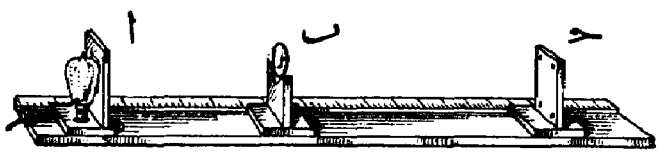
الباب السادس

تعيين الابعاد البؤرية للمرايا الكرية وللعدسات الرقيقة

وايجاد معامل انكسار الضوء وقياس قوى الاضاءة

١٣٣ – لوحة الابصار

يستعمل عادة فى التجارب العملية التى يجريها الطلبة فى موضوع المرايا الكرية والعدسات جهاز يسمى « لوحة الأبصار » . ومن أبسط أنواعه الجهاز المبين بشكل (١٠٤) ويتركب من قاعدة على هيئة لوح يبلغ طوله متراً أو اثنين مثبت عليها مقياس مدرج. وفوق القاعدة (أولا) حامل ا قابل للانزلاق عليها يحمل مصدر ضوء (كمصباح كهربائى مثلا) أمامه حاجز رأسى به ثقب مستدير مثبت فيه خيطان متعامدان وقد



(شكل ١٠٤)

يوضع على الثقب قطعة من الورق الرقيق النصف الشفاف وقد رسم عليها خطان متعامدان اذا كان مصدر الضوء قويا

(ثانياً) حامل ب قابل للانزلاق هو أيضاً على القاعدة يستخدم لحمل المرايا أو العدسات

(ثالثاً) حامل حـ قابل هو أيضاً للانزلاق على القاعدة ويحمل حاجزاً رأسياً أبيض لكى تتكون عليه الصور الحقيقية التى تحدث بوساطة العدسة أو المرآة

وبكل من هذه الحوامل علامة يتعين بها موضع الحامل على المقياس المدرج . وعند قياس البعد بين الخيطين المتعامدين وبين العدسة او المرآة الموضوعة على الحامل ب أو بين هذه وبين الحاجز حـ فقد لا يكون البعد بين العلامتين على الحاملين مساوياً تماماً للبعد المراد قياسه اذ قد

لا تكون العلامة على الحامل ب مثلا واقعة فى المستوى الرأسى الموضوعة فيه العدسة او المرآة التى يحملها الحامل . ولتصحيح الخطأ الذى ينشأ عن هذا يؤتى بساق مستقيمة ويقاس طولها بالضبط ثم تثبت أفقية موازية للمقياس بحيث يلمس أحد طرفيها المرآة أو العدسة الموضوعة على الحامل ب والطرف الآخر الحاجز المراد قياس بعده عنها ويقاس البعد بين العلامتين على الحاملين فيكون الفرق بين هذا البعد وبين طول الساق هو المقدار الذى يصحح به البعد المقيس بين العدسة أو المرآة وبين الحاجز فى أى وضع آخر فاذا كان البعد بين العلامتين اطول من طول الساق فان هذا الفرق يطرح . أما اذا كان أقصر فانه يضاف . ولا مندوحة عن اجراء هذه العملية اذا كانت على الحوامل المذكورة ورنيات تتحرك على المقياس المدرج

١٣٤ — ايجاد البعد البؤرى للمرآة المقعرة

الطريقة الاولى — الاستعانة بجسم بعيد

من أبسط الطرق لايجاد البعد البؤرى لمرآة مقعرة أن يوجه سطحها العاكس نحو جسم بعيد جداً كبناء قائم بحيث يسقط الضوء من الجسم البعيد على سطح المرآة ثم ينعكس ويقع على حاجز أبيض أمامها . فاذا غير بعد الحاجز عن المرآة أمكن الحصول على وضع تتكون فيه صورة واضحة دقيقة على الحاجز وتكون الصورة مصغرة مقلوبة . ولما كان الجسم بعيداً جداً أمكن أن يعتبر بعد صورته عن المرآة مساوياً للبعد البؤرى واذن يكون بعد الحاجز عن المرآة هو البعد البؤرى المطلوب

الطريقة الثانية — الحصول على صورة مماثلة للجسم

تستعمل لوحة الابصار وتوضع المرآة على الحامل ب (شكل ١٠٤) بحيث يتجه سطحها العاكس نحو الثقب فى الحاجز ا ويتخذ الثقب جسما ثم يغير بعد المرآة عن الثقب حتى تتكون على الحاجز بجوار الثقب صورة للخيطين المتعامدين فنظراً لأن الجسم والصورة على بعد واحد من المرآة فان هذا البعد يكون مساوياً نصف قطر تكور المرآة أو ضعف البعد البؤرى

الطريقة الثالثة — تطبيق القانون فى حالة الصور الحقيقية

تستعمل لوحة الابصار و يتخذ الثقب فى الحاجز ا جسما و توضع المرآة على الحامل ب وسطحها العاكس متجه نحو الثقب فالضوء الواقع منه على سطح المرآة ينعكس مكوناً الصورة الحقيقية فى الجانب الموجود فيه الجسم . فاذا كان الجسم على بعد من المرآة أكبر من نصف قطر تكورها تكون الصورة مصغرة و يبحث عنها فيما بين الثقب والمرآة فيوضع الحاجز الابيض ح بينهما بكيفية مناسبة حتى لا يحول دون وقوع الضوء من الثقب على المرآة ، و يحرك نحو المرآة أو بعيداً عنها حتى يوجد الموضع الذى تكون الصورة الحادثة عليه واضحة دقيقة . أما اذا كان الجسم على بعد من المرآة يتراوح بين بعدها البؤرى ونصف قطر تكورها فان الصورة تكون مكبرة و يكون موضعها أبعد عن المرآة من موضع الثقب وفى هذه الحالة يوضع الحاجز الابيض ح أبعد عن المرآة من الثقب و يبحث عن الصورة هناك

وفى كلتى الحالتين توضع المرآة على الحامل ب بازورار قليل نحو احد الجانبين حتى يتسنى وضع الحاجز ذى الثقب والحاجز الابيض أحدهما بالنسبة الى الآخر بحيث لا يحجب الثانى عن المرآة الضوء الصادر من الثقب فى حالة الصورة المصغرة ولا يحجب الأول عن الثانى الضوء المنعكس عن المرآة فى حالة الصورة المكبرة . واذا كان بالحاجز الأبيض ح فتحة مستديرة قطرها مناسب (سنتيمتر او سنتيمتر ونصف سنتيمتر) و يوضع بحيث يكون مركز الثقب ذى الخيطين المتعامدين ومركزها وقطب المرآة فى استقامة واحدة فان الضوء الواقع على المرآة يسلك فى سبيله اليها خلال هذه الفتحة وتتكون الصورة المصغرة على الحاجز نفسه ولا يكون وجوده حائلا دون وصول الضوء الى المرآة

فاذا قيس بعد الثقب عن المرآة ولنرمز له بالحرف ع وبعد صورته عنها ولنرمز له بالرمز ع$_1$ تستخرج قيمة البعد البؤرى ولنرمز له بالحرف ل من المعادلة

$$\frac{١}{ع_1} + \frac{١}{ع} = \frac{١}{ل}$$

حيث يلاحظ أن اشارة كل من ع ، ع$_1$ موجبة

وتعاد العملية فى كل من حالتى الصورة المصغرة والصورة المكبرة بضع مرات تقدر فى كل مرة على حدتها قيمة ل . ثم يستخرج متوسط قيمتها من المقادير المختلفة

الطريقة الرابعة — تطبيق القانون فى حالة الصورة التقديرية

اذا وضع الجسم امام المرآة المقعرة وعلى بعد منها أقل من بعدها البؤرى كانت الصورة تقديرية مكبرة معتدلة ويمكن تعيين موضع الصورة فى هذه الحالة بطريقة انطباق المواضع . ولاجراء هذه التجربة يستحسن أن تبسط صحيفة من الورق الأبيض على نضد أفقى ويرسم عليها بالقلم الرصاص مستقيم ثم يؤتى بحامل كالحامل ب (شكل ١٠٤) وعليه المرآة ويوضع حوالى منتصف المستقيم المرسوم بحيث يكون محور المرآة موازياً ما أمكن لهذا المستقيم ورأسياً فوقه ثم يؤتى بدبوس طويل أو ابرة من الصلب وتحرك أمام المرآة على المستقيم المرسوم حتى تأخذ وضعاً فيه تتكون لها خلف المرآة صورة تقديرية مناسبة فتثبت عنده فى وضع رأسى وتعتبر جسماً ثم يؤتى بابرة طويلة أخرى بحيث اذا أمسكت باليد خلف المرآة وطرفها الأسفل على المستقيم المرسوم أمكن رؤية طرفها الأعلى ناتئاً فوق المرآة ، فاذا نظر الى الصورة التقديرية بحيث يكاد يكون خط البصر موازياً للمستقيم المرسوم وحركت هذه الابرة خلف المرآة على هذا المستقيم أمكن ايجاد الوضع الذى تظهر فيه منطبقة على الصورة التقديرية المرئية . فاذا ثبتت الابرة فى هذا الوضع كان موضعها موضع الصورة التقديرية . فاذا قيس بعد الابرة الاولى عن المرآة ولنرمز له بالحرف ع وبعد الثانية عنها ولنرمز له بالرمز ع$_{١}$ فان قيمة البعد البؤرى ولنرمز له بالحرف ل تستخرج من المعادلة

$$\frac{١}{ل} = \frac{١}{ع} + \frac{١}{-ع_{١}}$$

مع ملاحظة وضع اشارة ع$_{١}$ سالبة طبقاً لقاعدة الاشارات

وتعاد هذه العملية بضع مرات يغير فى كل مرة موضع الابرة الاولى وتقدر ل فى كل مرة على حدتها ثم تستخرج القيمة المتوسطة

