وبعد الصورة الى قالب بسيط اذا قيس بعد الجسم من النقطة العقدية الاولى وقيس بعد الصورة من النقطة العقدية الثانية .

فاذا راعينا المعادلة الآتية

$$(۲) \dots\dots\dots \frac{۱}{ل} = \frac{۱}{س-ه} - \frac{۱}{ص-و}$$

ويتضح من بند (١٦٦) أن المقدار u_1 هو بعد الجسم عن السطح الاول عند ما تنكسر الأشعة في مادة العدسة متوازية والمقدار u_2 هو بعد الصورة عن السطح الثانى عند ما تقع على هذا السطح الأشعة متوازية وفي العدسة الرقيقة يكون u_1 بعد الجسم عنها u_2 بعد صورته

وفي هذه الحالة تتحول المعادلة الدالة على علاقة بعد الجسم ببعد الصورة الى القالب المألوف للعدسة الرقيقة وتكون قيمة l فى المعادلة (٢) هى قيمة البعد البؤرى ويكون

$$\frac{u_1 u_2}{u_2 - u_1} = l \quad \therefore \quad \frac{1}{l} = \frac{1}{u_1} - \frac{1}{u_2}$$

فاذا وضعنا قيمة l فى المعادلة (٨) صفراً فان قيمة l الحاصلة من التبويض تتساوى والقيمة المذكورة آنفاً اذا اتخذنا الاشارة السالبة دون الموجبة ولهذا السبب نتخذ الاشارة السالبة ونعتبر

$$(٩) \quad \dots \dots \dots \frac{u_1 u_2}{1 + u_2 - u_1} - = l$$

ومن المعادلتين (٥) و (٩) ينتج أن

$$(١٠) \quad \dots \dots \dots \frac{u_1 u_2}{1 + u_2 - u_1} = h$$

ومن المعادلتين (٤) و (٩) ينتج أن

$$(١١) \quad \dots \dots \dots \frac{u_1 u_2}{1 + u_2 - u_1} = r$$

واذن نرى أن المعادلة (١) يمكن وضعها فى القالب الآتى

$$(١٢) \quad \dots \frac{1}{\frac{u_1 u_2}{1 + u_2 - u_1} -} = \frac{1}{\frac{u_1 u_2}{1 + u_2 - u_1} - e} - \frac{1}{\frac{u_1 u_2}{1 + u_2 - u_1} - c}$$

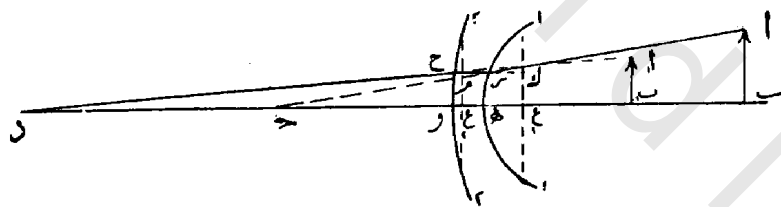
وبما أن المقدار (١١) هو بعد النقطة العقدية الثانية عن السطح الثاني والمقدار (١٠) هو بعد النقطة العقدية الاولى عن السطح الاول والمقدار (٩) هو البعد البؤرى للعدسة السميكة مقيساً من النقطة العقدية الثانية يتضح انه اذا رمز لبعد الجسم عن النقطة العقدية الاولى بالحرف ع ولبعد صورته عن النقطة العقدية الثانية بالحرف ع_١ فان

$$\frac{1}{ل} = \frac{1}{ع} - \frac{1}{ع_1} \quad (١٣)$$

حيث يكون ل البعد البؤرى للعدسة السميكة مقيساً من النقطة العقدية الثانية فتتحول معادلة العدسة السميكة الى صورة معادلة العدسة الرقيقة اذا قيست الابعاد من النقطتين العقيديتين

١٦٩ - إيجاد نسبة طول الصورة الى طول الجسم -- تكبير العدسة السميكة

نفرض أن ا ب شكل (١٤٢) جسم موضوع على محور العدسة ولتكن نقطة ح البؤرة



(شكل ١٤٢)

الاولى للسطح (١) ونقطة
د البؤرة الثانية للسطح
(٢) طبقاً للتعريفين
الواردين في بند (١٦٦) (١)

فاذا رسم من ا الشعاع ا ر مار امتداده بنقطه ح فانه ينكسر في مادة العدسة موازياً للمحور فيكون مسيره فيها في استقامة ر ح فاذا نفذ خارجاً من السطح الثاني مر بنقطة د فاذا رسمنا د ح ومددناه على استقامة كان حتماً أن تقع صورة ا (وهى التى تتكون بفعل العدسة) على امتداد هذا المستقيم