الطريقة الخامسة — تطبيق القانون فى حالة الجسم التقديرى

تستعمل لوحة الأبصار ويستعان بعدسة لامة د (شكل ١٠٥) فى تكوين صورة حقيقية عند ب للخيطين المتعامدين فى الثقب الموجود عند ا ويعين موضع هذه الصورة على المقياس المدرج ثم توضع المرآة حـ بين ب والعدسة فبمجرد وضعها تختفى الصورة ب وتنعكس الأشعة عن سطح المرآة فاذا جعلت المرآة مزورة قليلا نحو أحد الجانبين ووضع الحاجز الأبيض امامها مع ملاحظة عدم حجبه الضوء الواقع

(شكل ١٠٥)

على المرآة وحركت المرآة أو الحاجز أو كلاهما دون تحريك العدسة أمكن الحصول على صورة حقيقية ب، تتكون على سطح الحاجز الابيض

فالصورة ب التى تحدثها العدسة قبل وضع المرآة تعتبر جسما تقديرياً والصورة ب، التى تحدث بالانعكاس عن سطح المرآة تعتبر صورة حقيقية لهذا الجسم التقديرى فاذا رمزنا لبعد الأولى عن المرآة بالحرف ع ولبعد الثانية عنها بالرمز ع، وللبعد البؤرى للمرآة بالحرف ل تستخرج قيمة ل من المعادلة

$$\frac{١}{ل} = \frac{١}{ع - } + \frac{١}{ع_{،}}$$

حيث يلاحظ وضع اشارة ع سالبة. وتعاد هذه العملية بضع مرات تستخرج فى كل مرة على حدتها قيمة ل ثم يقدر المتوسط

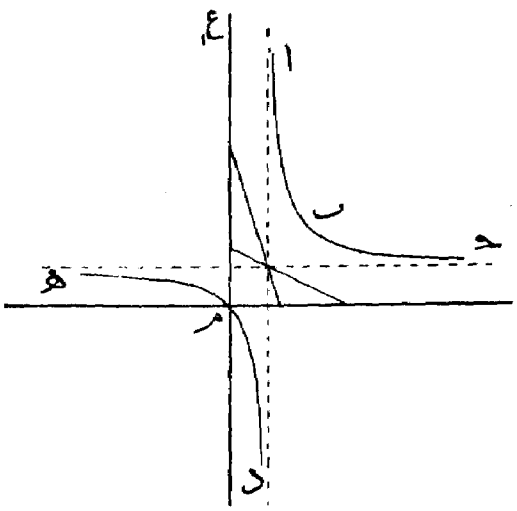
بيان العلاقة بين بعد الجسم وبعد الصورة بالرسم البيانى

الخط البيانى الدال على علاقة المقدارين ع ، ع، أحدهما بالآخر فى المعادلة

$$\frac{١}{ل} = \frac{١}{ع} + \frac{١}{ع_{،}}$$

قطع زائد كالمبين بشكل (١٠٦) ويمكن من نتائج التجارب السابقة تحقيق ذلك. فاذا قيست قيمات ع على المحور الأفقى وقيمات ع، على المحور الرأسى فان نتائج الطريقة الثالثة حيث

يكون كل من المقدارين ع ، ع ، موجباً يتكون منها الخط البيانى ا ب حـ وهو أحد فرعى القطع الزائد . ونتائج الطريقة الرابعة حيث يكون المقدار ع موجباً والمقدار ع ، سالباً يتكون منها الجزء مـ د من الفرع الثانى ونتائج الطريقة الخامسة حيث يكون المقدار ع سالباً والمقدار ع ، موجباً يتكون منها الجزء مـ هـ من هذا الفرع



(شكل ١٠٦)

ويلاحظ أن المستقيم المرسوم موازياً للمحور الرأسى وعلى بعد منه قدره ل ومعادلته ع = ل والمستقيم المرسوم موازياً للمحور الأفقى وعلى بعد منه يساوى ل ومعادلته ع ، = ل يمسان القطع الزائد فى مالانهاية وعند نقطة تقابلهما يتساوى الاحداثيان الأفقى والرأسى ويعين كل منهما البعد البؤرى

ويلاحظ أنه اذا عينت قيمة ع على المحور الأفقى وقيمة ع ، التى تقابلها على المحور الرأسى ووصل المستقيم بين النقطتين فانه يمر بنقطة تقابل المستقيمين اللذين يمسان فرعى القطع الزائد فى ما لا نهاية وذلك لأن معادلة أى مستقيم من المستقيمات المذكورة هى

$$\frac{س}{ع} + \frac{ص}{ع_{،}} = ١$$

وبما أن $\frac{١}{ع} + \frac{١}{ع_{،}} = \frac{١}{ل}$

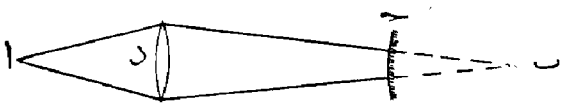
أى $\frac{ل}{ع} + \frac{ل}{ع_{،}} = ١$

فان معادلة المستقيم من المستقيمات المذكورة تتحقق اذا استبدلت ل بالمقدارين س ، ص فيها فاذا وصلت النقط التى تعين قيمات ع المختلفة على المحور الأفقى والنقط التى تعين قيمات ع ، المختلفة على المحور الرأسى الواحدة من الاولى بالمقابلة لها من الثانية فان احداثي نقطة تقابل جميع هذه المستقيمات يكونان متساويين ويساوى الواحد منهما البعد البؤرى

١٣٥ ــ ايجاد البعد البؤرى للمرآة المحدبة

الطريقة الاولى ــ الاستعانة بعدسة لامة

تستعمل لوحة الابصار ويستعان بعدسة لامة د (شكل ١٠٧) بحيث تتكون صورة حقيقية عند ب للخيطين المتعامدين فى الثقب الموجود عند ا ثم توضع المرآة المحدبة حـ بين العدسة و بين الصورة فاذا وقعت الاشعة عموديا على سطحها انعكست فى مسيراتها الأولى ونفذت من العدسة متجمعة عند ا مرة أخرى . فاذا وضعت المرآة بازورار قليل وحركت نحو العدسة أو بعيداً عنها أمكن الحصول على موضع تتكون عنده للخيطين المتعامدين صورة على الحاجز الموجود به الثقب . ومتى كانت الصورة واضحة دقيقة كان البعد بين ب و بين المرآة حـ مساوياً نصف قطر تكورها . وتتطلب هذه الطريقة أن توضع العدسة اللامة د بحيث يكون البعد بينها و بين الصورة ب أكبر من نصف قطر تكور المرآة حـ



(شكل ١٠٧)

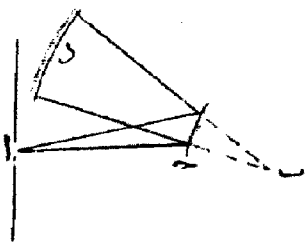
الطريقة الثانية ــ تطبيق القانون والاستعانة فى ذلك بطريقة انطباق المواضع

نظراً لأن الصور التى تحدثها المرآة المحدبة للاجسام الحقيقية هى دائماً صور تقديرية فانه يمكن بتطبيق طريقة انطباق المواضع كما فى الطريقة الرابعة التى سبق ذكرها فى المرآة المقعرة تعيين موضع الصورة التقديرية . فاذا رمز لبعد الجسم عن المرآة المحدبة بالحرف ع ولبعد صورته التقديرية عنها بالرمز ع$_{١}$ وللبعد البؤرى بالحرف ل فان قيمة ل تستخرج من المعادلة

$$\frac{١}{ل} = \frac{١}{ع} + \frac{١}{-ع_{١}}$$

مع ملاحظة وضع اشارة ع$_{١}$ سالبة ، حيث يلاحظ أن قيمة ل المستخرجة من المعادلة تكون سالبة أيضاً

الطريقة الثالثة — تطبيق القانون والاستعانة فى ذلك بمرآة مقعرة



(شكل ١٠٨)

تستعمل لوحة الابصار وتعد مرآة مقعرة معلوم نصف قطر تكورها . ونظرية هـذه الطريقة موضحة بشكل (١٠٨) فالثقب ا الذى به الخيطان المتعامدان يعتبر جسما بالنسبة الى المرآة المحدبة حـ فتتكون له صورة تقديرية فى موضع مثل ب وتنعكس الأشعة عن سطح هذه المرآة كأنها صادرة من ب فاذا وضعت المرآة المقعرة د بحيث يقع على سطحها بعض الضوء المنعكس عن سطح الأولى كما هو مبين بالشكل وسقطت الأشعة على المرآة د عمودياً على سطحها فانها تنعكس فى مسيراتها الأولى وتقع على المرآة حـ ثم تنعكس عنها متجمعة عند ا . فاذا وضعت المرآة د بازورار قليل تكونت على الحاجز الموجود به الثقب ا وبجوار هذا الثقب صورة للخيطين المتعامدين ويكون البعد بين الصورة ب والمرآة المقعرة د مساوياً نصف قطر تكور هذه المرآة ويكون الفرق بين هـذا وبين البعد بين المرآتين حـ ى د هو بعد الصورة التقديرية ب عن المرآة حـ فاذا رمزنا لهذا بالرمز ع، ولبعد ا عن المرآة حـ بالحرف ع وللبعد البؤرى لهـذه المرآة بالحرف ل تستخرج قيمة ل من المعادلة

$$\frac{١}{ل} = \frac{١}{ع} + \frac{١}{-ع،}$$

مع ملاحظة وضع اشارة ع، سالبة . وتكرر هذه العملية بضع مرات تقدر فى كل مرة على حدتها قيمة ل ثم يستخرج متوسط قيمتها