ويمكن إيجاد ب وهى صورة ب بتطبيق المعادلة (١٢) مثلاً في البند السابق فاذا رسمنا من نقطة ب العمود ب ا على المحور ومددناه ليقطع امتداد د ح في نقطة ا كانت ا ب صورة ا ب

$$(١) \text{ مقلوب بعد البؤرة عن السطح } = \frac{1}{ل} - \frac{1}{ع} \text{ فاذا كانت العدسة من الزجاج فان بعد البؤرة عن السطح}$$

واذا رسمنا عند كل من ع_١ ع_٢ (وهما النقطتان العقديتان) مستويين عموديين على المحور
نسُميهما المستويين العقديين ورمزنا لنقطة تقابل امتداد ح ر والأول بالحرف ك ولنقطة تقابل
ح ر والثاني بالحرف م وباعتبار أن النقطتين ر م ح قريبتان جداً من المحور يتضح من تشابه
المثلثين دح و م د ا_١ ب_١ أن

$$\frac{ح و}{ا ب} = \frac{ر د}{ا ب + ر د} \quad \text{باعتبار أن } ع بعد الصورة عن السطح الثاني$$

ومن تشابه المثلثين ح ر ه م د ا_١ ب_١ ينتج أن

$$\frac{ر ه}{ا ب} = \frac{ر د}{ا ب + ر د} \quad \text{باعتبار أن } ع بعد الجسم عن السطح الأول$$

وبما أن ح و = ر ه يكون

$$\frac{(ا ب + ر د) ر د}{(ا ب + ر د) ر د} = \frac{ا ب}{ا ب} \quad (١)$$

وتكون هذه المعادلة هي البالة على التكبير

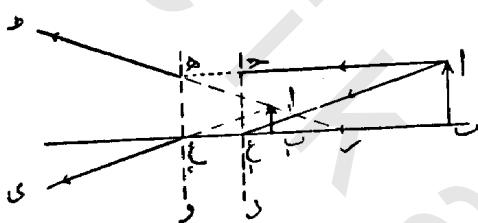
وقد تبين في شرح خاصة النقطتين العقديتين انه اذا كانت احدهما جسماً كانت الأخرى
صورته واذن اذا فرضنا أن الجسم عند المستوى العقدى الاول فان صورته تكون عند المستوى
العقدى الثانى وفى هذه الحالة تكون قيمة ع هى

$$\frac{ا ب}{ا ب + ر د - ر د} \quad \text{وتكون قيمة } ع \text{ هى } \frac{ا ب}{ا ب + ر د - ر د}$$

واذن يكون طول الصورة وطول الجسم فى هذه الحالة متساويين
ويتضح من هذا انه اذا أخذت نقطة فى المستوى العقدى الاول على ارتفاع معين من المحور
تكون صورتها نقطة فى المستوى العقدى الثانى على الارتفاع نفسه من المحور

١٧٠ - إيجاد الصورة التي تتكون بواسطة العدسة السميكة بطريقة الرسم

والنتيجة السابقة يستعان بها في إيجاد الصورة التي تتكون بواسطة عدسة سميكة بطريقة الرسم ويكفى لذلك تعيين موضعى المستويين العقديين والبعد البؤرى للعدسة فإذا فرضنا أن $أ ب$ (شكل ١٤٣) جسم موضوع فوق محور العدسة وأن $ح د هـ$ والمستويان العقديان الماران بالنقطتين العقديتين $ع١ ع٢$ وأن نقطة البؤرة الرئيسية الثانية للعدسة ، نرسم من $أ$ شعاعاً $أ ح$ يسقط موازياً للمحور بحيث يقطع هو أو امتداده المستوى العقدي الأول في نقطة $ح$ فنظراً



(شكل ١٤٣)

لان صورة نقطة $ح$ تكون على المستوى العقدي الثانى وعلى ارتفاع فوق المحور كارتفاع $ح$ فوقه فانه اذا أخذنا نقطة مثل $هـ$ بحيث يكون $ح ع١$ مساوياً $هـ ع٢$ فان الشعاع $أ ح$ ينفذ من العدسة كأنه صادر

من نقطة $هـ$ وبما أن $أ ح$ مواز للمحور فامتداده بعد نفوذه من العدسة يمر بالبؤرة $ر$ واذن اذا رسم المستقيم $ر هـ$ فان امتداده $هـ ط$ يمثل مسار الشعاع $أ ح$ بعد خروجه من العدسة السميكة كذلك اذا رسم من $أ$ الشعاع $أ ع١$ مار هو أو امتداده بالنقطة العقدية الاولى فانه بعد نفوذه من العدسة يمر هو أو امتداده بالنقطة العقدية الثانية ويكون مسيره موازياً للمستقيم $أ ع١$ واذن اذا رسم المستقيم $ع١ ي$ موازياً للمستقيم $أ ع١$ فان الاول يكون مسار الشعاع $أ ع١$ بعد نفوذه من العدسة