ولكى يتيسر للطالب اجراء هذه التجربة بسهولة يستحسن تهيئة الحامل ب (شكل ١٠٤) والحاجز ا من لوحة الابصار فى وضعهما المبينين بشكل (١٠٤) ثم وضع المرآة المحدبة بازورار قليل على الحامل ب وسطحها العاكس نحو ا وليكن الازورار نحو الجانب الأيمن بالنسبة الى الناظر من خلف المرآة الى الحاجز ا . فبهذه الكيفية تتوجه كمية كبيرة من الضوء المنعكس عن سطح المرآة المحدبة الى هذا الجانب فتوضع المرآة المقعرة على حامل آخر فى الجانب المذكور

وسطحها العاكس موجه نحو المحدبة بحيث يقع عليها أكبر ما يمكن من الضوء المنعكس عن المحدبة . فاذا أمسكت باليد قطعة من الورق الأبيض ووضعت خلف المرآة المحدبة أمكن بمراقبة الضوء الواقع على هذه الورقة آتياً من سطح المقعرة تهيئة وضع هذه المرآة بحيث يجعل هذا الضوء يسقط على سطح المحدبة فيتحقق بهذه الكيفية رجوع الضوء ثانية نحو الحاجز الذى به الثقب منعكساً عن سطح المحدبة ولا يجد الطالب بعد ذلك صعوبة ما فى تهيئة الأبعاد لكى تكون الصورة الحادثة على هذا الحاجز واضحة دقيقة

الطريقة الرابعة — تطبيق القانون فى حالة الجسم التقديرى

تستعمل لوحة الأبصار ويستعان بعدسة لامة كما فى الطريقة الأولى للحصول على صورة حقيقية عند ب للثقب الموجود عند ا (شكل ١٠٧) ثم توضع المرآة المحدبة حـ بين الصورة ب والعدسة اللامة بازورار قليل ويوضع الحاجز الأبيض المعد لكى تتكون عليه الصورة بحيث يقع عليه الضوء المنعكس عن سطح المرآة دون أن يقع على العدسة . فاذا أبعدت أو قربت المرآة المحدبة بالنسبة اليه أو هو بالنسبة اليها أو هما معاً أمكن الحصول على صورة حقيقية تتكون على الحاجز تعتبر صورة للجسم التقديرى ب . فاذا رمزنا لبعد الحاجز عن المرآة المحدبة بالرمز ع، ولبعد ب عنها بالحرف ع وللبعد البؤرى بالحرف ل تستخرج قيمة ل من المعادلة

$$\frac{١}{ع_{،}} + \frac{١}{-ع} = \frac{١}{ل}$$

مع ملاحظة وضع اشارة ع سالبة . وتكرر هذه العملية بضع مرات وتقدر قيمة ل فى كل مرة على حدتها ثم يستخرج المتوسط

١٣٦ — ايجاد البعد البؤرى لعدسة لامة

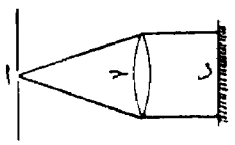
الطريقة الاولى — الاستعانة بجسم بعيد جداً

يراعى (كما فى الطريقة الأولى لايجاد البعد البؤرى للمرآة المقعرة) جسم بعيد جداً كبناء قائم ويتخذ جسما بالنسبة الى العدسة اللامة يتكون له فى الجانب الآخر منها صورة حقيقية مصغرة مقلوبة على حاجز أبيض معد لذلك ويهيأ بعد الحاجز عن العدسة حتى تكون الصورة

أدق وأوضح ما يمكن فيكون هذا البعد مساوياً البعد البؤرى للعدسة

الطريقة الثانية — الاستعانة بمرآة مستوية

تستعمل لوحة الابصار ونظرية الطريقة موضحة بشكل (١٠٩) حيث يسقط الضوء من الثقب ا ذى الخيطين المتعامدين على العدسة ثم يقع بعد نفوذه منها على مرآة مستوية د فاذا كان البعد بين العدسة والثقب مساوياً البعد البؤرى فان الأشعة النافذة من العدسة تكون متوازية بحيث اذا سقطت على المرآة المستوية عموديا عليها انعكست فى مسيراتها الاولى فتتجمع مرة أخرى عند ا فاذا وضعت المرآة بميل طفيف تكونت على الحاجز الذى به الثقب وبجوار الثقب صورة واضحة دقيقة للخيطين المتعامدين ولسهولة اجراء التجربة يستحسن أولا وضع العدسة والمرآة متلامستين وتوجيه العدسة



(شكل ١٠٩)

نحو الثقب ا فاذا أبعدت المرآة والعدسة معا أو قربتا معا أمكن بسهولة ايجاد الوضع الذى ترى فيه بجوار الثقب صورة للثقب نفسه ، وبعد تحديد هذا الموضع توضع العدسة عنده على حدتها وتوضع المرآة فى الجانب الآخر منها وسطحها العاكس نحو العدسة ويعدل موضع العدسة حتى تصير صورة الخيطين المتعامدين على الحاجز واضحة دقيقة فيكون البعد بين العدسة والحاجز مساوياً البعد البؤرى

ويلاحظ فى هذه التجربة أن تقريب المرآة أو ابعادها عن العدسة لا تأثير له فى وضوح الصورة ودقتها وامالة المرآة يغير طبعا موضع الصورة على الحاجز وازالة المرآة من موضعها يضيع الصورة وبالامرين الأخيرين يتأكد من أن الصورة هى الحادثة بالانعكاس عن سطح المرآة

الطريقة الثالثة — تطبيق القانون فى حالة الصورة الحقيقية

تستعمل لوحة الابصار وتوضع العدسة على الحامل ب فى وضعه المبين بشكل (١٠٤) ويكون الحاجز الذى به الثقب ذو الخيطين المتعامدين والحاجز الابيض المعد لكى تتكون الصورة عليه فى الوضعين المبينين فى الشكل المذكور ثم يغير موضع العدسة وموضع الحاجز الابيض أحدهما أو كلاهما حتى يتكون على هذا الحاجز صورة حقيقية مقلوبة للخيطين المتعامدين. فاذا رمزنا لبعد الثقب عن العدسة بالحرف ع ولبعد صورته عنها بالرمز ع ، وللبعد البؤرى للعدسة بالحرف د تستخرج قيمة د من المعادلة

$$\frac{١}{ل} = \frac{١}{ع} - \frac{١}{-ع_{١}}$$

مع ملاحظة أن اشارة $ع_{١}$ سالبة وأن قيمة ل المستخرجة من المعادلة توجد سالبة أيضا

وتعاد هذه العملية عدة مرات تكون الصورة فى بعضها مكبرة وفى بعضها مصغرة وتقدر قيمة ل فى كل مرة على حدتها ثم يستخرج المتوسط

الطريقة الرابعة — تطبيق القانون فى حالة الصورة التقديرية

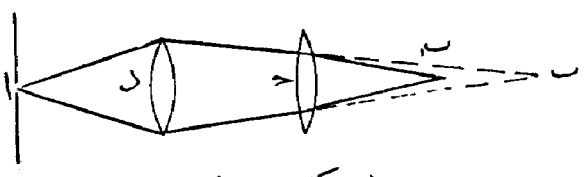
اذا كان الجسم على بعد من العدسة أقل من بعدها البؤري فان الصورة تكون تقديرية معتدلة مكبرة ولايجاد موضع الصورة فى هذه الحالة يمكن الاستعانة بطريقة انطباق المواضع كما سبق فى الطريقة الرابعة فى حالة المرآة المقعرة مع ملاحظة وضع الدبوس أو الابرة التى تتخذ جسما بالنسبة الى العدسة فى أحد جانبيها ثم ينظر الى هذا الجسم من الجانب الآخر خلال العدسة وتقرب العدسة منه حتى ترى صورته مكبرة معتدلة. ثم يؤتى بالابرة الطويلة الثانية وتحرك فى الجانب الموجود فيه الجسم حتى يرى الجزء الناتىء منها فوق العدسة أو من تحتها على امتداد الصورة التقديرية الاولى بحيث اذا حركت العين قليلا يظل الانطباق باقيا . فاذا رمز لبعد الجسم عن العدسة بالحرف ع ولبعد صورته عنها بالرمز $ع_{١}$ وللبعد البؤرى للعدسة بالحرف ل تستخرج قيمة ل من المعادلة

$$\frac{١}{ل} = \frac{١}{ع} - \frac{١}{ع_{١}}$$

مع ملاحظة أن اشارتى كل من ع ، $ع_{١}$ موجبة . وتعاد هذه العملية بضع مرات كما فى الحالات الاخرى

الطريقة الخامسة — تطبيق القانون فى حالة الجسم التقديرى

تستعمل لوحة الابصار ويستعان بعدسة لامة أخرى د (شكل ١١٠) ليس من الضرورى معرفة بعدها البؤرى بحيث



(شكل ١١٠)

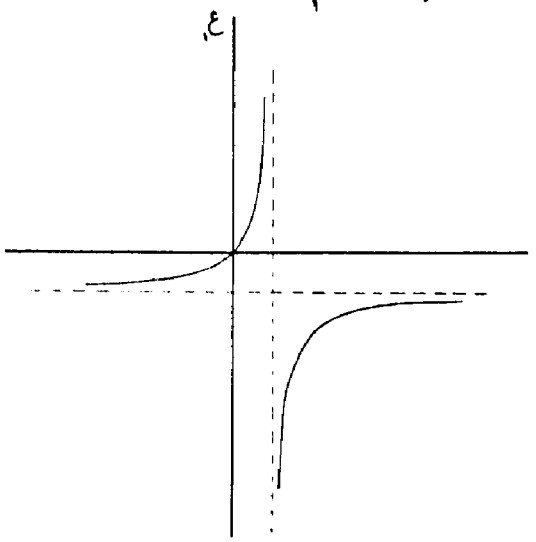
يتكون بوساطتها عند ب على الحاجز المعد لذلك صورة حقيقية للثقب ا ثم يؤتى بالعدسة اللامة ح المطلوب ايجاد بعدها البؤرى وتوضع بين ب ، د فبمجرد وضعها تختفى الصورة ب وتعتبر هذه الصورة جسما تقديرياً بالنسبة اليها فاذا حرك الحاجز المعد لكى تتكون عليه الصورة نحو العدسة ح أمكن ايجاد الوضع الذى تتكون عنده صورة حقيقية ب ، تكون صورة للجسم التقديرى ب فاذا رمز للبعد بين ب والعدسة ح بالحرف ع وللبعد بين ب ، وبينها بالرمز ع ، ولبعدها البؤرى بالحرف د فان قيمة د تستخرج من المعادلة

$$\frac{١}{د} = \frac{١}{ع} - \frac{١}{ع_{١}}$$

مع ملاحظة أن اشارتى كل من ع ، ع ، سالبة . وتعاد هذه العملية بضع مرات ويقدر متوسط قيمة د كما فى الحالات السابقة

بيان العلاقة بين بعد الجسم وبعد الصورة بالرسم البيانى

يرسم محوران أحدهما أفقى والآخر رأسى وتعين على الأول قيمات ع وعلى الآخر قيمات ع ، المقابلة لها فنتائج الطريقة الثالثة تعين القيمات الموجبة للمقدار ع والقيمات السالبة التى تقابلها للمقدار ع ، ونتائج الطريقة الرابعة تعين القيمات الموجبة للمقدار ع والقيمات الموجبة التى تقابلها للمقدار ع ، أما نتائج الطريقة الخامسة فتعين القيمات السالبة للمقدار ع والقيمات السالبة التى تقابلها للمقدار ع ، ونظراً لان قيمة د سالبة فان ع ، تكون دائماً سالبة ما دامت ع سالبة



(شكل ١١١)

والمنحنى الدال على العلاقة بين ع ، ع ، قطع زائد كالمبين بشكل (١١١) ويلاحظ هنا أيضاً كما فى المرآة المقعرة أنه اذا وصلت النقط التى تدل على قيمات ع على المحور الأفقى بالنقط التى تدل على قيمات ع ، على المحور الرأسى الواحدة من الأولى بالتى تقابلها من الثانية فان المستقيمات

جميعها تتقابل فى نقطة واحدة يكون احداثياها متساويين و يساوى الواحد منهما البعد البؤرى للعدسة

الطريقة السادسة — طريقة الازاحة

نظرية هذه الطريقة أنه اذا وضع جسم على بعد قدره س من عدسة لامة وتكونت له صورة حقيقية على بعد قدره ص منها فأنه اذا وضع الجسم على بعد ص من العدسة تكونت صورة حقيقية على بعد س منها وبيان ذلك أنه اذا رمز للبعد البؤرى للعدسة بالحرف ل نتج من الفرض المذكور ان

$$\frac{١}{-ص} - \frac{١}{س} = \frac{١}{ل} \quad \therefore \quad \frac{١}{ل} = -\left(\frac{١}{س} + \frac{١}{ص}\right)$$

و بما أن الجسم فى الحالة الثانية على بعد ص عن العدسة فبالرمز لبعد صورته عنها بالرمز $ع_١$ يكون

$$\frac{١}{-ع_١} - \frac{١}{ص} = -\left(\frac{١}{س} + \frac{١}{ص}\right)$$

$$ع_١ = -س$$

فاذا فرضنا أن العدسة فى الوضع $ح_١$ (شكل ١١٢) وتكوّن للجسم ا صورة حقيقية عند ب وكان بعد الجسم عن العدسة س وبعد صورته عنها ص فان هناك موضعاً آخر $ح_٢$ للعدسة يكون بعد الجسم ا عنها هو ص وبعد صورته عنها هو س ويكون موضع الصورة لا يزال هو ب ويكون البعد بين ا والعدسة فى الموضع الأول مساويا البعد بين ب والعدسة فى الموضع الثانى

(شكل ١١٢)

فاذا رمزنا للبعد بين الجسم ا وبين صورته ب فى الحالتين بالحرف ا وللبعد بين موضعى العدسة بالحرف ء يكون البعد بين ا والموضع الاول للعدسة ($ح_١$) مساوياً $\frac{١}{٢}$ (ا — ء)

واذن يكون البعد بين ب والموضع الأول للعدسة أى بين العدسة والصورة التى تحدثها وهى فى الموضع الاول مساوياً

$$ا - \frac{١}{٢}(ا - ء) = \frac{١}{٢}(ا + ء)$$

فاذا رمزنا للبعد البؤرى للعدسة بالحرف ل يكون

$$\frac{1}{\text{ل}} = \frac{1}{\frac{1-\text{ء}}{2}} - \frac{1}{\frac{1+\text{ء}}{2}}$$

$$\frac{1}{\text{ل}} = -\left(\frac{2}{1+\text{ء}} + \frac{2}{1-\text{ء}}\right) = -\frac{14}{1^2-\text{ء}^2}$$

$$\therefore \text{ل} = -\frac{1^2-\text{ء}^2}{14} \quad \ldots\ldots (1)$$

ولتطبيق هذه الفكرة تستعمل لوحة الابصار ويهيأ الثقب ذو الخيطين المتعامدين والعدسة والحاجز الأبيض بحيث تحدث على هـذا الأخير صورة حقيقية مقلوبة ولتكن مكبرة مثلا للثقب ويعين موضع العدسة ثم تزاح العدسة نحو الحاجز الأبيض دون أن يغير موضع الثقب أو موضع هذا الحاجز حتى يتكون عليه صورة حقيقية مقلوبة مصغرة ويقاس البعد بين موضعى العدسة وهو المقدار المرموز له بالحرف ء فيما سبق . وكذلك يقاس البعد بين الثقب والحاجز الأبيض وهو المرموز له بالحرف ا ثم تقدر قيمة ل من المعادلة السابقة . وتكرر العملية بضع مرات يغير فى كل البعد بين الثقب والحاجز وتقدر قيمـة ل فى كل مرة على حدتها ثم يستخرج متوسط قيمتها

ويلاحظ من المعادلة (١) أنه اذا كانت ء صفراً فان ا = ٤ ل عدداً وفى هذه الحالة تكون العدسة فى منتصف البعد بين الثقب والحاجز (أى بين الجسم وصورته) وتكون الصورة الحقيقية المقلوبة مساوية الجسم . ومن هذا يتبين أن فى طريقة الازاحة تكون الصورة فى أحد وضعى العدسة مكبرة وفى الآخر مصغرة

١٢٧ — ايجاد البعد البؤرى للعدسة المفرقة

الطريقة الاولى — تطبيق القانون والاستعانة فى ذلك بطريقة انطباق المواضع

الصور التى تحدثها العدسات المفرقة للاجسام الحقيقية تكون دائماً صوراً تقديرية ويمكن تعيين موضع الصورة التقديرية بالكيفية التى سبق ذكرها فى الطريقة الرابعة فى حالة العدسة

اللامة مع ملاحظة أن الصورة التقديرية فى حالة العدسة المفرقة تكون مصغرة لا مكبرة فاذا رمز لبعد الجسم عن العدسة بالحرف ع، ولبعدها البؤرى بالحرف ل فان قيمة ل تستخرج من المعادلة

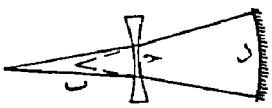
$$\frac{١}{ع_{،}} - \frac{١}{ع} = \frac{١}{ل}$$

مع ملاحظة اعتبار اشارتى كل من ع ، ع، موجبة

وتعاد العملية بضع مرات تقدر فى كل مرة على حدتها قيمة ل ثم يستخرج متوسط قيمتها

الطريقة الثانية — تطبيق القانون والاستعانة فى ذلك بمرآة مقعرة معلوم نصف قطر تكورها

نظرية هذه الطريقة موضحة بشكل (١١٣) فالجسم ا تتكون له صورة تقديرية ب بوساطة العدسة فتنفذ الاشعة النافذة من العدسة كأنها صادرة من ب فاذا وضعت فى الجانب الآخر من العدسة مرآة



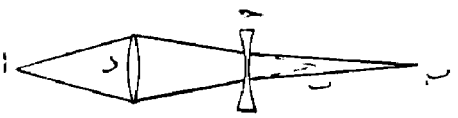
(شكل ١١٣)