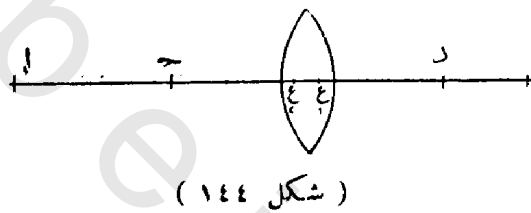
وهذه الكيفية يتعين مسير شعاعين نافذين من العدسة فوضع تقابلهما أو تقابل امتدادهما يكون صورة $أ$ فادنا $ط هـ$ $ب ي ع٢$ على استقامتهما ليتقابلا في نقطة $أ$ كانت $أ$ صورة $أ$ وبالمثل يمكن إيجاد الصورة اذا كانت البؤرة الثانية ر في الجانب الآخر من العدسة

ويلاحظ عند رسم الشعاعين مع تحديد سطحى العدسة أن كلا من المستقيمين $أ ح$ $أ ع١$ يمد حتى يقطع السطح الاول للعدسة في نقطة وكذلك يمد كل من المستقيمين $ط هـ$ $ب ي ع٢$ حتى يقطع السطح الثانى للعدسة في نقطة فاذا وصلت نقطة تقابل $أ ح$ والسطح الاول بنقطة تقابل

ط ه والسطح الثانى كان المستقيم الواصل بينهما مسير الشعاع خلال مادة العدسة . وبالمثل بالنسبة الى الشعاعين ا ع , ب ع , ي

١٧١ - ايجاد النقطتين العقديتين للعدسة عملياً

(أولاً) العدسة اللامة - الطريقة الاولى



(شكل ١٤٤)

لنفرض أن ا شكل (١٤٤) نقطة مضيئة

على محور العدسة وان ا صورتها وأن نقطة

ح البؤرة الثانية ونقطة د البؤرة الاولى فاذا

رمرنا للقيمة العددية للبعد البؤرى للعدسة بالحرف ل ورمزنا للبعد ا د بالحرف س وللبعد

ا ح بالحرف ص كان بعد النقطة المعينة عن النقطة العقدية الاولى مساوياً س + ل وبعد صورتها

عن النقطة العقدية الثانية مساوياً ص + ل واذاً يتضح بتطبيق المعادلة (١٣) من بند (١٦٨)

مع ملاحظة الاشارات أن

$$\frac{1}{ل} - \frac{1}{(ل + س)} = \frac{1}{(ل + ص)} -$$

ومنه يتضح أن $ل = ص$ فاذا وجدت قيمة كل من س و ص أمكن استخراج قيمة

ل من هذه المعادلة فاذا عين موضع كل من ح و د أمكن بذلك تعيين موضعى ع , ب وتطبيق

هذه الفكرة عملياً تستخدم لوحة الابصار فتثبت العدسة على حامل فى موضع ثابت حوالى منتصف

اللوحة ويؤتى بالحاجز ذى الثقب المضئ من أحد جانبيها وليكن الايسر ويؤتى من الجانب

الآخر بمرآة مستوية رأسية ويغير موضع الحاجز ذى الثقب حتى تتكون عليه صورة للثقب بجوار

الثقب (أنظر الطريقة الثانية لاجاد البعد البؤرى للعدسة اللامة بند ١٣٦) فيكون موضع

الحاجز عند البؤرة ح (شكل ١٤٤) ويعين موضعها على المقياس المدرج . ثم ينقل الحاجز الى

الجانب الايمن من العدسة وتوضع المرآة فى الجانب الايسر ويعين بالكيفية نفسها موضع البؤرة

د على المقياس المدرج فاذا أزيح الحاجز ذو الثقب بعد ذلك بعيداً عن نقطة د وأتى بحاجز أبيض

فى الجانب الايسر من العدسة وحرك بعيداً عنها أو قريباً منها حتى تتكون عليه صورة حقيقية

واضحاً للثقب كان بعد الاول عن د مساوياً س وبعد الثاني عن ح مساوياً ص واذاً أمكن تقدير ل من المعادلة

س ص = ل^۲

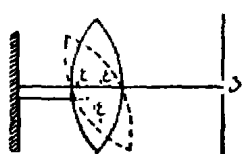
فتكون النقطة العقدية الاولى على بعد من نقطة د يساوى ل والنقطة العقدية الثانية على بعد من γ يساوى ل أيضاً