مقعرة د سطحها العاكس متجه نحو العدسة وسقطت عمودياً عليها الاشعة النافذة من العدسة انعكست الأشعة فى مسيراتها الأولى فتنفذ من العدسة متجمعة مرة أخرى عند ا ولتطبيق هذه الفكرة تستعمل لوحة الابصار ويتخذ الثقب ذو الخيطين المتعامدين جسما وتوضع العدسة المفرقة أمامه وفى الجانب الآخر منها المرآة المقعرة وتوضع بازورار طفيف وتحرك هى أو العدسة المفرقة أو كلتاهما حتى يتكون على الحاجز الذى به الثقب وبجوار الثقب صورة واضحة دقيقة للخيطين المتعامدين فتكون الصورة التقديرية التى تحدثها العدسة للثقب عند مركز تكور المرآة المقعرة واذن يكون الفرق بين بعد العدسة عن المرآة وبين نصف قطر تكور المرآة مساوياً بعد الصورة عن العدسة ومن المعادلة المذكورة فيما سبق تقدر قيمة ل . وتعاد العملية بضع مرات ويستخرج متوسط قيمة ل كما فى الحالات السابقة

الطريقة الثالثة — تطبيق القانون فى حالة الجسم التقديرى

تستعمل لوحة الابصار ويستعان بعدسة لامة د (شكل ١١٤) فى تكوين صورة حقيقية عند ب للثقب ا ثم توضع العدسة المفرقة عند ح بين اللامة وبين الصورة ب فبمجرد وضعها

تختفى الصورة ب واذن يمكن اعتبار هذه الصورة جسما تقديرياً بالنسبة الى العدسة المفرقة . و بالرمز لبعد الجسم بالحرف ع وللبعد البؤرى بالحرف د يتبين كما سبق فى بند(٨٢) انه اذا كانت ع < د فان الصورة تكون حقيقية . وفى هذه الحالة اذا أبعد الحاجز الابيض الذى تتكون عليه الصورة ب أمكن ايجاد الموضع ب١ الذى تتكون فيه على الحاجز صورة حقيقية للجسم التقديرى ب فاذا رمزنا لبعد ب عن العدسة المفرقة بالحرف ع ولبعد ب١ عنها بالرمز ع١ تستخرج قيمة البعد البؤرى من المعادلة



(شكل ١١٤)

$$\frac{١}{د} = \frac{١}{ع} - \frac{١}{-ع_{١}}$$

مع ملاحظة أن اشارة كل من ع ، ع١ سالبة

و يلاحظ فى هذه التجربة أن البعد بين ب والعدسة المفرقة قد لا يكون أقل من بعدها البؤرى فلا يكفى للحصول على الصورة الحقيقية ب١ ابعاد الحاجز وحده اذ يتطلب ذلك تقريب العدسة حـ من موضع ب أيضاً حتى يتوافر شرط امكان حدوث الصورة الحقيقية للجسم التقديرى

وتعاد العملية السابقة بضع مرات ويستخرج فى كل مرة قيمة د ثم يقدر المتوسط

الطريقة الرابعة — تركيب عدسة مزدوجة

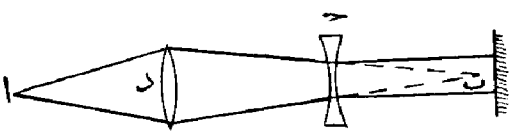
تستعمل لوحة الابصار و يستعان بعدسة لامة معروف بعدها البؤرى وتوضع ملاصقة للعدسة المفرقة بحيث تتكون منهما قطعة تعمل عمل عدسة لامة . و يوجد البعد البؤرى لهذه القطعة اللامة بأحدى الطرق التى سبقت فى ايجاد البعد البؤرى للعدسة اللامة (وأسهلها الطريقة الثانية) فاذا رمزنا للبعد البؤرى للعدسة اللامة بالرمز د١ وللبعد البؤرى للمفرقة بالرمز د٢ وللبعد البؤرى للقطعة المركبة منهما بالحرف د فان

$$\frac{١}{د} = \frac{١}{د_{١}} + \frac{١}{-د_{٢}}$$

حيث يلاحظ فى التعويض أن قيمتى د ، د١ سالبتان ، ويجب أن تكون العدسة اللامة التى يستعان بها فى هذه التجربة ذات بعد بؤرى مناسب حتى يتكون بضم المفرقة اليها قطعة لامة

الطريقة الخامسة — الاستعانة بمرآة مستوية

نظرية هـذه الطريقة موضحة بشكل (١١٥) حيث يستعان بعدسة لامة د فى تكوين صورة حقيقية عند ب ثم توضع العدسة المفرقة حـ بين اللامة و بين الصورة ب ، وفى الجانب الآخر منها مرآة مستوية هـ فاذا وقعت الاشعة النافذة من العدسة متوازية ، عمودية على سطح المرآة انعكست فى مسيراتها الاولى وتجمعت مرة أخرى عند ا وفى هذه الحالة تكون الصورة ب على بعد من العدسة حـ يساوى بعدها البؤرى



(شكل ١١٥)

ولتطبيق هـذه الفكرة تستعمل لوحة الأبصار ويتخذ الثقب ذو الخيطين المتعامدين جسما وتكون الغايه من التجربة الحصول على صورة للخيطين المتعامدين على الحاجز الموجود فيه الثقب . ولـكى يتيسر للطالب اجراء التجربة من غير عناء يستحسن أن يضع العدسة اللامة أولا فى وضع مناسب لـكى تتكون صورة حقيقية للثقب على الحاجز الأبيض الموضوع فى الجانب الآخر منها دون أن يعين موضع العدسة مبدئياً ثم يضع العدسة المفرقة بين اللامة وبين الصورة المذكورة ويحركها قريباً الى اللامة أو بعيداً عنها حتى يرى موضع وقوع الأشعة النافذة منها على الحاجز الأبيض مستديراً يكاد قطره يساوى قطر العدسة المفرقة ويظل قطر استدارته ثابتاً اذا ابعد أو قرب الحاجز وحده وبهذه الـكيفية يهتدى الى تحديد موضع العدسة المفرقة حيث تنفذ الأشعة منها متوازية . ويلاحظ بالرجوع الى شكل (١١٥) انه اذا كان البعد بين العدسة اللامة د والصورة ب أقل من البعد البؤرى للمفرقة استحال نفوذ الأشعة من المفرقة متوازية وفى هذه الحالة يلزم تقريب العدسة اللامة من الثقب ا حتى تبعد الصورة ب عنهـا ويصير البعد بين هذه الصورة والعدسة اللامة اكبر من البعد البؤرى للمفرقة . وبعد الاهتداء بالـكيفية السابقة الى موضع العدسة المفرقة حيث تنفذ منها الأشعة متوازية توضع المرآة المستوية فى موضع كالمبين بالشكل وباز وزار طفيف فلا يجد الطالب عناء فى تحقيق عودة الأشعة مرة أخرى الى الحاجز الذى به الثقب فاذا عدل وضع العدسة المفرقة أو العدسة اللامة قليلا رؤيت صورة واضحة دقيقة للخيطين المتعامدين على هذا الحاجز ويلاحظ أن تقريب المرآة أو ابعادها لا تأثير

له فى هذه الصورة من وجهة الوضوح والدقة اما امالتها فيغير طبعاً من موضع الصورة على الحاجز

فاذا حصل الطالب على الصورة بالكيفية السابقة يعين موضع العدسة المفرقة بالضبط ثم يزيل المرآة وحدها (مع ابقاء العدستين والحاجز الذى به الثقب فى أمكنتها) ويتأكد من أن ازالة المرآة تضيع الصورة ثم يزيل بعد ذلك العدسة المفرقة وحدها ويأتى بحاجز أبيض ويبحث عن مكان الصورة الحقيقية ب وهى التى تحدثها اللامة ويعين مكانها بالضبط فيكون البعد بين موضع هذه الصورة وموضع العدسة المفرقة مساوياً البعد البؤرى لهذه العدسة

وتعاد العملية بضع مرات ويستخرج متوسط البعد البؤرى

١٣٨ — ايجاد معامل انكسار مادة العدسة

اذا وجد نصف قطر تكور كل من سطحى العدسة ووجد أيضاً بعدها البؤرى أمكن ايجاد معامل انكسار الضوء فى مادتها من المعادلة

$$\frac{١}{ل} = \left[\frac{١}{س_٢} - \frac{١}{س_١}\right](م - ١)$$

مع ملاحظة الاشارات . فى العدسة المحدبة الوجهين مثلا يراعى أن قيمة ل تكون سالبة و لذلك قيمة $س_١$. أما فى العدسة المقعرة الوجهين فان اشارة $س_٢$ وحدها تكون سالبة

ولايجاد البعد البؤرى تستخدم احدى الطرق التى سبق ذكرها وقد تكون الطريقة التى يستعان فيها بمرآة مستوية أصلحها فى حالتى العدسة اللامة والعدسة المفرقة. ولايجاد نصف قطر تكور كل من سطحى العدسة يمكن استخدام مقياس التكور[١] بالكيفية المعروفة ولكن هناك طريقة ضوئية مناسبة يمكن بها ايجاد نصف قطر التكور نوردها فيما يأتى

(أولا) العدسة المقعرة الوجهين

فى العدسة الزجاجية المقعرة الوجهين ينعكس الضوء عن كل من سطحيها كما ينعكس عن

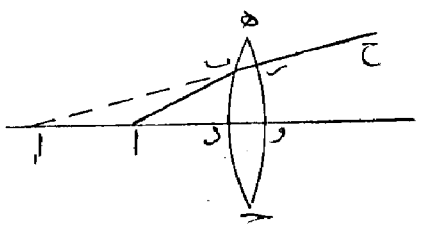
---

(١) Spherometer

سطح المرآة الكرية المقعرة ولذلك يمكن ايجاد نصف قطر تكور كل من سطحيها على حدته بالطريقة الثانية مثلا التى سبقت فى حالة المرآة المقعرة