الطريقة الثانية

يستعان في هذه الطريقة بالخاصة الطبيعية للنقطتين العقديتين وهي ان الشعاع الذي يقع على العدسة مار هو أو امتداده باحدهما ينفذ من العدسة مار هو أو امتداده بالآخرى ويكون مسيره بعد النفوذ منها موازياً مسيره قبل الوقوع عليها

ويمكن استخدام لوحة الابصار. ويؤتي بمرآة مستوية كافي الطريقة السابقة لتعيين موضع البؤرة د. فاذا لبثت العدسة في مكانها وأديرنا حول محور رأسى حول نفسها فان موضع الصورة الحادثة على الحاجز ذى الثقب يتغير من جراء هذا الدوران الا اذا كان محور الدوران

ملاحظتان:
 ١- عند تغيير موضع الصورة على الحاجز ذي الثقب
 ٢- عند تغيير المسافة بين الثقبين في هذه الحالة لا يترتب على دوران



ويتضح السبب في ذلك من شكل (١٤٥) فإذا فرضنا أن ع_١ ع_٢ (شكل ١٤٥)

النقطتان العقديتان في الوضع الاول للعدسة فالشعاع الواقع على العدسة على امتداد د ع₁ وينطبق مسيره على المستقيم الواصل بين النقطتين العقديتين ينفذ ذهاباً واياباً في الاستقامة نفسها ويعود مرة أخرى الى نقطة د واذا أديرَت العدسة حول محور عمودي على مستوى الورقة (وهو يمثل مقطعاً أفقياً للعدسة) وكان محور الدوران ماراً بنقطة ع₂ فان الشعاع الواقع على العدسة في استقامة د ع₁ ينفذ منها كأنه صادر من ع₂ ويكون مسيره بعد الخروج من العدسة موازياً للمستقيم د ع₁ فاذا انعكس عن سطح المرآة عاد في مسيره الاول ونفذ من العدسة خارجاً في استقامة ع₂ د ويعود مرة أخرى الى نقطة د نفسها فلا يكون للدوران العدسة حول المحور المار بنقطة ع₂ تأثير في موضع الصورة الحادثة على الحاجز ذي الثقب

وتتطلب هذه الطريقة أن تكون العدسة محمولة على حامل خاص قابل للدوران حول محور رأسى وأن تكون العدسة نفسها قابلة للازاحة بالاضافة الى هذا الحامل فيها موضعها عليه حتى لا يترتب على دوران الحامل حول المحور الرأسى بمقادير مناسبة تغير فى موضع صورة الثقب على الحاجز ذى الثقب فيكون محور الدوران فى هذه الحالة ماراً بالنقطة العقدية القريبة من الحاجز ويكون البعد بين هذا المحور وهذا الحاجز مساوياً البعد البؤرى للعدسة

ويوجد موضع النقطة العقدية الثانية بقلب العدسة وتكرار العملية نفسها
(ثانياً) العدسة المفرقة

وتطبق الطريقة نفسها لايحاجد موضعى النقطتين العقديتين للعدسة المفرقة وتتبع فى هذه الحالة الطريقة الخامسة لايحاجد البعد البؤرى للعدسة المفرقة (بند ١٣٧) ويغير موضع العدسة على الحامل الخاص الذى يحملها حتى اذا أدير الحامل حول المحور الرأسى بمقادير مناسبة لا يترتب على هذا الدوران تغير فى موضع الصورة فيكون محور الدوران ماراً بالنقطة العقدية

١٧٢ - النقطتان الرئيسيتان للعدسة السميكة

العدسة السميكة التى راعيناها فى كل ماسبق فرضناها محفوفة من الجانبين بوسط واحد رمزنا لمعامل انكسار الضوء منه الى مادة العدسة بالحرف μ ولكن اذا كانت العدسة السميكة يحفها من الجانبين وسطان مختلفان أمكن أيضاً بيان أن هناك نقطتين اذا رمز لبعد الجسم عن الاولى بالحرف e ولبعد صورته عن الثانية بالحرف e' كانت العلاقة بين هذين البعدين طبقاً للمعادلة

$$\frac{1}{e} = \frac{1}{e'} - \frac{\mu - 1}{l}$$

حيث يكون μ رمزاً لمعامل انكسار الضوء فى الوسط الواقع منه الضوء على العدسة μ رمزاً لمعامل انكساره فى الوسط الذى ينفذ الضوء من العدسة اليه ويكون l مقداراً ثابتاً . وتسمى النقطتان النقطتين الرئيسيتين^(١) وهما فى هذه الحالة غير النقطتين العقديتين