(ثانياً) العدسة المحدبة الوجهين

أما فى العدسة الزجاجية مثلا المحدبة الوجهين فانه يمكن أيضاً تطبيق الانعكاس عن كل من سطحيها لايجاد نصف قطره . فاذا استعملت لوحة الأبصار وكان الثقب ذو الخيطين المتعامدين هو المدلول عليه بالحرف ا (شكل ١١٦) فان الضوء الذى يقع منه على السطح حـ د هـ للعدسة ويخترق مادتها ينعكس جانب منه عن سطحها الداخلى حـ ر هـ فاذا كانت الأشعة الواقعة على هذا السطح عمودية عليه كالشعاع ا ب ر فان الاشعة المنعكسة تسير فى مسيراتها الأولى وتخترق مادة العدسة اياباً . ثم تخرج من



(شكل ١١٦)

السطح حـ د هـ متجمعة مرة أخرى عند ا وفى هذه الحالة يتكون بالانعكاس عن السطح جـ ر هـ صورة للثقب عند موضع الثقب نفسه . أما الاشعة الخارجة من العدسة من السطح حـ ر هـ فانها تخرج على امتدادات الاشعة الساقطة على هـذا الوجه كالشعاع ب ر مثلا فهو يخرج على امتداد ب ر ح ويمر امتـداده اذن بنقطة $ا_{١}$ التى هى مركز تكور السطح حـ ر هـ . واذن تكون الاشعة النافذة من العدسة كأنها صادرة من مركز تكور السطح حـ و هـ . ويتضح من هذا أنه عنـد الحصول بالانعكاس عن السطح حـ ر هـ على صورة للثقب عند موضع الثقب أو بجواره يكون موضع صورة الثقب الحادثة بالانكسار خلال العدسة عند مركز تكور السطح حـ ر هـ . فاذا رمزنا لبعد الثقب ا عن العدسة بالحرف ع ولبعدها البؤرى بالحرف ل ولبعد $ا_{١}$ عنها بالرمز $ع_{٢}$ (نصف قطر تكور السطح حـ ر هـ) فان

$$\frac{١}{ل} = \frac{١}{ع_{٢}} - \frac{١}{ع}$$

مع ملاحظة أن اشارة ل سالبة ومن هذه المعادلة تستخرج قيمة $ع_{٢}$

ولتطبيق هذه الفكرة عملياً يوجد أولا البعد البؤرى للعدسة باحدى الطرق السابقة ثم توضع

العدسة على الحامل فى لوحة الأبصار قريبة جداً من الثقب وتبعد عنه بالتدريج حتى يتكون على الحاجز ذى الثقب وبجوار الثقب صورة للخيطين المتعامدين وهذه الصورة تتكون كما تبين فيما سبق بالانعكاس لا عن السطح المواجه للثقب رأساً بل عن السطح الآخر للعدسة ويقاس بعد الثقب عن العدسة ثم تستخرج قيمة $س_2$ من المعادلة المذكورة

وبعد ذلك تقلب العدسة بحيث يصير سطحها المواجه للثقب متجهاً الى الجانب الآخر وتعاد العملية وتستخرج قيمة $س_1$ نصف قطر السطح الثانى للعدسة

(ثالثاً) العدسة المحدبة المقعرة أو المقعرة المحدبة

والطريقة السابقة تصلح أيضاً لايجاد نصف قطر تكور كل من السطحين فى العدسة المحدبة المقعرة أو المقعرة المحدبة وفى الحالتين توضع العدسة وسطحها المقعر متجه نحو الثقب وفى الحالتين يتكون بالانعكاس عن السطح المقعر المواجه للثقب صورة يتعين بها مركز تكور هذا السطح رأساً ويتكون بالانعكاس عن السطح الآخر للعدسة صورة ويطبق قانون العدسة كما فى الحالة السابقة حيث يستخرج منه نصف قطر تكور السطح الآخر للعدسة

فاذا راعينا أولا العدسة المحدبة المقعرة أى التى تحدبها اكبر من تقعرها ورمزنا لنصف قطر سطحها المقعر بالرمز $س_1$ ولنصف قطر سطحها المحدب بالرمز $س_2$ يكون $س_1$ > $س_2$ واذا رمزنا بالحرف ع لبعد الثقب عن العدسة عند ما تتكون بالانعكاس الداخلى عن السطح المحدب للعدسة صورة للخيطين المتعامدين على الحاجز الذى به الثقب وبالحرف ل للبعد البؤرى للعدسة يتضح مما سبق أن

$$\frac{1}{\text{ل}} = \frac{1}{\text{ع}} - \frac{1}{س_2} \quad \therefore \quad \frac{1}{س_2} = \frac{1}{\text{ع}} - \frac{1}{\text{ل}}$$

ومنه يتصح أن $\frac{1}{س_2} < \frac{1}{\text{ع}}$

$$\therefore \quad س_2 > \text{ع}$$

$$\therefore \quad س_1 > س_2 > \text{ع}$$

ولذلك عند ما يوضع السطح المقعر للعدسة متجها نحو الثقب والعدسة قريبة جداً منه ثم

يؤخذ فى ابعادها رويداً رويداً فاول صورة تتكون بالانعكاس وتظهر على الحاجز الذى به الثقب تكون هى الحادثة بالانعكاس الداخلى عند السطح المحدب واذا رمز لبعد الثقب عن العدسة بالحرف ع وللبعد البؤرى بالحرف ل تقدر قيمة $س_2$ من معادلة العدسة كما سبق بيانه . ثم اذا أبعدت العدسة بعد ذلك أخذت وضعاً آخر تتكون فيه صورة أخرى على الحاجز فيكون بعد الثقب عن العدسة مساوياً نصف قطر تكور السطح المقعر للعدسة

واذا راعينا العدسة المقعرة المحدبة أى التى تقعرها اكبر من تحدبها فانه يمكن كما فى الحالة الأولى بيان أنه اذا وضعت العدسة قريبة جداً من الثقب وسطحها المقعر متجه نحوه ثم ابعدت رويداً رويداً فان أول صورة تتكون على الحاجز الذى به الثقب هى الحادثة بالانعكاس عن السطح المقعر ثم اذا أبعدت بعد ذلك أخذت وضعاً آخر تتكون فيه صورة أخرى على الحاجز تكون هى الحادثة بالانعكاس الداخلى عند السطح المحدب للعدسة .

١٣٩ — ايجاد معامل انكسار السائل بتركيب عدسة منه

اذا وضعت عدسة محدبة الوجهين مثلا على سطح مستوى ووضعت بضع قطرات من سائل كالماء مثلا بين العدسة والسطح المستوى تتكون بينهما عدسة مائية أحد وجهيها مستوى والآخر مقعر نصف قطر تكوره كنصف قطر تكور وجه العدسة الملامس للسطح المستوى فاذا رمزنا لنصف قطر تكوره بالرمز س وللبعد البؤرى للعدسة المائية بالحرف ل ولمعامل انكسار الماء بالحرف م فان

$$\frac{1}{ل} = (م - 1)\frac{1}{س} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

فاذا عرفت قيمة ل ، س أمكن استخراج قيمة م من هذه المعادلة

ولتطبيق هذه الفكرة عملياً يوجد أولا البعد البؤرى للعدسة المحدبة ثم يوجد نصف قطر تكور أحد وجهيها وتوضع العدسة بحيث يكون هذا الوجه ملامساً لسطح مرآة مستوية أفقية ويوضع بين العدسة والمرآة بضع قطرات من الماء (أو السائل) لكى تتكون العدسة السائلة . ثم يؤتى بابرة طويلة من الصلب مثلا وتمسك فى اليد فى وضع أفقى رأسياً فوق العدسة المركبة وينظر من فوق الابرة نحو العدسة المركبة حتى ترى الصورة الحقيقية الحادثة من جراء انعكاس

الضوء عن سطح المرآة . ويغير بعد الابرة حتى ترى الصورة منطبقة عليها بحيث اذا أزيحت العين قليلا يظل الانطباق باقياً . فيتكون فى هـذه الحالة صورة للجسم (أى الابرة) عند موضع الجسم على أساس الفكرة التى سبق ذكرها فى الطريقة الثانية لايجاد البعد البؤرى للعدسة اللامة وبعد تعيين الموضع المذكور للابرة تعييناً تقريبياً تثبت الابرة على حامل مناسب ويعدل موضعها حتى يحدث الانطباق على أتم وجه ثم يقاس بعد الابرة عن العدسة المركبة فيكون مساوياً بعدها البؤرى واذا رمزنا له بالرمز $ل_2$ ورمزنا للبعد البؤرى للعدسة المحدبة بالرمز $ل_1$ وللبعد البؤرى للعدسة السائلة بالحرف $ل$ يكون

$$\frac{١}{ل} + \frac{١}{-ل_1} = \frac{١}{-ل_2}$$

حيث يراعى أن اشارة كل من $ل_2$ ، $ل_1$ سالبة ومن هذه المعادلة تقدر قيمة $ل$ ومتى عرفت $ل$ ، $س$ أمكن استخراج قيمة $م$ من المعادلة (١)

١٤٠ — ايجاد معامل الانكسار بوساطة السبكترومتر

اذا كانت المادة المراد تعيين معامل انكسار الضوء فيها يمكن الحصول منها على منشور ثلاثى أمكن بقياس زاوية المنشور ولتكن $ا$ وقياس النهاية الصغرى لزاوية الانحراف ولتكن $د$ تعيين معامل الانكسار من المعادلة

$$م = \frac{\text{جا} \frac{ا + د}{٢}}{\text{جا} \frac{ا}{٢}}$$

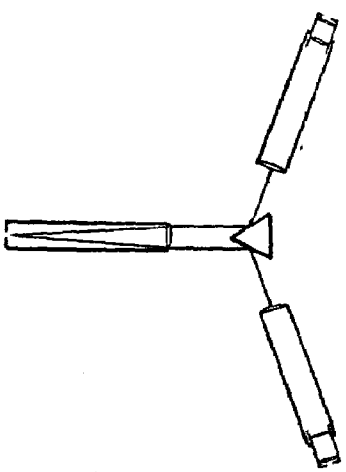
ولتطبيق هذه الطريقة بالدقة يستعمل السبكترومتر ويهيأ الجهاز للاستعمال كما سبق ذكره فى بند (١٠٧) ويعين موضع التلسكوب على الدائرة المدرجة عند ما ترى صورة الفتحة خلال التلسكوب وهو على امتداد المحور (قبل وضع المنشور) منطبقة على الخيط الرأسى من الخيطين المتعامدين فى عينية التلسكوب أو منطبقة على نقطة تقاطعهما اذا لم يكونا متعامدين ثم يوضع المنشور على القاعدة المعدة له فاذا كان الضوء الذى يضىء الفتحة بسيطاً كان طيفه خطاً مفرداً

كضوء لهب الصوديوم اذا أغفلنا ازدواج خطيه فيهيأ الجهاز لرؤية الخط الطيفى فى الوضع الذى تكون فيه زاوية الانحراف عند نهايتها الصغرى ويجعل الخيط الرأسى من الخيطين المتعامدين منطبقاً على الخط الطيفى فى هذا الوضع ويحدد موضع التلسكوب على الدائرة المدرجة فتكون الزاوية بين موضعيه هى الزاوية الصغرى للانحراف وهى قيمة ه فى المعادلة السابقة

واذا كان طيف الضوء ذا خطوط طيفية عدة يعين أحدها وتوجد الزاوية الصغرى للانحراف بالنسبة اليه حيث تكون قيمة م المستخرجة هى معامل انكسار ضوء هذا الخط خلال مادة المنشور

ولايجاد زاوية المنشور يوضع المنشور على القاعدة المعدة لذلك وحرفه الحارف متجه نحو المجمع كما هو مبين بشكل (١١٧) بحيث يكون هذا الحرف على امتداد محور المجمع ما أمكن فيقع جانب من الضوء الخارج من عدسة المجمع على احد سطحى المنشور والجانب الآخر على السطح الآخر

ثم يدار التلسكوب حتى ترى خلاله صورة للفتحة حادثة بالانعكاس عن أحد السطحين ويهيأ حتى تكون الصورة منطبقة على الخيط الرأسى فى العينية أو على نقطة تقاطع الخيطين ويحدد موضع التلسكوب على الدائرة المدرجة (أنظر شكل ١١٧) ثم يدار التلسكوب فى الجهة الأخرى حتى ترى صورة للفتحة حادثة بالانعكاس عن السطح الآخر للمنشور ويهيأ حتى تكون منطبقة على الخيط الرأسى أو أو نقطة تقاطع الخيطين ويحدد موضع التلسكوب على الدائرة المدرجة فتكون الزاوية بين الموضعين مساوية ضعف زاوية المنشور



(شكل ١١٧)

ولكى يسهل الحصول على الوضعين المذكورين للتلسكوب يستحسن عند وضع المنشور على القاعدة أن ينظر الى كل من سطحيه بالعين المجردة للتأكد من انعكاس جانب من الضوء عن كل من سطحيه فاذا نظر مرة أخرى الى أحدهما بحيث يقع الضوء المنعكس على العين وأدير التلسكوب حتى ينطبق محوره على

خط البصر لا يكون ثمت عناء فى رؤية الصورة الحادثة بالانعكاس خلال التلسكوب

وتصلح الطريقة المذكورة لتعيين معامل انكسار السائل فيوضع فى منشور ثلاثى أجوف مصنوع من ألواح من الزجاج قد عنى باستوائها

وقد طبقت الطريقة لايجاد معامل انكسار الغازات المختلفة بالنسبة الى الهواء . ويلاحظ فى هذه الحالة (كما فى حالة السوائل) انه اذا كانت جوانب المنشور الزجاجى الأجوف مصنوعة من ألواح من الزجاج مستوية السطحين متوازيتهما بالضبط وهيء السبكترومتر بحيث يكون المجمع والتلسكوب على استقامة واحدة وبحيث ترى صورة الفتحة منطبقة على الخيط الرأسى فى العينية أو على نقطة تقاطع الخيطين ثم وضع بعد ذلك المنشور الأجوف فى موضعه بين المجمع والتلسكوب فان وجوده بينهما لا يحدث انحرافاً ما فى الضوء النافذ من جوانبه وتبقى صورة الفتحة فى موضعها أما اذا استبدل بالهواء داخل المنشور الأجوف غاز يختلف معامل انكسار الضوء فيه عن معامل انكساره فى الهواء حدث انحراف طفيف وأزيحت الصورة عن موضعها ولكى يسهل قياس زاوية الانحراف فى هذه الحالة يهيأ الجهاز بحيث تقع الصورة على الخيط الرأسى أو نقطة تقاطع الخيطين عند نفوذ الضوء فى المنشور الأجوف وهو مملوء بالغاز المراد ايجاد معامل انكسار الضوء فيه[1] ويحدد موضع التلسكوب على الدائرة المدرجة ثم تدار القاعدة الموضوع فوقها المنشور (دون ازاحته عن موضعه فوقها) بمقدار قائمتين فينحرف الضوء النافذ خلاله فى الاتجاه المضاد لانحرافه الأول . فاذا هيء التلسكوب بحيث تقع الصورة على الخيط الرأسى أو نقطة تقاطع الخيطين وحدد موضعه على الدائرة المدرجة فان الزاوية بين موضعيه تكون مساوية ضعف زاوية الانحراف التى يقدر منها معامل الانكسار

١٤١ — طريقة أخرى لاعداد السبكترومتر للاستعمال

الطريقة التى سبق ذكرها فى بند (١٠٧) لاعداد السبكترسكوب للاستعمال تتطلب أن ينظر بوساطة التلسكوب الى جسم بعيد ولكن قد لا يكون من المناسب أحياناً تحريك الجهاز من موضعه أو فصل التلسكوب عنه وفى هذه الحالة تتبع طريقة تعرف بطريقة «شوستر»[2] تتلخص

---

(١) يكون المنشور فى الوضع الذى يجعل الانحراف عند نهايته الصغرى

(٢) Schuster

فى اضاءة فتحة المجمع بضوء ذى لون واحد كضوء لهب الصوديوم ووضع المنشور على القاعدة وتهيئته بحيث تكون زاوية انحراف الضوء خلاله عند نهايتها الصغرى بحيث اذا نظر خلال التلسكوب رؤيت صورة ولكنها ليست واضحة دقيقه نظراً لان الجهاز لما يعد للاستعمال فرضاً. تم تدار القاعدة الموضوع فوقها المنشور قليلا بحيث يميل الحرف الحارف للمنشور نحو التلسكوب و تنظر الصورة خلال التلسكوب ويهيأ هذا حتى ترى واضحة دقيقة و بعد ذلك تدار القاعدة فى الاتجاه الآخر حتى يتجاوز الوضع الذى يكون عنده الانحراف عند نهايته الصغرى ويميل حرفه الحارف نحو المجمع قليلا وتنظر الصورة خلال التلسكوب فلا ترى واضحة دقيقة وفى هذه الحالة يهيأ المجمع (دون التلسكوب) بابعاد الفتحة عن العدسة أو تقريبها اليها حتى تظهر الصورة فى التلسكوب واضحةدقيقة وبعد ذلك يعاد ادارة المنشوركما فى الحالة الأولى وتنظر الصورة ويهيأ التلسكوب (دون المجمع) حتى تظهر واضحة دقيقة تم يدار فى الجهة الأخرى ويهيأ المجمع دون التلسكوب ويكررذلك بضع مرات حتى تبقى الصورة واضحة دقيقة كيفما أديرت القاعدة

ويراعى فى هذه الطريقة الترتيب المذكور فيبدأ بادارة حرف المنشور نحو التلسكوب ويهيأ التلسكوب أما اذا بدىء بادارة حرف المنشور نحوالمجمع فيهيأ المجمع وهكذا وان لم يراع الترتيب المذكور فالصورة بدلا من أن تزداد دقة مع تكرار العملية فانها تسوء

١٤٢ — ايجاد معامل الانكسار بوساطة الميكرسكوب المتحرك

نظرية هذه الطريقة تتلخص فى تحديد الموضع الحقيق لجسم موضوع فى المادة المراد ايجاد معامل انكسار الضوء فيها ثم تحديد موضع صورته عندما ينظر الى الجسم من الهواء عمودياً على السطح ثم تقدير معامل الانكسار ويساوى نسبة بعد الجسم عن السطح الحادث عنده الانكسار الى بعد صورته عنه

ولتطبيق هذه الفكرة بالدقة يستعمل ميكرسكوب يتصل به (فضلا عن المسمار المحورى المعد لتهيئته به) لولب دقيق يمكن بوساطته ازاحة الميكرسكوب فى استقامة محوره بمقادير صغيرة

يمكن قياسها فاذا أريد ايجاد معامل انكسار سائل مثلا يؤتى باناء صغير مفلطح من الزجاج وتخدش على قراره من الداخل علامة بمبرد أو بسن من الماس ويوضع الاناء على قاعدة الميكرسكوب والميكروسكوب محوره رأسى ويهيأ الجهاز بحيث ترى العلامة بوضوح ثم تصب طبقة ذات سمك مناسب من السائل من غير أن يتغير موضع الاناء أو الميكرسكوب فنظراً لوجود السائل تصير صورة العلامة أقرب الى السطح الخالص للسائل ولذلك تتطلب رؤيتها خلال الميكرسكوب بوضوح أن يزاح هذا رأسياً الى أعلى فيدار رأس اللولب المدرج حتى يزاح الازاحة اللازمة وترى العلامة أدق وأوضح ما يمكن ويقاس قدر هذه الازاحة ولتكن $ع_1$ وهى تكون مساوية للبعد بين الجسم وبين صورته

ثم ينثر على السطح الخالص للسائل قليل من مسحوق الليكوپوديوم[1] ويدار رأس اللولب لكى يزاح الميكرسكوب الى أعلى حتى ترى خلاله دقائق الليكوپوديوم الطافية فوق سطح السائل واضحة دقيقة وتقدر الازاحة الثانية ولتكن $ع_2$ وتكون مساوية البعد بين الصورة وبين السطح الخالص للسائل واذن يكون البعد بين العلامة الحقيقية وبين السطح الخالص للسائل هو $ع_1 + ع_2$ ويكون معامل الانكسار

$$\frac{ع_1 + ع_2}{ع_2}$$

ومما يجب ملاحظته فى هذه الطريقة أن الميكرسكوبات التى تستعمل لهذه الغاية مدى اللولب فيها محدود أى أن اللولب الدقيق المدرج يكون فيها قابلا لازاحة الميكرسكوب بمقدار محدود قد لا يتجاوز خمسة مليمترات فى بعض الاجهزة . لذلك يجب فى مبدئ الامر أن يدار رأس اللولب المدرج حتى يكون الميكرسكوب عند مبدئ مداه فيمكن بادارته فى الجهة المضادة ازاحة الميكرسكوب الى أعلى بمقدار المدى كله ويهيأ الميكرسكوب لرؤية العلامة رأساً قبل وضع السائل باستعمال المسمار اللولبى المعد لذلك (لا اللولب المدرج) واذا وضعت طبقة السائل يراعى ألا يتجاوز سمكها وهو المقدار $ع_1 + ع_2$ مدى اللولب المدرج

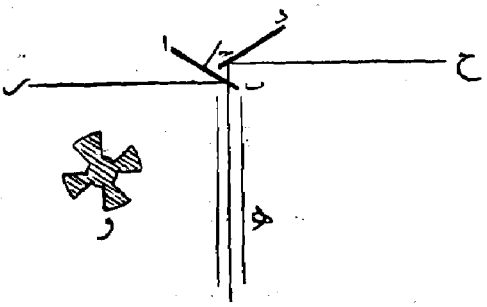
---

(١) Lycopodium

وتطبق هذه الطريقة لايجاد معامل انكسار مادة صلبة تتخذ منها ألواح شفافة وذلك بان يهيأ الميكروسكوب لرؤية علامة مخدوشة على لوح من الزجاج ثم يوضع اللوح من المادة المراد تعيين معامل انكسارها للضوء على هذه العلامة وتكرر العملية السابقة

١٤٣ ـــ قياس قوة الاضاءة بوساطة الفتومتر الخافق

يتركب الفتومتر الخافق[1] كما هو مبين بشكل (١١٨) من حاجز أبيض ا ب مصنوع على شكل صليب كالمبين عند و فى الجزء المنفصل من الشكل وهذا الحاجز قابل للدوران حول محور عمودى على مستواه مار بمركزه بوساطة جهاز آلى كأجهزة الساعات ومثبت بجوار هذا الصليب حاجز أبيض ح د بحيث اذا نظر خلال أنبوبة سوداء هـ رأى الانسان



(شكل ١١٨)

اما فرع الصليب ا ب يغطى الجزء الواقع خلفه من الحاجز ح د أو الفرجة بين فرعى الصليب تكشف ذلك الجزء . والجهاز مهيأ بحيث يكون ر أحد مصدرى الضوء فى استقامة المستقيم ر ب وهذا يصنع مع مستوى الصليب زاوية قدرها ٣٠° ويكون ح المصدر الآخر فى استقامة المستقيم ح ح الموازى للاول ويصنع مع الحاجز ح د زاوية قدرها ٣٠° أيضاً وبحيث يكون محور الانبوبة هـ عمودياً على هاتين الاستقامتين

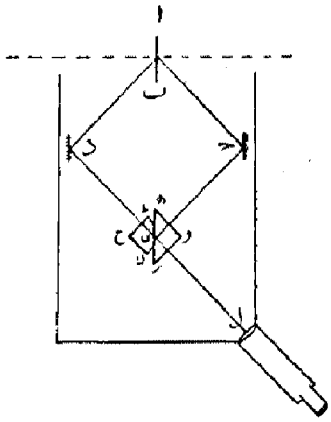
فاذا دار الصليب وكانت شدة الاستضاءة على سطح فرع الصليب عند ب وهى الحادثة بفعل المصدر ر لا تساوى شدة الاستضاءة على سطح الحاجز ح د عند ح وهى الحادثة بفعل المصدر ح رؤى المجال خافقاً فيشتد الضوء اذا تعرض السطح الشديد الاستضاءة للعين ويضعف اذا زال وانكشف من خلفه أو غشيه من أمامه السطح الضعيف الاستضاءة . فاذا هيئ بعد المصدرين أحدهما أو كليهما حتى يبطل هذا الخفقان كانت شدة الاستضاءة واحدة . فاذا رمز لقوة المصدر ر بالرمز $ش_1$ ولبعده عن ب بالرمز $ع_1$ ولقوة المصدر ح بالرمز $ش_2$ ولبعده عن ح بالرمز $ع_2$ كان

$$\frac{ش_1}{ش_2} = \frac{ع_1^2}{ع_2^2}$$

(١) Flicker Photometer

١٤٤ — قياس قوة الاضاءة بوساطة فتومتر لومر وبرودهان

يتركب فتومتر لومر وبرودهان [1] من حاجز أبيض ا ب يضاء أحد جانبيه بأحد مصدرى الضوء والآخر بالمصدر الآخر ويوضع المصدران بحيث يكون المستقيم الواصل بينهما عمودياً على الحاجز . وبالجهاز سطحان عاكسان أحدهما ح موضوع بحيث يعكس ما عليه من الضوء الصادر عن الوجه الايمن للحاجز نحو منشور قائم الزاوية هـ ور . والآخر د موضوع بحيث يعكس هو أيضاً ما يقع عليه من الضوء الصادر عن الوجه الأيسر للحاجز نحو منشور قائم الزاوية ح ط ى ك قد حدب سطحه المقابل للقائمة ثم سوى وسطه ووضع الوسط ملامساً لمساً تاماً الوجه هـ ر المقابل للقائمة فى المنشور الأول فالأشعة الواقعة عمودياً على الوجه هـ و من المنشور الاول تسقط على وجهه هـ ر بزاوية سقوط اكبر من الزاوية الحرجة فتنعكس انعكاساً كلياً عن جميع أجزاء هذا الوجه الا الجزء الملامس للجزء المستوى من الوجه المحدب فى المنشور الثانى . كذلك فالأشعة التى تقع عمودية على الوجه ح ط تنعكس انعكاساً كلياً عن السطح ط ى ك الا الاشعة الواقعة على الجزء المسوى منه فانها تنفذ فى المنشور الاول فى اتحاده د ى



(شكل ١١٩)

فاذا هيىء الجهاز بالكيفية المذكورة وراعينا انعكاس الضوء الصادر عن الوجه الأيمن للحاجز الأبيض ا ب وحده ونظر بوساطة تلسكوب فى اتجاه ل ى رؤيت صورة للوجه الايمن حادثة عن الانعكاس مرة عند السطح ح ومرة عند السطح هـ ر وترى على هيئة اطار أبيض فى وسطه دائرة معتمة نظرا لأن الضوء الواقع على الجزء الأوسط من السطح هـ ر ينفذ الى المنشور الثانى دون أن ينعكس . اما اذا راعينا انعكاس الضوء الصادر عن السطح الأيسر للحاجز الابيض على حدته ونظر كما فى الحالة الاولى فانه ينعكس عند السطح د ثم ينفذ متجهاً الى العين

(١) Lummer—Brodhun

خلال الجزء المسوى الملامس للسطح هـ ر أما الضوء الواقع على الاخزاء الأخرى من السطح ط ى ك فانه ينعكس فلا يصل الى العين ولذلك تظهر دائرة بيضاء فى موضع الدائرة المظلمة الاولى ويكون ما يحيط بها معتما . فاذا حدث الانعكاسان معاً ظهرت الدائرة الوسطى مضيئة وظهر ما حولها مضيئاً أيضاً و يمكن تمييز أحداهما عن الاخرى ما دامت شدتا الاستضاءة على وجهى السطح ا ب غير متساويتين . فاذا هيء بعد المصدرين أحدهما أوكليهما حتى يزول الاختلاف بين الدائرة الوسطى وما يحيط بها كانت شدة الاستضاءة على جانبى الحاجز ا ب واحدة وكانت قوة اضاءة كل واحد من المصدرين متناسبة ومربع بعده عن الحاجز

والفتومتر يركب عادة داخل صندوق أسود به فتحتان ينفذ منهما الضوء الى الحاجز ا ب